



Digitized by srujanika@gmail.com

شیوه معمونی ۱ (پیراست ششم)
 نایاب چند چند مو پنیر
 ترجیح داشت سینه برانی
 طریق روی چکه از کرباری از زاد
 نظر شنیدن از کتابخانه هر روز
 قویت پا بهم هست
 تاریخ انتشار پاییز ۱۹۷۵
 تحریر: ۱۹۷۰ سال
 مترجم: موسسه ادبی
 معرفتی ایرانی، ترجمه منبعی
 انتشارگر: سه
 چاپ: ایوان
 مساحت: ۲۳۰ صفحه
 تاریخ انتشار: ۱۹۷۵

ISBN - Vol 1-2 964 - 6186 - 33 - 5 497-5155-17-1
ISBN 964 - 6186 - 30 - 0 497-5155-17-1

پیشگیری از مبتلایان

卷之三

مودر تکنر، چارلز
شیخ حسین موسوی / چارلز مورلیمر؛ ترجمه همیس پاکوری - تهران: نشر صلح
ماشگاهی، ۱۳۹۵

ج: مصور (پشت رنگ)، چهارکو، تهران.
ISBN = Vol 1-2 : 964 6156-33-5 (دوره) ISBN
ISBN 964-6156-30-0 (1 ج) 75*** ISBN
ISBN 964 6156-31-0 (2 ج) 75*** ISBN

نهرستی مبنی بر اساس اطلاعات غیر رسمی

جـ ١- (جانب يفتح) : ٢٠٦٨
دـ ٣- (جانب يفتح) : ٢٠٦٩- شـ ٤- (جانب يفتح) :

۵۵- UCTB/۹
۱۳۷۵
کتابخانه ملی ایران

پرسنل، علیاں (الگارب، خلیل) اردو شاعر، منسٹریہ، ۱۹۰۰ء۔

فهرست عنوانین شیمی عمومی

جلد دوم

- ۱۶- نظریه‌های اسید و باز
- ۱۷- تعادل یونی، بخش I
- ۱۸- تعادل یونی، بخش II
- ۱۹- مبانی ترمودینامیک شیمیابی
- ۲۰- الکتروشیمی
- ۲۱- ناقللرها، بخش I: هیدروژن و هالوژن‌ها
- ۲۲- ناقللرها، بخش II: عناصر گروه IV A
- ۲۳- ناقللرها، بخش III: عناصر گروه VA
- ۲۴- ناقللرها، بخش IV: کربن، سیلیسیم، بور، و گازهای نجیب
- ۲۵- فلزات و متالورزی
- ۲۶- ترکیبات کمپلکسی
- ۲۷- شیمی هسته‌ای
- ۲۸- شیمی آلی
- ۲۹- بیوشیمی

جلد اول

- ۱- مقدمه
- ۲- مقدمه‌ای بر نظریه‌های اتمی
- ۳- استوکیومتری، بخش I، فرمول‌های شیمیابی
- ۴- استوکیومتری، بخش II، معادله‌های شیمیابی
- ۵- شیمی گرامایی
- ۶- ساختار الکترونی اتم‌ها
- ۷- خواص اتم‌ها و پیوند یونی
- ۸- پیوند کووالانسی
- ۹- شکل هندسی مولکول، اوربیتال مولکولی
- ۱۰- گازها
- ۱۱- مایعات و جامدات
- ۱۲- محلول‌ها
- ۱۳- واکنش‌های شیمیابی در محلول آبی
- ۱۴- سیتیک شیمیابی
- ۱۵- تعادل شیمیابی

پیشگفتار مولف

۱. مقدمه

- ۱-۱ تکرین شیمی جدید
- ۲-۱ عناصر، ترکیب‌ها و مخلوط‌ها
- ۳-۱ دستگاه‌متری
- ۴-۱ ارقام با معنی
- ۵-۱ محاسبات شیمیایی
- چکیده: مطالعه
- مفاهیم کلیدی
- مسائل

۲. مقدمه‌ای بر نظریه الگوریتم

- ۱-۲ نظریه انت�ی دالتون
- ۲-۲ الکترون
- ۳-۲ پروتون
- ۴-۲ نوترون
- ۵-۲ هسته اتم
- ۶-۲ نمادهای اتمی
- ۷-۲ عدد اتمی و جدول تناوبی
- ۸-۲ ایزوتوپ‌ها
- ۹-۲ اوزان اتمی
- چکیده: مطالعه
- مفاهیم کلیدی
- مسائل

۳. استوکیومتری، بخش ۱: فرمول‌های شیمیایی

۳۱	وزن فرمولی، وزن مولکولی	۳-۳
۳۲	مول	۴-۳
۳۴	درصد اجزای ترکیبات	۵-۳
۳۵	به دست آوردن فرمول‌ها	۶-۳
۳۷	چکیده: مطالعه	۱
۳۷	مفاهیم کلیدی	۳
۳۷	مسائل	۵
۴۰	۴. استوکیومتری، بخش ۱: معادله‌های شیمیایی	
۴۰	معادله‌های شیمیایی	۹
۴۲	مسائلی براساس معادله‌های شیمیایی	۱۳
۴۳	واکنش‌دهنده‌های محدودساز	۱۴
۴۴	درصد بازده	۴-۴
۴۵	محلول‌های مولار	۵-۴
۴۷	استوکیومتری و واکنش‌هادر محلول	۶-۴
۴۸	چکیده: مطالعه	۱۶
۴۸	مفاهیم کلیدی	۱۷
۴۸	مسائل	۱۸
۵۲	۵. شیمی گرمایی	
۵۲	اندازه گیری انرژی	۱-۵
۵۲	دما و گرما	۲-۵
۵۴	گرماسنجی	۳-۵
۵۵	معادله‌های گرماشیمیایی	۴-۵
۵۷	قانون هیس	۵-۵
۵۸	آنتالیی شکل	۶-۵
۶۱	انرژی پیوندهای شیمیایی	۷-۵
۶۳	چکیده: مطالعه	۲۹
۶۳	مفاهیم کلیدی	۲۹
۶۴	مسائل	۳۱

۱-۳	مولکول‌ها و یون‌ها
۲-۳	فرمول تجربی

۶. ساختار الکترونی اتم

۱۳۴	پیوند $\pi\pi-d\pi$	۶-۹	۶۸	۱-۶
۱۳۵	چکیده مطاب	۶۸	۶۸	۲-۶
۱۳۶	مفاهیم کلیدی	۷۰	۷۰	۳-۶
۱۳۶	مسائل	۷۲	۷۲	۴-۶
۱۳۹	۱۰. گازها		۷۴	۵-۶
۱۳۹	فشار	۱-۱۰	۸۰	۶-۶
۱۴۰	قانون بولیل	۲-۱۰	۸۲	۷-۶
۱۴۱	قانون شارل	۳-۱۰	۸۷	۸-۶
۱۴۳	قانون آمونتوس	۴-۱۰	۸۷	۹-۶
۱۴۳	قانون گاز ایده‌آل	۵-۱۰	۸۸	چکیده مطاب
۱۴۶	نظریه چبیشی گازها	۶-۱۰	۸۹	مفاهیم کلیدی
۱۴۷	به دست آوردن قانون گاز ایده‌آل از نظریه چبیشی	۷-۱۰	۹۰	مسائل
۱۴۸	قانون ترکیب حجمی گیلبرت و اصل اوگادرو	۸-۱۰		
۱۴۹	استوکمتری و حجم گازها	۹-۱۰		
۱۵۰	قانون فشارهای جزئی دالتون	۱۰-۱۰	۹۳	۱-۷
۱۵۲	سرعت‌های مولکولی	۱۱-۱۰	۹۴	۲-۷
۱۵۳	قانون نفوذ مولکولی گراهام	۱۲-۱۰	۹۵	۳-۷
۱۵۵	گازهای ایده‌آل	۱۳-۱۰	۹۷	۴-۷
۱۵۷	مایع شدن گازها	۱۴-۱۰	۹۸	۵-۷
۱۵۸	چکیده مطاب		۱۰۰	۶-۷
۱۵۸	مفاهیم کلیدی		۱۰۲	۷-۷
۱۵۹	مسائل		۱۰۲	نامگذاری ترکیبات یونی
۱۶۳	۱۱. مایعات و جامدات		۱۰۵	۸-۷
۱۶۳	نیروهای جاذبه بین مولکولی	۱-۱۱		چکیده مطاب
۱۶۵	پیوند هیدروژنی	۲-۱۱		مفاهیم کلیدی
۱۶۶	حالت مایع	۳-۱۱		مسائل
۱۶۷	تبخیر	۴-۱۱	۱۰۷	۱-۸
۱۶۸	فشار بخار	۵-۱۱	۱۰۷	۲-۸
۱۶۸	دمای جوش	۶-۱۱	۱۰۷	۳-۸
۱۶۹	آنالیپی تبخیر	۷-۱۱	۱۰۹	کترونگاتیوی
۱۷۰	دمای انجماد	۸-۱۱	۱۱۰	بار قراردادی
۱۷۱	فشار بخار یک جامد	۹-۱۱	۱۱۲	ساختمانهای لوله‌سی
۱۷۱	نمودارهای فاز	۱۰-۱۱	۱۱۳	رزوئنس
۱۷۳	نوع جامدات بلوری	۱۱-۱۱	۱۱۶	نامگذاری ترکیبات کروالانسی دوتایی
۱۷۴	بلورها	۱۲-۱۱	۱۱۸	چکیده مطاب
۱۷۶	تعیین ساختار بلوری با پراش اشعه X	۱۳-۱۱	۱۱۸	مفاهیم کلیدی
۱۷۸	ساختار بلوری فلزات	۱۴-۱۱	۱۱۹	مسائل
۱۷۸	بلورهای یونی	۱۵-۱۱	۱۲۲	۱-۹
۱۷۸	ساختارهای ناقص	۱۶-۱۱	۱۲۲	۲-۹
۱۸۰	چکیده مطاب		۱۲۷	۳-۹
۱۸۱	مفاهیم کلیدی		۱۲۹	۴-۹
۱۸۲	مسائل		۱۳۳	۵-۹

۷. خواص اتم‌ها و پیوند یونی

۱۳۹	اندازه اتم‌ها	۱-۷
۱۴۰	انرژی بونش	۲-۷
۱۴۱	الکترون خواهی	۳-۷
۱۴۳	پیوند یونی	۴-۷
۱۴۴	انرژی شبکه	۵-۷
۱۴۸	انواع یون‌ها	۶-۷
۱۴۹	شعاع یونی	۷-۷
۱۵۰	نامگذاری ترکیبات یونی	۸-۷
۱۵۲	چکیده مطاب	
۱۵۸	مفاهیم کلیدی	
۱۵۸	مسائل	
۱۶۳	۸. پیوند کرووالانسی	
۱۶۳	تشکیل پیوند کرووالانسی	۱-۸
۱۶۵	حالت‌های گذار بین پیوندهای کرووالانسی و یونی	۲-۸
۱۶۶	کترونگاتیوی	۳-۸
۱۶۷	بار قراردادی	۴-۸
۱۶۷	ساختمانهای لوله‌سی	۵-۸
۱۶۸	رزوئنس	۶-۸
۱۶۸	نامگذاری ترکیبات کرووالانسی دوتایی	۷-۸
۱۶۹	چکیده مطاب	
۱۷۰	مفاهیم کلیدی	
۱۷۰	مسائل	

۹. شکل هندسی مولکول، اوریتال مولکول

۱۷۸	استثنای هشتاین	۱-۹
۱۷۸	داغه زوج الکترونی و شکل هندسی مولکول	۲-۹
۱۷۹	اوریتالهای هیبریدی	۳-۹
۱۸۰	اوریتالهای مولکولی	۴-۹
۱۸۱	اوریتالهای مولکولی در اجزای چند اتمی	۵-۹
۱۸۲		

۱۴. سینتیک شیمیابی	۲۲۴	
۱۵. تعادل شیمیابی	۲۴۹	
۱۶. محلول‌ها	۱۱۲	۱-۱۲
۱۷. واکنش‌های شیمیابی در محلول آبی	۱۳	۱-۱۳
۱۸. واکنش‌های تراساختنی	۲۰۱	۲-۱۳
۱۹. عدد اکسایش	۲۰۱	۳-۱۳
۲۰. واکنش‌های اکسایش-کاهش	۲۰۵	۴-۱۳
۲۱. اسیدها و بازهای آربیوس	۲۰۵	۵-۱۳
۲۲. نامگذاری اسیدها، هیدروکسیدها، و نمکها	۲۰۷	۶-۱۳
۲۳. سنجش حجمی	۲۰۹	۷-۱۳
۲۴. وزن هم‌ارز و ترمالیته	۲۱۳	۸-۱۳
۲۵. چکیده مطالب	۲۱۴	
۲۶. مقاهم کلیدی	۲۱۵	
۲۷. مسائل	۲۱۶	
۱۷. واکنش‌های پذیر و تعادل شیمیابی	۲۰۱	
۱۸. ثابت تعادل K_c	۲۰۱	
۱۹. ثابت تعادل K_p	۲۰۵	
۲۰. اصل لوشاتله	۲۰۷	
۲۱. چکیده مطالب	۲۰۹	
۲۲. مقاهم کلیدی	۲۱۳	
۲۳. مسائل	۲۱۴	
۲۴. پیوست‌ها	۲۱۵	
۲۵. پاسخ مسائل (مسئال فرد)	۲۱۶	
۲۶. واژه‌نامه اکلیسی - فارسی	۲۱۸	
۲۷. واژه‌نامه فارسی - اکلیسی	۲۱۹	
۲۸. فهرست راهنمای	۲۲۰	
۲۹. مسائل	۲۲۰	
۱۸. سرعت راکنش‌ها	۱۱۴	
۱۹. غلظت و سرعت واکنش‌ها	۱۱۴	
۲۰. غلظت و زمان	۱۱۴	
۲۱. واکنش‌های یک مرحله‌ای	۱۱۴	
۲۲. معادلات سرعت برای واکنش‌های یک مرحله‌ای	۱۱۴	
۲۳. مکانیسم واکنش‌ها	۱۱۴	
۲۴. معادلات سرعت و دما	۱۱۴	
۲۵. کاتالیزورها	۱۱۴	
۲۶. چکیده مطالب	۱۱۶	
۲۷. مقاهم کلیدی	۱۱۸	
۲۸. مسائل	۱۱۹	
۲۹. اسمر	۱۲۰	۹-۱۲
۳۰. تقطیر	۱۲۰	۱۰-۱۲
۳۱. محلول‌های الکتروولیت	۱۲۰	۱۱-۱۲
۳۲. جاذبه‌های بین یونی در محلول	۱۲۰	۱۲-۱۲
۳۳. چکیده مطالب	۱۲۰	
۳۴. مقاهم کلیدی	۱۲۰	
۳۵. مسائل	۱۲۰	

یادداشت مترجم

کتاب شیمی عمومی تألیف چارلز مورتیمر که اکنون ترجمه ویراست ششم آن را در دست دارد، یکی از کتاب‌های معتبر شیمی است که طی سالیان متعدد در بسیاری از دانشگاه‌های دنیا تدریس شده و به اکثر زبان‌های زنده نیز برگردانده شده است. طی سه دهه گذشته، شش ویراست از این کتاب منتشر شده و به طور مستمر مورد تجدید نظر قرار گرفته است. ویراست ششم را می‌توان به سنگ گرانبهای تشبیه کرد که طی سال‌های متعددی تراش خورده و اکنون به صورت گوهری ارزشمند درآمده است. تویستنده داشتمند کتاب، تبیین و ساده‌سازی مقایمه شیمی را آمادج اصلی خوبیش قرار داده است. حدود سه دهه پیش که به عنوان دانشجوی شیمی وارد مدرسه عالی پارس شدم، برای هر یک از درس‌های شیمی جزو «کم حجمی وجود داشت که اغلب از یادداشت‌های دوران دانشجویی استادی یا از تقریرات ایشان در کلاس درس استخراج شده بود. در دانشگاه‌های دیگر نیز وضع مشابه وجود داشت. خواندن آن جزو «های کتابی و گذاردن درس با نمرة قبولی کار دشواری نیود، ولی از آن منابع کوچک و کهنه نمی‌شد به قلمرو شیمی جدید راه یافتد. سرخوش از نمره‌های بسیار خوب و کسب عنوان «دانشجوی ممتاز»، ولی غافل از اینکه علم شیمی را تابموخته بودم، در اواخر سومین سال تحصیلی در دوره لیسانس از کلاس پر سر و صدای شیمی عمومی استاد دکتر عبدالجليل مستشاری که به تازگی از دانشگاه ایالتی میشیگان فارغ التحصیل شده و به مدرسه عالی پارس آمد به بودن، با خبر شدم. هنگامی که به عنوان «مستمع آزاد» سری به آن کلاس زدم، استادی پرشور با بیانی رسماً و جذاب را دیدم که شیمی عمومی را زیر ویراست دوم مورتیمر تدریس می‌کردند. تمام بحث‌ها برایم تازگی داشتند. اگرچه اندکی دیر شده بود، ولی برای جبران کاسته‌های گذشته به سر اصل کتاب رفتم. سال بعد، دکتر مستشاری کتاب شیمی عمومی (ویراست دوم) را به فارسی ترجمه کردند و در اختیار دانشجویان قرار دادند که با استقبال فراوانی روبرو شد.

اگرچه دوران فعالیت آموزشی و پژوهشی استاد در مدرسه عالی پارس به پنج سال نرسید (۱۳۴۹ تا ۱۳۵۳)، تأثیر شگفتی بر جامعه علمی ایران برجای گذاشت. درس او زمزمه محبت بود. کلاس درس را بسیار جذبی می‌گرفت، با امادگی کامل به کلاس می‌آمد و تمام لحظه‌های درس او پرپار و جذاب بود. شمار زیادی از دانشجویان که علم شیمی را از این استاد فرازه و دلسوز آموختند به مدارج عالی تحصیلی رسیدند و اکنون در دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی و صنعتی ایران و خارج از ایران به تدریس و تحقیق مشغول هستند.

بعد از آن دوره کوتاه فعالیت آموزشی - پژوهشی، برخلاف میل خود که «عشق به تدریس داشت»، به عرصه فعالیت‌های صنعتی و تحقیق در مورد صنایع کشور پا گذاشتند. چون علم شیمی را به خوبی آموخته بودند، در این عرصه نیز خدمات بسیار ارزنده‌ای به صنایع شیمیایی کشور کردند. به پاس این خدمات، احمدن شیمی و مهندسی شیمی ایران در دهmin کنگره خود (شهریور ۱۳۷۴)، با معروفی اسناد دکتر عبدالجليل مستشاری به عنوان شیمیدان برجهسته و نمونه صنایع کشور، تجلیل شایسته‌ای از این داشتمند و آموزگار علم شیمی به عمل آورد. گرچه خدمات استاد در صنعت بسیار حائز اهمیت است، اما مترجم ارزش نوادری‌ها و خدمات آموزشی ایشان را بالاتر می‌داند و امیدوار است جامعه علمی ایران این خدمات بزرگ را روزی به شایستگی ارج بگذارد.

پیشگفتار مؤلف

اکنون، ویراست ششم کتاب شیمی عمومی را پیش رو دارید. این کتاب طی سالهای متمادی نه فقط به این دلیل که شیمی قلمروی بزرگ و در حال رشد دارد، بلکه به این دلیل که نیازها، علاوه، و توانایی های دانشجویان به طور مستمر در حال تغییر و دگرگونی است. به حال ریشه کار در فلسفه ای ثابت استوار یوده است. این کتاب برای تبیین شیمی نوشته شده است و نه فقط عرضه و اقیعت های تجربی شیمی، در نتیجه، هر مفهوم جدید تا حد لازم برای درک آن، به صورت کامل نوشته شده است، در صورت لزوم ساده شده، ولی هیچگاه تحریف نشده است.

در این ویراست، فصل ۱ که شامل معرفی بر تاریخ شیمی، بیان اصطلاحات معین شیمی، دستگاه متري، ارقام با معنی، و روش محاسبات می باشد، زمینه ساز فصل های بعدی کتاب است. برای حل مسائل، مثال های ساده و غیرشیمیابی بیان شده است.

فصل ۲ جدید است و مقدمه ای بر نظریه اتمی به دست می دهد. اگرچه جزئیات ساختار الکترونی اتم ها و شیمی هسته ای در فصل های بعدی (۶ و ۲۷) آمده است، در فصل ۲ مطالب کافی درباره نظریه اتمی برای ایجاد بینایی استوار در چهت ورود به استوکیومتری وجود دارد.

استوکیومتری، اساس درک تمام مفاهیم شیمیابی به شمار می رود. آوردن استوکیومتری در ابتدای کتاب، نه فقط امکان استفاده از این مفهوم در سرتاسر درس را می دهد (که منجر به تقویت مهارت های دانشجو می شود)، بلکه امکان گسترش تدریجی موضوع را نیز فراهم می سازد. علاوه بر این، زود رفتن به سراغ استوکیومتری امکان طراحی و برنامه ریزی حساب شده برای آزمایشگاه را فراهم می سازد (استوکیومتری محلول به همین منظور گنجانده شده است). چون استوکیومتری، معمولاً، برای توانآوران شیمی دشوار است، گسترش و تکوین آن به آرامی صورت گرفته است. برای سهولت کار، موضوع استوکیومتری را در دو بخش آورده ایم – یک بخش به فرمول ها و ترکیبات (فصل ۳) می پردازد، بخش دیگر به اکتشاف شیمیابی (فصل ۴) اختصاص یافته است.

شیمی گرمایی (فصل ۵) که بعد از استوکیومتری قرار دارد، بینانگر ارتباط شیمی با انرژی و ماده است و هر دو آنها قابل سنجش کمی هستند. بحث زددهنگام شیمی گرمایی، راه را برای استفاده از مفاهیم انرژی (امانند انرژی پونش، انرژی شیکمک، و انرژی پیوند) در تکوین موضوع های بعدی باز می کند.

در هفت فصل بعد، ساختار و خواص فیزیکی ماده، به ترتیب افزایش پیچیدگی، آمده است. ساختار الکترونی اتم ها (فصل ۶)، مفهوم پیوند شیمیابی را مطرح می کند. پیوند بینی (فصل ۷)، توصیف بنیادی پیوند کوالانتی و رزونانس (فصل ۸) و شکل هندسی مولکول ها، هیبرید شدن، و اوربیتال های مولکولی (فصل ۹)، به بیان ساختار مولکولی اختصاص یافته است. گازها (فصل ۱۰) و مایعات و جامدات (فصل ۱۱)، به حالت های ماده می پردازد. بحث خواص فیزیکی محلول ها در فصل ۱۲ آمده است.

و اکتشاف ها در محلول آبی، فصل ۱۳، که اولین بار در ویراست قبلی آمده بود، مورد استقبال قرار گرفت، این فصل بعد از فصل مربوط به محلول ها آمده است و متفقی می به نظر می رسد. بحث مربوط به این نوع و اکتشاف ها که بخش

مهمی از تمام واکنش‌های شیمیابی شناخته شده را در بر می‌گیرد، شالوده مباحثت بعدی است (به ویژه تعادل یونی، اسیدها و بازها، الکتروشیمی، و شیمی توصیفی). علاوه بر این، فصل ۱۳ زمینه‌ساز بین واکنش‌های اکسایش-کاهش تا حدی قابل از الکتروشیمی (فصل ۲۰) است.

در فصل‌های بعدی نیز این روند مطالعه تفصیلی واکنش‌های شیمیابی ادامه می‌یابد. سرعت واکنش‌های شیمیابی (سینتیک شیمیابی) موضوع فصل ۱۴ است. چهار فصل بعدی (۱۵ تا ۱۸) بیانگر تعادل شیمیابی هستند که موضوعی گسترده و مهم است. در نگارش ترمودینامیک شیمیابی (فصل ۱۹)، به واکنش‌های شیمیابی و سیستم‌های تعادلی توجه و پژوهای شده است.

الکتروشیمی بعد از ترمودینامیک و تعادل آمده است تا اصول ترمودینامیک (به ویژه انرژی آزاد گیبس) و تعادل (به طور منحصر، معادله‌های مربوط به ثابت‌های تعادل) در تکرین مفاهیم الکتروشیمیابی (نیروی محركه الکتروشیمی، پتانسیل الکترودها، معادله نرنس) مورد استفاده قرار گیرند.

شیمی توصیفی بخش عمده‌ای از بقیه کتاب را تشکیل می‌دهد: ناقلات (فصل‌های ۲۱ تا ۲۴)، فلزات و ترکیبات کمپکس (فصل‌های ۲۵ و ۲۶)، شیمی آبی (فصل ۲۸)، و بیوشیمی (فصل ۲۹). در این ویراست شیمی هسته‌ای (فصل ۲۷) به طور کامل از نو گنجانده شده است.

سازماندهی موضوع‌های این کتاب، بازدارند، دست و پاگیر نیست. چارچوب کتاب به گونه‌ای طراحی شده است که برای درس‌های مختلف شیمی عمومی مناسب باشد. طی سالیان متمادی بسیاری از فصل‌ها تقیم شده‌اند تا انعطاف‌پذیری کتاب افزایش باید و استخراج چکیده درس آسان‌تر شود (فصل‌های مربوط به پیوند شیمیابی، تعادل یونی، و شیمی توصیفی ناقلات، نمونه‌هایی از این تقسیم‌بندی هستند). در این ویراست ساختار اتمی و استوکیومتری تقسیم شده‌اند.

برای کمک به دانشجو، بخش‌ها و نکته‌های مهمی در این کتاب گنجانده شده است. مثال‌ها که برای نمایش شیوه حل کردن مسائل شیمیابی طراحی شده است، به طور گسترشده‌ای در کتاب آمده‌اند. روش حل گام به گام مسائل بنیادی در داخل کادر آمده است. مطالب داخل این کادرها برای دستیابی به راه حل مسائل و ارجاع در کارهای بعدی مفید است.

چکیده مطالب که در پایان هر فصل آمده، برای این ویراست تنظیم شده است. این چکیده‌ها، بازنگری پی در پی فصل، ایجاد ارتباط بین مفاهیم و عرضه مطالب در یک قالب متفاوت را امکان‌پذیر می‌سازند. مفاهیم کلیاتی به صوره شماره بخش مربوطه در پایان هر فصل تعریف شده است. این مفاهیم کارآیی فراوانی در مطالعه مطالب و حل مسائل آن فضل دارد. اصطلاحات جدید، در جاهایی که برای اولین بار آمده است، با حروف سیاه مشخص شده‌اند.

مسائل بیان فصل براساس نوع، به صورت «طبقه‌بندی شده» و همچنین به صورت «طبقه‌بندی نشده»، تنظیم شده است. مسائل هر قسمت از فصل، بجز مسائل طبقه‌بندی نشده، به صورت زوج‌های مشابه طراحی شده‌اند. ضمناً پاسخ مسائل فرد در پیوست آخر کتاب آمده است.

پیوست آخر کتاب گشترش یافته و شامل پاسخ مسائل فرد، نکاتی درباره عملیات ریاضی، و تعادل زیادی جدول‌های مربوط به ثابت‌ها و ضوابط تبدیل است. این جدول‌ها اکنون شامل پتانسیل الکترودها، ثابت‌های تعادل، داده‌های ترمودینامیکی (اتالاپی استاندارد تشکیل، انرژی آزاد تشکیل گیبس، و آنتروپی مطلق استاندارد) و میانگین انرژی پیوندهای است.

شیمی را می‌توان به صورت علمی که با شناسایی، ترکیب اجزاء و تبدیل‌های ماده سر و کار دارد تعریف کرد، اما این تعریف ناساخت است، زیرا چوهر شیمی را که مانند سایر شاخه‌های علم، موجودیتی زنده و در حال رشد است و نه اثباتی از دانستن‌ها، بیان نمی‌کند. علم، زایا هستنده‌های مفهوم جدید علمی، محرك مشاهدات و تجربه‌های جدیدی است که منجر به پایش بیش از پیش آن مفهوم و تکوین مفاهیم دیگر می‌شود. به علت تداخل و همبوشانی موضوع فلمروهای علمی مختلف، مرز بین آنها مشخص نیست و مفاهیم و روش‌های علمی کاربرد همگانی پیدا می‌کنند. در پرتو پژوهش علمی، جای شگفتی نیست که یک پژوهش علمی معنی‌بارها از مزه‌های مصنوعی و ساخته و پرداخته‌ذهن بشر می‌گذرد.

با وجود این، قلمرو علم شیمی، هر چند نامشخص باشد، مفهومی متعارف دارد و باید به تعریف که در آغاز اوردید باز گردید. امید است با مطالعه این کتاب به درک ژرفتری از این مفهوم برسیم. شیمی با ترکیب و ساختار مواد و بایه‌های بر پا دارنده این ساختارها سرگواز دارد. خواص فیزیکی مواد این رو مورد مطالعه قرار می‌گیرند که سرنشایی از ویژگی‌های ساختاری را به دست می‌دهند. به عنوان مبنای شناسایی و طبقه‌بندی به کار روند و بیانگر کاربردهای ممکن برای مواد مشخص هستند. اما، شاید بتوانیم واکنش‌های شیمیایی را کانون علمی شیمی بدانیم. توجه علم شیمی به تمام جنبه‌های این بیداریات کشیده می‌شود و شامل شرح تفصیلی دریارة چگونگی این واکنش‌ها و سرعت پژوهش آنها، شرایط لازم برای انجام تغییرات مطلوب و جلولوگی از تغییرات ناخواسته، آثار ارزی که با این واکنش‌های شیمیایی همراه است، سنتز موادی که در طبیعت یافت می‌شوند و آنها یا که مشابه طبیعی ندارند و بالاخره روابط کمی جرمی بین مواد درگیر در این تغییرات شیمیایی است.

۱- تکوین شیمی جدید

شیمی جدید که در اوآخر سده هیجدهم میلادی پیدا شد، طی صدال سال تکوین یافت. داستان تکوین شیمی جدید را به پنج دوره تقریبی می‌توان تقسیم کرد:

۱- دوره هنرهای تجربی (از روزگار باستان تا سال ۶۰ پیش از میلاد). استخراج فلزات از کانه‌ها، ساختن اشیاء سفالی، شراب‌سازی، پختن نان، تهیه رنگینهای و داروها از هنرهای باستانی به شمار می‌روند.

شواهد باستان‌شناسی شنان می‌دهد که ساکنان باستانی سرزمین مصر و بنین‌النهرین، مهارت فراوانی در این هنرها کسب کرده بودند، اما از چگونگی و زمان تکوین آنها اطلاعی در دست نیست.

این هنرها که فرایندی‌های شیمیایی به شمار می‌روند، طی این دوره، پیشرفت قابل توجهی یافته‌اند. اما، پیشرفت تجربی بود، یعنی بر تجربه محض، بدون اشاره به اصول شیمیایی، استوار بود. فلزکاران مصری، چگونگی استخراج سن یا گرم کردن کاته مالاشیت به وسیله زغال را می‌دانستند. آنها از چگونگی فرایند و از آنچه که در آتش رخ می‌داد چیزی نمی‌دانستند و در جستجوی دانستن آن نیز برتمنی آمدند.

۲- نظریه یونانی (۶۰۰ تا ۳۰۰ پیش از میلاد). جنبه فلسفی (یا جنبه نظری) شیمی در حدود ۶۰۰ پیش از میلاد در یونان باستان آغاز شد. اساس علم یونانی بر جستجوی اصولی استوار بود که درگ طبیعت کمک برآوردند. طی سده‌های بعدی، در نظریه یونانی اهمیت فراوانی یافتند:

الف - مفهومی که برآساس آن، تمام مزاد موجود بر روی زمین از چهار عنصر (خاک، باد، آتش، و آب) با نسبت‌های متفاوت تشکیل شده‌اند، نواسنگ فلسفه این را بیان می‌کند.

ب - نظریه‌ای که برآساس آن، ماده شامل واحد اندیشه‌های جداگانه و مشخصی بعنوان اتم است توسط لیکپریوس^۱ بیان گردید و در سده پیش از میلاد، توسط دموکریتوس^۲ گشترش بافت.

افلاطون^۳، متفاوت بودن شکل اندیشه‌ای عناصر مختلف باور داشت. همین طریق، او بحث بود که با تغییر شکل اندیشه‌ای یک عنصر می‌توان آن را به عنصر دیگر تبدیل (با استحاله^۴) کرد.

مفهوم استحاله، در نظریه‌های ارسطو^۵ نیز هست. ارسطو که به وجود اتمها باور نداشت، عناصر و در نتیجه تمام مزاد را متشکل از یک ماده آغازین می‌دانست که تفاوت آنها فقط ناشی از تفاوت شکل آن ماده بود. از نظر ارسطو، شکل نه فقط بیانگر قرم، بلکه بیانگر کیفیتی‌های دیگری (مانند رنگ و ساختی) که وجه تمایز یک ساده از مزاد دیگر هستند، نیز بود. او پیشنهاد کرد که تغییر شکل به طور مستمر در طبیعت صورت می‌گیرد و تمام اشیای مادی (اعم از چاندار و بیجان) رشد می‌کنند و از شکل‌های ناکامل به شکل‌های کامل تر تکوین

1. Leucippus

2. Democritus

3. Plato

4. Aristotle



آنتون لاوازیده (۱۷۴۳ - ۱۷۹۴)

در سده‌های دوازدهم و سیزدهم میلادی، با ترجمه آثار کیمیاگران مسلمان به زبان لاتین، کیمیاگری به اروپا راه پافت. بیشتر این آثار در اسپانیا ترجمه شدند زیرا پس از فتح اندلس در سده هشتم میلادی به دست مسلمانان، فرهنگ غشی مورها در آنجا شکوفا شده بود.

مکتب پاترولوژیمی^۱ شاخه‌ای از کیمیاگری که با پژوهشی سر و کار داشت، در سده‌های شانزدهم و هفدهم میلادی شکوفا شد. اما، در مجموع، اروپایان مطلب جدیدی به نظریه کیمیاگری اضافه نکردند. اهیت کار آنها در این بود که مجموعه علمی از اطلاعات و داده‌های شیمیایی را که به آنان رسیده بود، تگه‌هاری کردند، مطالبی بر آن افزودند و به شیمیدانان بعدی منتقل ساختند.

کیمیاگری تا سده هفدهم ادامه یافته. به تدریج، نظریه‌ها و گرایش‌های کیمیاگران مورد تردید قرار گرفت. خدمات راپرت بولی^۲ و انتشار کتاب او به نام کیمیاگر شکاک^۳ در ۱۶۶۱ میلادی و پیزه قابل توجه است. گرچه بولی امکان پذیری فلزات پست به طلا را مردود نمی‌دانست، اما نتکر کیمیاگری را به شدت مورد انتقاد قرار داد. بولی بر استنتاج نظریه شیمیایی از شواهد جبریں تأثید داشت.

۴ - دوره فلوریستون (۱۷۹۰ - ۱۸۶۵) سده هیجدهم میلادی، دوران رواج نظریه فلوریستون^۴ در شیمی بود. این نظریه که بعد را شد، عمدتاً بر اندیشه‌های گئورگ ارنست اشتال^۵ استوار بود. فلوریستون (یک «جزء آتش» به عنوان یکی از اجزای تشکیل‌دهنده هر ماده قابل سوختن فرض شد.

تصویر می‌رفت که با سوختن یک ماده، فلوریستون از آن جدا می‌شود و به فرم ساده‌تری کاوش می‌باشد. نقش هوا در سوختن مواد را به خارج ساختن فلوریستون آزاد شده، خلاصه می‌کردند. در حالی که سوختن چوب را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

گازهای اکسیژن‌دار + خاکستر → گاز اکسیژن (از هو) + چرب

۱. این شهر در سال ۳۳۱ پیش از میلاد توسط اسکندر کیپر بنیاد گذاشته شد.

2. Alchemy
3. Philosopher's stone
4. alkîr (elixir)
5. elixir of life
6. târochemistry
7. Robert Boyle
8. The Sceptical Chymist
9. Phlogiston
10. Georg Ernst Stahl

می‌باشد. در سده‌های میانی یا قرون وسطی، بر این باور بودند که کانه‌ها می‌توانند رشد کنند و پس از استخراج آنها، معدن می‌تواند دوباره آنها را به وجود آورد.

۳ - کیمیاگری (۳۰۰) پیش از میلاد تا ۱۶۵۰ میلادی. سنت فلسفی یونان باستان و سنت صنایع دستی مصر باستان در شهر اسکندریه^۶ صریح به هم رسیدند و کیمیاگری^۷ نتیجه این اتحاد بود. نخستین کیمیاگران، فنون مصری را برای دستکاری مواد و برمی‌نمایند. نظریه‌های مربوط به ماهیت ماده به کار می‌گرفتند. کتاب‌های نوشته شده در اسکندریه (کهنه ترین متون شناخته شده شیمی)، شامل نمودارهای از دستگاه‌های شیمیایی و شرح سیاری از عملیات آزمایشگاهی (برای نمونه، تقطیر، تبلور، و تصفید) هستند.

مضمن فلسفی کیمیاگری، عناصری از نجوم و عرقان را در نظریه‌های یونانیان باستان وارد ساخت. یکی از قلمروهای مورد علاقه کیمیاگران بودیل (یا استحالله) فلزات پست، مانند آهن و سرب، به فلز گوانهای مانند طلا بود. آنها بر این باور بودند که یک فلز را با تغییر دادن گفتیت‌های آن (به ویژه رنگ آن) می‌توان تغییر داد و این تغییرات در طبیعت نیز نمی‌دانند؛ یعنی فلزات برای رسیدن به درجه کمال طلا در تلاش هستند. کیمیاگران معتقد بودند که این تغییرات را با استفاده از مقدار سیار ناجیزی از یک عامل استحاله قوی (که بعداً حجم‌الفلاسمه^۸ یا کیمیا نامیده شد) می‌توان عملی ساخت.

در سده هفتم میلادی، مراکز تمدن یونانی (از جمله مصر در سال ۶۴۰ میلادی) به وسیله مسلمانان فتح شد و کیمیاگری به دست آنان افتاد. کتاب‌های یونانی به زبان عربی ترجیحه شد و اساس کار کیمیاگران مسلمان را شکل داد. مسلمانان، کیمیا یا حجر الفلاسفه را اکسیر^۹ نام نهادند. کیمیاگران مسلمان نه فقط می‌بینند شکنند که اکسیر می‌تواند فلزات را به طلا تبدیل کند، بلکه بر این باور نیز بودند که این ماده با درمان بیماری‌ها می‌تواند زندگی را نیز بهبود بخشند. طی سده‌های بعدی، تبدیل فلزات پست به طلا و کشف اکسیر زندگانی^{۱۰} که بتواند زندگی جاودانه به آدمی بدهد، دو آماج اصلی کیمیاگران را تشکیل داد.



کیمیاگر، نقاشی دیوید تبریس، نقاش فلاندری در ۱۶۴۸ میلادی

گازهای به کار رفته و تولید شده در این واکنش‌ها را به حساب آورد. به این نظریه، تفسیر صحیح این فرایندها در گرو شناسایی این گازها و تکوین روش‌هایی برای انداده گیری آنها بود. لازم‌به برای تعریف این واکنش، نتایج به دست آمده توسط سایر دانشمندان را مورد استفاده قرار داد. لازم‌به برای تفسیر پدیده‌های شیمیایی، به تعریف‌های جدیدی که از عنصر و ترکیب (بخش ۱ - و این‌پیش‌بند) شلر را بود روی آورد. نظریه فلوئریستون، فلور را تکوینی از یک کالکس و فلوئریستون می‌دانست. لازم‌به نشان داد که فلور یک عنصر است و کالکس مربوطه نیز تکیی شامل فلور و اکسیژن هواست.

لازم‌به در کتاب خود به نام *الله العظیم* شیمی^۴ که در ۱۷۸۹ متن‌شده از اصطلاحات جدید استفاده کرد، زبان امروزی شیمی بر سیستم نام‌گذاری اسوار است که لازم‌به نشان مهمی در ترتیب آن داشت. دستاوردهای دانشمندان پس از سال‌های ۱۷۹۰ میلادی در این کتاب آمده است. اصطلاحات به دست آمده علی دو سده بعد از لازم‌به پیش از اطلاعات مربوط به ۲۰ قرن پیش از اوتست. شیمی، به تدریج به صورت پنج شاخه اصلی تکوین یافت (الفته این تسمیه‌بندی اختیاری است و همواره مورد تقدیر قرار می‌گیرد):

الف - شیمی آلی. شیمی ترکیبات کربن (یعنی شمار انگلیک کی از آنها که به صورت ترکیبات معدنی طبقه‌بندی می‌شوند). واژه آنکه، یادگار دورانی است که تصور می‌شد این ترکیبات را فقط می‌توان از منابع گیاهی یا جانوری به دست آورد.

ب - شیمی معدنی. شیمی تمام عناصر پیجز کربن. برخی از ترکیبات ساده کربن (برای مثال، کربنات‌ها و کربن دیکسید) معمولاً به منوان ترکیبات معدنی طبقه‌بندی می‌شوند، زیرا از منابع معدنی قابل استخراج هستند.

ج - شیمی تجزیه. شناسایی جزء به جزء ترکیب م್ಯاد به صورت کیفی و کیمی.

د - شیمی فیزیک. مطالعه اصول فیزیکی مربوط به ساختار ماده و تبدیل‌های شیمیایی.

ه - بیوشیمی. شیمی سیستم‌های زندگی‌گاهی و جانوری.

۱ - عناصر، ترکیب‌ها، و مخلوطها

ماهیت که تشکیل دهنده جهان است، به صورت هر چیزی که فضا والشغال کند و جرم داشته باشد، تعریف می‌شود. جرم، اندازه مدار ماده است. چیزی که تحت تأثیر نیروی بیرونی نباشد، میل به حفظ وضع موجود خود دارد؛ یعنی اگر ساکن باشد، ساکن می‌ماند و اگر در حال حرکت، به حرکت یکنواخت خود در همان جهت ادامه می‌دهد. این خاصیت را اینترسی^۵ نامند. جرم هر جسم با اینترسی آن متناسب است.

جرم یک جسم، تأثیر است؛ اما وزن یک جسم چنین نیست. وزن نیروی گرانشی جذب اعمال شده بر یک جسم به وسیله زمین است؛

براساس نظریه فلوئریستون، چنین بود

فلوریستون (خارج شده با هوا) + خاکستر → چوب

در نتیجه، چوب را ترکیبی از خاکستر و فلوئریستون می‌دانستند. موادی

که به آسانی می‌سوختند، غنی از فلوئریستون قلمداد می‌شدند.

نظریه فلوئریستون، تکلیس^۱ را نیز به شوءه مشابه تفسیر می‌کرد.

تشکیل اکسید یک فلور (که کالکس^۲ نامیده می‌شد) در اثر گرم کردن فلور در هوا را تکلیس می‌نامیدند.

کالکس (اکسید فلار) → گاز اکسیژن (از هوا) + فلار

بر اساس نظریه فلوئریستون، فلار ترکیبی از یک کالکس و فلوئریستون است. در نتیجه، تکلیس را حذف فلوئریستون از یک فلار می‌دانستند:

فلوریستون (خارج شده با هوا) + کالکس → فلار

نظریه فلوئریستون برای تکلیس دیگر پدیده‌های شیمیایی نیز به کار گرفته

شد. برای مثال، فلوات معینی را می‌توان با گرم کردن اکسید فلار با کربن

به دست آورد؛

گاز کربن مونوکسید + فلار → کربن + (یک اکسید فلاری) کالکس

تصور می‌شد که در چنین فرایندی، کربن (غنى از فلوئریستون) می‌تواند

فلوریستون از دست رفته در اثر تکلیس را جایگزین کند:

فلار → فلوریستون (از کربن) + کالکس

یکی از دشواری‌های نهفته در نظریه فلوئریستون، هیچگاه به درستی

تبیین نشد. سوختن چوب، با کاهش وزن همراه است، زیرا فلوئریستون از

دست می‌دهد. ازرسوی دیگر در تکلیس بازدست رفت فلوئریستون بالغافیش

وزن همراه است، زیرا ازون کالکس (یک اکسید فلاری) بیشتر از وزن فلار اوایله

است. هوا در اثر نظریه فلوئریستون از این مسئله آگاه بودن، اما در پیشتر

سال‌های سده هیجدهم، به توزین و اندازه گیری اهمیت داده نمی‌شد.

۵ - شیمی جدید (از ۱۷۹۰ تا ...). خدمات آتنون لازم‌به

سال‌ای پایانی سده هیجدهم را معمولاً سراغ‌گشایی جدید می‌دانند.

لازم‌به، نظریه فلوئریستون را به آرامی برآمدانخت و انقلاپی در شیمی

پدید آورد. او برای تبیین تعدادی از پدیده‌های شیمیایی به نتایج

آزمایش‌های کمی تکیه کرد. (در این کار، به صورت گسترده‌ای از ترازوی

شیمیایی بهره گرفت).

(قانون بنایی هرچه می‌گوید که طی یک واکنش شیمیایی، تغییر قابل

سنگشی در جرم نمی‌دهد به سخن دیگر، جرم کل تمام مواد را شده

در یک واکنش شیمیایی برابر با جرم کل فراوردهای آن واکنش است)

این قانون در کارهای یووهشی قبلی به صورت ضمیمه بیان شده بود، اما

لازم‌به آن را به طور صريح و روشن بیان کرد و سنگ بنای علم خود قرار

داد، به این ترتیب، نظریه فلوئریستون برای لازم‌به بی‌معنی بود.

نقش گازها در واکنش‌های شیمیایی، مدد و تکوین نظریه شیمیایی

گردید. هنگام اعمال قانون بنایی جرم به سوختن با تکلیس، پایا جرم

1. Calcination

2. Calx

3. Antoine Lavoisier

4. *Traité Élémentaire de Chimie*

5. Inertia

جدول ۱ - نمادهای عناصر که از زبان لاتین استخراج شده‌اند.

نام	نام لاتین	نام فارسی
Sh	Stibium	انتیموان
Cu	Cuprum	من
Au	Aurum	طلای
Fe	Ferrum	آهن
Pb	Plumbum	سرپ (بلسب)
Hg	Hydrargyrum	چبوه
K	Kalium	پتاسیم (کالیم)
Ag	Argentum	نقره
Na	Natrium	سیدیم (ناتریم)
Sn	Stannum	فل (استانیم)

جدول ۲ - فراوانی عناصر (پوسته زمین، آب، اقیانوس‌ها و جو).

مرتبه	عنصر	نماد	درصد جرم
۱	اکسیژن	O	۴۹.۲
۲	سیلیسیم	Si	۲۵.۷
۳	آلومینیم	Al	۷.۵
۴	آهن	Fe	۷.۷
۵	کلسیم	Ca	۳.۶
۶	سیدیم	Na	۲.۷
۷	پتاسیم	K	۲.۶
۸	منزیم	Mg	۱.۹
۹	هیدروژن	H	۰.۹
۱۰	تیتانیم	Ti	۰.۷
۱۱	کلر	Cl	۰.۶
۱۲	فسفر	P	۰.۴
۱۳	منگنز	Mn	۰.۴
۱۴	کربن	C	۰.۴
۱۵	گوگرد	S	۰.۴
پیغاء عنصر			

اگر تمام زمین را در نظر می‌گرفتیم، فهرستی متفاوت با جدول ۱ - به دست می‌آمد و در آن صورت، فراوانترین عنصر آهن بود. از سوی دیگر، فراوانترین عنصر در جهان، هیدروژن است که حدود ۷۵٪ جرم کل جهان را تشکیل می‌دهد.

کاربرد تجارتی گسترده یک فلز نه فقط به فراوانی آن، بلکه به قابل دسترسی پودنش نیز بستگی دارد. برخی از عناصر آشنا (مانند مس، قلع، و سرب)، پهناند فراوان نیستند، اما در ذخایر طبیعی وجود دارند و به آسانی قابل استخراج هستند. عناصر دیگری که فراوان نیستند (مانند

وزن یک جسم به فاصله آن تا مرکز زمین بستگی دارد. وزن یک جسم با جرم آن و جاذبه گرانشی زمین نسبت مستقیم دارد. به این ترتیب، دو شیء با جرم یکسان، در هر تقاضه ای وزن یکسان ندارند.

یوناتانیان باستان، آغازگر این مفهوم بودند که تمام ماده از شمار محدودی جسم ساده به نام عنصر تشکیل شده است. یوناتانیان می‌پندشتند که تمام ماده موجود بر روی زمین از چهار عنصر خاک، هوا، آتش، و آب تشکیل شده است. چون اجسام پیشتر و آسمانی را کامل و تغییرناپذیر می‌پنداشتند، تصویر می‌گردند که ماده زمینی شامل عنصر متفاوتی به نام آثر ^۱ نیز هست که به عنصر پنجم ^۲ مشهور گردید. نظریه یوناتانی، قرن‌های متمادی بود که عنصر معلم حاکم بود.

رابرت بویل، در سال ۱۶۶۱، تعریف نوین عنصر را در کتاب خود به نام **کیمیاگر شکاف آور**:^۳ اکتون، منظور از عنصر... اجسام اندیادی، و ساده، یا **اماکالا** خاصی است که از اجسام دیگری، یا از هم‌دیگر، تشکیل شده‌اند، اجزای تشکیل‌دهنده تمام اجسام مربکاند و در نهایت، از همین مواد مرکب قابل تفکیک هستند.^۴ بویل، مواد مشخص را به عنوان عنصر معرفی نکرد. اما آلات وجود عناصر و همچنین، شناسایی آنها را تیجه آزمایش‌های شیمیایی می‌دانست.

مفهوم بویل از عنصر شیمیایی، در سده بعد، توسط آتوان الازاریه به درستی اثبات شد. لاوازیه ماده‌ای را عنصر می‌دانست که قابل تجزیه به مواد ساده‌تر نبود. مجتبین، نشان داد که یک ترکیب از اتحاد عناصر تولید می‌شود. لاوازیه ۲۳ عنصر را در درستی شناسایی کرد (گوچه نور، گرماء و چند ترکیب ساده نیز به غلط در فهرست از آمده بودند). اکتون ۱۰۸ عنصر شناخته شده است. از این تعداد، ۸۵ متابع طبیعی استخراج شده و بقیه نیز با واکنش‌های هسته‌ای (بسخش ۷ - ۷) تهیه شدند.

هر عنصر با یک نماد شیمیایی^۵ که مورد توافق جهانی است، مشخص می‌شود. اغلب این نمادها شامل یک یا دو حرف هستند. نمادهای سه حرفی، برای مشخص کردن برخی از عنصرها جدید که در واکنش‌های هسته‌ای تولید شده‌اند به کار برده شده است. گوچه نام یک عنصر در زبان‌های مختلف ممکن است متفاوت باشد، اما تمام آن یکسان است. برای مثال، تیترون در زبان فرانسوی، ازت^۶ و در زبان آلمانی، اشتیک اشتوف^۷ خوانده می‌شود، اما نماد شیپرون در تمام زبان‌ها است. این نمادها در جدول تناوبی عناصر آزاداند.

اغلب نمادها به نام انگلیسی عناصر نزدیک است. اما، برخی از آنها چنین نیستند. نماد برخی از عناصر از نام لاتین آنها گرفته شده است: این عناصر در جدول ۱ - آمده است. نماد تیگستن، W، از نام آلمانی این عنصر، یعنی ولفرام^۸ گرفته شده است.

۱۵ عنصر اصلی پوسته زمین، آب، و جو^۹ را در جدول ۱ - می‌بینید. این طبقه‌بندی مربوط به آن بخش از جهان است که می‌توانیم عناصر را از آن به دست آوریم. زمین، شامل مغزهای (احتمالاً متشکل از آهن و نیکل) است که پوشش و پوسته‌ای، به ترتیب، آن فراگرفته‌اند. ضخامت پوسته زمین حدود ۳۵ تا ۷۰ کیلومتر است و فقط ۱٪ جرم زمین را تشکیل می‌دهد.

دارد. مخلوطها بر دو گونه‌اند: مخلوط ناهمگن^۵، یکنواخت نیست و بخش‌های مختلف آن از لحاظ فیزیکی متمایزند. نمونه‌ای شامل براده آمن و ماسه، یک مخلوط ناهمگن است. مخلوط همگن^۶، یکنواخت است و محلول^۷ نامیده می‌شود. هوا، نمک حل شده در آب، و الیاز طلا - نقره، به ترتیب نمونه‌هایی از محلول گازی، مایع و جامدند.

طبقه‌بندی ماده در شکل ۱-۱ نشان‌داده شد است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، نهاده‌ای ناهمگن، مخلوط ناهمگن است. آما، ماده همگن، مخلوط‌های همگن و اجسام خالص (عنصر و ترکیب‌ها) را دربرمی‌گیرد. بخشی از آن‌ها که از لحاظ فیزیکی قابل تشخیص باشد و از نظر ترکیب اجزاء و خواص نیز یکنواخت باشد، فاز نامیده می‌شود. مواد همگن فقط یک فاز دارند. آما، مواد ناهمگن، بیشتر از یک فاز دارند. فازهای موجود در مخلوط‌های ناهمگن دارای مرزهای مشخص‌اند و به آسانی قابل تشخیص هستند.

برای مثال، در مخلوط ناهمگن گرایست، می‌توان بلورهای صورتی قلدرپار، بلورهای بی‌رنگ کوارتز و بلورهای سیاه و درخشان میکا را تشخیص داد. هنگام تعیین تعداد فازهای یک مخلوط ناهمگن، تمام بخش‌های یکسان را یک فاز به حساب می‌آوریم، این ترتیب گرانیت شامل سه فاز است. تست فازهای سه گانه گرانیت مسکن است در نمونه‌های گوناگون یکسان نباشد.

شکل ۱-۱ شان می‌دهد که هر دو نوع مخلوط را می‌توان با روش‌های فیزیکی به اجزایشان تقسیم کرد، آما ترکیب‌ها به عنصر شکل‌دهنده آنها فقط با روش‌های شیمیایی امکان پذیر است. تغییر حالت (مانند ذوب کردن یک جامد و تبخیر یک مایع)، همچنین تغییر در شکل یا حالت اجزاء، نمونه‌هایی از تغییرات فیزیکی هستند. تغییراتی که مستلزم تولید اجزای جدیدی نیستند. روش‌های فیزیکی (مانند صاف کردن و تقطیر) را می‌توان برای جداسازی اجزای یک مخلوط به کار گرفت، آما ترکیبی که در مخلوط اولیه وجود نداشته است، هیچگاه با این روش‌ها به دست نخواهد آمد. تغییرات شیمیایی، شامل تبدیل‌هایی هستند که علی‌الله مذکور دیگر تبدیل می‌شوند.

۱-۳ دستگاههای متري

در تمام روشی‌های مورد استفاده در دستگاههای متري برای اندازه‌گیری استفاده می‌شود. پس از امضای معاهده‌ای در ۱۸۷۵ میلادی، دستگاههای متري پذیرفته شده که در صورت لزوم با تأویث بین‌المللی اصلاح‌جاتی در آن به عمل خواهد آمد. گاهی، بر حسب ضرورت، یک گروه بین‌المللی یعنی مجمع عمومی اوزان و اندازه‌ها، برای برسی بهینه‌سازی دستگاه متري تشکیل جلسه می‌دهد. دستگاه بین‌المللی واحدکار که به صورت SI



طلوع زمین در افق ماء، عکس از سفینه مهندس آبرلو ۱۰. هیدروزن، فراوان‌ترین عنصر در جهان است، فراوان‌ترین عنصر در زمین، آهن و در پوسته زمین، آب اتانوس‌ها و حق، اکسیژن است.

تیتانیم، روپیدیم، و زیرکونیم، کاربرد زیادی ندارند که علت آن پراکندگی ذخایر آنها در طبیعت یا دشواری و گرانی استخراج این عنصر از کاهنه‌های اشان است.

ترکیب‌ها، موادی هستند که از دو یا چند عنصر با نسبت‌های ثابت، تشکیل شده‌اند. قانون نسبت‌های معین^۸ که تخصیص بار توسط ژووف بروست^۹ در ۱۷۹۹ پیشنهاد شد، می‌گوید: یک ترکیب شکل میشه شامل عنصر معینی با نسبت جرمی ثابت است. برای مثال، ماده مركب آب، همیشه از عناصر هیدروزن و اکسیژن با نسبت ۱۱/۱۰ هیدروزن و ۸/۸۱ اکسیژن تشکیل می‌شود. پیش از ۲۰۰ هزار ترکیب معدنی شاخته شده است، و تعداد ترکیبات آلى سنتز شده یا استخراج شده از منابع طبیعی از ۱۰ میلیون فراتر رفته است. خواص ترکیبات با خواص

عنصر شکل‌دهنده آنها غافل دارد.

یک عنصر یا یک ترکیب را حجم خالص^{۱۰} می‌نامند. سایر ابعاع ماده را مخلوط^{۱۱} گویند. مخلوط‌ها از دو یا چند ماده خالص تهیه می‌شوند و ترکیب اجزای آنها متفاوت است. خواص یک مخلوط به ترکیب اجزای آن و نسبت مواد خالص تشکیل دهنده مخلوط بستگی

1. Law of Definite proportions

2. Joseph Proust

3. Pure Substance

4. Mixture

5. Heterogeneous mixture

6. Homogeneous mixture

7. solution

8. phase
9. مخفف International d' Unités است. Le Système

جدول ۱ - ۳ واحدهای اصلی و واحدهای تکمیلی دستگاه بین المللی
واحدها

نام	واحد	اندازه گیری	واحدهای اصلی
m	متر	طول	
kg	کیلوگرم	جرم	
s	ثانیه	زمان	
A	آمپر	جریان برقی	
K	کلوین	دما	
mole	مول	مقدار جسم	
cd	کاندللا	شدت نور	
rad	رادیان	زاویه مطلق	
sr	استرادیان	زاویه جسمی	
واحدهای تکمیلی			

نام واحد اصلی به دست آمده است:

$$1\text{ km} = 1000\text{ m} \quad (1)$$

سانتی متر (cm)، واحدی کوچکتر از متر است. پیشوند سانتی به معنی $\times 10^{-2}$ است، و سانتی متر برابر با 10^{-2} متر است.

$$1\text{ cm} = 10^{-2}\text{ m} \quad (2)$$

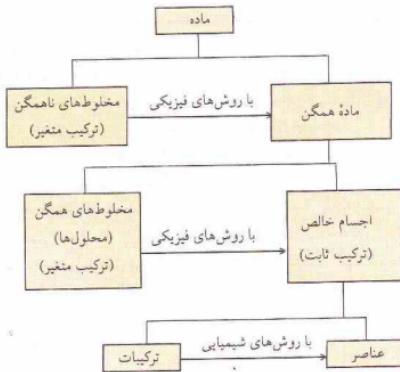
توجه کنید که نام واحد اصلی جرم، یعنی کیلوگرم، شامل یک پیشوند است. نام بقیه واحدهای جرم، با جایگزین کردن کیلو با سایر پیشوندانها به دست می‌آید. نام سایر واحدهای اصلی با پیشوند همراه نیست.

سایر واحدهای SI واحدهای فرعی می‌نامند. زیرا به کمک روابط جبری از واحدهای اصلی به دست می‌آید. برای نمونه می‌توان به واحد SI برای حجم کمتر مکعب (m³)، واحد SI برای سرعت که متر بر ثانیه (m/s) یا (ms⁻¹) است، اشاره کرد.

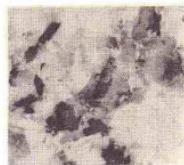
برخی از واحدهای فرعی از نامهای ویژه هستند. برای مثال، واحد SI برای نیترون، نیوتون است. این واحد از واحدهای اصلی جرم (kg)، کیلوگرم (kg)، طول (m)، متر، (s)، ثانیه (s)، گرفته شده است. نیوتون نیز بودی است که بر جرم ۱ kg شتابی برابر با 1 m/s^2 می‌دهد (یعنی 1 N را بیینید):

$$1\text{ N} = 1\text{ kg.m s}^{-2} \quad (3)$$

اصطلاحات جدید دستگاه متري از ۱۹۶۰ به بعد تدوين شده است. بعضی از واحدهای قدیمی که پیش از این تاریخ تعریف شده‌اند با قواعد دستگاه متري سازگاري ندارند و واحد SI به شمار نمی‌روند. امثال استعمال برخی از این واحدها مجاز است. برای مثال، لیتر که به صورت یک دسی متر مکعب (یعنی 10^{-3} m^3) تعریف می‌شود، ممکن است در کنار واحد رسمي SI برای حجم، یعنی متر مکعب به کار رود. واحدهای معین دیگری که بخشی از SI نیستند نیز ممکن است برای مدت محدودی حفظ شوند. جو اسناددار (atm)، واحد فشار (atm) در این



شکل ۱ - ۱ طبقه‌بندی ماده



سنگ گرانیت (عکس ۱ بار بزرگ شده است).
بلورهای کوارتز، فلدسپار و میکا قابل مشاهده هستند.

خلاصه می‌شود، دستگاه جدید و ساده شده سیستم قدیمی تری است که در ۱۷۹۰ به وسیله آکادمی علوم فرانسه پیشنهاد شده بود. لاوازیه، یکی از اعضای کمیته تدوین دستگاه اولیه بود.
دستگاه بین المللی بر واحد اصلی و ۲ واحد تکمیلی (جدول ۱-۳) و پیوست آخر کتاب را بینید) استوار است. انتخاب استانداردهای اولیه برای واحدهای اصلی، اختیاری است. برای مثال، استاندارد اولیه جرم، یعنی کیلوگرم، به سورت وزن استوانه‌ای از آگار گرفته شده است و تعريف می‌شود که در مرکز بین المللی اوزان و اندازه‌ها در شهرک سور^۱ گذشته، استاندارد اولیه برخی از واحدهای اصلی تغییر کرده است و استانداردهای پرتوی نسبت به استانداردهای قبلی به کار گرفته شده‌اند.
اضافه یا اجزای واحدهای اصلی را با استفاده از پیشوندهای مشخص می‌کنند (جدول ۱-۴ را بینید). واحد اصلی طول، یعنی متر (m)، اغلب برای بیان فاصله بین شهرها به کار نمی‌رود. بلکه واحد بزرگ‌تری، یعنی کیلومتر (km)، برای این کار مناسب است. هر کیلومتر برابر با ۱۰۰۰ متر است و این نام با افزودن کیلول (به معنی $\times 10^{12}$) به

در بهترین حالت، به ما می‌گوید که جرم جسم به 10^{12} نزدیک تر است تا به 10^{13} یا 10^{14} گرم باشد، اگر جرم واقعی 8×10^{12} گرم باشد، مقدار به دست آمده در هر حال به صورت 8×10^{12} و تا سه رقم با معنی خواهد بود.

اگر یک صفر به توجه اندازه‌گیری اضافه کنیم، به این معنی خواهد بود که مقدار مورد نظر دارای چهار رقم با معنی (8×10^3) خواهد بود، که این نادرست و غمراه‌گذشته است. از مقدار 10^{12} این توجه گرفته می‌شود که مقدار درست جرم جسم بین 8×10^{12} و 10^{13} است. در حالی که ما در مورد رقم دوم اشاره اطلاعاتی نداریم زیرا مقدار جرم را تا اول اندازه‌گیری کردیم. گذاشت صفر بیانگر تامل عدم بودن دویین رقم اشاره ایجاد نمی‌کند. چون عدم قطعیت این اندازه‌گیری به ۳ مربوط است، این رقم پایانی دویین رقم با معنی گذشت شده باشد.

از سوی دیگر، حذف صفر در صورتی که با معنی پاشد، کار درست نیست. مقدار تعیین شده 0×10^{12} گرم که با دقت پاد شده تعیین شد، پایانی همین شیوه ثبت شود. ثبت 10^{12} یا این سنجش، درست نیست زیرا 10^{12} بیانگر دقتی با در رقمه با معنی به جای سه رقم با معنی در اندازه‌گیری ماست.

برای تعیین تعداد ارقام با معنی در یک اندازه‌گیری، می‌توان قواعد زیر را به کار برد.

۱- صفرهایی که برای تعیین محل اشاره به کار می‌روند با معنی نیستند. فرض کنید که فاصله بین دو نقطه برای 3cm باشد. این مقدار را به صورت 3cm و $0 \times 10^{10}\text{m}$ می‌توان نمایش داد زیرا 3cm با 10^{10}m است:

$$3\text{cm} = 0 \times 10^{10}\text{m}$$

هر دو مقدار دارای یک رقم با معنی هستند. صفرهای مربوط به مقدار دوم، فقط برای مشخص کردن محل میز به کار می‌روند و با معنی نیستند. دقت یک اندازه‌گیری با تغییر واحدها افزایش نمی‌پاید.

صفرهایی که تنتجه اندازه‌گیری باشد با معنی هستند. عدد $3 \times 10^{-5}\text{m}$ در اینجا هر چهار رقم با معنی است. صفرهایی که بعد از ۵ فرار دارند، با معنی هستند. اما، صفرهایی پس از ۵ با معنی نیستند، زیرا فقط برای مشخص کردن محل میز اضافه شده‌اند.

گاهی در تعیین شمار ارقام با معنی در عددی مانند 6×10^{-6} با اشکال رویه رومی شویم. راست، آیا صفرها ارقامی با معنی هستند با فقط محل میزی را تعیین می‌کنند؟ این گونه مسائل را با استفاده از روش نمادهای علمی (پیوست - ج - ۲ - را ببینید) می‌توان حل کرد. برای مشخص کردن محل میز از توان 1 استفاده می‌کنیم؛ بخش اول ارقام، با معنی هستند. در نتیجه مقدار 6×10^{-6} را بر حسب دقت اندازه‌گیری انجام شده، می‌توان به یکی از صورت‌های زیر نمایش داد:

جدول ۱-۴ پیشوندهای مربوط به واحدها در دستگاه متري

واحد	ضرب	پیشوند
ترا -	10^{12} یا	T-
گیگا -	10^9 یا	G-
مگا -	10^6 یا	M-
کیلو -	10^3 یا	k-
هектو -	10^2 یا	h-
دکا -	10^1 یا	da-
دسی -	10^{-1} یا $\times 10^{-1}$	d-
سانتی -	10^{-2} یا $\times 10^{-2}$	c-
میلی -	10^{-3} یا $\times 10^{-3}$	m-
میکرو -	10^{-6} یا $\times 10^{-6}$	μ -
نانو -	10^{-9} یا $\times 10^{-9}$	n-
پیکو -	10^{-12} یا $\times 10^{-12}$	p-
فمتو -	10^{-15} یا $\times 10^{-15}$	f-
آتو -	10^{-18} یا $\times 10^{-18}$	a-

گروه قرار دارد. کاربرد واحدهای دیگری که خارج از دستگاه متري قرار دارند توصیه نمی‌شود. برای مثال، مجمع بین المللی اوزان و اندازه‌ها، استفاده از کالواری به عنوان واحد انرژی را درست نمی‌داند. اگرچه تمامی دانشمندان، دستگاه متري را نباید فراموشند اما شمار کسانی که واحدهای SI را به کار می‌گیرند رو به فوتوی است. به هر حال تأکید شدید بر استعمال SI، مساله را در پر ازدراز، زیرا مستلزم کنار گذاشتن برخی از واحدهای رایج است. همچنین بخش بزرگی از اطلاعات و داده‌های موجود در متون شیمی بر حسب واحدهای غیر از SI ثبت شده است، بنابراین آشنایی با هر دستگاه جدید و قدیم ضرورت دارد.

۱-۳ ارقام با معنی

هر سنجشی، تا حدودی با عدم قطعیت همراه است. برای مثال، فرض کنید می‌خواهیم جرم شیشی را اندازه‌گیری کنیم. اگر از یک ترازوی کفهای استفاده کنیم، می‌توانیم جرم را تا 10^{-12} اندازه‌گیری کنیم. اما ترازوی دقیقی که معمولاً در شیمی به کار می‌رود، می‌تواند جرم یک جرم را تا 10^{-16}g را اندازه‌گیری کند. بنابراین درستی و دقت اندازه‌گیری به محدودیت ابزار مورد استفاده و همراه آزمایشگر بستگی دارد.

دقت یک اندازه‌گیری را با شمار ارقام به کار رفته برای ثبت آن نشان می‌دهند. ارقام مربوط به یک اندازه‌گیری صحیح را ارقام با معنی می‌نامند. این ارقام شامل تمام ارقام است که با قطعیت معلوم‌اند، به اضافه یک رقم تخمیچی:

فرض کنید که جرم جسمی با ترازوی کفهای 10^{12}g شده است. شناس این که جرم جسم دقیقاً 10^{12}g نه کمتر و نه بیشتر باشد، زیاد نیست. در مورد دو رقم اول (یعنی ۱ و ۲) اطمینان داریم؛ می‌دانیم که جرم جسم از 10^{12} بیشتر است. اما رقم سوم (یعنی ۳)، زیاد دقیق نیست.



ترازوهای جدیدی که وزن اجسام را با دقت mg (ار) به دست می‌دهند.
سمت چپ: ترازوی یک کفه‌ای شیمی تجزیه. سمت راست: ترازوی بر قبیل
اتصال به سایر دستگاه‌ها.

محاسبه را تا شمارهٔ صحیح ارقام بامعنی، گرد کرد.
الف - اگر رقم بعد از آخرین عددی که باید فقط شود کوچک‌تر از پاشد،
تمام ارقام ناخواسته را حذف می‌کیم و در آخرین عدد تغییری نمی‌دهیم:
 6234 به 6234 با سه رقم بامعنی تبدیل می‌شود.

ب - اگر رقم بعد از آخرین عددی که باید حفظ شود بزرگ‌تر از 5 ، یا
 5 همراه با ارقامی بعد از آن باشد، آخرین عدد را با 1 جمع می‌کیم
تمام ارقام ناخواسته را کنار می‌گذاریم:

75647 به 75647 به چهار رقم بامعنی تبدیل می‌شود.
 5547 به 5547 به دو رقم بامعنی تبدیل می‌شود.

ج - اگر رقم بعد از آخرین رقمی که قرار است حفظ شود 5 باشد و
پس از آن رقمی نباشد یا فقط صفر باشد، 5 را حذف می‌کیم و آخرین
رقم را، در صورتی که فرد باشد، با 1 جمع می‌زنیم و اگر زوج باشد،
بدون تغییر می‌گذاریم. در چنین مواردی، آخرین رقم گرد شده، زوج
خواهد بود. صفر را یک عدد زوج به حساب می‌آوریم.

3235 به 3234 به 3234 به سه رقم بامعنی گرد می‌شود.
 7647 به 7647 به 7647 به سه رقم بامعنی گرد می‌شود.
 105 به 105 به 105 به سه رقم بامعنی گرد می‌شود.

دلیل این روش اختیاری این است که به طور میانگین، مقداربر
از خوده شده و قادری حذف شده برا برآور سودن.

تعداد ارقام بامعنی در پاسخ یک محاسبه، به دقت مقداربر به کار رفته
در آن محاسبه بستگی دارد. مثلاً شیز زیر را در نظر بگیرید. اگر 234 گرم
نمک را در ظرفی به جرم 5248 قرار دهیم، جرم ظرف به اضافه نمک
چقدر خواهد بود؟ جمع ساده این ارقام، 5458 است. اما جرم نمک و
ظرف را نمی‌توان دقیقتر از جرم تک تک آنها به دست آورد. در نتیجه،
عدد حاصل باید تا 5458 گرد شود تا 5458 به دست آید.

۴- نتیجه یک عمل جمع یا پاسخ تقریب یا داد با همان تعداد ارقام
اعشاری موجود در عدد دارای کمترین رقم اعشاری گزارش شود. پاسخ
عمل جمع زیر

161.032
۵
 32.4524
 199.824

باید به صورت 1.199 گزارش شود، زیرا عدد 5 فقط یک رقم بعد از
میز دارد.

۵- پاسخ یک عمل ضرب یا تقسیم را بایز ابتدا تعداد ارقام بامعنی
مربوط به تا دقیق‌ترین عبارت به کار رفته در محاسبه گرد می‌کیم. نتیجه
عمل ضرب زیر

$152 \times 34 = 5128$

باید به صورت 34 گزارش شود، زیرا تا دقیق‌ترین عبارت محاسبه 24 را

1×10^4 (سه رقم با معنی)
 2×10^4 (دو رقم با معنی)
 3×10^4 (یک رقم با معنی)

راه دیگری برای نمایش اعدادی که پیش از ممیز دارای صفر هستند
وجود دارد. اگر محل ممیز در عددی مانند 2000 مخصوص شده باشد، در
آن صورت تمام ارقام پیش از ممیز بامعنی هستند. اگر از ممیز استفاده
ننده باشد، ارقام صفرها بمعنی خواهند بود. در نتیجه:

2000 دارای سه رقم با معنی است.
 200°C دارای یک رقم با معنی است.
 25°C دارای سه رقم با معنی است.
 25°C دارای دو رقم با معنی است.
 275°C دارای سه رقم با معنی است.

گچه این روشن، کاربرد همگانی ندارد، اما به دلیل مناسب بودنش در این
کتاب به کار می‌رود (و به بروای ثبت داد).
۲- مقادیر ممیزی، مانند آنچه که از تعریف عبارت‌ها حاصل
می‌شوند، دقیق‌اند. برای مثال، طبق تعریف، یک لیتر (L) برابر با
 1000 mL است. مقدار 1000 را می‌توان همراه با تعداد بینهایت رقم
بامعنی (صفر) پس از ممیز دانست.

مقادیر به دست آمده از راه شمارش نیز ممکن است دقیق باشند.
برای مثال مولکول H_2 شامل 2 آتم و نه 1 به 10^{-2} آتم است. اما
شمارش‌های دیگر غیر دقیق‌اند، برای مثال، جمعیت جهان با شمارش
واقعی افزاد به دست نمی‌آید، بلکه یک رکم تخمینی است.

۳- گاهی شمار ارقام حاصل از یک محاسبه پیش از شمار ارقام
بامعنی است. در این موارد، با استفاده از قیاعد زیر می‌توان نتیجه

با چند اینچ است را به صورت زیر حل می کنیم:

$$\frac{? \text{ in}}{2\text{,}54\text{cm}} = \frac{2\text{,}0\text{ m}}{1\text{,}0\text{ m}} \quad (A-1)$$

به این ترتیب یک معادله تساوی بین دو واحد، می تواند برای استخراج دو ضریب تبدیل به کار روید. این ضرایب عکس یکدیگرند. برای حل یک مسئله، ضریب تبدیل درست آن است که منجر به حذف واحدی شود که قرار است کنار گذاشته شود. توجه کنید که در این مرور، واحد حذف شونده در مخرج ضریب تبدیل است.

اگر ضریب تبدیل نادرستی برای حل یک مسئله به کار روید، واحد مربوط به پاسخ مسئله، همان واحد مورد نظر خواهد بود. برای مثال، اگر ضریب به کار رفته در حل معادله $1 - 8 = 12$ عکس ضریب درست بود، توجه چنین می شد:

$$\frac{? \text{ in}}{2\text{,}54\text{cm}} = \frac{1\text{,}0\text{ m}}{1\text{,}2\text{ m}} \quad (9-1)$$

این پاسخ اگرچه از نظر ریاضی درست است، نه مفید است و نه به پرسش مورد نظر پاسخ می دهد. چون این پاسخ فاقد واحدهای دلخواه است، فوراً می توان به وقوع اشتباه بپرداز. حل برخی از مسائل، مسئلمان به کارگیری چندین ضریب تبدیل است. اگر بخواهیم $12 = 12$ فوت را به سانتی متر تبدیل کنیم، می توان مسئله را به صورت زیر در آورد.

$$? \text{ cm} = 12\text{ ft}$$

چون $1\text{ m} = 3\text{ ft}$ ، می توان ضریب تبدیل $(12\text{ m}) / (1\text{ m}) = 12$ را به دست آورده که برابر با ۱ است. ضریب کردن مقدار داده شده در این ضریب تبدیل، قوت را با اینچ تبدیل می کند آنرا حل مسئله کامل نمی شود:

$$\frac{1\text{ m}}{3\text{ ft}} = \frac{12\text{ m}}{36\text{ ft}} = 3\text{ m}$$

ضریب لازم برای تبدیل اینچ به سانتی متر برابر با $(1\text{ m}) / (2\text{,}54\text{cm}) = 1\text{,}0\text{ m}$ است، درنتیجه:

$$\frac{? \text{ cm}}{2\text{,}54\text{cm}} = \frac{12\text{ m}}{1\text{,}0\text{ m}} \quad (10-1)$$

رابطه بین بrix از واحدهای دستگاه متری و دستگاه انگلیسی در جدول ۱ - ۵ آمده است.

مثال ۱ - ۱

اگر ژولیورن از واحدهای SI استفاده می کرد، عنوان کتابش، بیست هزار فرسنگ زیر دریا، به چه صورتی در می آمد؟ پاسخ را با سه رقم باعثی با واحد SI که کوچک ترین عدد آن بزرگتر از ۱ باشد بیان کنید. یک فرسنگ برابر با $3\text{,}45\text{ میل}$ ؛ ۱ میل برابر با $16\text{,}9\text{ متر}$ است.

(با دو رقم باعثی) است.

۱ - ۵ محاسبات شبیهای

در هر اندازه گیری پاید و احدها را به عنوان بخش جدا ای ناپدیدیر مستجذش، ذکر کرد. اگر بگوییم طول یک شیء ۵۰ است، منظور ما روش نخواهد بود. ممکن است این مقدار چیست: ۵۰، ۵م، ۵، ۵ پا؟ گاربرد دقیق واحدها، مسئله را ساده می کند و از استعمال خطای می کاهد. نهاد واحدهای مربوط به ارقام به کار رفته در محاسبات نیز باید مساند اعداد، دست خوش عملیات ریاضی مشابه شوند. در هر محاسبه ای، واحدهای یکسان در صورت و مخرج باید حذف شوند و واحدهای باقیمانده به صورت بخشی از پاسخ نشان داده شوند. اگر پاسخ مسئله دارای واحدهای مورد نظر نباشد، خطای در محاسبه رخ داده است.

بسیاری از مسائل را با استفاده از یک یا چند «ضریب تبدیل» می توان حل کرد. این ضرایب از نظر ریاضی مشابه شوند و برای تغییر واحد یک سنتجش به کار می روند. برای مثال، اگر ضریب کنید می خواهیم $1\text{ in} = 2\text{,}54\text{cm}$ باشد. ضریب تبدیل مود نیاز باید اینچ (in) دوچشمی برابر با $2\text{,}54\text{cm}$ باشد. ضریب تبدیل مود نیاز باید حل این مسئله از رابطه زیر به دست می آید:

$$2\text{,}54\text{cm} = 1\text{ in} \quad (4-1)$$

اگر دو طرف این تساوی را برابر $1\text{ in} = 2\text{,}54\text{cm}$ تقسیم کنیم، خواهیم داشت

$$\frac{2\text{,}54\text{cm}}{1\text{ in}} = 1 \quad (5-1)$$

ضریب $(1\text{ in}) / (2\text{,}54\text{cm}) = 1$ است. برابر با $1\text{ in} = 2\text{,}54\text{cm}$ کسر برابر ند. مسئله مورد نظر را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$? \text{ cm} = 5\text{ in}$$

با ضرب کردن در ضریب تبدیل به دست آمده می توان مسئله را حل کرد:

$$\frac{2\text{,}54\text{cm}}{1\text{ in}} = 12\text{,}9\text{cm} \quad (6-1)$$

چون ضریب تبدیل برابر ۱ است، این عمل تغییری در مقدار کمیت داده شده نمی دهد. توجه داشته باشید که نشانههای اینچ حذف شده‌اند و پاسخ مسئله با واحد دلخواه، یعنی سانتی متر بیان شده است. ضریب تبدیل دیگری نیز می توان از رابطه به دست آورد.

$$2\text{,}54\text{cm} = 1\text{ in} \quad (4-1)$$

با تقسیم کردن دو طرف معادله بر $2\text{,}54\text{cm}$:

$$1 = \frac{1\text{ in}}{2\text{,}54\text{cm}} \quad (7-1)$$

ابن ضریب که با ۱ برابر است، عکس ضریب قبلی می باشد و برای تبدیل سانتی متر به اینچ به کار می رود. برای مثال، $20\text{ سانتی متر} = 7\text{ in}$

جدول ۱ - ۵ رابطه بین برخی واحدهای انگلیسی و متری**طول**

۱ اینچ = ۲۵.۴ متر

حجم

۱ کوارت (مایع آمریکا) = ۹۴۶۳۳ لیتر

$$1 \text{ متر} \times 1 \text{ متر} \times 1 \text{ متر} = 1 \text{ متر}^3$$

جرم

۱ پوند = ۰.۴۵۳ کیلوگرم

۱ کیلوگرم = ۰.۴۵۳ پوند

حل

ابتدا فرسنگ را به متر تبدیل می‌کنیم، این تبدیل با استفاده از دو ضریب حاصل از داده‌های مسئله صورت می‌گیرد:

$$\frac{1\text{ متر}}{1\text{ فرسنگ}} \times \frac{1\text{ فرسنگ}}{1\text{ متر}} = \frac{1\text{ متر}}{1\text{ فرسنگ}} = 1\text{ متر}$$

توجه کنید که ضرایب بالا ابتدا فرسنگ را به میل و سیس میل را به متر تبدیل می‌کنند، هر ضریبی، واحد محrix را به واحد صورت در ضریب تبدیل برمی‌گرداند.

سپس، واحد پاسخ را واحد اصلی متر به واحد SI خواسته شده در مسئله تبدیل می‌کنیم، از جدول ۱ - ۴ نتیجه می‌گیریم که یک مگامتر (Mm) برابر 10^{12} متر و یک گیگا متر (Gm) برابر 10^9 متر است، مربوطه پاسخ می‌باشد (10^8 متر) بین دو قرار دارد، برای دستیابی به پاسخ بزرگتر از آن را به مگامتر تبدیل می‌کنیم:

$$\frac{1\text{ متر}}{1\text{ مگامتر}} \times \frac{1\text{ مگامتر}}{1\text{ متر}} = \frac{1\text{ متر}}{1\text{ مگامتر}} = 1\text{ متر}$$

بعنی، عنوان کتاب باید ۱۱۱ مگامتر زیر دریا باشد. چون محظوظ زمین تقریباً 10^4 Mm است، زیر دریایی «ناخدا نمه» فقط می‌تواند فاصله‌ای خود را و سه چهارم محیط زمین را بیماید، بدون آنکه به سطح آب باید.

درصد

ضرایب تبدیل را از درصدها نیز می‌توان به دست آورد، برای مثال، درصدهای به کار رفته برای بیان ترکیب آلیاژ به کار رفته در ساخت سکه‌های (تیکلی) را در نظر بگیرید، این سکه‌های تیکلی، در واقع شامل 75% جرمی مس و 25% جرمی نیکل هستند، با استفاده از این داده‌ها، در مجموع شش ضرایب تبدیل، با اختصار ضرایب عکس، می‌توان به دست آورد.

چون درصد به معنی بخش در صد بخش است، می‌توان دقیقاً صد واحد جرم از آلیاژ را برای استخراج ضرایب تبدیل در نظر گرفت، به این ترتیب، $100\text{ g Ag} + 25\text{ g Cu} = 125\text{ g}$ نیکل وجود دارد. اگر

نماد \approx را برای نمایش «هم ارز است با» به کار گیریم، می‌توان سه رابطه نزدیکی این آلیاژ مس - نیکل به دست آورد:

$$(11-1) \quad 100\text{ g Cu} \approx 75\text{ g Cu}$$

$$(11-2) \quad 100\text{ g Ni} \approx 25\text{ g Ni}$$

$$(11-3) \quad 100\text{ g Ag} \approx 75\text{ g Ag}$$

در استخراج این ضوابط، علامت \approx را مانند عالمات تساوی در نظر گیریم، در نتیجه، هر یک از این رابطه‌ها، دو ضریب به دست خواهد داد که مکنس نکدیگرند. ضریب لازم برای حل مسئله را می‌توان از رابطه‌ای به دست آورده که واحدهای مناسب را داراست، برای مثال، می‌توان ضرایب زیر را از رابطه اول (معادله ۱ - ۱) به دست آورد.

$$\frac{100\text{ g Ag}}{100\text{ g Cu}} = \frac{75\text{ g Cu}}{75\text{ g Cu}}$$

مثال ۱ - ۱

چند گرم نیکل باید به 20 g مس اضافه شود تا آلیاژ بیان شده در مثال ۱ - ۱ به دست آید؟

حل

برای پیدا کردن مقدار نیکل لازم، باید عبارت $Ag = 50\text{ g Cu}$ را در ضریبی ضرب کنیم، برای این کار به ضریب تبدیلی نیاز داریم که g Ni (در صورت g Cu) را به g (در مخرج) مربوط سازد، رابطه ۳ که قبلاً آمده، بود (معادله ۱ - ۳) می‌تواند این فاکتور را به دست دهد؛ فاکتور مورد نظر است: $Ag = 25\text{ g Ni} / 75\text{ g Cu}$.

$$20\text{ g Ni} \times \frac{25\text{ g Ni}}{75\text{ g Cu}} = 16.67\text{ g Ni}$$

مثال ۱ - ۲

نقره استریلیگ، آلیاژ شامل $Ag = 92.5\text{ g}$ و $Cu = 7.5\text{ g}$ است. با استفاده از kg رن نقره خالص، چند گیلوگرم نقره استریلیگ می‌توان ساخت؟

حل

برای اصلاح عبارت $Ag = 92.5\text{ g}$ به $Ag = 92.5\text{ kg}$ باید یک ضریب تبدیل به کار ببریم، برای این کار به ضریبی نیاز داریم که kg Ag را به kg استریلیگ تبدیل کند، ضریب لازم را از درصد نقره در نقره استریلیگ می‌توان بدست آورد.

* توجه کنید که نماد m شانše واحد اصلی یعنی متر است، نمادهای M - m به ترتیب، یا نگر پیشوندهای میلی - مگا - هستند، در نتیجه،

$$\begin{cases} m & \text{نماد متر است.} \\ mm & \text{نماد میلی متر است.} \\ Mm & \text{نماد مگا متر است.} \end{cases}$$

ساعت تبدیل کنیم، ضریب مورد نیاز ما از:

$$60 \text{ min} = 1 \text{ hr}$$

به دست خواهد آمد و برابر با $60 \text{ min}/1 \text{ hr}$ است. مسئله به صورت زیر حل خواهد شد.

$$\frac{6 \text{ km}}{1 \text{ hr}} = \left(\frac{16 \text{ km}}{1 \text{ min}} \right) \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \right) = \left(\frac{96 \text{ km}}{1 \text{ hr}} \right) = 96 \text{ km/hr}$$

چگالی

چگالی، از نسبت‌هایی است که به صورت گستردگی در شیمی به کار می‌رود. چگالی یک ماده، جرم آن ماده در واحد حجم است:

$$\frac{\text{جرم}}{\text{حجم}} = \text{چگالی} \quad (15)$$

چگالی را می‌توان بر حسب گرم در سانتی‌متر مکعب (g/cm^3) بیان کرد. حجم به کار رفته در اینجا، یعنی سانتی‌متر مکعب (cm^3)، حجم مکعبی که هر یال آن یک سانتی‌متر است. در مواردی، از کیلوگرم در متر مکعب (kg/m^3) نیز استفاده می‌شود. حجم مشخص شده در اینجا، یعنی متر مکعب (m^3)، حجم مکعبی که هر یال آن یک متر است.

برای مایعات یا محلول‌های مایع، واحد به کار رفته معمولاً گرم در میلی‌لیتر (g/mL) است. روابط زیر در مورد لیتر، طبق تعریف، دقیق هستند:

$$\begin{cases} 1 \text{ L} = 1000 \text{ cm}^3 \\ 1 \text{ L} = 1000 \text{ mL} \end{cases}$$

در نتیجه،

$$1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3 \quad (\text{دنیم})^3$$

و g/mL برابر است.

برای گازها، چگالی را اغلب به صورت گرم در لیتر (g/L) بیان می‌کنند. در جدول ۶ چگالی برخی مواد ماده است.

مثال ۱ - ۵

هنگامی که ارشمیدس^۱ روشن تعیین عبارت تاج زرین پادشاه هیرو، بدون صدمه‌زنی به آن را کشف کرد، فریاد زد «واقف، یاقف».^۲ او تاج را در ظرف پر آبی قفو برد. حجم آب سازیز شده از ظرف برابر با حجم تاج بود.

سپس با تعیین جرم تاج، چگالی آن را به دست آورد. چگالی تاج ساخته شده از زر ناب، برابر چگالی مطلاست (جدول ۶ - ۶ را ببینید).

غرض کنید که وزن تاج 8 g و حجم آن 1225 cm^3 و بوده است. (الف) چگالی تاج قدر است؟ (ب) آیا تاج از زر ناب است؟

به دست آورد. چون نفره استرلینگ شامل ۹۲٪ جرمی نفره است،

$$100 \text{ kg} \times 92\% = 92 \text{ kg Ag}$$

به این ترتیب، ضریب مورد نیاز $92 \text{ kg Ag}/100 \text{ kg}$ استرلینگ است. توجه کنید که شناسه Ag در مخرج این ضریب ظاهر شده است و با واحد داده شده در مقدار اولیه حذف خواهد شد:

$$\text{استرلینگ} = \frac{100 \text{ kg}}{92 \text{ kg Ag}} = \frac{100}{92} \text{ kg Ag}$$

$$= 2.22 \text{ kg}$$

نسبت

گاهی، اطلاعات به صورت یک نسبت داده می‌شود، یا پاسخ یک مسئله به صورت یک نسبت است. برای نمونه، می‌توان بهای یک واحد، فاصله طی شده در واحد زمان، و تعداد اجزای در واحد جرم را ذکر کرد. واژه در اینجا به معنی تقسیم است، و عدد مخرج نیز (دقیقاً) برابر ۱ است، مگر اینکه توضیح دیگری داده شده باشد. سرعت 5 km/h یک کیلومتر در ساعت عبارتست از $5 \text{ km}/1 \text{ hr}$. صورت و مخرج این نسبت هم ارزند:

$$50 \text{ km} \Rightarrow 1 \text{ hr} \quad (14-1)$$

در نتیجه، این نسبت‌ها را می‌توان به عنوان ضریب تبدیل - به صورت داده شده، یعنی $5 \text{ km}/1 \text{ hr}$ یا به صورت معکوس، یعنی $1 \text{ hr}/5 \text{ km}$ - به کار گرفت.

در مواردی، پاسخ مسئله به صورت یک نسبت در می‌آید. برای حل این مسائل از داده‌های مسئله برای رسیدن به نسبت خواسته شده (برای مثال، فاصله در زمان) استفاده می‌کنیم. سپس، واحدهای این نسبت را با استفاده از ضرایب تبدیل تغییر می‌دهیم تا نسبت به فرم دلخوا در آید.

مثال ۱ - ۶

سرعت (km/hr) اتومبیل که 16 km را در 13 دقیقه طی می‌کند، چقدر است؟

حل

چون نسبت دلخواه ما عبارت‌های فاصله در واحد زمان است، چنین نسبتی را از داده‌های مسئله استخراج می‌کنیم. گفته شده است که اتوبیل فاصله 16 km را در 13 min طی کرده است، در نتیجه می‌توان محاسبات خود را بر نسبت $16 \text{ km}/13 \text{ min}$ استوار کنیم:

$$\frac{6 \text{ km}}{1 \text{ hr}} = \left(\frac{16 \text{ km}}{13 \text{ min}} \right)$$

توجه کنید که واحدهای موجود در مخرج این ضریب را باید از دقیقه به

جدول ۱ - چگالی برخی از مواد جامد و مایع بر حسب g/cm^3

مس	۸۰۹۴
آهن	۷۸۶
طلاء	۱۹۳۲
سرب	۱۱۳۴
نقره	۱۰۵۰
روی	۷۱۲
آب	۱۰۰
ایلکل	۷۶۹۱
شیر	۱۰۳
پخت	۹۱۷
سنگ آهک	۷۴۰
الماس	۳۵۱

حل

مسئله را بر اساس نسبت جرم در حجم، با استفاده از داده‌های مسئله حل می‌کنیم:

$$\frac{9\text{ g}}{\text{cm}^3} = \left(\frac{5,976 \times 10^{-24}\text{ kg}}{10^{-83}\text{ m}^3} \right)$$

چون حجم داده شده در مسئله m^3 است باید وابطه‌ای بین cm^3 و m^3 برقرار کنیم. با حذف توان سوم هر در طرف معادله، داریم.

$$100\text{ cm} = 1\text{ m}$$

در نتیجه،

$$\begin{aligned} (10^3\text{ cm})^3 &= (1\text{ m})^3 \\ 10^9\text{ cm}^3 &= 1\text{ m}^3 \end{aligned}$$

ضریب به دست آمده از این معادله برابر $(10^9\text{ cm}^3 / 1\text{ m}^3) = 10^9$ است. برای تبدیل kg به g باید از رابطه زیر استفاده کنیم:

$$10^3\text{ g} = 1\text{ kg}$$

و ضریب $(10^9\text{ g}/1\text{ kg})$ را به دست آوریم. حل مسئله به صورت زیر در می‌آید:

(الف) چگالی تاج را با استفاده از معادله زیر به دست می‌آوریم.

$$\begin{aligned} \frac{\text{حجم}}{\text{چگالی}} &= \frac{\text{جرم}}{(15-1)} \\ &= \frac{1325\text{ g}}{1225\text{ cm}^3} \\ &= 10.9\text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

(ب) چگالی محاسبه شده، یعنی 10.9 ، بسیار کمتر از چگالی طلای نتاب $(\text{g}/\text{cm}^3) = 19$ (جدول ۱ - ۶ را ببینید) است. در نتیجه، طلای به کار رفته در ساختن تاج با فلزهای دیگر مخلوط شده بود.

روش ضریب تبدیل در حل مسئله

اگر مقادار مورد نظر یک نسبت نباشد:

۱ - واحدیان پاسخ مسئله، یک علامت تساوی، و کمیتی که در

مسئله داده شده و حل مسئله بر آن استوار است را تنویسید.

۲ - ضریب تبدیل به دست آورید که واحد مخرج آن با واحد کمیت داده شده بکساند. این ضریب را می‌توان از اطلاعات داده شده در مسئله یا از تعريف یک واحد به دست آورد.

۳ - ضریب تبدیل را بعد از کمیت داده شده (نوشته شده در مرحله ۱)، برای انجام عمل ضرب بنویسید. واحدها را حذف کنید.

پس از انجام این عمل ضرب پاسخ مسئله بر حسب واحد موجود در صورت ضریب تبدیل بیان خواهد شد.

۴ - اگر واحد به دست آمده، واحد موردنظر نباشد، ضریب

تبدیل های دیگری باید به کار گرفت. واحد مربوط به مخرج هر

ضریب باید با واحد مربوط به صورت ضریب قبل از آن حذف شود.

۵ - این عمل را تا جایی ادامه دهید که تنها واحد باقیمانده

همان واحد مورد نظر باشد.

۶ - با انجام عملیات ریاضی مشخص شده، پاسخ مسئله را به دست آورید.

۱ - واحدهایی بیان پاسخ مسئله (به صورت نسبت خواهند بود)،

یک علامت تساوی، و نسبتی با همان صورت کلی خواسته شده (برای مثال، زمان / فاصله) و قابل استخراج از داده‌های مسئله را بنویسید.

۲ - یک یا چند ضریب تبدیل برای تبدیل واحدهای مربوط به نسبت داده شده به واحدهای دخواه به دست آورید.

۳ - ضرایب تبدیل را بعد از نسبت داده شده در مسئله بنویسید.

در برخی موارد، واحد مربوط به صورت نسبت با واحدهای مخرج کمیت داده شده حلقه خواهد شد. در موارد دیگر، واحدهای مربوط به مخرج ضریب با واحدهای موجود در صورت کمیت داده شده حلقه خواهند شد.

۴ - عملیات ریاضی مشخص شده را انجام دهید و پاسخ مسئله را با واحدهای خواسته شده به دست آورید.

Weight وزن (بخش ۱-۲). نیروی گرانشی چاذهه که به وسیله زمین بر یک جسم وارد می‌شود.

Substance جسم (بخش ۱ - ۲). یک عنصر یا یک ترکیب. اجسام دارای خواص و ترکیب ثابت آنها.

卷二

- (ر) $6 \times 10^{-6} \text{ kg}$ (ج) $6 \times 10^{-6} \text{ kg}$ (ز) $6 \times 10^{-6} \text{ kg}$

۱- هر یک از مقادیر زیر را در سنجاق SI بین کنید به طوری که کوچکترین عدد دست آمده از آن بزرگتر از ۱ باشد.

(الف) $3 \times 10^{-5} \text{ m}$ (ب) $1 \times 10^{-7} \text{ m}$ (ج) $4 \times 10^{-6} \text{ m}$ (د) $6 \times 10^{-8} \text{ m}$ (ه) $2 \times 10^{-9} \text{ m}$ (ز) $1 \times 10^{-10} \text{ m}$

۲- لیتر عبارت است از یک دسی متر مکعب. (الف) متر مکعب چند لیتر است؟ (ب) ۱ لیتر چند متر مکعب است؟

۳- یک واحد انگلیکس (gram) که به صورت 10^{-3} m^3 تعریف می شود یک واحد SI نیست. (الف) چند تابوت ماسی از ۱ است؟ (ب) چند پکتوکرم مساوی ۱ است؟ (ج) شاعر اتم کل $9 \times 10^{-6} \text{ g}$ است. مقادیر آن را بر حسب تابوت اندازه گیری کنید.

۴- ۱۰۰۰ میکرون (micron) چند متر مکعب است؟

۵- عمق آب ۱۰۰ میکرون، مقدار آن را بر حسب متر چندراست؟ یک فانوں دقیقاً برابر ۶ است.

۶- ۲۰ در اندازه گیری های عطاری، اسکرولیپ برابر ۲۰ گندم، یک اویس برابر $4 \times 10^{-3} \text{ kg}$ و یک گرم $3 \times 10^{-5} \text{ kg}$ اویس است. جرم ۱ اسکرولیپ مساوی چند گرم است؟

۷- یک فلانگک بخوبی به صورت یک خشم می تعربی می شود. یک میلش فلانگک چند کیلوگرم است؟ روابط زیر به صورت دقیق وجود دارند:

۸- ۱ میل = $5 \times 10^{-8} \text{ m}$ فوت = $1 \times 10^{-2} \text{ m}$ اینچ = $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}$ پا = $1 \times 10^{-1} \text{ m}$ خود را به سه رقم پامنی به دست آورید.

۹- ۲۲ یک تن شامل چهار بشکه بزرگ است، یک بشکه بزرگ $5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ بشکه، یک بشکه $1.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ گالن، یک گالن $8 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ و یک لیتر 10^{-3} m^3 تن چند متر مکعب است؟

۱۰- ۲۲ یک روز در یک روز مردی $8 \times 10^{-8} \text{ m}^3$ و زن $6 \times 10^{-8} \text{ m}^3$ است. (الف) یک روز مردی معادل چند روز زن است؟ (ب) یک سال در میزونی معادل چند روز در زمین است؟ (ج) یک سال مریض چند روز است؟

۱۱- ۲۲ یک روز در سیاره مشتری $10^{18} \times 10^{-8} \text{ m}^3$ است. (الف) یک روز مشتری معادل چند روز کره زمین است؟ (ب) یک سال مشتری معادل چند روز زمین است؟ (ج) یک سال مشتری چند روز است؟

۱۲- ۲۵ **فارا** (volt) میزان از خورشید 10^{-8} J است که به صورت یک واحد نجومی (volt) تعریف می شود. شاعر متسط مداره ام در اطراف زمین $2 \times 10^{18} \text{ V}$ است. شاعر متسط زمین در اختیار $6 \times 10^{18} \text{ V}$ است. فارا میزان از ماده معادل چند گردش در پیرامون محيط کره زمین در استوا است؟

۱۳- ۲۶ **سنجاق** متری برای استفاده امداد روزمره استخراج شود، پارچه بر حسب متر خوش خواهد شد (نوار)، شیر بر حسب لتر (کنت) است. (الف) میلی متر و گوشت بر حسب کیلوگرم (kg) است (ب) پوند بر حسب کیلوگرم است (ج) کیلوگرم است.

۱۴- ۲۷ یک پانت $1 \times 10^{-10} \text{ m}$ برابر 10^{-10} m است. هر یک میلی متر چند درصد افزایش پیدا می کند؟ (الف) بارچه: 10^{-10} m به جای ۱ پانت (ب) شیر: 10^{-10} m به جای ۱ کارت (ج) کوشک: 10^{-10} m به جای ۱ پوند.

۱۵- ۲۷ یک سنتی چوب که پک شده به ارتفاع ۴ فوت و طول ۶ فوت و ضخامت ۴ فوت 10^{-10} m حجم دارد. هر یک نئن بر حسب m^3 چقدر است؟

۱۶- ۳۰ مسائل مشکل تر با مشخص شده اند. پاسخ مسائل فقره در پیوست آخر کتاب آمده است.

۱۷- ۳۱ مذکور زیر را پاکیزگی مقابله کنید: (الف) کافون پیکانی حجم، قانون سیستم های میان: (نرو ترکیب، عنصر؛ (ج) وزن، حرم؛ (د) شیمی، آسی، پویشی؛ (م) مکانیک، مکانیکی متر.

۱۸- ۳۲ غایقی زیر را پاکیزگی مقابله و مقابله کنید: (الف) محلولتر، ترکیب؛ (ب) مخلوط نامهمگن، محلول همگن؛ (ج) شفیر فیزیکی، تغیری میانی؛ (د) جرم کی شن، چگالی کی شن؛ (ز) زر، (س) فلز؛ (ک) آه، (ه) مر، (و) 10^{-10} cm^3 .

۱۹- ۳۴ نام عناصری که شانه های آنها در زیر آمدند است را به دست آورید: (الف) Fe؛ (ب) Cl؛ (ج) Cr؛ (د) Na؛ (ز) Pb.

۲۰- ۳۴ نام عناصری که شانه های آنها در زیر آمدند است را به دست آورید: (الف) Cl؛ (ب) Cr؛ (ج) Mg؛ (د) Mn؛ (ز) Cl.

۲۱- ۳۵ شانه های عنصر زیر را به دست آورید: (الف) الومینیم؛ (ب) آلبیتومیون؛ (ج) فلز؛ (د) سیلیسیم؛ (ه) نتون.

۲۲- ۳۶ شانه های عنصر زیر را به دست آورید: (الف) جیوه؛ (ب) هیدروژن؛ (ج) هلیوم؛ (د) استرنسیم؛ (ه) قلع؛ (و) ترگستن.

۲۳- ۳۷ تعداد رفاهی های پامنی در هر یک از اعماق زیر را مشخص کنید: (الف) $6 \times 10^{-6} \text{ m}$ ؛ (ب) 10^{-6} m ؛ (ج) $2 \times 10^{-6} \text{ m}$ ؛ (د) $4 \times 10^{-6} \text{ m}$ ؛ (ز) $6 \times 10^{-6} \text{ m}$.

۲۴- ۳۸ محاسبات زیر را تخمین دهد و باسخهای خود را تعداد صحیح از ارقام پامنی بیان کنید:

۲۵- $10^{-6} \text{ m} \times 10^{-6} \text{ m} \times 10^{-6} \text{ m}$ (الف) 10^{-18} m^3 (ب) 10^{-18} m^3 (ج) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) 10^{-18} m^3 (س) 10^{-18} m^3 (ه) 10^{-18} m^3 (و) 10^{-18} m^3 (ک) 10^{-18} m^3 (د) 10^{-18} m^3 (ر) 10^{-18} m^3 (م) 10^{-18} m^3 (پ) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ع) 10^{-18} m^3 (ز) $10^{-18} \$

در ساعت حساب کنید. (ب) شعاع متوسط سدار زمین در حول خورشید:

(اندازه گیری شده از مکرر خورشید) $1.8km$ 4.96×10^6 است. 4.52×10^6 روز (یک سال) طول می کشد تا زمین دار خود را به دور خورشید کامل کند. سرعت چرخش زمین بجز خودش برش بحسب میل بر ساعت و متر نایاب است. 2.43×10^7 m/s است.

۱-۱ (الف) شعاع استوانی عبارت از:

زمینی طول می کشد تا عبارت چرخش کامل در حول محور خود داشته باشد. سرعت چرخش استوانی عبارت در دور محور خودش برش بحسب میل بر ساعت و متر نایاب است. (ب) شعاع متوسط سدار عبارت از میزان سرعت از طرف رخوردید (اندازه گیری شده از مکرر خورشید) $1.8km$ است.

دوز نیز (یک سال در عبارت) طول میل بر ساعت حوت عبارت در حول خورشید 5.76×10^6 روز است.

دیدم بر حسب g/cm^3 چقدر است؟

۱-۲ ورز یک مکعب $15cm$ سانتی متری سطیح $3.28kg$ است. چگالی $2.55kg/cm^3$ چقدر است؟

۱-۳ وزن یک مکعب $2.5kg$ سانتی متری سطیح $3.28kg$ است.

چگالی پلاستیک بر حسب g/cm^3 چقدر است؟

۱-۴ چگالی کالاس g/cm^3 ۳ است. حجم یک قطعه الماس $4cm^3$ قیطری چقدر است؟ یک قیطر برابر mg است.

۱-۵ چگالی کالاس g/cm^3 ۰.۷۶ و گرافیت g/cm^3 ۲.۲۶ است. هر در ترکیب کربن خالص آن 2.01 کربن (الف) به صورت الماس، (ب) به صورت کالاس، (c) به صورت گرافیت چه جرمی را شغال می کند؟

۱-۶ $1.01kg$ جرم خورشید 1.991×10^6 و چگالی آن $4.1g/cm^3$ است. حجم خورشید m^3 چقدر است؟

۱-۷ $1.01kg$ جرم خورشید 1.995×10^6 و چگالی آن 5.975×10^6 است. حجم زمین m^3 چقدر است؟

۱-۸ چگالی هوای خشک در شرایط معین $0.05g/cm^3$ است. جرم هوای موجود در یک اتاق به عرض $5m$ ، طول $8m$ و ارتفاع $4m$ چقدر است؟

۱-۹ $2.428m$ اعماق متوسط یک استخراج شنا به عرض $5m$ و طول $10m$ برای $2.75m$ است. چگالی آب $1.0g/cm^3$ است. جرم آب این استخراج هنگامی که بر پاشد چقدر است؟

۱-۱۰ یک بشکه نفت خام $13.6L$ تن متري وزن دارد. تن متري دقیقاً $1.000kg$ است. یک بشکه $8.9L$ حجم دارد. چگالی نفت خام بر حسب g/mL چقدر است؟

۱-۱۱ چگالی روغن نارگیل $1.07ft^3$ بودن 5.77 است. حجم آن بر حسب cm^3 چقدر است؟ روایت زیر حقیقت آن:

$$1ft = 12\text{ in}, 1\text{ in} = 2.54cm$$

$$1\text{ in} = 1.01 \times 10^{-15}\text{ m} = 1.01 \mu m$$

۱-۱۲ جرم سیاره و نوئن T_g چقدر است؟ پایش خود را در دستگاه S_1 کنید که کوچکترین رونق آن بزرگتر از 1 است.

۱-۱۳ چگالی ساریه کوکان شرکت تمام سیارات دیگر (نحوی کمتر از آب) $2.26g/cm^3$ است. 1.88×10^3 و چگالی آن $2.05g/cm^3$ است.

۱-۱۴ اسید اسپویزی چگالی کوکان نیست. اسید اسپویزی چگرم کوکان $9.05g/cm^3$ است. با استفاده از این داده ها حجم سیاره کوکان را با زین مقایسه کنید.

۱-۱۵ لوله خلیل بلندی به مساحت سطح مقطع cm^2 10 تا ارتفاع cm 77 بر جوهر $1.0g/cm^3$ پوشیده است. درصورت که در این لوله همودرن جیوه ای پرسزیم ارتقای این چقدر خواهد شد؟ چگالی جیوه $1.6g/cm^3$ و آب $1.0g/cm^3$ است.

۱-۱۶ مکعب به خوبی با ساقمه های کوچک آختن پر شده است. وزن تقریبی این مکعب، وقتی آب پر شود، 0.96 در 1.09 است. اگر به جای آب از اتیل الکل استفاده کنیم وزن این 0.77 است. طول یک این مکعب چقدر است؟ چگالی های مربوطه را متوابد در حدود $1 - 6$ پیدا کنید.

مقدمه‌ای بر نظریه اتمی



نظریه دالتون، در مفهوم کلی خود، هنوز هم معتبر است، اما نخستین اصل او باید اصلاح شود: (اللون بر این باور بود که تمام اتم‌های یک عنصر دارای جرم اتمی بمسان هستند). امروزه می‌دانیم که بسیاری از عناصر شامل چندین نوع اتم هستند که از لحاظ جرم مقاولات آن را ایزوتوپ‌ها را در پیشش -2 (بیست و دو). ولی می‌توان گفت که تمام اتم‌های یک عنصر از لحاظ شیمیایی یکسان‌اند و اتم‌های یک عنصر با اتم‌های عنصر دیگر تقاضوت دارند. به علاوه، برای اتم‌های هر عنصر می‌توان جرم میانگینی که کار برد. در اغلب محاسبات، می‌توان یک عنصر را دارای فقط یک نوع اتم با جرم میانگین در نظر گرفت.

اللون چندهای کمی نظریه خود را از دو قانون مربوط به تغییر شیمیایی استخراج کرد:

۱ - قانون پذیرایی جرم که می‌گوید طی یک واکنش شیمیایی تغیر قابل سنجش در جرم سوزن نمی‌گیرد، برای دیگر، جرم کل تمام ماده درگیر در یک واکنش شیمیایی با جرم کل تمام فراورده‌های واکنش برابر است. اصل دوم نظریه دالتون، این موضوع را تبیین می‌کند، زیرا در این فرایندها، اتم‌ها نه به وجود می‌آیند و نه از این می‌روند، و جرم کل تمام اتم‌های وارد شده در یک واکنش شیمیایی، صرف نظر از شیوه گروه‌بندی اتم‌ها، ثابت است.

۲ - قانون نسبت‌های معین می‌گوید که یک ترکیب خالص همیشه شامل عناصر بمسان با نسبت جرمی بمسان است. اصل سوم نظریه دالتون بیانگر این قانون است. چون یک جسم معین، نتیجه ترکیب اتم‌های دویسته دارد، نسبت اتم‌های دویسته با نسبت اتم‌های دویسته دارد. موجود در آن جسم ثابت است.

براساس این نظریه، دالتون توائست قانون سوم ترکیب شیمیایی، یعنی قانون نسبت‌های چندگانه^۵ را بیان کرد. بر مبنای این قانون، هنگامی که دو عنصر A و B پیش از یک جسم تشکیل دهند، نسبت مقداری از A که در این احجام با مقدار تابیخ از B ترکیب شده است، عده‌های صحیح و کوچکی خواهد بود. برای مثال، کربن و اکسیژن دو ترکیب شیمیایی تشکیل می‌دهند: کربن دیوکسید و کربن موونکسید. در کربن دیوکسید، دو اتم اکسیژن با یک اتم کربن ترکیب شده‌اند. بایاران، هنگام مقایسه این دو ترکیب می‌بینم که جرم اکسیژن ترکیب شده با

نظریه اتمی، سنگ بنای شیمی جدید است. درک ساختار اتمی و راه‌های برهم کش اتم‌ها، محور درک شیمی است. در این فصل، نگاهی به نظریه اتمی می‌اندازیم. در فصل ۶ (ساختار الکترونی اتم‌ها) و فصل ۷ (شیمی هسته‌ای)، این مبحث را گسترش خواهیم داد.

۱-۲ نظریه اتمی دالتون

بیان نخستین نظریه اتمی را معمولاً به یونانیان باستان نسبت می‌دهند. امّا ریشه این مفهوم حتی ممکن است در تمدن‌های کهن‌تر باشد. براساس نظریه اتمی لیوپیوس و دوسکوپیوس (سدۀ پنجم پیش از میلاد)، تقسیم ستمتر بازداده است. اینها را به دست می‌داد که قابلیت تجزیه شدن آنها ممکن نبود. واژه اتم از واژه بیونانی آتموس^۶ به معنی «پوشاننده» یا (تقسیم‌نایابی) گرفته شده است. اوسط سده چهارم پیش از میلاد، نظریه اتمی را تأثیرگرفت. او برای بار بار بود که ماده را می‌توان به فعات بیانی به ذرات کوچکتر و گوچکتر تقسیم کرد.

نظریه‌های داشتماندان بیان بر پایه تفکر محض استوار بود، نه بر آزمایش‌های طراحی شده، نظریه اتمی، به مدت دو هزار سال، به صورت گمان‌محض باقی ماند. رابرتس بولول در کتاب مایلش به نام کیمیاگر شکاک (۱۶۶۱ میلادی) و ایوانک نیوتون در کتاب مایلش به نام پرینکیپیا^۷ (۱۶۸۷) و اوپنیکس^۸ (۱۷۰۴)، وجود اتم را پذیرفتند. ولی آن نظریه اتمی که رویداد بر جسته‌ای در پیشافت علم شیمی به شمار می‌رود، طی سال‌های ۱۸۰۳ - ۱۸۰۸ توسط جان دالتون^۹ بیان شد. پس از این نظریه اتمی که تمام اجسام از اتم تشکیل شده‌اند، امّا دالتون گامی فراتر نهاد. نظریه اتمی دالتون، قرین تغییر شیمیایی را تبیین می‌کرد. دالتون با گماردار جرم نسبی به اتم‌های عناصر مختلف، این مفهوم را به صورت کمی در آورد. مهم‌ترین اصول پیشنهادی دالتون عبارتند از:

- ۱ - عناصر از ذرات سیار بیزی به نام اتم تشکیل شده‌اند. تمام اتم‌های یک عنصر، بمسان‌اند، و اتم‌های عناصر مختلف، مقاولات آنند.
- ۲ - ترکیب شیمیایی شکلی می‌باشد: کربن دیوکسید و کربن موونکسید. در این واکنش‌ها، هیچ اتفاقی به وجود نمی‌آید با این نمی‌رسد، و هیچ یک از اتم‌های یک عنصر به اتمی از عنصر دیگر بدلند نمی‌شود.
- ۳ - یک ترکیب شیمیایی، نتیجه ترکیب اتم‌های دو یا چند عناصر است. نوع اتم‌های موجود در یک ترکیب و نسبت آنها همیشه ثابت است.

1. Atoms

2. Principia

3. Optiks

4. John Dalton

5. Law of multiple proportions

نتیجه رساند که این پرتوها جریانی از ذرات سریع دارای بار منفی هستند. این ذرات، همان طور که استونی پیشنهاد کرد، بود الکترون نامیده شدند. الکترون‌هایی به دست آمده از کاتد، صرف‌نظر از نوع فلز به کار رفته به عنوان کاتد، یکسان‌اند.

چون بارهای نامنهم میکنند، جذب می‌کنند، جریان الکترونی تشکیل دهنده اشمه کاتدی، هنگامی که دو صفحه دارای بار مخالف در در طرف مسیر آنها قرار داده شود، به سمت صفحه دارای بار مخالف جذب می‌شوند (شکل ۲ - ۱، ج). به این ترتیب، این پرتوها از مسیر مستقیم خود در یک میدان الکتریکی، متوجه می‌شوند. درجه انحراف، تابع دو عامل است:

۱- با انداده از بارهای بار قوی، نسبت مستقیم دارد. ذرهای بار قوی، پیش از ذرهای بار ضعیف متوجه می‌شود. در نتیجه میزان انحراف با افزایش افزایش می‌پابد.

۲- با حجم ذرهای بار قوی m نسبت معکوس ذرهای بار قوی که جرم سنگین‌تری داشته باشد، کمتر از ذرهای بار قوی متوجه می‌شود. به این ترتیب، درجه انحراف از مسیر مستقیم، با $1/m$ متناسب است. بنابراین، ترکیب این عوامل، یعنی نسبت بار به جرم، q/m تعیین‌کننده میزان انحراف الکترون‌ها از مسیر مستقیم در یک میدان الکتریکی است. الکترون‌ها در میدان مغناطیسی نیز متوجه می‌شوند. اما در این حالت انحراف به صورت عمودی بر میدان اعمال شده صورت می‌گیرد (شکل ۲ - ۱، الف). توجه کنید که در شکل، میدان مغناطیسی اعمال شده بر میدان الکتریکی عمود است، در نتیجه هر دو مسیر الکترون در یک صفحه قرار می‌گیرند.

در سال ۱۸۹۷، جوزف تامسون^۵ مقدار q/m را با مطالعه انحراف اشمه کاتدی در میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی تعیین کرد. تامسون شاعع اخنای انحراف ناشی از یک میدان مغناطیسی با قدرت معلوم را اثابازه‌گیری کرد (شکل ۲ - ۱، الف)، میس اوتواتست قدرت میدان الکتریکی لازم برای تواندن میدان مغناطیسی به گونه‌ای که انحراف مشاهده شود را محاسبه کند (شکل ۲ - ۱، ب). بر مبنای این آزمایش‌ها مقدار q/m را به دست آورد. مقدار جدید این نسبت به قرار زیر است:

$$q/m = -1.7588 \times 10^8 \text{ C/g}$$

کولون^۶ (C)، واحد SI برای الکتریکی است. یک کولون مقدار باری است که از یک نقطه در مدار الکتریکی در یک شانه عبور می‌کند، هنگامی که جریان یک آمپر باشد.

بار الکترون

نخستین اثابازه‌گیری دقیق بار الکترون، توسط رایرت آمبلیکان^۷ در ۱۹۰۹ انجام گرفت. در آزمایش میلیکان (شکل ۲ - ۲)، در اثر برخورد



جان دالتون (۱۸۰۴ - ۱۷۶۶)

جرم ثابتی از کربن دارای نسبت ۲ به ۱ است. پرسنی تجربی قانون نسبت‌های چندگانه، تأیید نیرومندی بر نظریه دالتون بود.

۲- الکترون

در نظریه دالتون و در نظریه‌های یوتیان، اتم را به عنوان کوچک‌ترین جزء ممکن ماده در نظر می‌گرفتند. در اوخر سده نوزدهم، معلوم شد که خود اتم نیز ممکن است از ذرات کوچک‌تری تشکیل شده باشد. آزمایش‌های اتجام شده با الکتریسیته، موجب پیدایش این تغییر دیدگاه شده بود.

در سال‌های ۱۸۰۷ - ۱۸۰۸، همفری داوی^۸ پیچ عتصبر (پاسیم، سدیم، کلسیم، استرالسیم، و باریم) را با استفاده از جریان الکتریسیته برای تجربه اجسام، کنست کرد. این کشف بزرگ باعث شد که داوی تصور کند نیروی جاذبه تگهدارانه انساصل در اجسام دارای ماهیت الکتریکی است.

در سال‌های ۱۸۳۲ - ۱۸۳۳، مایکل فارااده^۹ دست به انجام آزمایش‌های مهمی در الکترولیز شیمیایی فرایندیهای که در آنها ترکیبات به وسیله جریان الکتریسیته مصرف شده با مقدار ترکیب تجزیه شده را مطالعه کرد و قوانین الکترولیز شیمیایی (بخش ۲۰) را به دست آورد. جورج اسٹون^{۱۰} در ۱۸۷۴ بر مبنای قوانین فاراده پیشنهاد کرد که واحد اندیشه از بر الکتریکی به اینها و ایستاده در ۱۸۹۱ پیشنهاد کرد که این واحدها الکترون نامیده شوند.

(تلاطف برای عبور جریان الکتریسیته از خالی بولیوس پلوك^{۱۱} را به کشف اشمه کاتدی در ۱۸۵۹ داد. اگر بین دو الکترون در بین محفظه شیمایی که تا حد ممکن از هوا تخلیه شده است، یک و انتاز بوی برقرار شود، از الکترون مفعنی که کاتد نامیده می‌شود، اشعه جریان پیدا می‌کند. این پرتوها دارای بار منفی محسوب می‌شوند.)

دانشمند که در آنها پرتوها را بر صفحه پوشیده از مواد منترک می‌شوند که در اثر برخورد تاثیش، نوارآشانی می‌کنند، در اوخر سده نوزدهم، اشمه کاتدی به تفصیل مورده مطالعه قرار گرفت. نتایج به دست آمده از آزمایش‌های علمی، داشتماندان را به این

1. Humphry Davy

2. Michael Faraday

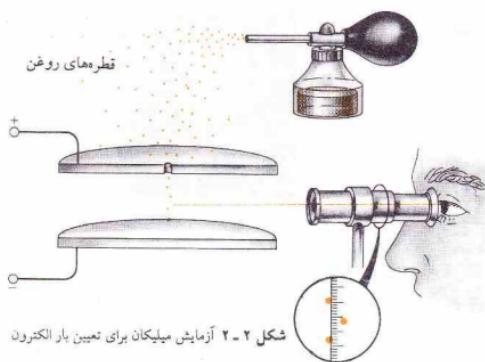
3. George J. Stoney

4. Julius Plücker

5. Joseph J. Thomson

6. Coulomb

7. Robert A. Millikan



شکل ۲ - آزمایش میلیکان برای تعیین بار الکترون
می توان محاسبه کرد.

چون یک قطره می تواند یک یا چند الکترون بگیرد، بارهای محاسبه شده با این روش، یکسان نیستند و ضربه های ساده از مقدار واحدی مستند که بار یک الکترون فرض می شود:

$$q = -e = -1.6022 \times 10^{-19} C$$

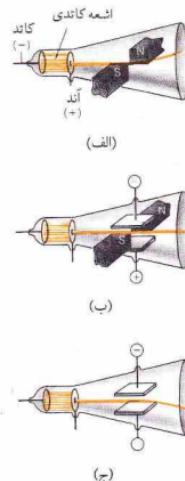
مقدار e واحد بار الکتریکی می تاند الکترون دارای بار منفی واحد، یعنی $-e$ است. جرم الکترون را می توان از مقدار m و مقدار q محاسبه کرد.

$$m = \frac{q}{g/m} = \frac{-1.6022 \times 10^{-19} C}{-1.7588 \times 10^8 C/g} = 9.1096 \times 10^{-28} g$$

۳-۲ پروتون

اگر یک یا چند الکترون از یک اتم یا مولکول خشی جدا شود، باقیمانده دارای بار مثبت بایر با مجموع بار الکترون های جدا شده از آن اتم یا مولکول خواهد بود. یک یا چند الکترون از یک اتم شون (نماد، Ne) جدا شود، یک بیون $+Ne$ به دست می آید؛ اگر دو الکترون جدا شود، یک بیون $+e$ تولید خواهد شد، و همین طور از ذرات مثبت (بیون های مثبت)، در اثر جدا شدن الکترون از اتمها یا مولکول های موجود در گاز داخل لوله تخلیه الکتریکی، به علت برخورد با اشعه کاتدی تشکیل می شوند. این ذرات مثبت به سوری الکترون های منفی می آورند اگر در الکترون سوراخ هایی ایجاد شود بیون های مثبت از آنها می گذرند (شکل ۲ - ۳ - ۲) را ببینید). الکترون های اشعه کاتدی، به علت دارا بودن بار منفی، در جهت عکس (یعنی به سوی الکترون مثبت) می روند.

چویان بیون های مثبت که تختیین بار توسط گلدشتین^۱ در ۱۸۸۶ مشاهده شد، به اشعه مثبت مشهور است. انحراف پرتوهای مثبت در میدان های الکتریکی و مغناطیسی توسط ویلهلم وین^۲ (۱۸۹۸) و



شکل ۲ - ۱ انحراف اشعه کاتدی، (الف) در یک میدان مغناطیسی، (ب) در حالی که میدان های الکتریکی و مغناطیسی متوافق شده باشند، (ج) در یک میدان الکتریکی.

پرتوهای X با مولکول های تشکیل دهنده هوا، الکترون ها تولید می شوند. قطره های بسیار بیز ریزن، با گرفتن الکترون، بار منفی به دست می آورند. این قطره ها بین دو صفحه افقی جای می گیرند و جرم یک قطره با اندازه گیری سرعت سقوط آن معین می شود.

وقتی که می خواهیم بازدار شوند، سرعت سقوط قطره بسیار تغییری می کنند، زیرا قطره دارای بار منفی به وسیله صفحه فوقانی که دارای بار مثبت است جذب می شوند. مقدار بار می خواهیم را می توان طریق تنتیم کرد که قطره ریزن به صورت معلن باقی بماند و سقوط نکند. باز روی قطره ریزن را از روی جرم قطره و بار صفحه ها پس از انجام تنظیم بار،

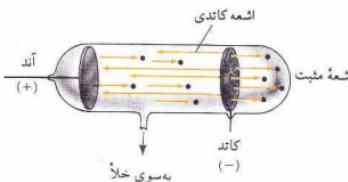


جوزف تامسون (۱۸۵۶ - ۱۹۴۰)

جدول ۲ - ۱ ذرات کوچک‌تر از اتم

نام	وزن	دزه	راصد جرم اتمی	جرم	بار
الکترون	9.1×10^{-31} کیلو	1.7×10^{-19} اتم	9.1×10^{-31} کیلو	5.4858×10^{-31} کیلو	۱-
پروتون	1.67×10^{-27} کیلو	1.67×10^{-19} اتم	1.67×10^{-27} کیلو	1.67×10^{-27} کیلو	۱+
نوترون	1.67×10^{-27} کیلو	1.67×10^{-19} اتم	1.67×10^{-27} کیلو	1.67×10^{-27} کیلو	*

* واحد اتمی (U) برابر با 1.67×10^{-27} کیلو است.
** واحد بار 1.67×10^{-19} کیلو است.



شکل ۲ - ۳ آشعة مثبت

چون این ذرات بدون بار هستند، تشخیص و تعیین ویژگی‌های آنها دشوار است. ولی جرم چادویک^۲ در ۱۹۳۲ نتیجه تحقیقات خود را درباره وجود نوترون منشأ ساخت. او توانت با استفاده از داده‌های بدست آمده از واکنش‌های سنتزی معین (فصل ۲۷ را ببینید) که در آنها نوترون را تولید شد، جرم نوترون را حساب کرد. چادویک با در نظر گرفتن جرم و انرژی تمام ذراتی که در این واکنش‌ها تولید و مصروف می‌شوند، جرم نوترون را که اندکی پیش از جرم پروتون است به دست آورد. جرم نوترون برابر با 1.67×10^{-27} کیلو، و جرم پروتون 1.67×10^{-27} کیلو است.

خواص الکترون، پروتون، و نوترون در جدول ۲ - ۱ آمده است. ذرات بنیادی دیگری نیز شناسایی شده‌اند. ولی برای مطالعه شیمی، ساختار اتمی را بر بنیادی الکترون، پروتون، و نوترون می‌توان به خوبی توضیح داد.

۵ - ۲ هسته اتم

رادیواکتیویته طبیعی

بعضی اتم‌ها مجموعه‌ای پایداری از ذرات بنیادی هستند. این اتم‌ها خود به خود آشعة منشأ می‌کنند و به این ترتیب به اتم‌های با هویت شیمیایی تفاوت تبدیل می‌شوند. این فرایند که واکنش‌کوتاه‌سازی پروتزوای نامیده می‌شود، توسط هاروی بکلر^۳ در ۱۸۹۶ کشف شد. در سال‌های بعد، ارنست رادرفورد ماهیت سه نوع آشعة حاصل از اقسام رادیواکتیو طبیعی (جدول ۲ - ۲ را ببینید) را تبیین کرد، این سه نوع آشمه با سه حرف اول الفبای یونانی، یعنی آلفا (α)، بتا (β)، و گاما (γ) مشخص می‌شوند.

- ۱- تابش آلفا مرکب از ذراتی است که هر یک بار $+2$ و جرمی در حدود چهار برابر جرم پروتون دارند. این ذرات با سرعت 1.6×10^8 km/s (تفربی 5×10^5 متر/ثانیه) از اجسام رادیواکتیو خارج می‌شوند. هنگامی که ذرات α را برای تختنی باز مطالعه شدند، هنوز نوترون کشف نشده بود. اکتون‌مندانی که α را شامل γ پروتون و γ نوترون است.
- ۲- تابش بتا مرکب از جریانی از الکترون است که با سرعت

1. Ernest Rutherford

2. James Chadwick

3. Henri Becquerel

تا مسون (۱۹۰۶) مطالعه شد. مقادیر q/m با استفاده از همان روش به کار گرفته شده در مطالعه آشعة کاتنی تعیین شدند. هنگام استفاده از گازهای مختلف در لوله تخلیه، یون‌های مثبت مقاومتی به دست آمدند. در صورت استفاده از گاز هیدروژن، ذره مثبت به دست آمده، کوچک‌ترین جرم (یعنی بالاترین نسبت q/m) را خواهد داشت.

$$q/m = +9.5791 \times 10^4 \text{ C/g}$$

این ذرات را اکتون پروتون من نامیم و جزء اصلی ساختار اتم اینها هستند. پروتون دارای واحد بار مثبت (+e) است که مقدار آن برابر با بار الکترون اما با علامت مخالف است:

$$q = +e = +1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}$$

جرم پروتون که 1.67×10^{-27} برابر جرم الکترون است، از داده‌های بالا به دست می‌یابد:

$$m = \frac{q}{q/m} = \frac{+1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}}{+9.5791 \times 10^4 \text{ C/g}} = 1.67 \times 10^{-27}$$

۲ - ۲ نوترون

از آنجاکه اتم‌ها از نظر بار الکتریکی خنثی هستند، تعداد الکترون‌ها و پروتون‌ها در هر اتم باید برابر باشد. ارنست رادرفورد^۱ در ۱۹۲۰، برای توضیح جرم کل اتم‌ها وجود یک ذره بدون بار را در هسته اتم پیشنهاد کرد.



ارنست رادرفورد (۱۸۷۱ - ۱۹۳۷)

از هسته قوار دارند (پرون هسته‌ای) و به سرعت به دور آن می‌چرخدند. چون اتم از لحظات بار الکتریکی خنثی است، بار مثبت کل هسته (از پروتون‌های موجود در آن) برابر با ابار منفی تمام الکترون‌هاست. به این ترتیب شمار الکترون‌ها برابر با شمار پروتون‌هاست.

درک مقیاس و اعداد این الگو اهمیت دارد، اگر هسته‌ای کتان را به اندازه یک نوب تیس تصویر کنیم، در آن صورت حجم اتم پیش از ۱ میلی خواهد بود. چون بخش اعظم حجم اتم را فضای خالی تشکیل می‌دهد، پیشتر ذرات « مستقیماً از ورقه آماد می‌گذرد. الکترون‌ها که نسبتاً سبک هستند، توانی تواند ذرات سریع السیر و سرگردان تر از « را منحرف کنند. نزدیک‌شدن ذره مشتبه « به هسته اتم که مرکز بار مثبت است، منجر به دفعه‌زده آلتقا و کچ شدن مسیر مستقیم آن می‌شود. در مواردی نیز که یک ذره « به سه‌تامه اتصاب کند، آن ذره می‌تواند بولیدش بر می‌گردد. ترکیب اجزاء و پایداری هسته و در فصل ۲۷ مطالعه خواهیم کرد.

۶-۲ نعاده‌های اتمی

هر اتم به وسیله دو عدد مشخص می‌شود، عدد اتمی و عدد جرمی:
۱ - عدد اتمی، Z، نشان‌دهنده شمار واحدهای بار مثبت بر روی هسته است. چون پروتون بار +۱ دارد، عدد اتمی برابر با تعداد پروتون‌های هسته اتم است:

$$\text{شمار پروتونها} = Z \quad (1-2)$$

چون اتم از نظر بار الکتریکی خنثی است، در نتیجه عدد اتمی بسانگر تعداد الکترون‌های برون هسته‌ای در یک اتم ترکیب شده است.

۲ - عدد جرمی، A، یک اتم برابر با تعداد کل پروتون‌ها و نوترون‌های (که روی هم نوکلئون نامیده می‌شوند) هسته اتم است:

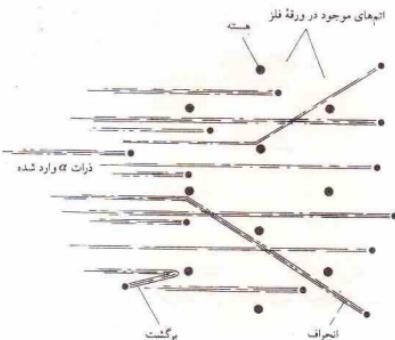
$$\begin{array}{l} \text{شمار پروتونها} + \text{شمار نوترونها} \\ A = \text{شمار نوترونها} + Z \end{array} \quad (2)$$

بداین ترتیب شمار نوترون‌های اتم (توان با کمک عدد اتمی) (شمار پروتون‌ها) از عدد جرمی (شمار پروتونها و نوترون‌ها بر هم) بدست آورده:

$$A = \text{شمار نوترونها} \quad (3-2)$$

عدد جرمی برابر با تعداد نوکلئون‌های یک هسته و نه جرم هسته است. با وجود این، عدد جرمی، عددی صحیح تقریباً جرم اتمی بر حسب واحد جرم اتمی (u) است، زیرا جرم پروتون و جرم نوترون، هر یک تقریباً برابر ۱۵ u و جرم الکترون در مقایسه با آنها قابل چشم پوشی است. اتم هر عنصر با تعداد شیمیایی آن عنصر مشخص می‌شود و عدد اتمی آن عنصر در قسمت بایان سمت چپ و عدد جرمی در قسمت بالای سمت چپ آن قرار داده می‌شود:

(۱) گوشه‌های دیگر ندام شیمیایی به ارقام دیگر تعلق دارد: قسمت بالای سمت راست بایار الکتریکی در صورتی که اتم باگرفتن از دستدادن الکترون به صورت بون از آنده باشد، قسمت بایان سمت راست بایار مشخص کردن تعداد اتم‌های موجود در یک مولکول با در یک فرمول واحد بر کار می‌رود.



شکل ۲-۴ انحراف و برگشت ذرات « در اثر هسته اتم‌های موجود در ورقه نثار در آزمایش رادرفورد (بدون توجه به مقیاس نمایش داده شده است).

جدول ۲-۲ انواع انتشار رادربور

پرتو	نماد	تکوپ اجزاء	بار یک جزء
آلفا	α	ذرات دارای ۲ پروتون و ۲ نوترون	
بتا	β	الکترون	
گاما	γ	ناش الکترومغناطیسی با طول موج بسیار کوتاه	

* امروزه انواع دیگری از ناش بیز شناخته شده‌اند، ولی این ناش‌ها از فرباتی اتم‌های ساخته شده با واکنش‌های هسته‌ای سرجشته گرفته‌اند که از اتم‌های موجود در طبیعت.

تفصیلی $130,000 \text{ km/s}$ (تقریباً ۴ رُ سرعت نور) سیر می‌کنند.

۳ - تابش گاما اصولاً نوعی نور پر از نورهای اشعه گاما بودن باز الکتریکی و شبیه به اشعه X است.

الگوی اتمی رادرفورد

در سال ۱۹۱۱ رادرفورد تجربه آزمایش‌هایی را متشتم ساخت که در آنها از ذرات « برای مطالعه ساختار اتم استفاده شده بود. باریکه‌ای از ذرات الکترون ورقه سیار نازکی (با ضخامت تقریباً 2cm در 4cm) از طلا، نقره، یا مس تابانید. بخش اعظم ذرات « مستقیماً از ورقه گذشتند. ولی برخی از آنها از مسیر مستقیم خود منحرف شدند و تعدادی نیز به سوی منبع تولید خود بازگشته (شکل ۲-۴).

۱ - پیش هسته در مرکز اتم، بخش اعظم جرم و تمام بار مثبت اتم در هسته متمرکز است. به این ترتیب، هسته اتم مرکب از پروتون‌ها و نوترون‌هاست که روی هم جرم هسته را تشکیل می‌دهند. بار مثبت هسته از وجود پروتون‌ها سرجشمه می‌گیرد.
۲ - الکترون‌ها که بخش اعظم حجم اتم را اشغال می‌کنند، در خارج

$$\text{بارکل الکترون‌ها} + \text{بارکل پروتون‌ها} = \text{بار بون} \quad (۵-۲)$$

$$\text{چون بار پیروتون، } +1 \text{ و بار الکترون، } -1 \text{ است،}$$

$$\text{تعداد الکترون‌ها} - \text{تعداد پروتون‌ها} = \text{بار بون} \quad (۶-۲)$$

توجه کنید که شمار پیروتون‌ها برابر با عدد اتمی Z است.



نماد $^{37}_{17}\text{Cl}$ ، نشان‌دهنده یک اتم کلر مرکب از ۱۷ پیروتون (Z) و ۱۸ نوترون ($A - Z$) در هسته و الکترون (Z) است. اتم سدیم با نماد $^{23}_{11}\text{Na}$ ، دارای ۱۱ پیروتون و ۱۲ نوترون در هسته و ۱۱ الکترون در گردش پیروتون هسته است.

مثال ۳ - ترکیب اجزای (الف) بون $+_{17}^{35}\text{Al}$ و (ب) بون $-_{15}^{35}\text{Cl}$ را مشخص کنید.

$$\begin{array}{c} \text{حل} \\ (\text{الف}) \end{array}$$

$$\text{شمار پیروتون‌ها} = Z \quad (۱-۲)$$

$$= 17$$

$$\text{شمار نوترون‌ها} = A - Z \quad (۳-۲)$$

$$= 35 - 17 = 18$$

تعداد الکترون‌ها در یک اتم خنثی برابر با تعداد پیروتون‌ها (در این مورد، ۱۷) است. چون، بون الومیمین دارای بار مثبت ۳ است، اتم الومیمین باید ۳ الکترون از دست داده باشد. در نتیجه، بون حاصل دارای ۱۰ الکترون است. توجه داشته باشید که:

$$\text{تعداد الکترون‌ها} - \text{تعداد پیروتون‌ها} = \text{بار بون} \quad (۶-۲)$$

$$\text{بار بون} - \text{تعداد پیروتون‌ها} = \text{تعداد الکترون‌ها} \quad (۷-۲)$$

در نتیجه،

$$17 - 10 = 7 = \text{تعداد الکترون‌ها}$$

این بون دارای ۱۳ پیروتون و ۱۴ نوترون در هسته و ۱۰ الکترون در بیرون هسته است.

(ب)

$$\text{شمار پیروتون‌ها} = Z \quad (۱-۲)$$

$$= 15$$

$$\text{تعداد نوترون‌ها} = A - Z \quad (۳-۲)$$

$$= 35 - 15 = 20$$

در این مورد بون دارای بار منفی ۲ است، یعنی باید دو الکترون گرفته باشد. چون اتم خنثی دارای ۱۶ الکترون (برابر تعداد پیروتون‌ها) است، بون دارای ۱۸ الکترون می‌باشد. با استفاده از رابطه $-2 - ۲ = 0$ می‌توان شمار الکترون‌ها را نیز به دست آورد:

$$\text{بار بون} - \text{تعداد پیروتون‌ها} = \text{تعداد الکترون‌ها} \quad (۷-۲)$$

$$15 - (-2) = 15 + 2 = 18$$

مثال ۴ - در اتم $^{39}_{9}\text{Ca}$ ، چند پیروتون، نوترون، و الکترون وجود دارد؟

حل

عدد اتمی $Z = 29$ نشان‌دهنده ۲۹ پیروتون در هسته اتم مس (نماد، Cu) و ۲۹ الکترون در بیرون هسته است. تعداد نوترون‌ها را می‌توان از

عدد جرمی $A = 63$ (A = ۶۳) و عدد اتمی $Z = 29$ (به دست آورده):

$$\begin{aligned} A - Z &= \text{تعداد نوترون‌ها} \\ &= 63 - 29 = 34 \end{aligned} \quad (۴-۲)$$

به این ترتیب، اتم مس مرکب از ۲۹ پیروتون و ۳۴ نوترون است. تعداد الکترون نیز در بیرون هسته وجود دارد.

مثال ۵ - نماد عنصر پتاسیم (K) دارای ۱۹ پیروتون، ۲۲ نوترون، و ۱۹ الکترون را بنویسید.

حل

چون اتم پتاسیم دارای ۱۹ پیروتون و ۱۹ الکترون است، عدد اتمی، Z برابر با ۱۹ می‌باشد. عدد جرمی اتم پتاسیم برابر با مجموع تعداد پیروتون‌ها و تعداد نوترون‌هاست:

$$\begin{aligned} A &= \text{تعداد نوترون‌ها} + \text{تعداد پیروتون‌ها} \\ &= 19 + 22 = 41 \end{aligned}$$

به این ترتیب نماد عنصر پتاسیم $^{39}_{19}\text{K}$ است.

ذرات بارداری که دارای یک یا چند اتم باشد، بون نامیده می‌شود. بون یک اتمی، در اثر اضافه شدن یا کم کشیدن یک یا چند الکترون از یک اتم به دست می‌آید. همگام تماشی یک بون، بار الکتریکی آن را در قسمت بالایی سمت راست نماد بون می‌آورند.

معادله‌های زیر در تفسیر بار یک بون این اهمیت دارند:

$$\text{بار منفی کل} + \text{بار مثبت کل} = \text{بار بون} \quad (۴-۴)$$

گروه‌های مشخصی از عناصر دارای خواص شیمیایی و فیزیکی مشابه هستند. یکی از این گروه‌ها شامل ملیم (He)، نتون (Ne) و آرگون (Ar)، کربنیون (Kr)، گزئنون (Xe) و دارون (Rn) است که گازهای بی‌رنگ با واکنش‌پذیری ناچیزند. این عناصر به گازهای نسبی مشهورند و عدد اتمی آنها به ترتیب، 3_3 ، $^{18}_{10}$ ، $^{10}_{10}$ ، $^{36}_{18}$ ، $^{54}_{26}$ و $^{86}_{36}$ است.

گروه دیگری از عناصر شامل فلزات نرم و واکنش‌پذیری مانند لیتیم (Li)، سدیم (Na)، پتانسیم (K)، رویدیم (Rb)، سزیم (Cs) و فرانسیم (Fr) است. این عناصر که به فلزات قلایایی مشهورند، دارای عده‌های اتمی $^{11}_{3}$ ، $^{23}_{11}$ ، $^{37}_{19}$ ، $^{45}_{23}$ ، $^{55}_{23}$ و $^{87}_{35}$ هستند.

مقایسه اعداد اتمی عناصر این دو گروه شان می‌دهد که در فهرستی از عناصر که بر مبنای افزایش عدد اتمی عناصر تنظیم شده باشد، در بین هر گاز نسبی، یک فلز قلایایی خواهد آمد. بهطور کلی مطالعه سارگردهای عناصر نشان می‌دهد که خواص آنها عناصری که بر حسب عدد اتمی تنظیم شده باشند، پسانالگر یک الگوی تکراری‌تر است. براساس قانون تناوبی، وقتی عناصر بر مبنای ترتیب افزایش عدد اتمی مطالعه شوند شbahت خواص آنها به صورت تناوبی اشکار می‌شود.

جدول تناوبی بر این قانون استوار است. این جدول پلان تنظیم شده است که عناصر مشابه در یک گروه قرار گرفته‌اند و خواص عناصر را از موقعیت شان در جدول می‌توان پیش‌بینی کرد. سه و پیزگی جدول تناوبی به قرار زیر است:

۱- عناصری که در یک سطح افقی در جدول قرار دارند، یک پریود یا تناوب را تشکیل می‌دهند. تناوب اول فقط شامل دو عنصر هیدروژن ($Z = 1$ ، H) و هلیم ($Z = 2$ ، He) است. تناوب دوم، مرکب از ۸ عنصر، از لیتیم ($Z = 3$ ، Li)، نتون ($Z = 4$ ، Ne) و تاتنون ($Z = 5$ ، Ar) است. تناوب‌های دیگر جدول، دارای 8 ، 18 ، 18 و 32 عنصر هستند.

عناصری با عده‌های اتمی 58 تا 72 و عناصری که در پایین جدول قرار دارند، لاتاپیده‌ایا لاتاپویده‌ایا نام دارند. این عناصر به تناوب ششم (که شامل 32 عنصر است) تعلق دارند، و در واقع باید پس از لاتاپید



واکنش بین فلزات قلایایی و آب شدید است. واکنش فلزات قلایایی سیگن ترا انجام می‌شود. در این آزمایش، فلز سلیم با آب واکنش داده و گاز هیدروژن و محلون سدیم هیدروکسید تولید می‌کند.

در نتیجه یون داده شده، مرکب از $^{16}_8$ نوترون، $^{16}_8$ پروتون در هسته و $^{18}_8$ الکترون در خارج از آن است.

مثال ۲ -۴

نماد (الف) یک یون فلورو (نماد F^-) که مرکب از 9 پروتون و 10 نوترون در هسته و 10 الکترون در خارج از هسته باشد، و (ب) یک یون آهن (نماد $^{56}_{26}Fe$) که شامل 26 پروتون، 30 نوترون در هسته و 24 الکترون در خارج از هسته باشد را بنویسید.

حل

(الف)

$$\text{تعداد پروتونها} = 9 \quad (1-2)$$

$$\text{تعداد نوترونها} + \text{تعداد پروتونها} = 9 + 10 = 19 \quad (2-2)$$

چون تعداد الکترون‌های این یون بیش از تعداد پروتون‌های آن است (۱۰ را با 9 مقایسه کنید)، بار آن -1 است، یعنی:

$$\text{بارکل الکترونها} + \text{بارکل پروتونها} = \text{بار یون} \quad (5-2)$$

به این ترتیب، نماد این یون $^{16}F^-$ است. (ب)

$$\text{تعداد پروتونها} = 26 \quad (1-2)$$

$$\text{تعداد نوترونها} + \text{تعداد پروتونها} = 26 + 30 = 56 \quad (2-2)$$

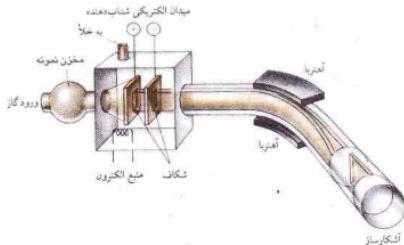
تعداد پروتون‌های این یون، 26 و تعداد الکترون‌هایش 24 است. در نتیجه بار آن، $+2$ است، یعنی:

$$\text{بارکل الکترونها} + \text{بارکل پروتونها} = \text{بار یون} \quad (5-2)$$

نماد این یون $^{56}Fe^{+2}$ است.

۷-۲ عدد اتمی و جدول تناوبی

جدول تناوبی و سیله سیار مفیدی برای مطالعه همبستگی خواص عناصر است. در فصل‌های آینده با تاریخچه، مبانی نظری و سیاری از کاربردهای جدول تناوبی آشنا خواهیم شد. در این بخش ویژگی‌های عمده جدول را برای آشنایی با آن مطرح می‌کنیم.



شکل ۲ - ۵ بخش‌های اصلی یک دستگاه طیف نگار جرمی

^{35}Cl	۱۷	نوترون	۱۸	پروتون	۱۷	الکترون
^{37}Cl	۱۷	نوترون	۲۰	پروتون	۱۷	الکترون

این اتمها، هر دو، دارای ^{17}Cl پروتون و ^{17}Cl الکترون هستند، ولی ^{35}Cl ایزوتوپها از نظر تعداد نوترون‌های هسته، و در نتیجه جرم اتمی متفاوت‌اند. خواص شیمیایی یک اتم عمدتاً به تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های آن اتم (که با عدد اتمی مشخص شده‌اند) بستگی دارد. بنابراین ایزوتوپ‌های یک عنصر دارای خواص شیمیایی بسیار مشابه (در اغلب موارد، غیر قابل تشخیص) هستند. برخی از ناصار فقط به صورت یک ایزوتوپ طبیعی وجود دارند (ایروی مثال، سدیم، بربیلیم، و فلورون)، ولی اغلب ناصار دارای بیش از یک ایزوتوپ هستند (قلع، ^{10}Be ، ^{11}Be).

برای تعیین نوع ایزوتوپ‌های یک عنصر، جرم دقیق ایزوتوپ‌ها، و مقدار نسبی از ایزوتوپ از «طیف نگار جرمی»^۱ استفاده می‌شود. در شکل ۲ - ۵، بخش‌های اصلی این دستگاه تماشی داده شده است. با بینایان راه ماره و سیله الکترون، بین‌های مثبت تولید می‌شوند. این بین‌های به یک شکاف اشاره دارند که بار منفی جذب می‌شوند. این دارات، در اثر تیزروی جاذبه شتاب می‌گردند و با سرعت زیاد از شکاف می‌گذرند. سپس، برایکه بین‌ها از میدان مغناطیسی، از سریع مستقیم خود متخرف می‌شوند و مسیری دارایی را طی می‌کنند همان‌طور که در مورد الکترون‌های اشعة کاتانی دیدیم، میزان اترافر ھر ذره به نسبت باره جرم آن، یعنی q/m ، است.

تمام بین‌هایی که از اخرين شکاف می‌گذرند، مقدار q/m بسانان می‌دارند، بین‌هایی که مقدار q/m آنها متفاوت است، با تنظیم میدان مغناطیسی یا ولتاژ به کار گرفته شده برای شتابده می‌شوند، و ادار

^۱ (Z) در جدول چای گیرند. جدول تناوبی، باید به صورت عمودی پر شود، بعضاً های مختلف جدا شوند، و لاثانیدها در موقعیت مناسب خود چای داده شوند. از چنین جدول پرس خودروهای استفاده نمی‌شود، زیرا ترسیم آن دشوار است.

در مورد عناصری با عدد اتمی < 9 تا > 13 که به آکتینیدها یا آکتینیدها مشهورند و پایین تر از لاثانیدها در ته جدول قرار دارند، نیز همین ملاحظات صادق است. این عناصر به تناوب هفت تعلق دارند و پایان بعد از آکتینید ($Z = 89$)، Cl ، Br ، I ، و

همه تناوب‌ها، بجز تناوب اول، با یک فلز فلایی شروع و به یک گار نجیب ختم می‌شوند. عنصر پیش از گاز نجیب در هر تناوب کامل (جزئ تناوب اول)، یک ناقلل سیار و اکشن پذیر، یعنی هالوژن است. هالوژن‌ها شامل فلورون (F)، کلر (Cl)، برم (Br)، یید (I)، و استاتین (At) هستند.

۲ - اتصالی که در یک ستون عمودی در جدول قرار دارند، یک گروه یا چاده از ناحیه شتاب کشیده می‌دهند. عناصر یک گروه، خواص شیمیایی مشابه دارند. تاکنون از سه گروه گازهای نجیب، فلزات فلایی، و هالوژن‌ها یاد کردی‌ایم. هر گروه با شناهدی مشخص می‌شود که شامل یک عدد رومی و حرف A است. با وجود این برای شخص کردن گروه‌ها یا چند نوع شناهدی گذاری استفاده می‌شود.

۳ - فلز، هصری با خواص شیمیایی ناقلل اتفاق نداشت. برای خوش‌هایی که کند و بدوان شکسته شدن، آن را می‌توان به شکل‌های مختلف در آورد. ولی یک ناقلل، هصری بی‌جلاست که رسانی خوبی برای گرما و الکتریستی نیست، و در حالت جامد، شکنده است.

خواص شیمیایی ناقلل با خواص شیمیایی ناقلل اتفاق نداشت. جدول $^{10}/8\%$ ناصار شناخته شده، فلز هستند. خط قطعی پله‌ای جدول تناوبی نمایشگر مرز تقریبی بین ناقلل و ناقلل اتفاق است. ناقلل در سمت راست این خط قرار دارند. اما، این تقسیم‌بندی چنان دقیق نیست. خواص عناصر نزدیک به این خط که کاهی شبه فلز یا نیمه فلز نماید می‌شوند، حد واسطه بین خواص ناقللها و ناقللهاست.

توجه کید که عناصر یک تناوب دارای خواص کونگاونی هستند. هر تناوب، بجز تناوب اول، با یک فلز سیار و اکشن پذیر - یعنی یک فلز قلایی - شروع می‌شود. این خواص، از عناصر دیگر تغییر می‌کند. خواص فلزی؛ به دریج کم رنگ می‌شوند و چای خود را به خواص ناقللی می‌دهند. تمام تناوب‌های بعد از تناوب اول، به یک ناقلل سیار فعال، یعنی یک هالوژن، و سپس به یک گاز نجیب ختم می‌شوند.

۲-۸-۱ ایزوتوپ

تمام اتم‌های یک عنصر، عدد اتمی یکسان دارند. ولی برخی عناصر مرکب از چند نوع اتم هستند که از احاطه عدد اتمی یکسان با یکدیگر متفاوت‌اند. اینها که دارای عدد اتمی یکسان ولی عدد جرمی متفاوت باشند، ایزوتوپ نامیده می‌شوند.

دو ایزوتوپ کلر در طبیعت وجود دارند: ^{35}Cl و ^{37}Cl . ترکیب اتمی این ایزوتوپ‌ها به قرار زیر است:

هر مقیاس جرم ائمی نسبی یا باید مبتنی بر گماردن اختیاری مقداری
یک اتم باشد که به عنوان استاندارد انتخاب می‌شود. دالتون اتم
سیدروزن را به عنوان استاندارد خود پرگردید و مقدار ۱ را به آن نسبت داد.
در سالهای بعد، شیعیدانان اکسپوژن طبیعی را به عنوان استاندارد
انتخاب کردند و وزن ائمی آن را دقیقاً ۱۶ اختیار کردند. استاندارد که
مروزه به کار نمود، اتم 12C است. واحد جرم ائمی (که تعداد n از 12C از
ارد) به صورت یک دوازدهم جرم اتم 12C تعریف می‌شود. در نتیجه،
جرم اتم 12C در این مقیاس دقیقاً 1.66×10^{-24} است.

جرم پروتون، نوترون، و الکترون بر مبنای مقیاس 12C در جدول

- ۱- آمده است: با وجود این، جرم یک اتم را نمی‌توان از این مقادیر حسابی کرد، بجز H^+ (که هسته آن شامل یک پروتون است)، مجموع جرم ذرات تشکیل دهنده یک هسته بزرگتر از جرم واقعی آن نسبت است.

ایشتن، هم از زی ماده و اتری را نشان داد. این تفاوت جرم بر حسب اتری، یعنی که آن چیزی است که اتریستگی هسته نامیده شده، است. اگر امکان گستین هسته وجود می‌اشت، اتریستگی، اتری از لازم برای انجام این کار می‌بود. فرانسیس مکوس، یعنی متکار کرد نو تولکون ها در هسته، باعث آزاد شدن اتریستگی و در نتیجه، کاهش جرم خواهد شد. (اتریستگی، در بخش ۲۷ - ۸ مورد بحث قرار گیرد).

برای تعیین جرم اتمی از طیف نگار جرمی استفاده می‌شود. اغلب اختراع، در طبیعت به صورت مخلوط ایزوتوپ‌ها یافت می‌شوند. درین موارد از طیف نگار جرمی برای تعیین مقدار نسبی ایزوتوپ‌های موجود در عصره و همچنین، جرم اتمی هر ایزوتوپ استفاده می‌شود. ادعاها به دست آمده برای کارشناسی مدل‌های شامل ^{75}Se ، ^{77}Se ، ^{78}Se (با جرم ۳۴۶ \pm ۹۶ ماتونی)، ^{79}Se (با جرم ۳۴۷ \pm ۲۳۳ ماتونی) و ^{82}Se (با جرم ۳۴۸ \pm ۹۶ ماتونی) است. هر تمعونه کل طبیعی میرک از این دو ایزوتوپ با همین

四百五

وزن اتمی عنصر کل، میانگین و وزنی جرم اتمی ابیزوتربهای طبعی است. یا جمع زدن جرم ابیزوتوبهای و تقسیم آن بر ۲ تنه توان میانگین را به دست آورد. مقدار به دست آمدene با این روش، در صورتی درست خواهد بود که تعداد اتمهای هر دو ابیزوتوب برابر باشد. اما، میانگین را با سرب کردن جرم اتمی هر ابیزوتوب در فراوانی جزئی آن و فروزاندن مقادیر به دست آمدene، می توان محاسبه کرد. فراوانی جزئی فروزاندن ابیزوتوب را می توان بدین شکل حساب کرد:

$$\text{Cl}_{17}^{35} \quad (\text{فراوانی}) \quad (\text{جرم}) \\ (=\text{٧٥٧٧}) \quad (=\text{٣٤٩٦٩}) = \underline{\text{٢٦٤٩٦}} \text{ u} \\ \text{Cl}_{17}^{35} \quad (\text{فراوانی}) \quad (\text{جرم}) \\ (=\text{٢٤٢٣}) \quad (=\text{٣٦٩٦٨}) = \underline{\text{٨,٩٥٧}} \text{ u} \\ \text{Cl}_{17}^{35} \quad (\text{فراوانی}) \quad (\text{جرم}) \\ (=\text{٣٥٣٥}) \quad (=\text{٣٦٩٦٨}) = \underline{\text{٣٥٣٥}} \text{ u}$$

۱۰. چون ارقام به کار رفته توسط دالتون برای محاسبه درصد اجزای تشکیل‌دهنده آب، بسیار نادقیق بودند، دالتون در واقع، جرم نسبی ۷ را برای اتم که عنصر آب است، مورد تأثیر نداشت.

به گذشتن ازین شکاف می‌شوند. به این ترتیب، اتوان یون‌های موجود را به صورت جداگاهی می‌توان از شکاف عبور داد. اسکارساز (دکتور) استگا، طیف نگار جرمی، شدت هرگز از ایاریکه‌های یونی راکه به مقدار نسبی، هر یک از ایزوتوپ‌های موجود سنتگی دارد، اندازه گنجی می‌کند.

Q-Y. Li et al.

نماد دو ایزوگروپ نقره ($Z = 47$, Ag) را بنویسید که یکی از آنها نقره و دیگری $\frac{1}{2}$ نقره و نیون در دارد.

1

هر یک از ایزوتوپ‌ها را با جمیع تعداد پرتوون‌ها و تعداد نوترون‌ها متران به دست آید:

$$A = \text{تعداد نوترون‌ها} + \text{تعداد پروتون‌ها}$$

$$= 47 + 60 = 107$$

$$= 47 + 52 = 99$$

در نتیجه نماد ایزو توپ‌ها، Ag_{10^7} و Ag_{10^9} است.

• 100 •

تمهار، ذرات سپیار کوچک هستند که توزین یکایک آنها غیرممکن است. یکی از متون چنین های را دانلون، تلاش او برای تعیین جرم منسی اتمها بود. دانلون، میستم خود را بر اتم هیدروژن بنا نهاد و جرم سایر اتمها را با جرم اتم هیدروژن مقایسه کرد. برای مثال به بیان شویه کار دانلون برای تعیین جرم اتمی اکسیژن مو پرداخت.

آب، شامل ۸۸٪ جرمی اکسیژن و ۱۱٪ هیدروژن است. دالون، به غلط فرض کرد که مولکول آب از یک اتم اکسیژن و یک اتم هیدروژن تشکیل شده است. به این ترتیب، جرم یک اتم اکسیژن و یک اتم هیدروژن به نسبت ۸۸/۲ به ۱/۲ است، تقریباً ۸۸ به ۱ است، نزدیکی می باشد. با گام‌دارن اختیاری جرم ۱ به هیدروژن، جرم اکسیژن تقریباً برابر ۸ می شود.^۱

فرمول بیشترینها دالتون برای آب، درست نبود. درواقع یک اتم اکسیژن با دو اتم هیدروژن ترکیب می شود. بنابراین، جرم یک اتم اکسیژن، تقربانی ۸ برابر جرم دو اتم هیدروژن است. اگر جرم یک اتم هیدروژن را اختیار کنیم، جرم دو اتم هیدروژن برابر با ۲ خواهد بود. بهینه ترینیتی، در این فیزیک، جرم سنسی یک اتم اکسیژن حدود ۸ برابر ۴ یعنی ۱۶ است.

اگرچه دالتون در گاردون جرم ائمه نسبی نسبی دچار خطای شد، اما ارزش کار او در تشخیص اهمیت داشت. جرم سنسی ائمه، مبنای حل کلی مسائل شیمیایی است. این مقاییر را اوزان نامیدند. گرچه این اصطلاح از ازخواه ای درست نیست (زیرا به جرم شاره دارد به وزن) اما به دلیل کاربرد طبیعی، جای خود را در متن شیمی، باز کرده است.

محلل: نفعی مخلوط همراه با (کناره) است

مقدار پذیرفته شده برای کلو، ۱۵ متر \pm ۳۵٪ است.
 جرم هیچ کدام از اتمانهای کلو، ۳۵٪ ۵۳٪ نیست، اما تصور چه اتمی راحت است. در اغلب محاسبات، بدون آنکه دجاج خطا شناسی می‌توانیم فرض کنیم که نمونه ای از یک عنصر مربک از فقط یک اتم باجرم میانگین، یعنی وزن اتمی است. این فرض معتبر است، زیرا یک نمونه بسیار کوچک از ماده، تعداد بسیار زیادی اتم وجود دارد، مثلث، تعداد اتمانهای موجود در یک قطره کوچک آب، بیشتر از جمیع انساست.

بجز چند مرود استشنا، این گونه مخلوطه‌ها درای رتکب ثابتی هستند. وزن ائم عناصری، یک مقدار میانگین است که بینگر جرم تمام آنها و فراوانی طبیعی آنهاست.

در طبیعت، چند نوع اتم کربن وجود دارد. اتم کربن ۱۲- که به عنوان استاندارد وزن ائمی به کار رفته است، قراراً توین اتم کربن است. هنگامی که درصد و جرم تمام ائم اتم‌های کربن را به حساب آوریم، جرم نسبی میانگین کربن طبیعی برابر با ۱۱ مر.^۱

خواهد بود که مقدار ثبت شده وزن ائم کربن است. وزن ائم حدود سه چهارم عناصر، مقدار میانگین ائم که بینگر شروع اتم‌های تشکیل دهنده هر عنصر می‌باشد. جرم نسبی هنار، جرم نسبی ایک نو اتم است. در چند توابعی داخل چند کتاب، عدد ائمی یک عنصر در بالای نماد آن عنصر و وزن ائمی در پایین نام عنصر مشاهده می‌شود.

از اوان ائمی، در یک چند جدول الفبا این ائم در داخل چند کتاب نمایش داده شده است.

مثال - ۲
کرین طبیعی، محلولی از ^{12}C و ^{13}C است. جرم اتمی ^{12}C ، دقیقاً 12u تعریف می شود، و جرم اتمی ^{13}C نیز 13u است. وزن اتمی کرین 12.01u است. در صد اتم ^{12}C در کرین طبیعی، چقدر است؟

5

معادله تعیین وزن اتم که به صورت زیر است:

اگر فراوانی ^{12}C را اختیار کنیم، در آن صورت، فراوانی ^{13}C برابر $(1-x)$ خواهد بود و در نتیجه:

$$(x)(12_{j=0\infty}) + (1-x)(12_{j=0\infty}) = 12_{j=11} \\ 12_{j=0\infty} x + 12_{j=0\infty} - 12_{j=0\infty} x = 12_{j=11} \\ -1_{j=0\infty} x = -0.999$$

امنهای C^{13} حدود ۹۸٪، تعداد کامل اتمهای کربن را تشکیل می‌دهند. مقدار سیار کمی از C^{14} نیز در طبیعت وجود دارد. ولی مقدار آن به حدی ناقیض است که در محاسبه وزن اتمی کربن می‌توان از آن
استفاده نکرد.

مثلاً ۲-۶ این عتصر Mg^{+2} را چهار رقم باعمنی به دست آورید؟

و زمانی Mg^{+2} اتم‌های Mg^{+2} (جرم، ۲۳) را می‌شوند.

با این توجه می‌توانیم را Mg^{+2} اتم‌های Mg^{+2} (جرم، ۲۵) را می‌شوند.

است.

حکیمہ مطالب

نظیره ائم جاید، ریشه در کارهای جان دالون دارد که نظریه خود را با قانون
پیاوی جرم و قانون نسبت های معین استوار کرد. دالون، قانون سرکوب
شیوه ای را پیشنهاد کرد.
پیاوی، پیاوی قانون نسبت های دلخواهانه را پیشنهاد کرد.
یک اند کوچک ترین دز روی تکبیک را با مدارهای پایه ای اضافه و
شکلی ترکیبات شیوه ای است، از فراتر از دز کم عنصر برای تکبیک با اتمهای دیگر تشکیل
شده است. فراتر پیاواید، پیاوی الکترون، پروتون، و نوترون، با استفاده از چند
آزمایش کلاسیک شناسایی شدند و موقوعت آنها در اتم منحصر گردید.
الکترون، بار مثبت، +، دارد، پروتون دارای بار مشتمل برای با بار الکترون
اما با علامت مخالف - است. نوترون، بار ندارد. جرم الکترون بسیار کوچکتر
از جرم و بتن ناتوان است.

که پخش اعظم حجم اتم را اشغال کرده، در پیرامون هسته قرار دارد. شمار الکترون‌ها و پروتون‌های هسته یک اتم خوش پر ابر است، در نتیجه کل بار منفی پرایر با کل بار مثبت است. تعداد الکترون‌های پرون‌های یک اتمی (اتم‌های پارا) بیشتر از تعداد پروتون‌های (یون‌های منفی)، با کمتر از تعداد پروتون‌های (یون‌های مثبت) است.

تعداد پروتون‌های موجود در هسته یک اتم با عدد مشخص من شود. تمام اتم‌هایی که پسر، این عدم پکسان دارند، موقعاً عناصر در جدول تناوبی، با عدد اتمی شان مشخص شوند. عناصر کسی در یک سطر اغفاری جدول قرار دارند، مگر آنکه یک تناوب با پرایر نامیده شود. شدن این عناصر مربوط به یک سنتون عکسی جدول دارای خواص شیمیایی مشابهاند و یک گروه تشکیل طبقه‌بندی می‌شوند.

ام است. اتم های یک عنصر که دارای جرم های متفاوت باشند، یعنی تعداد نوترون هایشان متفاوت باشد، ایزوتوپ نامیده می شوند. جرم یک اتم در مقایس میشی بر جرم

مفاهیم کلیدی

Acitnoids: actinoids
آنکتینیدها، آکتینوبلدها (بخش ۲ - ۷). عناصر با عدد اتمی ۹۰ (Thorium، Th) تا ۱۰۳ (Lanthanum، La) که بعد از عنصر آکتینیم (Ac)، (Z=۸۹) می آیند و معمولاً در پایین جدول تناوبی قرار می گیرند.

Alkali metals:
بسیار واکنش باری شامل لیتیم (Li)، سدیم (Na)، پتاسیم (K)، رویدیم (Rb)، سریم (Cs) و فراسیم (Fr).

Alpha particle, α : ذره آلتا، (بخش ۲ - ۵). ذرای که مرکب از دو پروتون و دو نوترون است و برعیشه برخی از هسته های رادیواکتیو پروتون مشتمل می شود.

Atom:
اتم های که با اتم های مسابر عناصر ترکیب می شود و احجام مختلف به وجود می اورند.

Atomic mass unit, u: واحد جرم اتمی، (بخش ۲ - ۶). یک واحد جرم که برابر با یک دوازدهم جرم یک اتم C است.

Atomic number Z: عدد اتمی (بخش ۲ - ۶). تعداد پروتون های موجود در هسته یک اتم از یک عنصر عدد اتمی یک اتم بدنی باشد، با تعداد الکترون های نیز برابر است.

Atomic weight: وزن اتمی (بخش ۲ - ۹). جرم میانگین اتم های یک عنصر نسبت به سیم یک اتم C که برابر با ۱۲ است.

Beta particle, β : الکترون سطح شده به سیله هسته ای رادیواکتیو می منع.

Binding energy: انرژی بستگی (بخش ۲ - ۹). انرژی لام برابر با یک فرایند پرسکی که در آن هسته به نوکلئون های تجزیه شود: این انرژی برابر با تفاوت بین مجموع جرم نوکلئون های هسته و جرم واقعی هسته است.

Cathode rays: اشعه کاتدی (بخش ۲ - ۲). جریان الکترونی سطح شده از کاند (الکترود) می درد و عبور الکتریسیته از یک حاشیه کار در فشار بسیار باشد.

Electron:
نوکلئون (بخش ۲ - ۵۵) که حامل یک بار منفی است و در خارج از هسته یک اتم قرار دارد.

Gamma radiation, γ : از تابش گاما، (بخش ۲ - ۵). یک فرم بسیار پر از نیزی از تابش که مشابه اشعه X است و از هسته های رادیواکتیو معنی سطح می شود.

Group family: گروه، خانواده (بخش ۲ - ۷). مجموعه ای از عناصر که در یک سطح عمودی در جدول تناوبی قرار دارند.

Halogens:
halogen (نحوکلئون) (بخش ۲ - ۷). گروهی از نافلکلری های سیار واکنش باریکنده ای که شامل فلورور (F)، کلر (Cl)، برم (Br)، بد (I) و استاتین (At) است.

Ion:
یون (بخش ۲ - ۷). ذرای مرکب از یک اتم با یک گروه از اتم ها که دارای بار الکتریکی باشد. یک یون، ممکن است دارای بار بیش از یک بار می باشد.

Isotopes:
ایزوتوپ ها (بخش ۲ - ۸). اتم های یک عنصر که دارای عدد نوترون های موجود در هسته باهم تفاوت دارند.

Lanthanoids: lanthanoids
لانتانیدها، لانتانوبلدها (بخش ۲ - ۷). عناصری با عدد اتمی ۵۸ (سریم، Cs) تا ۷۱ (لوترون، La) که در جدول تناوبی پس از آناتوم (La = ۵۷) قرار دارند و معمولاً در پایین جدول آمدند.

Law of conservation of mass:
قانون کمایی جرم (بخش ۲ - ۱). مطابق با این قانون مجموع میشی بر جرم

این اتم های یک عنصر که دارای جرم های متفاوت باشند، یعنی تعداد نوترون هایشان شامل جرم تمام ایزوتوپ های آن عنصر با توجه به فراوانی طبیعی آنهاست.

Unit electrical charge, e: واحد بار الکتریکی، (بخش ۲ - ۲). $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ عرب: مقدار بار پروtron و الکترون؛ پروtron دارای یک واحد بار منفی است.

- پرتوون باشد؟ (ج) چرا به دست آوردن این بار الکتریکی غیر ممکن است؟
- ۲ - ۳۲ - سی دارای دو ایزوتوب است: ^{63}Cu با جرم اتمی ۶۳ و وزن اتمی ۶۳،۰۴۶ و ^{65}Cu با جرم اتمی ۶۵ و وزن اتمی ۶۵،۰۷۸ هر یک از این دو ایزوتوب قدر است؟
- ۲ - ۳۳ - با استفاده از جدول تابعی تعیین کنید (الف) Cu در کدام تابع شیمیایی مشابه باشد؟
- ۲ - ۳۴ - (الف) ترکیب احیزای اتم ^{63}Cu را تعیین کنید.
- (ب) من در یون تولید می‌کنم: Cu^{+} و Cu^{2+} . هر یک از این یونها چند الکترون دارد؟
- ۲ - ۳۵ - ایزوتوب‌های نوون نخستین ایزوتوب‌های شناخته شده هستند. مثابر q/m زیر به دست آمدند: $^{17}\text{C}/g = 458 \times 10^{-7}$ ، $^{45}\text{K}/g = 459 \times 10^{-7}$ ، $^{13}\text{C}/g = 10^{-7}$ ، $^{15}\text{N}/g = 10^{-7}$ ، $^{17}\text{O}/g = 10^{-7}$ ، $^{19}\text{F}/g = 10^{-7}$ ، $^{11}\text{B}/g = 10^{-7}$ و $^{10}\text{Ne}/g = 10^{-7}$. واحد بساز.
پرتوون مقدار است؟ (ب) بار اتم هلیم (جزم تقریبی، ۸) را بر حسب واحد جرم اتمی (۱) محاسبه کنید. عدد جرمی و بار مربوط به مثابر q/m قدر است؟
- ۲ - ۲۸ - لیم به طبیعت به صورت محلولی از دو ایزوتوب وجود دارد: ^{63}Zn با جرم اتمی ۱۵۸ مرد و ^{65}Zn با جرم اتمی ۱۶۰ مرد. وزن اتمی آیتم درصد فراوانی هر یک از این دو ایزوتوب قدر است؟
- ۲ - ۲۹ - عصری شامل ۱۰٪ از ایزوتوبی با جرم اتمی ۱۶۰ و ۸۰٪ از ایزوتوبی به جرم اتمی ۱۵۸ است. وزن اتمی آین عصر چقدر است؟
- ۲ - ۳۰ - عصری شامل ۵۱٪ از ایزوتوبی با جرم اتمی ۱۶۰ و ۴۹٪ از ایزوتوبی با جرم اتمی ۱۵۸ است. وزن اتمی آین عصر چقدر است؟
- ۲ - ۳۱ - مطالعات مربوط به پرتوهای مثبت، معلوم شده که مقدار پرتوون (H^+) نسبت به هر یون مثبت دیگری پیشتر است. (الف) مقدار q/m پرتوون مقدار است؟ (ب) بار اتم هلیم (جزم تقریبی، ۸) را بر حسب واحد جرم اتمی (۱) می‌باشد تا یونی تولید شود که مقدار q/m آن مساوی با بزرگتر از مقدار q/m باشد.

مسائل طبقه‌بندی نشده

۲ - ۳۲ -

پرتوون (H^+) نسبت به هر یون مثبت دیگری پیشتر است. (الف) مقدار

پرتوون مقدار است؟ (ب) بار اتم هلیم (جزم تقریبی، ۸) را بر حسب واحد جرم اتمی (۱) می‌باشد.

پرتوون مقدار کمتر از مقدار q/m باشد.

همه فناوری‌هایی را که وصف می‌شوند

کلیب ۲۷ هفتم (زیک ملخ‌پنهان خلص شفاف را نشاند آن دلکوه می‌کند



استوکیومتری، بخش I: فرمول‌های شیمیایی

مفصل شده‌اند، در فرایندهای فیزیکی و شیمیایی، مولکول‌ها به صورت واحدهای مستقل عمل می‌کنند برخی عناصر و بسیاری از ترکیبات به صورت مولکول‌اند. در شکل ۱-۳، نمونه‌های از مولکول‌ها نشان داده شده است.

ترکیب اتمی یک جسم با فرمول شیمیایی مشخص می‌شود. در یک فرمول، برای نمایش نوع عناصر موجود در جسم از نمادهای شیمیایی، و برای نشان دادن تعداد سهیت‌های هر عنصر، از زیرنوشت استنادی می‌شود. اگر یک نماد فاقد زیرنوشت باشد، عدد ۱ استنباط خواهد شد. فرمول یک جسم مولکولی بیانگر ترکیب اجزای یک مولکول است و گاهی فرمول مولکولی نامیده می‌شود. برای مثال، فرمول H_2O ، بینگر وجود دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن در آب است. در عناصر مولکولی، تمام اتمها یکسان‌اند. شماری از اتمها در طبیعت به صورت مولکول‌هایی دو اتمی وجود دارد که از اتصال دو اتم به وجود می‌آیند. عناصری که به صورت مولکول‌های دو اتمی وجود دارند، در جدول ۱-۳ نمایش داده شده‌اند. باید یادآور شد که علت وجود این عناصر به این صورت آن است که خواص فیزیکی و شیمیایی آنها باز از ساختار مولکولی شان است.

برخی از عناصر، مولکول‌هایی با دو یا چند اتم تشکیل می‌دهند. برای مثال، مولکول‌های گوگرد شامل ۸ اتم هستند و فرمول مولکولی آنها S_8 است. فرمول مولکولی یک مولکول فسفر، P_4 می‌باشد. مولکول‌های هر ترکیب، شامل دو یا چند عنصر است. برخی از این مولکول‌ها دو اتمی‌اند، HCl ، CO ، NO ، مثال‌هایی از این دسته‌اند. مولکول‌های سایر ترکیبات، پیچیده‌ترند. فرمول مولکولی یک ترکیب فقط بیانگر تعداد و نوع اتمها موجود در یک مولکول از آن ترکیب است و چیزی در مورد چگونگی اتصال اتم‌ها به یکدیگر به مانع نمی‌گوید. برای مثال، فرمول NH_3 فقط نشان می‌دهد که مولکول آمونیاک مرکب از سه اتم هیدروژن و یک اتم نیتروژن است. فرمول ساختاری مولکول آمونیاک، نشان‌دهنده شیوه اتصال این اتمهاست:



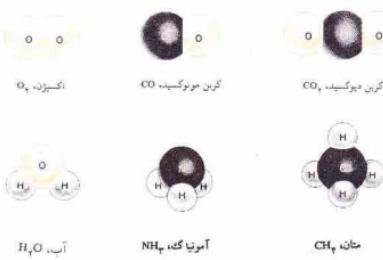
آلفرد نورت وايتهاو، فیلسوف و ریاضیدان، نوشت، « تمام علم، در سیر تکاملی خود، به صورت ریاضی در می‌آیند ». شیمی جدید، زمانی شروع شد که لاوازیه و شیمیدانان عصر او به اهمیت اندازه‌گیری دقیق پی برداشتند و پرسش‌هایی مطرح کردند که به صورت کمی قابل پاسخ‌گویی بودند. استوکیومتری از واژه یونانی استویخیوئون به معنی « عنصر » و مترون به معنی « اندازه‌گیری »، شاخه‌ای از شیمی است که با رابطه‌های کمی بین عناصر در تشکیل ترکیبات و همچنین، روابط بین عناصر و ترکیبات در گیر در واکنش‌های شیمیایی سر و کار دارد. نظریه اتنمی ماده، مبنای این مطالعه را تشکیل می‌دهد.

۱-۱ مولکول‌ها و یون‌ها

گازهای نجیب (هلمی، تون، آرغون، کربنیتون، گزتون، و رادون)، تنهای عنصری هستند که به صورت اتمی وجود دارند. سایر عناصر و همچنین، ترکیبات شیمیایی به صورت ترکیب‌های گوناگونی از اتم‌ها تشکیل شده‌اند. مولکول‌ها و یون‌ها، دو نوع ذره، شیمیایی مهماند که از اتم‌ها تشکیل شده‌اند. در فصل‌های بعدی، توضیحات پیشتری درباره این ذرات شیمیایی داده خواهد شد (فصل ۷، خواص اتمی و پیوند یونی؛ فصل ۸، پیوند کووالانسی؛ و فصل ۹، وضعیت هندسی مولکول).

مولکول‌ها

مولکول، ذراتی مشکل از دو یا چند اتم است که محکم به یکدیگر



شکل ۱-۳ - الگوی برخی از مولکول‌های ساده

از یک اتم هستند. برای نمونه می‌توان یون آمونیوم، NH_4^+ ، یون سولفات، SO_4^{2-} ، و یون هیدروکسید، OH^- را نام برد. در فصل ۷ به طور مفصل درباره یون‌ها گفتگو خواهیم کرد.

ترکیبات یونی از کاتیون‌ها و آنیون‌ها تشکیل شده‌اند که با اگریو هندسی مشخصی به صورت بلور در آمدند. برای مثال، سدیم کلرید، از یون‌های سدیم، Na^+ ، و یون‌های کلرید، Cl^- (شکل ۲ - ۳) را تشکیل شده است که با یکدیگر بلور سدیم کلرید (شکل ۲ - ۳) را تشکیل داده‌اند. یک بلور سدیم کلرید، شامل تعداد زیادی از این یون‌هاست که به وسیله نیروی جاذبه مثبت - منفی به یکدیگر چسبیده‌اند.

در بلور سدیم کلرید، به ازای هر یون Na^+ ، یک یون Cl^- وجود دارد و فرمول این ترکیب NaCl است. این فرمول بیانگر یک مولکول نیست و درباره شیوه روزگار شدن یون‌های اطلاعاتی به دست نمی‌دهد، زیرا در ساختار بلوری این ترکیب نمی‌توان هیچ یونی را مختصراً به یون دیگر معمول نداشت. بدلاً این فرمول قطعه ساده‌ترین نسبت یون‌های لازم برای تولید این بلور است.

به این ترتیب، فرمول ترکیبات یونی را از فرمول یون‌های تشکیل‌دهنده آنها می‌توان به دست آورد. برای مثال، فرمول باریم کلرید از فرمول یون پارام، Ba^{2+} ، و فرمول یون کلرید، Cl^- ، به دست می‌آید. چون بلور از نظر بار الکتریکی خنثی است، بار کل تمام یون‌های مثبت باید برابر با بار کل تمام یون‌های منفی باشد. در نتیجه، باید یون کلرید به ازای هر یون باریم پاشد، به این ترتیب، Ba^{2+} بشکل می‌داند.

در فرمول یک ترکیب یونی، ابتدا فرمول کاتیون نوشته می‌شود. آرایش یون‌ها در بلور، BaCl_2 ، با آرایش یون‌ها در بلور NaCl تفاوت دارد. در بلورهای BaCl_2 باید نسبت کاتیون به آنیون ۱ به ۲ پاشد. نسبت کاتیون به آنیون در بلور 1 NaCl ۱ به ۱ است.

مثال ۱ - ۳

فرمول ترکیباتی که یون O^{2-} همراه با (الف) یون Na^+ ، (ب) یون Ca^{2+} ، (ج) یون Fe^{2+} دارند را بنویسید.

حل

(الف) بار کل کاتیون‌ها باید برابر با بار کل آنیون‌ها باشد. در نتیجه، به ازای هر یک یون O^{2-} (بار کل، ۲)، باید دو یون Na^+ (بار کل، ۲) باشد. فرمول Na_2O است.

(ب) چون بار کاتیون ۲ و بار آنیون ۲ - است، با نسبت ۱ به ۱ کاتیون به آنیون می‌توان به یک مجموعه خنثی رسید. فرمول CaO است.

(ج) بار کاتیون، ۳+ و بار آنیون ۲- است. ساده‌ترین حاصل ضرب ۳ و ۲ را برابر با ۶ است. در یون Fe^{2+} (بار کل، ۲+) و سه یون O^{2-} (بار کل، ۶-) را باید در نظر گرفت. فرمول Fe_2O_3 است.

جدول ۱ - ۳ عناصری که در طبیعت به صورت مولکول‌های دو اتمی وجود دارند.

عنصر	فرمول
هیدروژن	H_2
نیتروژن	N_2
اکسیژن	O_2
فلوئور	F_2
کار	Cl_2
برم	Br_2
بد	I_2

در یک فرمول ساختاری، نماد دیگری برای نمایش هر اتم به کار می‌رود و از خطاهای تیره کوتاه نیز برای نشان دادن چگونگی اتصال اتم‌ها به یکدیگر استفاده می‌شود. توجه کنید که حتی یک فرمول ساختاری نیز، کاسته‌هایی دارد. آرایش فضایی اتم‌های یک مولکول نمایش داده شده است. برای مثال، مولکول آمونیاک، آرایش هرمی دارد که در شکل ۱ - ۳ نشان داده شده است.

یون‌ها

پیون، ذره‌ای مشتمل از یک اتم یا گروهی از اتم‌هاست که با الکتریکی دارد. در نوع پیون وجود دارد:

۱. کاتیون، دارای بار مثبت (زیرا یک یا چند الکترون از دارد).
۲. آنیون، دارای بار منفی (زیرا یک یا چند الکترون گرفته است).

یون‌های یک‌اتمی (یون‌هایی که از یک اتم) در بخش ۲ - ۶ مورد بحث قرار گرفته و مثال‌های ۲ - ۳ و ۴ - را نیز به یون‌های Al^{3+} , S^{2-} , Fe^{2+} , و F^- ، و اخواص داریم. به طور کلی، کاتیون‌های یک‌اتمی از اتم‌های فلزات، و آنیون‌های یک‌اتمی از اتم‌های ناقلات به وجود می‌آیند. پیون‌های پلی‌اتمی (بیس اتمی)، ذرات بارداری با پیش



شکل ۱ - ۳ ساختار بلوری سدیم کلرید

سایر فرم‌ها

مثال ۲-۳

فرمول تجویی ترکیب‌های زیر را از فرمول مولکولی آنها به دست آورید:

(الف) اتان، C_2H_6 ، (ب) گلوک، $C_6H_{12}O_6$ ، (ج) پروپان، C_3H_8 ، و (د) سیکلو بوتان، C_4H_8 .

حل

در هر یک از فرمول‌های مولکولی به سراغ بزرگ‌ترین عدد صحیحی می‌رسیم که بتوان زیرنوشت‌ها را بر آن تقسیم کرد.

(الف) برای C_2H_6 ، زیرنوشت‌های ۲ و ۶ بر ۲ قابل تقسیم‌اند.

فرمول تجویی CH_3CH_3 است.

(ب) برای $C_6H_{12}O_6$ ، زیرنوشت‌های ۶، ۱۲، و ۶ بر ۶

بخش‌پذیرند. فرمول تجویی، CH_3O است.

(ج) برای C_3H_8 ، عدد دیگری بجز ۱ نمی‌توان یافته که زیرنوشت‌ها

بر آن بخش‌پذیر باشند. در نتیجه، فرمول مولکولی و فرمول تجویی پیکسان‌اند، C_3H_8 .

(د) برای C_4H_8 ، زیرنوشت‌های ۴، ۸ بر ۴ بخش‌پذیرند. فرمول تجویی، CH_2 است.

فرمول یک ترکیب بونی (مانند $NaCl$ یا $BaCl_2$)، ساده‌ترین نسبت بونی‌های موجود در یک بلور از ترکیب را به دست می‌دهد فرمول اغلب

ترکیبات بونی، همان فرمول تجویی است.

آنچه پرسخی ترکیبات بونی دارای فرمول‌های قابل کاهش به عبارت‌های ساده‌تر هستند. سدیم پروکسید، یکی از این ترکیبات است. در سدیم پروکسید دو بیون سدیم (Na^+) به ایزی یک بیون پروکسید: O_2^{2-} وجود دارد:



این فرمول قابل کاهش به Na_2O است، یعنی فرمول تجویی سدیم پروکسید است. مشکل مربوط به سدیم پروکسید عدمیت ندارد. فرمول اغلب ترکیبات بونی، فرمول تجویی است و نسبت اتم‌ها را نمی‌توان کاهش داد.

۳-۳ وزن فرمولی، وزن مولکولی

وزن فرمولی یک جسم، مجموع اوزان اتمی تمام اتم‌های مربوط به فرمول آن جسم است. برای مثال، فرمول وزنی آب، H_2O ، به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$2 = (وزن اتمی H) + (وزن اتمی O)$$

$$= 16 + وزن اتمی O$$

$$= 18 = \text{وزن فرمولی } H_2O$$

برخی از اعراض و ترکیب‌ها به فرهایی وجود دارند که نه مولکولی هستند و نه بونی. در الماس، تعداد زیادی از اتم‌های کربن به وسیله شبکه‌ای از پیوندهای شابه با آنجه که در مولکول‌ها وجود دارد، به یکدیگر متصل شده‌اند. در واقع، کل بلور الماس را می‌توان یک مولکول بسیار بزرگ به حساب آورد. ترکیبات دیگری نیز (برای مثال، سیلیسیم دیکسید، SiO_2) نیز فرم‌های شباهی دارند. ساختار فازها به گونه‌ای است که در آن تعداد زیادی از اتم‌های فلز با بیزی موسم به پیوند فلزی به یکدیگر متصل شده‌اند. این فرم‌ها را در فعل‌های بعدی مورد بحث قرار خواهیم داد. فرمول‌های به کار رفته برای نمایش این ترکیب‌ها شامل زیرنوشت‌های ساده‌ای است که بیانگر نسبت صحیح اتم‌های موجود در جسم است.

۲-۴ فرمول تجویی

فرمول مولکولی هیدروژن پروکسید (آب اکسیژن)، H_2O_2 ، و بیانگر وجود دو اتم هیدروژن و دو اتم اکسیژن در یک مولکول از این ماده است. توجه داشته باشید که نسبت اتم‌های هیدروژن به اکسیژن (۲ به ۱)، ساده‌ترین نسبت اعداد صحیح نوشته شود فرمول تجویی یا فرمول ساده نام دارد. فرمول مولکولی هیدروژن پروکسید، H_2O_2 است؛ فرمول تجویی آن HO.

فرمول مولکولی، ترکیب اتمی واقعی مولکول را به دست می‌دهد.

فرمول تجویی فقط ساده‌ترین نسبت صحیح اتم‌ها در ترکیب را بیان می‌کند. برای به دست آوردن فرمول مولکولی یک ترکیب مولکولی به اطلاعات پیشتر نیاز داریم.

برای بعضی ترکیبات مولکولی، فرمول مولکولی و فرمول تجویی پیکسان‌اند، برای مثال:



اعداد زیرنوشت این فرمول‌ها را نمی‌توان به صورت نسبت‌های ساده‌تری در آورد. اما، برای بسیاری از ترکیب‌های مولکولی، فرمول مولکولی و فرمول تجویی متفاوت‌اند. فرمول مولکولی



به فرمول‌های تجویی زیر مربوط است.



توجه کنید که نسبت اتمی در یک فرمول تجویی را با کاهش نسبت اتسی مربوط به فرمول مولکولی به گوچک‌ترین اعداد صحیح ممکن می‌توان به دست آورد.

وزن فرمولی BaCl_2 را به صورت زیر می‌توان به دست آورد:

$$\begin{aligned} 3 &= وزن اتمی \\ 3 \times 74 &= (وزن اتمی \text{Cl})_2 \\ 2 \times 71 &= (وزن اتمی \text{Cl})_2 \\ 2 \times 80 &= وزن فرمولی \text{BaCl}_2 \end{aligned}$$

چون وزن اتمی فلوروژن 19 و هیدروژن 1 است، یک اتم فلوروژن 19 بار سینگن تر از یک اتم هیدروژن است. اگر 10 اتم فلوروژن و 10 اتم هیدروژن اختیار کنیم، جرم مجموعه اتم‌های فلوروژن 19 برای جرم مجموعه اتم‌های هیدروژن خواهد بود. جرم سمنهه‌ای از فلوروژن و هیدروژن که تعداد اتم‌هایشان مساوی باشد همین نسبت $19 : 1$ را که نسبت اوزان اتمی دو دفعه است، به دست می‌آید.

اگر فلوروژن فرش کنید که 10 گرم فلوروژن و 10 گرم هیدروژن را که مقداری عددی برابر با اوزان اتمی این عنصر است، داشته باشیم، جرم سبست جرم نمونه‌ها $19 : 1$ است، تعداد اتم‌های موجود در هر دو نمونه باید بیکسان باشد. در واقع، نمونه‌ای از هر عنصر که جرم آن بر حسب گرم از نظر عددی برابر با وزن اتمی آن عنصر باشد، از این همان تعداد اتم است. **این عدد که به عدد آوگادرو^۱ مشهور است، به افتخار آمادتو آوگادرو که بیان ترتیب نسبت بار رفاقتگارها در اکتشافات شیمیایی را بر مبنای تعداد مولکول‌های اکتشاف دهنده تفسیر کرد، نامگذاری شده است (بخش ۸-۸).** مقدار تجربی عدد آوگادرو تا شش رقم معنی تیمین شده است:

$$6.02 \times 10^{23}$$

مقداری از جسم که تعداد واحدهای پیشادی آن برابر با عدد آوگادرو باشد، یک مول (به صورت mol) خلاصه می‌شود. است که یکی از واحدهای اصلی SI به شمار مول، مول، به صورت مقداری از جسم تعریف می‌شود که تعداد اجزای پیشادی آن برابر با تعداد اتم‌های موجود در 1 از 128 است.

به این ترتیب نمونه‌ای از هر عنصر که جرم آن بر حسب گرم برابر با وزن اتمی آن عنصر باشد، شامل یک مول از اتم‌های آن عنصر است و تعداد اتم‌های آن برابر با عدد آوگادرو است. برای مثال، وزن اتمی بریلیم 112.18 است. در نتیجه،

$$6.02 \times 10^{23} \text{ Be} = 1 \text{ mol Be} = 112.18 \text{ g Be}$$

(شمار اجزایی یک مول، برابر با عدد آوگادرو است. تعداد مولکول‌های موجود در یک مول از یک ترکیب مولکولی، برابر با عدد آوگادرو است و جرم آن بر حسب گرم برای یک مول از اتم‌های آن ترکیب می‌باشد) برای مثال، وزن مولکولی H_2O برابر با 18 است. در نتیجه،

$$6.02 \times 10^{23} \text{ H}_2\text{O} = 1 \text{ mol H}_2\text{O} = 18 \text{ g H}_2\text{O}$$

چون یک مولکول آب دارای یک اتم O است، یک مول H_2O شامل دو مول از اتم‌های H و یک مول از اتم‌های O است. هنگام به کار بردن نشانه مول، باید نوع اجزایی مورد سنجش

۱. برای ساده کردن بحث، اوزان اتمی تا یک رقم اعشاری گرد شده‌اند.
2. Avogadro's number

اگر فرمول مورد نظر به یک جسم مولکولی مربوط باشد، فرمول مولکولی به شمار خواهد رفت، وزن فرمولی را می‌توان وزن مولکولی نیز نامید. وزن مولکولی، مجموع اوزان اتم‌های اینهای تشکیل‌دهنده یک مولکول است. وزن مولکولی O_2 برابر وزن فرمولی جسم است، زیرا فرمول پیانک ترکیب اجزایی مولکول آب می‌باشد. ولی در مورد BaCl_2 ، وزن فرمولی، وزن مولکولی نیست، زیرا BaCl_2 یک ترکیب پوئی است و مولکول پا BaCl_2 وجود خارجی ندارد. در فصل‌های بعدی، راههای تشخیص بین اجسام مولکولی و پوئی را مورد بحث قرار خواهیم داد.

مثال ۳-۲ وزن فرمولی آلومینیم سولفات، $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ را حساب کنید. اوزان اتمی

را با یک رقم اعشاری به کار ببرید.

حل

در یک فرمول شیمیایی، زیرنوشتی که بعد از پرانتز می‌آید، در تمام عبارت‌های داخل پرانتز ضرب می‌شود. در این مورد وزن فرمولی به قرار زیر است:

$$\begin{aligned} 2 &= (وزن اتمی \text{Al}) \\ 3 \times 96 &= 288 = (وزن اتمی \text{S}) \\ 3 \times 192 &= 576 = (وزن اتمی \text{O}) \\ 3 \times 6.02 \times 10^{23} &= 1866 = وزن فرمولی \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \end{aligned}$$

(روش دیگر برای حل این مسئله، جمع زدن وزن فرمولی یون‌های موجود در ترکیب است. وزن فرمولی یک یون را از اوزان اتمی اینهای تشکیل‌دهنده آن می‌توان به دست آورد. جزو جرم الکترون پیسار گوچک است (1.67×10^{-24} g)، به خاطر الکترون‌های حذف شده و گرفته شده، تغییری در محاسبات نیز نداشته. به علاوه، هنگام سرسی یک ترکیب، شمار الکترون‌های حذف شده (به وسیله کاتیون‌ها) با شمار الکترون‌های گرفته شده (به وسیله آئیون‌ها) برابر است. در این مثال، وزن فرمولی یون Al^+ ، همان وزن اتمی Al، یعنی 27 است. زن فرمولی یون SO_4^{2-} نیز به قرار زیر است:

$$\begin{aligned} 4 &= وزن اتمی \text{S} \\ 4 \times 32 &= 128 = (وزن اتمی \text{O}) \\ 4 \times 19 &= 76 = (وزن اتمی \text{O}) \\ 4 \times 6.02 \times 10^{23} &= 2408 = وزن فرمولی \text{SO}_4^{2-} \end{aligned}$$

را به صورت زیر بیان می‌کنیم:

$$9 \text{ mol Al} = 125 \text{ g Al}$$

سپس، ضریب تبدیلی برای حل مسئله را به دست می‌آوریم. وزن اتمی با سه رقم با معنی 27.7 است؛ در نتیجه،

$$1 \text{ mol Al} = 27.7 \text{ g Al}$$

ضریب تبدیلی را به کار می‌گیریم که دارای واحد g Al در مخرج باشد زیرا این واحد باید حذف شود:

$$9 \text{ mol Al} = 125 \text{ g Al} \left(\frac{1 \text{ mol Al}}{27.7 \text{ g Al}} \right) = 4.47 \text{ mol Al}$$

مثال ۱-۳
چندگرم سولفوریک اسید، H_2SO_4 برابر با $25.0 \text{ mol H}_2\text{SO}_4$ است؟

حل

پاسخ مسئله باید با چهار رقم با معنی بیان شود. مسئله را به صورت زیر بیان می‌کنیم:

$$? \text{ g H}_2\text{SO}_4 = ? \text{ mol H}_2\text{SO}_4$$

وزن فرمولی 98.08 است؛ بنابراین،

$$1 \text{ mol H}_2\text{SO}_4 = 98.08 \text{ g H}_2\text{SO}_4$$

واحدی که در این مسئله باید حذف شود، $\text{mol H}_2\text{SO}_4$ است، و این واحد باید در مخرج ضریب تبدیل بایشد:

$$? \text{ g H}_2\text{SO}_4 = ? \text{ mol H}_2\text{SO}_4 \left(\frac{98.08 \text{ g H}_2\text{SO}_4}{1 \text{ mol H}_2\text{SO}_4} \right) = 24.52 \text{ g H}_2\text{SO}_4$$

مثال ۱-۴

تعداد اتمهای کربن موجود در یک قیراط الماس را محاسبه کنید؟ الماس، کربن خالص است و یک قیراط دقیقاً 2.0 g است.

حل

چون مقدار 2.0 g که نتیجه تعریف قیراط است، حقیقی می‌باشد، تعداد ارقام با معنی در پاسخ را محدود نمی‌کند. دقت پاسخ با مقدار 2.0 g قیراط که چهار رقم با معنی دارد، محدود می‌شود. به این ترتیب، مسئله به صورت زیر در می‌آید:

$$? \text{ C} = ? \text{ mol Al}$$

ضریب تبدیلی را بر مبنای وزن اتمی C (با چهار رقم با معنی) بدست می‌آوریم

مشخص شود. یک مول از اتمهای H شامل 1×10^{-22} اتم H است که جرم آن تا سه رقم با معنی برابر با 1.0×10^{-22} می‌باشد؛ یک مول از مولکولهای H_2 شامل 2×10^{-22} مولکول H_2 و دارای جرم 2×10^{-22} است. برای فلوتور،

$$\text{فلوتور} = 1 \text{ mol F} = 1.0 \times 10^{-22} \text{ F}$$

$$\text{فلوتور} = 1 \text{ mol F}_2 = 2 \times 10^{-22} \text{ F}_2$$

راستی، در مورد ترکیبات پیونی چه باید کرد؟ عبارت «۱ مول BaCl_2 » یعنی نمونه‌ای که به تعداد عدد آلوگادر و واحد فرمولی از جزء BaCl_2 مشخص شده را در پرداخته باشد. به این ترتیب، جرم ۱ مول BaCl_2 برابر با 2×10^{-22} یا وزن فرمولی BaCl_2 است. در واقع، ۱ مول BaCl_2 شامل مقادیر زیر است.

$$1 \text{ mol Ba}^{2+} = 1.0 \times 10^{-22} \text{ Ba}^{2+}$$

$$2 \text{ mol Cl}^- = 2 \times 1.0 \times 10^{-22} \text{ Cl}^- = 2 \times 10^{-22} \text{ Cl}^-$$

که در جمع آنها، می‌شود

$$1 \text{ mol BaCl}_2 = 2 \times 1.0 \times 10^{-22} \text{ BaCl}_2 = 2 \times 10^{-22} \text{ g BaCl}_2$$

او زان اتمی به کار رفته در حل یک مسئله را باید با ارجاع با معنی واقعی بیان کرد. دادهای مسئله تعیین‌کننده میزان دقت پاسخ مسئله است، و تعداد ارقام با معنی در او زان اتمی به کار رفته برای حل مسئله باید نشان دهنده این دقت باشد.

توجه داشته باشید که وزن اتمی (همچنین، وزن فرمولی) را می‌توان به سه شیوه بیان کرد.

۱- وزن اتمی را می‌توان به صورت یک عدد ساده، بدون واحد، بیان کرد. در جدولهای تثابی و فهرست عناصر، او زان اتمی به این ترتیب آمده است. به هر حال، وزن اتمی، نسبت جرم میانگین یک اتم از یک عنصر به یک دوازدهم جرم یک اتم از C است. وزن اتمی سدیم 22.98977 است.

۲- اگر مول از C را دقیقاً اختیار کنیم، در آن صورت جرم یک اتم میانگین از یک عنصر برابر با وزن اتمی بر حسب واحد جرم اتمی C خواهد بود. در نتیجه، جرم یک اتم سدیم برابر با وزن اتمی سدیم در واحد جرم اتمی است: 22.98977 .

۳- جرم یک مول از یک عنصر برابر با وزن اتمی آن عنصر بر حسب گرم است. بنابراین وزن اتمی سدیم بر حسب گرم برابر با 22.98977 g/mol است.

مثال ۱-۵

در 125 g الیمنیم چند مول Al وجود دارد؟

حل
توجه داشته باشید که پاسخ باید با سه رقم با معنی بیان شود. ابتدا مسئله

مثال ۸-۳

نیکوتین ترکیبی شامل کربن، هیدروژن، و نیتروژن است. اگر نمونه‌ای به وزن 2.5 g نیکوتین در مجاورت اکسیژن سوزانده شود، $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ از سوختن به دست می‌آید. درصد اجزای نیکوتین را بدست آورید.

حل

توجه داشته باشید که تاسه رقم یا معنی محاسبه خواهیم کرد. ابتدا مقدار هر یک از عنصر را در 2.5 g نمونه نیکوتین محاسبه می‌کنیم. کربن موجود در نمونه CO_2 به دست داده است. در نتیجه، می‌توان پرسید:

$$4\text{ g C} = 2\text{ g CO}_2$$

ضریب تبدیلی که برای حل این مسئله به کار می‌بریم، نسبتی است که برای تبیین درصد C در CO_2 مورد استفاده قرار می‌گیرد. چون یک مول CO_2 $(2\text{ g C} + 2\text{ g O})$ داری یک مول CO_2 است،

$$12\text{ g C} \approx 22\text{ g CO}_2$$

$$\begin{aligned} \text{ضریب تبدیل را به دست می‌آوریم:} \\ 4\text{ g C} / 22\text{ g CO}_2 &= 1.85\text{ g C} \\ 4\text{ g C} &= 1.85\text{ g CO}_2 \end{aligned}$$

همین روش برای پیدا کردن مقدار هیدروژن (بر حسب گرم) در نمونه نیکوتین به کار می‌رود. هیدروژن موجود در نیکوتین، $11.7\text{ g H}_2\text{O}$ به دست داده است. در یک مول H_2O (18 g) دو مول اتم H وجود دارد، در نتیجه:

$$2\text{ g H} = 1.94\text{ g H}_2\text{O} \left(\frac{2\text{ g H}}{18\text{ g H}_2\text{O}} \right) = 0.21\text{ g H}$$

در سوختن مانند سوختن نیکوتین، نیتروژن با اکسیژن ترکیب نمی‌شود بلکه به صورت N_2 متصاعد می‌گردد. در نتیجه، نمونه نیکوتین دارای 2.5 g N_2 بوده است.

مقدار هر یک عنصر در نمونه 2.5 g را برای تعیین درصد اجزای نیکوتین به کار می‌بریم:

$$\begin{aligned} \frac{1.85\text{ g C}}{\text{نیکوتین}} \times \%_{100} &= \%_{74} \\ \frac{0.21\text{ g H}}{\text{نیکوتین}} \times \%_{100} &= \%_{8.72} \\ \frac{2.5\text{ g N}_2}{\text{نیکوتین}} \times \%_{100} &= \%_{17.2} \end{aligned}$$

برخی مسائل ساده استوکیومتری را با استفاده از نسبت‌های به دست آمده از فرمول‌ها می‌توان حل کرد.

که با داشتن واحد C در مخرج باعث حذف این واحد شود:

$$? \text{ g C} = ? \text{ mol C} \left(\frac{1\text{ mol C}}{12\text{ g C}} \right)$$

تا اینجا محسابات انجام شده، پاسخی بر حسب C به دست می‌دهد. با استفاده از عدد آورگادرو (ناچرا رقم با معنی)، ضرب تبدیلی از فرمول زیر به دست می‌آوریم:

$$1\text{ mol C} = 6 \times 10^{22} \text{ C}$$

با قرار داشتن واحد C در مخرج، می‌توان آن را حذف کرد. با ضرب کردن در این ضربی، حل مسئله کامل می‌شود:

$$? \text{ atm} = ? \text{ mol C} \left(\frac{1\text{ mol C}}{12\text{ g C}} \right) \left(\frac{1\text{ mol C}}{22 \times 10^{22} \text{ C}} \right) = ? \text{ atm}$$

۳-۵ درصد اجزای ترکیبات

درصد اجزای یک ترکیب به آسانی از فرمول آن ترکیب به دست می‌آید. زیرنوشتهای فرمول، تعداد مول سر یک از عناصر در یک مول از ترکیب را به دست می‌دهند. از این اطلاعات و از اوزان اتمی عناصر می‌توان وزن هر عنصر در یک مول از ترکیب را بر حسب گرم به دست آورده. درصد هر عنصر، $\frac{\text{وزن هر عنصر}}{\text{وزن مول}} \times 100\%$ برابر جرم آن عنصر تقسیم بر جرم یک مول از ترکیب است. این فرایند در مثال ۳-۷ نمایش داده شده است.

مثال ۳-۳

درصد Fe در Fe_3O_4 را تاسه رقم یا معنی محاسبه کنید.

حل

یک مول Fe_3O_4 شامل

$$\begin{aligned} 2\text{ mol Fe} &= 2(55.8\text{ g}) \text{ Fe} = 111.6\text{ g Fe} \\ 3\text{ mol O} &= 3(16\text{ g}) \text{ O} = 48\text{ g O} \\ &\quad \hline 159.6\text{ g} \end{aligned}$$

مجموع جرم‌ها، یعنی 159.6 g ، جرم یک مول Fe_3O_4 است. درصد Fe در Fe_3O_4 در اینجا است:

$$\frac{111.6\text{ g Fe}}{159.6\text{ g Fe}_3\text{O}_4} \times \%_{100} = \%_{59.2\text{ Fe}}$$

درصد اجزای یک ترکیب آگل، اغلب با آنالیز شیمیابی تعیین می‌شود. این داده‌ها، سپس، برای تعیین فرمول تجویی ترکیب به کار می‌روند. مثال ۳-۸ بیانگر روشن است که در آنالیز ترکیبات آگل به کار گرفته می‌شود.

مثال ۹ - ۳

فرمول تجربی ترکیبی شامل P_2O_5 و O_2 را حساب کنید.

مثال ۱۰ - ۳

برای آسان شدن کار، فرض می‌کنیم نمونه‌ای به وزن 50 g داریم. بر مبنای درصد اجزای این نمونه شامل P $\frac{1}{2} \times 50 = 25\text{ g}$ و O $\frac{3}{4} \times 50 = 37.5\text{ g}$ است. سپس با استفاده از روش به کار رفته در مثال ۴ - ۳ تعداد اتم‌های P و O در این مقادیر را بر حسب مول پیدا می‌کنیم. وزن اتمی P و O تاسیه رقم بامعنی، به ترتیب، 31 g و 16 g است:

$$\text{؟ mol } P = \frac{25\text{ g}}{31\text{ g/mol}} = 0.78\text{ mol}$$

$$\text{？ mol } O = \frac{37.5\text{ g}}{16\text{ g/mol}} = 2.34\text{ mol}$$

نسبت اتمی عنصرها برابر است. در نتیجه، به ازای هر 1 mol اتم P تعداد 3.5 mol اتم O در ترکیب وجود دارد. اما، برای نوشتن فرمول، باید ساده‌ترین نسبت عددی صحیح را داشته باشیم. با تقسیم دو مقدار بر مقدار کوچک‌تر، داریم:

$$\text{برای } P, \frac{1}{3.5} = \frac{1}{1.41} \quad \text{برای } O, \frac{1}{3.5} = \frac{2.34}{1.41}$$

البته، نسبت به دست آمده، عدد صحیح نیست، ولی با ضرب کردن هر یک از این مقادیر در 2 ، می‌توان به جواب رسید. به این ترتیب ساده‌ترین نسبت عددی صحیح، 2 به 5 ، و فرمول تجربی P_2O_5 است.

مثال ۱۱ - ۳

کافین در قهوه، چای، و دانه‌های کولا وجود دارد و محرك دستگاه عصبی مركزي است. نمونه‌ی از کافین خالص به وزن 1.261 g را بازی داشت. فرمول تجربی کافین را به دست آوردید.

حل

نتایج آنالیز شیمیابی، معمولاً به صورت درصد بیان می‌شوند. اما، هر نسبت جرمی را می‌توان به نسبت مولی، تبدیل کرد و به این صورت، برای بدست آوردن یک فرمول تجربی مورde استفاده قرار داد. برای بدست آوردن فرمول تجربی، نیازی به تبدیل داده‌های این مثال نداریم. تعداد مول‌های هر یک از عنصر موجود در نمونه را به دست می‌آوریم:

$$\text{？ mol } C = \frac{1\text{ mol } C}{12\text{ g/mol}} = 0.105\text{ mol}$$

$$\text{？ mol } H = \frac{1\text{ mol } H}{1.00\text{ g/mol}} = 1.00\text{ mol}$$

$$\text{？ mol } N = \frac{1\text{ mol } N}{14\text{ g/mol}} = 0.0714\text{ mol}$$

$$\text{？ mol } O = \frac{1\text{ mol } O}{16\text{ g/mol}} = 0.0625\text{ mol}$$

نقره سولفید، Ag_2S ، در طبیعت به صورت کانه آرژیت و وجود دارد که یکی از کانه‌های اصلی نقره است. از g Ag_2S $\frac{1}{25}$ نمونه ناخالص کانه که حاوی Ag_2S $\frac{7}{25}$ است.

حل مسئله را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\text{کانه } g = 25\text{ g}$$

از g کانه، Ag_2S $\frac{7}{25}$ به دست می‌آید. زیرا کانه شامل Ag_2S است. توجه کنید که عدد 100 ، حقیقی است (از تعریف درصد برهمی آید). اما عدد 25 نیست. در نتیجه،

$$\text{کانه } g = 100\text{ g } Ag_2S$$

و ضریب (کانه Ag_2S) $\frac{7}{100}$ را می‌توان به دست آورید:

$$\text{کانه } g = 25\text{ g } Ag_2S$$

نشانه‌های کانه g حذف نمود و تا اینجا باش مسئله را بر حسب Ag_2S در دست آوریم. حل مسئله را استفاده از همان ضریبی که برای پیدا کردن درصد نقره در Ag_2S به کار بردهیم می‌توان کامل کرد. از فرمول Ag_2S می‌توان نتیجه گرفت،

$$1\text{ mol } Ag \approx 1\text{ mol } Ag_2S$$

$$(100\text{ g } Ag) \approx 227.5\text{ g } Ag_2S$$

$$215\text{ g } Ag \approx 227.5\text{ g } Ag_2S$$

بنابراین،

$$25\text{ g } Ag = \frac{215\text{ g } Ag}{227.5\text{ g } Ag_2S} \quad \text{کانه } g = 215\text{ g } Ag_2S$$

۳ - ۶ به دست آوردن فرمول ها

اطلاعات به دست آمده از آنالیز شیمیابی یک ترکیب برای به دست آوردن فرمول تجربی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. آنالیز شیمیابی، نسبت جرمی عنصر شکلینده ترکیب را به دست می‌دهد. ساده‌ترین فرمول با فرمول تجربی، بیانگر نسبت اتمی ترکیب، یعنی شماره تسبی اتم‌های کوئاتاکون موجود در ترکیب است.

چون یک مول از اتم‌های یک عنصر شامل همان تعداد از اتم‌های موجود در یک مول از سایر عنصر است، نسبت مول‌ها با نسبت اتم‌ها بیکسان است. تعداد مول‌های هر یک از عنصر موجود در نمونه ترکیب را به اسانی می‌توان از جرم هر یک از عنصر بدست آورد. ساده‌ترین نسبت صحیح مول‌ها (که با نسبت اتم‌ها بیکسان است) را برای نوشتن فرمول تجربی به کار می‌بریم. این روش در مثال‌های بعدی به کار رفته است.

پیش کردن هر یک از این مقادیر بر کوچکترین مقدار (عنی P_4O_{10}) نسبت زیر را بدست خواهد داد.

$$5\text{mol C} : 5\text{mol H} : 1\text{mol N} = 1\text{mol C}_5\text{H}_5\text{N}_2\text{O}$$

در نتیجه فرمول تجربی کافیشین، $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_2\text{O}$ است.

مثال ۱-۳

وزن مولکولی کافیشین سایبر ۱۹۴ و فرمول تجربی آن $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}$ است. فرمول مولکولی کافیشین را بدست آورید.

حل

وزن فرمولی $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}$ برابر ۹۷ است. چون وزن مولکولی دو برابر این مقدار می باشد، فرمول مولکولی کافیشین $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}$ است.

مثال ۱-۴

قند اصلی انژی برای سلول هاست. این ترکیب شامل C ، H ، O ، N و P است. وزن مولکولی $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ برابر ۱۸۰ است. فرمول مولکولی گلوكز را بدست آورید.

حل

مناسب‌ترین راه برابر حل این مسئله محاسبه مقدار مولی عناصر موجود در یک مول گلوكز است. ابتدا مقدار مولی هر یک از عناصر در یک مول گلوكز ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) را به دست می آوریم. چون این جسم شامل C ، H و O است، در نتیجه در 1mol گلوكز مقدار 6mol C ، 12mol H و 6mol O وجود دارد و ضریب (گلوكز) $\frac{1}{6}$ است. زیرا $6 \times 180 = 1080$ است:

$$\frac{1}{6} \text{mol C} : \frac{1}{6} \text{mol H} : \frac{1}{6} \text{mol O} = 1\text{mol C} : 2\text{mol H} : 1\text{mol O}$$

به همین روال، مقادیر H و O را نیز بر حسب گرم به دست می آوریم:

$$\frac{1}{6} \text{mol C} : \frac{1}{6} \text{mol H} : \frac{1}{6} \text{mol O} = 12\text{g C} : 1\text{mol H} : 16\text{g O}$$

$$\frac{1}{6} \text{mol C} : \frac{1}{6} \text{mol H} : \frac{1}{6} \text{mol O} = 12\text{g C} : 1\text{mol H} : 16\text{g O}$$

سپس، مقدار مولی اتم های مربوط به هر کیلوازن را با این داده ها بدست می آوریم:

$$6\text{mol C} : 12\text{mol H} : 6\text{mol O} = 6\text{mol C} : 12\text{mol H} : 6\text{mol O}$$

$$6\text{mol C} : 12\text{mol H} : 6\text{mol O} = 1\text{mol C} : 2\text{mol H} : 1\text{mol O}$$

$$6\text{mol C} : 12\text{mol H} : 6\text{mol O} = 6\text{mol C} : 12\text{mol H} : 6\text{mol O}$$

مقادیر به دست آمده تعداد مولی اتم های هر یک از عناصر در یک مول از مولکول های گلوكز است. این ارقام، همچنین، تعداد اتم های هر یک از عناصر در مولکول گلوكز را نشان می دهند. به این ترتیب فرمول مولکولی $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ است.

این مسئله را با روش دیگر نیز می توان حل کرد. ابتدا، استفاده از داده های آنالیز شیمیایی، فرمول تجربی (یعنی CH_2O) را بدست آورید و سپس با استفاده از وزن مولکولی، فرمول مولکولی را محاسبه کنید.

روش به دست آوردن فرمول تجربی

۱. اگر داده های مسئله بر مبنای درصد اجزاء باشد، محاسبات را بر مبنای $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ از نمونه ترکیب داشته باشد. در این صورت، مقدار موجود از هر عنصر در نمونه، بر حسب گرم، باز از عددی، با درصد آن عنصر در نمونه برابر خواهد بود. در صورتی که داده های مسئله مقدار هر یک از عنصر موجود در نمونه را بر حسب گرم به دست دهد، نتایجی به پیدا کردن درصد نخواهد بود.

۲. مقادیر هر عنصر بر حسب گرم را به تعداد اتم های آن عنصر بر حسب مول تبدیل کنید. ضوابط تبدیل مورد نیاز ازین واقعیت تجربی استنتاج می شوند که یک مول از اتم های یک عنصر (صورت) برابر با وزن اتمی بر حسب گرم (مخرج) است.

۳. مقادیر به دست آمده در مرحله ۲ را بر کوچکترین مقدار تقسیم کنید. در صورتی که اعداد به دست آمده ازین راه عدد صحیح نباشند، هر یک از آنها را در عدد مشترکی ضرب کنید تا به اعداد صحیح تبدیل شوند.

۴. نسبت مولی اتم ها برابر با نسبت اتم هاست. اعداد صحیح بدست آمده در مرحله ۳ زیر نوشت های فرمول تجربی هستند.

در صورت معلوم بودن وزن مولکولی ترکیب، فرمول مولکولی آن را می توان از فرمول تجربی به دست آورد.

مثال ۱-۴

فرمول مولکولی یک اکسید فسفر با فرمول تجربی P_2O_5 به دست آمده از مثال ۱-۳ (۱۰) را، در صورتی که وزن مولکولی این ترکیب 284 باشد، پیدا کنید.

حل

مقادیر به دست آمده با جمع کردن اوزان اتمی نشان داده شده در فرمول تجربی P_2O_5 برابر با 142 است. اگر وزن مولکولی واقعی را بر این وزن فرمولی تقسیم کنیم، خواهیم داشت:

$$\frac{284}{142} = 2$$

به این ترتیب، تعداد اتم های مشخص شده در فرمول تجربی، دو برابر فرمول مولکولی جسم P_2O_5 می باشد.

چکیده مطالب

(یا وزن مولکولی، در صورت مولکولی بودن ترکیب) ترکیب بر حسب‌گرم است. با تغییر فرمول ترکیبات بر می‌آید، مول، درصد اجزای ترکیب را می‌توان محاسبه و سایر مسالله ساده‌ستوکیومتری را حل کرد. اگر درصد اجزای یک ترکیب با روش تجربی تعیین شده باشد، مفهوم مول را باید به دست آوردن فرمول تجربی آن ترکیب به کار ببرید. فرمول تجربی، فرمول نوشته شده با ساده‌ترین نسبت عددی اتم‌هاست. فرمول مولکولی یک ترکیب مولکولی را از فرمول تجربی آن ترکیب می‌توان به دست آورده، به شرطی که وزن مولکولی ترکیب معلوم باشد.

استوکیومتری یک ترکیب شیمیایی بر فرمول شیمیایی آن ترکیب استوار است. اگر ترکیب از مولکول تشکیل شده باشد، فرمول مولکولی تعداد دقیق برای از اتم‌های موجود در مولکول را به دست می‌دهد. اگر ترکیب از یون تشکیل شده باشد، مولکول را باید محدود در یک مول با استفاده از ساده‌ترین نسبت عددی صحیح بین ایون‌های موجود در پالس، فرمول را با نوشته نوشت.

تعداد اتم‌های موجود در یک مول از یک عنصر برابر با عدد آووگادرو است و جرم آنها برابر با وزن اتمی عنصر بر حسب گرم است. تعداد واحد اسیدهای فرمولی موجود در یک مول ترکیب برابر با عدد آووگادرو و جرم آن برابر با وزن فرمولی

مفاهیم کلیدی

Anion آئیون (بخش ۳ - ۱)، یون دارای یک بار منفی.

Avogadro's number عدد آووگادرو (بخش ۳ - ۴)، شمار اجزای موجود

در یک مول: $6,02 \times 10^{23}$ (بخش ۳ - ۴)، یون دارای یک بار مثبت.

Cation کاتیون (بخش ۱)، یون دارای یک بار مثبت.

Chemical formula فرمول شیمیایی (بخش ۱ - ۲)، نمایش ترکیب با

استفاده از نامهای شیمیایی برای نشان‌دادن نوع و تعداد نسبی اتم‌های موجود در یک ترکیب.

Diatomeric molecule مولکول دو اتمی (بخش ۳ - ۱)، مولکولی که از دو

اتم تشکیل شده باشد.

Empirical formula فرمول تجربی (بخش ۳ - ۲)، فرمول شیمیایی برای

ترکیب که بر مبنای ساده‌ترین نسبت عددی اتم‌های موجود در یک ترکیب نوشته می‌شود؛ فرمول ساده نزدیک، منشود.

Formula weight مجموع اوزان اتمی (بخش ۳ - ۳)، مجموع اوزان اتمی

اهم‌های موجود در یک فرمول.

Ion یون (بخش ۳ - ۱)، ذراتی که از یک اتم یا از گروهی از اتم‌ها که دارای پار مثبت باشند تشکیل شده است.

Mole مول (بخش ۳ - ۴)، مقداری از جسم که تعداد اجزای بینایی آن برابر با تعداد اتم‌های موجود در 12 g H_2O باشد؛ مجموعه‌ای از واحدها به تعداد

مسائل *

فرمول‌ها، مولکول‌ها و یون‌ها

۱ - مفاهیم زیربرآمدها مقایسه کنید: (الف) فرمول تجربی، فرمول مولکولی؛

(ب) وزن مولکولی، (پ) وزن فرمول ساختاری.

۲ - مفاهیم زیر را با هم مقایسه کنید: (الف) کاتیون، آئیون؛ (ب) یون تک اتمی، یون چند اتمی.

۳ - در یک اتم از ترکیبات زیر چند اتم و چند یون وجود دارد؟

(الف) Na_2O ؛ (ب) CrCl_3 ؛ (پ) CuSO_4 ؛ (د) $\text{Ba}(\text{OH})_2$.

۴ - در یک اتم از فرمولی از ترکیبات زیر چند اتم و چند یون وجود دارد؟

(الف) Na_2CO_3 ؛ (ب) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ؛ (پ) ZnCl_2 ؛ (د) KOH .

۵ - فرمول گربج ساخت از واکنش یون مونیزم، Mg^{+2} ، با هر یک از

یون‌های زیر را بنویسید: (الف) یون کلرید، Cl^- ؛ (ب) یون سولفات، SO_4^{2-} ؛ (پ) یون پیشمرد، N_3^- .

۶ - فرمول ترکیب حاصل از واکنش یون آلومنیوم، Al^{3+} ، با هر یک از

یون‌های زیر را بنویسید: (الف) یون فلورورید، F^- ؛ (ب) یون اکسپسیون، O^{2-} ؛ (پ) یون فسفات، PO_4^{3-} .

۷ - فرمول ترکیب حاصل از واکنش یون کربنات، CO_3^{2-} ، با هر یک از

یون‌های زیر را بنویسید: (الف) یون پتاسیم، K^+ ؛ (ب) یون کلسیم، Ca^{2+} ؛

(پ) یون آهن III، Fe^{3+} ؛ (چ) یون آهن I، Fe^{2+} .

۸ - فرمول ترکیب حاصل از واکنش یون سولفات، SO_4^{2-} ، با هر یک از

یون‌های زیر را بنویسید: (الف) یون نقره، Ag^+ ؛ (ب) یون سیکل، Ni^{2+} ؛ (پ) یون آهن II، Fe^{2+} ؛ (چ) یون کروم، Cr^{3+} .

۹ - فرمول تجربی مربوط به هر یک از فرمول‌های مولکولی زیر را تعیین کنید: (الف) B_2H_{10} ؛ (ب) C_6H_{18} ؛ (پ) S_8F_{10} ؛ (چ) I_2O_5 ؛ (د) $\text{H}_3\text{P}_2\text{O}_{12}$ ؛ (ا) $\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_{11}$ ؛ (م) H_2O ؛ (ج) H_2S ؛ (ز) H_2I ؛ (س) H_2O_2 ؛ (پ) H_2O_3 ؛ (چ) H_2O_4 ؛ (د) H_2O_5 ؛ (پ) H_2O_6 ؛ (ز) H_2O_7 ؛ (س) H_2O_8 ؛ (م) H_2O_9 ؛ (ج) H_2O_{10} ؛ (پ) H_2O_{11} ؛ (چ) H_2O_{12} ؛ (د) H_2O_{13} ؛ (پ) H_2O_{14} ؛ (ز) H_2O_{15} ؛ (س) H_2O_{16} ؛ (م) H_2O_{17} ؛ (ج) H_2O_{18} ؛ (چ) H_2O_{19} ؛ (د) H_2O_{20} ؛ (پ) H_2O_{21} ؛ (ز) H_2O_{22} ؛ (س) H_2O_{23} ؛ (م) H_2O_{24} ؛ (ج) H_2O_{25} ؛ (پ) H_2O_{26} ؛ (چ) H_2O_{27} ؛ (د) H_2O_{28} ؛ (پ) H_2O_{29} ؛ (ز) H_2O_{30} ؛ (س) H_2O_{31} ؛ (م) H_2O_{32} ؛ (ج) H_2O_{33} ؛ (پ) H_2O_{34} ؛ (چ) H_2O_{35} ؛ (د) H_2O_{36} ؛ (پ) H_2O_{37} ؛ (ز) H_2O_{38} ؛ (س) H_2O_{39} ؛ (م) H_2O_{40} ؛ (ج) H_2O_{41} ؛ (پ) H_2O_{42} ؛ (چ) H_2O_{43} ؛ (د) H_2O_{44} ؛ (پ) H_2O_{45} ؛ (ز) H_2O_{46} ؛ (س) H_2O_{47} ؛ (م) H_2O_{48} ؛ (ج) H_2O_{49} ؛ (پ) H_2O_{50} ؛ (چ) H_2O_{51} ؛ (د) H_2O_{52} ؛ (پ) H_2O_{53} ؛ (ز) H_2O_{54} ؛ (س) H_2O_{55} ؛ (م) H_2O_{56} ؛ (ج) H_2O_{57} ؛ (پ) H_2O_{58} ؛ (چ) H_2O_{59} ؛ (د) H_2O_{60} ؛ (پ) H_2O_{61} ؛ (ز) H_2O_{62} ؛ (س) H_2O_{63} ؛ (م) H_2O_{64} ؛ (ج) H_2O_{65} ؛ (پ) H_2O_{66} ؛ (چ) H_2O_{67} ؛ (د) H_2O_{68} ؛ (پ) H_2O_{69} ؛ (ز) H_2O_{70} ؛ (س) H_2O_{71} ؛ (م) H_2O_{72} ؛ (ج) H_2O_{73} ؛ (پ) H_2O_{74} ؛ (چ) H_2O_{75} ؛ (د) H_2O_{76} ؛ (پ) H_2O_{77} ؛ (ز) H_2O_{78} ؛ (س) H_2O_{79} ؛ (م) H_2O_{80} ؛ (ج) H_2O_{81} ؛ (پ) H_2O_{82} ؛ (چ) H_2O_{83} ؛ (د) H_2O_{84} ؛ (پ) H_2O_{85} ؛ (ز) H_2O_{86} ؛ (س) H_2O_{87} ؛ (م) H_2O_{88} ؛ (ج) H_2O_{89} ؛ (پ) H_2O_{90} ؛ (چ) H_2O_{91} ؛ (د) H_2O_{92} ؛ (پ) H_2O_{93} ؛ (ز) H_2O_{94} ؛ (س) H_2O_{95} ؛ (م) H_2O_{96} ؛ (ج) H_2O_{97} ؛ (پ) H_2O_{98} ؛ (چ) H_2O_{99} ؛ (د) H_2O_{100} ؛ (پ) H_2O_{101} ؛ (ز) H_2O_{102} ؛ (س) H_2O_{103} ؛ (م) H_2O_{104} ؛ (ج) H_2O_{105} ؛ (پ) H_2O_{106} ؛ (چ) H_2O_{107} ؛ (د) H_2O_{108} ؛ (پ) H_2O_{109} ؛ (ز) H_2O_{110} ؛ (س) H_2O_{111} ؛ (م) H_2O_{112} ؛ (ج) H_2O_{113} ؛ (پ) H_2O_{114} ؛ (چ) H_2O_{115} ؛ (د) H_2O_{116} ؛ (پ) H_2O_{117} ؛ (ز) H_2O_{118} ؛ (س) H_2O_{119} ؛ (م) H_2O_{120} ؛ (ج) H_2O_{121} ؛ (پ) H_2O_{122} ؛ (چ) H_2O_{123} ؛ (د) H_2O_{124} ؛ (پ) H_2O_{125} ؛ (ز) H_2O_{126} ؛ (س) H_2O_{127} ؛ (م) H_2O_{128} ؛ (ج) H_2O_{129} ؛ (پ) H_2O_{130} ؛ (چ) H_2O_{131} ؛ (د) H_2O_{132} ؛ (پ) H_2O_{133} ؛ (ز) H_2O_{134} ؛ (س) H_2O_{135} ؛ (م) H_2O_{136} ؛ (ج) H_2O_{137} ؛ (پ) H_2O_{138} ؛ (چ) H_2O_{139} ؛ (د) H_2O_{140} ؛ (پ) H_2O_{141} ؛ (ز) H_2O_{142} ؛ (س) H_2O_{143} ؛ (م) H_2O_{144} ؛ (ج) H_2O_{145} ؛ (پ) H_2O_{146} ؛ (چ) H_2O_{147} ؛ (د) H_2O_{148} ؛ (پ) H_2O_{149} ؛ (ز) H_2O_{150} ؛ (س) H_2O_{151} ؛ (م) H_2O_{152} ؛ (ج) H_2O_{153} ؛ (پ) H_2O_{154} ؛ (چ) H_2O_{155} ؛ (د) H_2O_{156} ؛ (پ) H_2O_{157} ؛ (ز) H_2O_{158} ؛ (س) H_2O_{159} ؛ (م) H_2O_{160} ؛ (ج) H_2O_{161} ؛ (پ) H_2O_{162} ؛ (چ) H_2O_{163} ؛ (د) H_2O_{164} ؛ (پ) H_2O_{165} ؛ (ز) H_2O_{166} ؛ (س) H_2O_{167} ؛ (م) H_2O_{168} ؛ (ج) H_2O_{169} ؛ (پ) H_2O_{170} ؛ (چ) H_2O_{171} ؛ (د) H_2O_{172} ؛ (پ) H_2O_{173} ؛ (ز) H_2O_{174} ؛ (س) H_2O_{175} ؛ (م) H_2O_{176} ؛ (ج) H_2O_{177} ؛ (پ) H_2O_{178} ؛ (چ) H_2O_{179} ؛ (د) H_2O_{180} ؛ (پ) H_2O_{181} ؛ (ز) H_2O_{182} ؛ (س) H_2O_{183} ؛ (م) H_2O_{184} ؛ (ج) H_2O_{185} ؛ (پ) H_2O_{186} ؛ (چ) H_2O_{187} ؛ (د) H_2O_{188} ؛ (پ) H_2O_{189} ؛ (ز) H_2O_{190} ؛ (س) H_2O_{191} ؛ (م) H_2O_{192} ؛ (ج) H_2O_{193} ؛ (پ) H_2O_{194} ؛ (چ) H_2O_{195} ؛ (د) H_2O_{196} ؛ (پ) H_2O_{197} ؛ (ز) H_2O_{198} ؛ (س) H_2O_{199} ؛ (م) H_2O_{200} ؛ (ج) H_2O_{201} ؛ (پ) H_2O_{202} ؛ (چ) H_2O_{203} ؛ (د) H_2O_{204} ؛ (پ) H_2O_{205} ؛ (ز) H_2O_{206} ؛ (س) H_2O_{207} ؛ (م) H_2O_{208} ؛ (ج) H_2O_{209} ؛ (پ) H_2O_{210} ؛ (چ) H_2O_{211} ؛ (د) H_2O_{212} ؛ (پ) H_2O_{213} ؛ (ز) H_2O_{214} ؛ (س) H_2O_{215} ؛ (م) H_2O_{216} ؛ (ج) H_2O_{217} ؛ (پ) H_2O_{218} ؛ (چ) H_2O_{219} ؛ (د) H_2O_{220} ؛ (پ) H_2O_{221} ؛ (ز) H_2O_{222} ؛ (س) H_2O_{223} ؛ (م) H_2O_{224} ؛ (ج) H_2O_{225} ؛ (پ) H_2O_{226} ؛ (چ) H_2O_{227} ؛ (د) H_2O_{228} ؛ (پ) H_2O_{229} ؛ (ز) H_2O_{230} ؛ (س) H_2O_{231} ؛ (م) H_2O_{232} ؛ (ج) H_2O_{233} ؛ (پ) H_2O_{234} ؛ (چ) H_2O_{235} ؛ (د) H_2O_{236} ؛ (پ) H_2O_{237} ؛ (ز) H_2O_{238} ؛ (س) H_2O_{239} ؛ (م) H_2O_{240} ؛ (ج) H_2O_{241} ؛ (پ) H_2O_{242} ؛ (چ) H_2O_{243} ؛ (د) H_2O_{244} ؛ (پ) H_2O_{245} ؛ (ز) H_2O_{246} ؛ (س) H_2O_{247} ؛ (م) H_2O_{248} ؛ (ج) H_2O_{249} ؛ (پ) H_2O_{250} ؛ (چ) H_2O_{251} ؛ (د) H_2O_{252} ؛ (پ) H_2O_{253} ؛ (ز) H_2O_{254} ؛ (س) H_2O_{255} ؛ (م) H_2O_{256} ؛ (ج) H_2O_{257} ؛ (پ) H_2O_{258} ؛ (چ) H_2O_{259} ؛ (د) H_2O_{260} ؛ (پ) H_2O_{261} ؛ (ز) H_2O_{262} ؛ (س) H_2O_{263} ؛ (م) H_2O_{264} ؛ (ج) H_2O_{265} ؛ (پ) H_2O_{266} ؛ (چ) H_2O_{267} ؛ (د) H_2O_{268} ؛ (پ) H_2O_{269} ؛ (ز) H_2O_{270} ؛ (س) H_2O_{271} ؛ (م) H_2O_{272} ؛ (ج) H_2O_{273} ؛ (پ) H_2O_{274} ؛ (چ) H_2O_{275} ؛ (د) H_2O_{276} ؛ (پ) H_2O_{277} ؛ (ز) H_2O_{278} ؛ (س) H_2O_{279} ؛ (م) H_2O_{280} ؛ (ج) H_2O_{281} ؛ (پ) H_2O_{282} ؛ (چ) H_2O_{283} ؛ (د) H_2O_{284} ؛ (پ) H_2O_{285} ؛ (ز) H_2O_{286} ؛ (س) H_2O_{287} ؛ (م) H_2O_{288} ؛ (ج) H_2O_{289} ؛ (پ) H_2O_{290} ؛ (چ) H_2O_{291} ؛ (د) H_2O_{292} ؛ (پ) H_2O_{293} ؛ (ز) H_2O_{294} ؛ (س) H_2O_{295} ؛ (م) H_2O_{296} ؛ (ج) H_2O_{297} ؛ (پ) H_2O_{298} ؛ (چ) H_2O_{299} ؛ (د) H_2O_{300} ؛ (پ) H_2O_{301} ؛ (ز) H_2O_{302} ؛ (س) H_2O_{303} ؛ (م) H_2O_{304} ؛ (ج) H_2O_{305} ؛ (پ) H_2O_{306} ؛ (چ) H_2O_{307} ؛ (د) H_2O_{308} ؛ (پ) H_2O_{309} ؛ (ز) H_2O_{310} ؛ (س) H_2O_{311} ؛ (م) H_2O_{312} ؛ (ج) H_2O_{313} ؛ (پ) H_2O_{314} ؛ (چ) H_2O_{315} ؛ (د) H_2O_{316} ؛ (پ) H_2O_{317} ؛ (ز) H_2O_{318} ؛ (س) H_2O_{319} ؛ (م) H_2O_{320} ؛ (ج) H_2O_{321} ؛ (پ) H_2O_{322} ؛ (چ) H_2O_{323} ؛ (د) H_2O_{324} ؛ (پ) H_2O_{325} ؛ (ز) H_2O_{326} ؛ (س) H_2O_{327} ؛ (م) H_2O_{328} ؛ (ج) H_2O_{329} ؛ (پ) H_2O_{330} ؛ (چ) H_2O_{331} ؛ (د) H_2O_{332} ؛ (پ) H_2O_{333} ؛ (ز) H_2O_{334} ؛ (س) H_2O_{335} ؛ (م) H_2O_{336} ؛ (ج) H_2O_{337} ؛ (پ) H_2O_{338} ؛ (چ) H_2O_{339} ؛ (د) H_2O_{340} ؛ (پ) H_2O_{341} ؛ (ز) H_2O_{342} ؛ (س) H_2O_{343} ؛ (م) H_2O_{344} ؛ (ج) H_2O_{345} ؛ (پ) H_2O_{346} ؛ (چ) H_2O_{347} ؛ (د) H_2O_{348} ؛ (پ) H_2O_{349} ؛ (ز) H_2O_{350} ؛ (س) H_2O_{351} ؛ (م) H_2O_{352} ؛ (ج) H_2O_{353} ؛ (پ) H_2O_{354} ؛ (چ) H_2O_{355} ؛ (د) H_2O_{356} ؛ (پ) H_2O_{357} ؛ (ز) H_2O_{358} ؛ (س) H_2O_{359} ؛ (م) H_2O_{360} ؛ (ج) H_2O_{361} ؛ (پ) H_2O_{362} ؛ (چ) H_2O_{363} ؛ (د) H_2O_{364} ؛ (پ) H_2O_{365} ؛ (ز) H_2O_{366} ؛ (س) H_2O_{367} ؛ (م) H_2O_{368} ؛ (ج) H_2O_{369} ؛ (پ) H_2O_{370} ؛ (چ) H_2O_{371} ؛ (د) H_2O_{372} ؛ (پ) H_2O_{373} ؛ (ز) H_2O_{374} ؛ (س) H_2O_{375} ؛ (م) H_2O_{376} ؛ (ج) H_2O_{377} ؛ (پ) H_2O_{378} ؛ (چ) H_2O_{379} ؛ (د) H_2O_{380} ؛ (پ) H_2O_{381} ؛ (ز) H_2O_{382} ؛ (س) H_2O_{383} ؛ (م) H_2O_{384} ؛ (ج) $\text{H}_$

- ۶۱ - ۳^۰ عنصر X نایتروژن ترکیبی به فرمول N_x تشکیل می‌دهد. اگر ۴۰٪ این ترکیب نایتروژن باشد، وزن اتمی X چقدر است؟
- ۶۲ - ۳^۰ عنصر X با کربن ترکیبی به فرمول XC_x تشکیل می‌دهد. اگر ۳۷٪ این ترکیب کربن باشد، وزن اتمی X چقدر است؟
- مسائل دسته بندی شده
- ۶۳ - ۳ نام و فرمول ۷ عنصری را که در طبیعت به صورت مولکولی های دو اتمی یافته می‌شوند را بنویسید.
- ۶۴ - ۳ خاصیم سیانید، KCN ، به شدت سُخت است. دورکشیده آن تقریباً $mg \cdot mg^{-1}$ به ازای هر گلوبرم وزن بدنه است. (الف) چند میلیگرم KCN برای یک شخص مزده ۵۰ کلولگرم کشیده است؟ (ب) در این مقدار KCN چند مول KCN وجود دارد؟ (ج) این ترکیب شامل چند واحد فرمولی است؟
- ۶۵ - ۳ در هر واحد فرمولی از سولفید عنصر A هم گوگرد وجود دارد و شامل $33\% \text{H}_2O$ است. وزن فرمولی این ترکیب چقدر است؟
- ۶۶ - ۳ اگر فرمولی این ترکیب مذکور در مسئله ۶۵ باشد، وزن اتمی A چقدر است. در سورتی که از پایه (الف) ، (ب) ، (ج) (۴؛ ۳؛ ۲) باشد؟
- ۶۷ - ۳ ساکسن ماده خوشبو موجود در مشک، دارای فرمول مولکولی $C_6H_{10}O_3$ است. ترکیب درست ماسکون چیست؟
- ۶۸ - ۳ یک نمونه 67 g گرمی از ماسکون (مسئله ۶۷ را ببینید) در اکسیژن سوزانده شده است. (الف) اگر تمام کربن موجود در این ترکیب به H_2O تبدیل شود، چه مقدار CO_2 به دست می‌آید؟ (ب) اگر تمام هیدروژن آن به تبدیل شود، چه مقدار H_2O به دست می‌آید؟
- ۶۹ - ۳ فرمول تجزیی ترکیبی $C_6H_{10}O_3$ با $C_2H_4O_2$ است. اگر این ترکیب ۶۵٪ کربن داشته باشد کدامیک از این دو فرمول صحیح است؟
- ۷۰ - ۳ میلی سالیسیلات موجود در روند پیدا شامل $4\% \text{KCN}$ ، ۳۱٪ هیدروژن، و ۵۵٪ اکسیژن است. فرمول تجزیی میلی سالیسیلات چیست؟
- ۷۱ - ۳ جرم یک مولکول از هورمون انسولین $10^{-21} \times 5 \times 9$ است. وزن مولکولی انسولین چقدر است؟

- ۵۲ - ۳ 52 g مولکولی کلسترول است و این ترکیب شامل ۷٪ کربن، ۱۲٪ هیدروژن، و ۴٪ اکسیژن است. فرمول مولکولی کلسترول چیست؟
- ۵۳ - ۳ در اثر سخنن نمونه‌ای از یک ترکیب که فقط شامل کربن، هیدروژن و نیتروژن است (ب) این ترکیب شامل چند مول از اتمهای کربن، اتمهای هیدروژن و اتمهای نیتروژن است؟ (ب) فرمول تجزیی این ترکیب چیست؟ (ج) جرم نمونه سوزانده چقدر است؟
- ۵۴ - ۳ از سخنن تجزیی شامل کربن، هیدروژن و گوگرد، مقدار 9 g CO_2 ، H_2O 4 g و SO_2 5.2 g به دست آمده است. (الف) مقدار اتمهای S و H و C موجود در نمونه را بر حسب مول محاسبه کنید. (ب) فرمول تجزیی این ترکیب چیست؟ (ج) جرم نمونه سوزانده شده چقدر بوده است؟
- ۵۵ - ۳ هموگلوبین خون شامل 3.2% Fe^{+2} باشد، وزن فرمولی هموگلوبین شامل چهار بون Fe^{+2} باشد، و زن فرمولی هموگلوبین چیست؟
- ۵۶ - ۳ 56 g کلروفیل، «ساده سبزرنگ گیاهان»، شامل $3.7\% Mg$ است. اگر هر واحد فرمولی کلروفیل 5 g دارد اگر یک بون Mg^{+2} باشد، وزن فرمولی کلروفیل چقدر است؟
- ۵۷ - ۳ در اثر گرم کردن 5.6 g عرق از xH_2O آب $NiSO_4$ آبدار در خلا، آب خارج شده و 3.7 g $NiSO_4$ خشک بر جای می‌ماند. مقدار x در فرمول $NiSO_4 \cdot xH_2O$ چقدر است؟
- ۵۸ - ۳ در اثر گرم کردن 7.5 g $BeSO_4 \cdot xH_2O$ آبدار در خلا، آب خارج شده و 4.4 g $BeSO_4 \cdot xH_2O$ مشک بر جای می‌ماند. مقدار x در فرمول $BeSO_4 \cdot xH_2O$ چقدر است؟
- ۵۹ - ۳ در آنالیز 4 g نمونه از یک ترکیب که شامل کروم و کلر است، کلر موجود در آن به $AgCl$ تبدیل می‌شود. در این فرایند 8 g Ag به دست می‌آید. فرمول تجزیی کروم کلرید چیست؟
- ۶۰ - ۳ در آنالیز 21 g نمونه از ترکیبی که شامل قلع و کلر است، کلر موجود در آن به $AgCl$ تبدیل می‌شود. در این فرایند 11.4 g به دست می‌آید. فرمول تجزیی کلرید قلع چیست؟

استوکیومتری، بخش II : معادله‌های شیمیایی

پیش‌بینی فرآورده‌های یک واکنش شیمیایی را امکان‌پذیر می‌سازد. در این کتاب، توجه دقیقی به این گونه یگانه‌سازی‌ها^۴ معطوف می‌داریم. اما در اغلب موارد، فرآورده‌های یک مجموعه معین از واکنش‌های دهنده‌ها را باید به خاطر سپرد. به علاوه، هرگونه یگانه‌سازی، بر مبنای نتایج تجربی صورت می‌گیرد. آنچه که بروز یک‌اند معقول به نظر می‌رسد، ضرورتاً همان نیست که در آزمایشگاه رخ می‌دهد.

نوشتن یک معادله شیمیایی، دو مرحله دارد:

۱- مرحله اول، نوشتن فرمول صحیح واکنش‌دهنده‌ها. یک پیکان، و سپس فرمول صحیح فرآورده‌هاست. برای مثال، واکنش کربن دی سولفید، CS₂، و کلر، Cl₂، را در نظر بگیرید که کربن تراکلرید، CCl₄، و دی سولفور دی کلرید، Cl₂S₂، به دست می‌دهد. برای نمایش این معادله، می‌نویسیم،



در صورتی که حالت فیزیکی اجماس درگیر در واکنش برای ما مهم باشد، می‌توان آنها را در براتنی که بعد از فرمول جسم می‌آید مشخص کرد. حالت‌های مهم عبارتند از:

(g) برای گاز

(l) برای مایع

(s) برای جامد

(aq) برای محلول آبی

برای مثال:



۲- گام بعدی، موازنی کردن معادله است. تعداد اتم‌های هر یک از عنصر در طرف معادله باید برابر باشد. در مثال ماء اتم‌های کربن و اتم‌های گوگرد موازنی می‌شود. در هر دو سمت معادله، یک اتم کربن و دو اتم گوگرد وجود دارد. اما اتم‌های کلر موازنی نیستند. در سمت چپ، دو اتم کلر (یک مولکول Cl₂) و در سمت راست شش اتم کلر (چهار تا در مولکول Cl₂ و دو تا در S₂Cl₂) وجود دارد. با در نظر گرفتن سه

1. Reactants
3. Balanced

2. Products
4. Generalizations

در این فصل، اصول استوکیومتری را در مورد واکنش‌های شیمیایی به کار می‌بندیم. رابطه‌های کمی بین مواد درگیر در یک واکنش را از معادله شیمیایی آن واکنش به دست می‌آوریم. تفسیر استوکیومتری یک معادله شیمیایی بر مول استوار است.

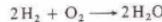
۱- معادله‌های شیمیایی

معادله شیمیایی، نمایش واکنش‌های شیمیایی براساس نسماهه و فرمول‌های عناصر و ترکیبات درگیر در آن واکنش هاست. مواد واردشده در یک واکنش را واکنش دهنده‌ها^۵ و مواد تشکیل شده در واکنش را فرآورده‌ها^۶ نامند. در یک معادله شیمیایی، فرمول واکنش دهنده‌ها را در سمت چپ و فرمول فرآورده‌ها را در سمت راست می‌نویسند. به جای علامت مرسم تساوی در معادله‌های سیریزی، از یک پیکان استفاده می‌شود؛ پیکان توان نماد عبارت می‌داند تلقی کرد.



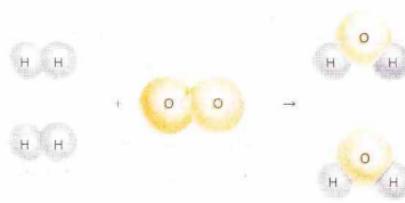
این معادله، در سطح مولکولی، بیانگر واکنش بین دو مولکول هیدروژن، 2H₂، و یک مولکول اکسیژن، O₂، و تشکیل دو مولکول آب، H₂O، است (شکل ۱-۱ را ببینید). ارقامی که قبل از فرمول‌ها آدمده‌اند، ضرایب نام دارند و بیانگر تعدد مولکول‌های هر یک از مواد درگیر در واکنش هستند. اگر پیش از یک فرمول ضریب بناشد، شماره ۱ استیماتیم شود.

براساس قانون بقای جرم، تعداد اتم‌های سمت چپ معادله باید با تعداد اتم‌های طرف راست برابر باشد. در یک واکنش، معکن است اتم‌ها از یک مولکول به یک مولکول بروند، ولی تعداد و نوع اتم‌های درگیر ثابت می‌ماند. در معادله ما:



چهار اتم هیدروژن و دو اتم اکسیژن در هر طرف وجود دارد. چنین معادله را موازنی شده^۷ می‌نامیم. در نوشتن یک معادله شیمیایی، ضرایبی را برای موازنی معادله بر کار می‌گیریم. ضمن موازنی کردن معادله، فرمول مواد واکنش دهنده و فرآورده‌ها تغییر نمی‌کند.

پیش از نوشتن یک معادله شیمیایی باید نوع و فرمول تمام مواد درگیر در واکنش را دانیم. معادله‌های شیمیایی، بیانگر نتایج تجربی هستند. یکی از هدف‌های شیمی، کشف و تکوین اصولی است که



شکل ۴ - نمایش واکنش دو مولکول هیدروژن با یک مولکول اکسیژن و تشکیل دو مولکول آب

هیدروژن باشد - H_2 تولید می‌شود

گوگرد باشد - SO_2 تولید می‌شود

نیتروژن باشد - N_2 تولید می‌شود

مثال ۴ -

با عبور دادن بخار آب، H_2O (g)، از روی آهن، $\text{Fe}(s)$ ، گازهیدروژن، $\text{H}_2(g)$ و یک اکسید آهن یا فرمول $\text{Fe}_3\text{O}_4(s)$ تولید می‌شود. معادله موازنۀ شدۀ این واکنش را بنویسید.

حل

۱ - معادله موازنۀ شدۀ واکنش به صورت زیر است:

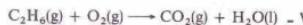


مثال ۵ -

معادله شیمیایی مربوط به سوختن کامل اتان، $\text{C}_2\text{H}_6(g)$ در مجاورت اکسیژن را بنویسید.

حل

چون اثان دارای کربن و هیدروژن است، فراورده‌های واکنش عبارتند از $\text{CO}_2(g)$ و $\text{H}_2\text{O}(l)$.



۲ - برای موازنۀ دو اتم کربن، C_2H_6 ، تولید دو مولکول CO_2 را باید نشان داد. شش اتم هیدروژن، C_2H_6 ، سه مولکول H_2O تولید می‌کنند.



تا اینجا فقط اکسیژن موازنۀ نیست، در سمت راست معادله، هفت اتم اکسیژن و در سمت چپ آن فقط دو اتم اکسیژن وجود دارد. برای اینکه تعداد اکسیژن‌های سمت چپ به هفت برسد، باید $\frac{1}{3}$ یا $\frac{7}{3}$ مولکول از O_2 را بوداریم:



ممکن‌آلا، معادله‌های شیمیایی را با ضرایب عددی صحیح می‌نویسند. با ضرب کردن کل معادله در ۲، داریم:



مولکول Cl_2 می‌توان معادله را موازنۀ کرد. در نتیجه،



همان‌طور که در مثال‌های زیر نشان‌داده شده است، معادله‌های شیمیایی ساده‌تر را با روش سعی و خطأ موازنۀ می‌کنند. توجه داشته باشید که موازنۀ یک معادله فقط با تغییر ضرایب فرمول‌های معادله صورت می‌گیرد، نه با تغییر خود فرمول‌ها.

مثال ۶ -

با عبور دادن بخار آب، H_2O (g)، از روی آهن، $\text{Fe}(s)$ ، گازهیدروژن، $\text{H}_2(g)$ و یک اکسید آهن یا فرمول $\text{Fe}_3\text{O}_4(s)$ تولید می‌شود. معادله موازنۀ شدۀ این واکنش را بنویسید.

حل

۱ - معادله موازنۀ شدۀ واکنش به صورت زیر است:



۲ - در سمت چپ این معادله، یک اتم قرار دارد، اما در سمت راست آن، سه اتم O و چهار اتم Fe نشان داده شده است. ممکن است چنین تصویر شود که اگر به جای Fe_3O_4 ، اکسید دیگری از آهن، یعنی FeO را در سمت راست قرار دهیم، معادله موازنۀ خواهد شد. اما چنین معادله‌ای برای ما آزمایش نشان داده است که FeO را در سمت راست قرار نماییم، زیرا آزمایش نشان داده است که Fe_3O_4 فراورده‌ای واکنش انجام نمی‌شود.

تغییر فرمول فراورده‌های واکنش انجام نمی‌شود. در معادله مربوط به واکنش آهن و بخار آب، به سه اتم Fe و چهار مولکول H_2O نیاز داریم تا اتم‌های آهن و اکسیژن لازم برای فرمول Fe_3O_4 را فراهم سازیم:



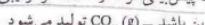
اکنون معادله موازنۀ شده است، بجز برای هیدروژن که به صورت زیر موازنۀ می‌شود:



۱

سوختن در مجاورت اکسیژن

در فصل ۳ داده‌های مربوط به سوختن ترکیبات در اکسیژن را برای محاسبه درصد اجزاء و فرمول‌های تجزیه کارگرفتیم. از این واکنش، در تمرین معادله‌نوسی نیز استفاده می‌کنیم. فراورده‌های حاصل از سوختن کامل یک ترکیب در اکسیژن O_2 را می‌توان برمنای اعصار تشکیل دهد. ترکیب پیش‌بینی کرد. در 25°C تولید می‌شود:

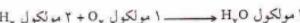


۳-۱ مساله شیمیایی بر اساس معادله های شیمیایی

پک معادله شیمیایی را به چند صورت می توان تفسیر کرد. برای مثال، معادله زیر را در نظر بگیرید:



به زبان ساده، این معادله شاندخته و اکتش بین هیدروژن و اکسیژن برای تولید آب است در سطح اتمی - مولکولی، به ما می گوید:



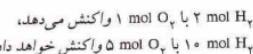
اگر تعداد مولکولهای هیدروژن را $2N$ اختیار کنیم که در آن عدد اوگادرو (6.02×10^{23}) باشد،



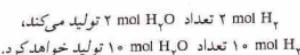
پک از هر مولکول، به تعداد عدد اوگادرو مولکول در بردارد. به این ترتیب، معادله را به صورت زیر نیز می توان بیان کرد:



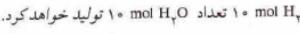
تفسیر اخیر، ما را به حل مسائل استوکیومتری قادر می سازد. ضرایب معادله شیمیایی، نسبت هایی را به دست می دهد که اجسام با آن نسبت ها باهم ترکیب می شوند یا به وجود آمی ایند. چون، براساس معادله،



همین طور، چون معادله شان می دهد که،



برای تولید می کنند،



و اکتش خواهد دارد.

۳-۲ مثال

برای واکنش با MnO_4^- از 25.0 g HCl لازم است؟ (ب) در این واکنش، چند گرم Cl_2 تولید می شود؟

حل

(الف) حل مسئله را بتوشتن معادله زیر آغاز می کنیم:

$$? \text{ g HCl} = 25.0 \text{ g MnO}_2$$

نسبت استوکیومتری استخراج شده از معادله شیمیایی را بر حسب مول بیان می کنیم. در نتیجه، MnO_4^- را به 1 mol MnO_4^- تبدیل می کنیم. وزن فرمولی MnO_4^- برابر با 86.9 g است:

$$? \text{ g HCl} = 25.0 \text{ g MnO}_2 \left(\frac{1 \text{ mol MnO}_4^-}{86.9 \text{ g MnO}_2} \right)$$

رابطه زیر از معادله شیمیایی استنتاج می شود:

$$1 \text{ mol MnO}_2 \approx 4 \text{ mol HCl}$$

که از آن، ضریب تبدیل ($4 \text{ mol HCl} / 1 \text{ mol MnO}_4^-$) را بدست می آوریم:

$$? \text{ g HCl} = 25.0 \text{ g MnO}_2 \left(\frac{1 \text{ mol MnO}_4^-}{86.9 \text{ g MnO}_2} \right) \left(\frac{4 \text{ mol HCl}}{1 \text{ mol MnO}_4^-} \right)$$

محاسبات انجام شده تا اینجا، تعداد مول های HCl لازم را به دست می دهد. در نتیجه، باید 1 mol HCl را به 4 g HCl تبدیل کنیم تا به جواب

تعداد مول های O_2 را باید از مقدار $4 \text{ mol C}_2\text{H}_6$ به دست آوریم:

$$? \text{ mol O}_2 = 5.00 \text{ mol C}_2\text{H}_6$$

رابطه استوکیومتری به دست آمده از ضرایب معادله شیمیایی عبارتست از:

$$2 \text{ mol C}_2\text{H}_6 \approx 7 \text{ mol O}_2$$

از این رابطه می توان ضریب تبدیل مورد نیاز برای حل معادله را به

۲ مول O_2 جقدر آب تولید می‌شود. براساس معادله شیمیایی زیر



۲ مول H_2 فقط با ۱ مول O_2 واکنش می‌دهد. اما در مسئله ما ۲ مول H_2 و ۲ مول O_2 داده شده است. هنگامی که تمام H_2 به مصرف رسید، واکنش متوقف می‌شود. تا این مرحله، یک مول O_2 مصرف شده و ۱ مول دیگر از O_2 باقی مانده است. مقدار H_2 ، واکنش را محدود می‌شود و تعیین کننده سقدار H_2O تولید شده است. در نتیجه هیدروژن زیر

واکنش دهنده محدود‌ساز^۱ نامید.

صرف‌نظر از مقدار هر یک از مواد واکنش دهنده، پیش از حل کردن مسئله باید واکنش دهنده محدود ساز را مشخص کنیم.

مثال ۴

از ۰.۴۰ مول Fe و ۰.۵۰ مول H_2O ، چند مول H_2 به طور نظری می‌توان سه دست آورد؟ معادله شیمیایی این واکنش به قرار زیر است:



حل

گام نخست بیداکردن واکنش دهنده محدود‌ساز است. معادله شیمیایی نشان می‌دهد:

$$3\text{ mol Fe} \rightleftharpoons 4\text{ mol H}_2\text{O}$$

مقادیر مواد واکنش دهنده مسئله را با مقدار نشان داده شده در این رابطه مقایسه می‌کنیم. مقدار Fe داده شده در مسئله ۰.۴۰ مول است که برابر است با:

$$\frac{4.00\text{ mol Fe}}{3\text{ mol Fe}} = 1.33$$

برابر مقدار بیان شده در رابطه استوکیومتری به دست آمده از معادله شیمیایی، مقدار ۰.۵۰ مول H_2O داده شده در مسئله تیز برابر است با:

$$\frac{5.00\text{ mol H}_2\text{O}}{4\text{ mol H}_2\text{O}} = 1.25$$

برابر مقدار بیان شده در رابطه به دست آمده از معادله شیمیایی، در نتیجه، H_2O پیشرفت واکنش را محدود می‌سازد، زیرا مقدار نسبی آن کمتر است (۰.۲۵) کوچک‌تر از (۰.۳۳) است. چون مقدار H_2O ۰.۲۵ است، برابر مقدار بیان شده در رابطه است، فقط ۰.۲۵ برابر مقدار Fe بیان شده در رابطه می‌تواند مصرف شود. بدینه آن دست‌نخودره باقی می‌ماند.

برسمیم وزن فرمولی HCl برابر با ۳۶ است:

$$? \text{ g HCl} = 25.0 \text{ g MnO}_2 \left(\frac{1 \text{ mol MnO}_2}{86.9 \text{ g MnO}_2} \right) \left(\frac{4 \text{ mol HCl}}{1 \text{ mol MnO}_2} \right) \left(\frac{36.5 \text{ g HCl}}{1 \text{ mol HCl}} \right)$$

$$= 42.0 \text{ g HCl}$$

(ب) برای حل این مسئله تیز روش مشابهی به کار می‌رود. مقدار MnO_2 بر حسب گرم به مقدار HCl برابر مول تبدیل می‌شود. رابطه مولی به دست آمده از معادله شیمیایی

$$1 \text{ mol MnO}_2 \approx 1 \text{ mol Cl}_2$$

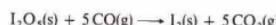
را برای پیداکردن تعداد مول‌های Cl_2 تولید شده به کار می‌بریم. در مرحله آخر تعداد مول‌های Cl_2 را به گرم Cl_2 تبدیل می‌کنیم:

$$? \text{ g Cl}_2 = 25.0 \text{ g MnO}_2 \left(\frac{1 \text{ mol MnO}_2}{86.9 \text{ g MnO}_2} \right) \left(\frac{1 \text{ mol Cl}_2}{1 \text{ mol MnO}_2} \right) \left(\frac{71.0 \text{ g Cl}_2}{1 \text{ mol Cl}_2} \right)$$

$$= 20.4 \text{ g Cl}_2$$

مثال ۴

مقدار کربن مونوکسید موجود در یک گاز را با واکنش زیرمی توان تعیین کرد.



اگر یک نمونه گازی از ۱۹.۲۸ گرم آزاد کرده باشد، مقدار CO موجود در نمونه را بر حسب گرم پیدا کنید.

حل

رابطه مولی بین دو جسم موردنظر ماز معادله شیمیایی استخراج می‌شود:

$$5 \text{ mol CO} \approx 1 \text{ mol I}_2$$

همچنین، لازم است بدایم:

$$1 \text{ mol I}_2 = 254 \text{ g I}_2$$

$$1 \text{ mol CO} = 28.0 \text{ g CO}$$

ضرایب تبدیل به دست آمده از سه رابطه بالا را برای مسئله لازم داریم. پاسخ مسئله چنین است:

$$? \text{ g CO} = 0.192 \text{ g I}_2 \left(\frac{1 \text{ mol I}_2}{254 \text{ g I}_2} \right) \left(\frac{5 \text{ mol CO}}{1 \text{ mol I}_2} \right) \left(\frac{28.0 \text{ g CO}}{1 \text{ mol CO}} \right)$$

$$= 0.106 \text{ g CO}$$

۳-۳ واکنش دهنده‌های محدود‌ساز

در برخی مسائل، مقادیری برای دو یا چند ماده واکنش دهنده مشخص می‌شود. برای مثال، فرض کنید از ما پرسیده شده است از ۲ مول H_2 و

حل

گام اول، تعیین واکنش دهنده محدودساز است. تعداد مول‌های هر یک از واکنش دهنده‌ها بیش از واکنش را محاسبه می‌کنیم. وزن مولکولی NH_3 برابر 17 g و F_2 برابر 38 g است:

$$\text{? mol NH}_3 = 4.00 \text{ g NH}_3 \left(\frac{1 \text{ mol NH}_3}{17.0 \text{ g NH}_3} \right) = 0.235 \text{ mol NH}_3$$

$$\text{? mol F}_2 = 14.0 \text{ g F}_2 \left(\frac{1 \text{ mol F}_2}{38.0 \text{ g F}_2} \right) = 0.368 \text{ mol F}_2$$

رابطه استوکیومتری به دست آمده از معادله واکنش به صورت زیر است:

$$2 \text{ mol NH}_3 \rightleftharpoons 5 \text{ mol F}_2$$

تعداد مول‌های مواد واکنش دهنده را با این مقادیر مقایسه می‌کنیم. مقدار NH_3 برابر با 34.0 mol است که

$$\frac{0.235 \text{ mol NH}_3}{2 \text{ mol NH}_3} = 0.118$$

برابر مقدار مشخص شده در رابطه مربوط به معادله شیمیایی است. مقدار F_2 برابر 36.8 mol نیز

$$\frac{0.368 \text{ mol F}_2}{5 \text{ mol F}_2} = 0.0736$$

برابر مقدار داده شده در رابطه به دست آمده از معادله شیمیایی است. به این ترتیب، واکنش دهنده محدودساز است، زیرا مقدار نسبی آن کمتر است ($0.118 < 0.0736$). مسئله بر مبنای مقدار F_2 حل می‌شود:

$$? \text{ g N}_2\text{F}_4 = 0.368 \text{ mol F}_2$$

رابطه بین مقدار F_2 به کار رفته و مقدار N_2F_4 تولید شده را از معادله شیمیایی می‌توان به دست آورد. این رابطه به صورت زیر است:

$$5 \text{ mol F}_2 \rightleftharpoons 1 \text{ mol N}_2\text{F}_4$$

وزن مولکولی N_2F_4 برابر با 104 g است:

$$1 \text{ mol N}_2\text{F}_4 = 104 \text{ g N}_2\text{F}_4$$

حل نهایی مسئله به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} ? \text{ g N}_2\text{F}_4 &= 0.368 \text{ mol F}_2 \left(\frac{1 \text{ mol N}_2\text{F}_4}{5 \text{ mol F}_2} \right) \left(\frac{104 \text{ g N}_2\text{F}_4}{1 \text{ mol N}_2\text{F}_4} \right) \\ &= 7.65 \text{ g N}_2\text{F}_4 \end{aligned}$$

۳-۲ درصد پایاذه

اغلب، مقدار واقعی فوارده به دست آمده از یک واکنش، کمتر از مقدار

محاسبات شیمیایی بر اساس معادله‌های شیمیایی

۱- مسئله را بیان کنید. جسم خواسته شده را (بر حسب واحد گرم)، یک نشانه تساوی و جرم جسم داده شده (بر حسب گرم) را مشخص کنید.

۲- ضربی را وارد کنید که جرم جسم داده شده را به مول آن (جسم داده شده) تبدیل کند. این ضربی تبدیل را از این واقعیت تجربی می‌توان استنتاج کرد که یک مول از جسم (صورت)، وزن فرمولی بر حسب گرم است (مخرج).

۳- ضربی تبدیل را اعمال کنید که از ضربای معادله شیمیایی استخراج شده باشد و تعداد مول‌های جسم خواسته شده (صورت) را به تعداد مول‌های جسم داده شده (مخرج) مربوط سازد.

۴- ضربی مربوط به تبدیل تعداد مول‌های جسم خواسته شده به جسم داده شده بر حسب گرم را وارد کنید. وزن فرمولی جسم خواسته شده بر حسب گرم (صورت) برابر 1 mol از جسم خواسته شده (مخرج) است.

۵- با انجام عملیات ریاضی گفته شده، پاسخ مسئله را به دست آورید. تمام واحدها، بجز گرم جسم خواسته شده باید حذف شوند.

اگر مقدار داده شده در مسئله، برای بیش از یک واکنش دهنده باشد:

۱- مقدار داده شده در مسئله محاسبه کنید (مرحله ۲ بالا را بپیشینی).

۲- هر یک از این مقادیر را بر ضربی را بر می‌کنیم که در معادله واکنش، پیش از فرمول ماده واکنش دهنده مربوطه آمده است تقسیم کنید.

۳- کوچکترین عدد به دست آمده در مرحله ۲، مربوط به واکنش دهنده‌ای است که میزان پیشرفت واکنش را محدود می‌کند. مقدار این واکنش دهنده را برای حل مسئله به شیوه‌ای که قبل گفته شد، به کار ببرید.

مسئله بر اساس مقدار H_2O (واکنش دهنده محدودساز) حل می‌شود:

$$\text{? mol H}_2 = 5.00 \text{ mol H}_2\text{O} \left(\frac{4 \text{ mol H}_2}{4 \text{ mol H}_2\text{O}} \right) = 5.00 \text{ mol H}_2$$

مثال ۴

از 14 g F_2 و $2\text{ g N}_2\text{F}_4$ چند گرم N_2F_4 می‌توان به طور نظری تهیه کرد؟ معادله شیمیایی واکنش به صورت زیر است:





شکل ۴-۲ بالن حجم سنجی

مثال ۴-۱ ۱۰۰ mL که ۱ mol "R" از ماده حل شده می‌باشد،
۵۰ mL که ۱۰۰ mol "R" است، شامل ۱۰۰ mL.
۲۰ mL که ۲۰۰ mol "R" است، شامل ۲۰۰ mL.

غلظت هر سه محلول بالا، M = ۳ است.

همچنین، توجه داشته باشید که تعریف مولا ریته بر مبنای یک لیتر از محلول است و نه یک لیتر از حلال (که اغلب آب است). هنگامی که یک محلول مایع تهیه می‌شود، حجم محلول به ندرت، برابر با مجموع حجم‌های اجزای خالص است. اغلب، حجم تهیه، کمتر یا بیشتر از کل حجم مواد به کار رفته برای تهیه آن است. در نتیجه، تلاش برای پیش‌بینی مقدار حلال لازم برای تهیه یک محلول، عملی نیست. برای تهیه محلول‌های مولا، معمولاً از بالان‌های حجم سنجی^۴ (شکل ۴-۲) استفاده می‌شود. برای تهیه یک محلول، ابتدا مقدار دقیق ماده حل شده در بالان قرار داده، معمولاً می‌شود تا بالان تا شانه درجه‌بندی که بر روی گردن بالان قرار دارد، پر شود.

مثال ۴-۲ ۹۰ g NaOH لازم برای تهیه ۲۵۰ mL محلول M = ۱۰ از NaOH چقدر است؟

حل محلول، M = ۱۰ است، در نتیجه



تعداد مول‌های NaOH لازم برای تهیه محلول ۲۵۰ mL را به صورت

محاسبه شده است. علت این امر ممکن است عمل نکردن بخشی از واکنش‌دهنده‌ها باشد، یا اینکه بخشی از واکنش‌دهنده‌ها به روال مقاومتی نسبت به واکنش اصلی عمل کنند (واکنش‌های فرعی) بالاخره اینکه تمام فراورده و واکنش استخراج نشده باشد. درصد بازده^۱، مقدار فراورده به دست آمده (بازده واقعی) به مقدار فراورده پیش‌بینی شده نظری (بازده نظری) است:

$$\frac{\% \text{ بازده واقعی}}{\% \text{ بازده نظری}} = \frac{\text{درصد بازده}}{\text{درصد بازده نظری}}$$
(۴-۴)

مثال ۴-۳ N₂F₄ به دست آمده از آزمایش گفته شده در مثال ۴-۷ فقط ۸۰٪ باشد، درصد بازده چقدر است؟

مثال ۴-۴ بازده نظری N₂F₄ به دست آمده از آزمایش گفته شده در مثال ۴-۷ فقط ۶۵٪ (داده شده در این مسئله) است. در نتیجه درصد بازده به قرار زیر خواهد بود:

$$\frac{4.80 \text{ g N}_2\text{F}_4}{7.65 \text{ g N}_2\text{F}_4} \times 100\% = 62.7\%$$

۵-۲ محلول‌های مولار

بسیاری از واکنش‌های شیمیایی در محلول انجام می‌شوند. محاسبات استوکیومتری این واکنش‌ها بر مبنای حجم محلول‌های به کار رفته و شناخت این محلول‌ها انجام می‌شود. غلظت یک محلول (مقداری از یک جسم است (حالت نامده می‌شود) که در مقدار معین از حلال حل شده، یا مقدار ماده حل شده در مقدار مشخص از محلول است).

برای بیان روش‌های گوناگونی به کار مورد (فضل ۱۲ را ببینید). در مطالعه استوکیومتری واکنش‌هایی که در محلول انجام می‌شوند از روش مولاریته استفاده می‌شود. مولا ریته، M، یک محلول، تعداد مول‌های ماده حل شده در یک لیتر از محلول است.

یک محلول M = ۱ شامل ۱ mol "R" از ماده حل شده در ۱L است. یک محلول M = ۰۵ شامل ۰۵ mol "R" از ماده حل شده در ۱L است. یک محلول M = ۰۳ شامل ۰۳ mol "R" از ماده حل شده در ۱L است.

توجه کنید که این تعریف بر مبنای یک لیتر (۱L) است. مقدار مولا ریته یک محلول مربوط به مقداری از ماده حل شده است که در یک لیتر از محلول می‌تواند وجود داشته باشد. اگر مقدار یک محلول کمتر (یا بیشتر) از یک لیتر باشد، شمار مول‌های ماده حل شده در نمونه، به نسبت، باید کمتر (یا بیشتر) از مقدار عددی مولا ریته باشد. برای یک محلول M = ۰۳:

1. Percent yield

3. Molarity

2. Solute

4. Volumetric flasks

زیر محاسبه می کنیم:

$$\frac{؟ \text{ mol NaOH}}{\text{ محلول}} = \frac{25 \text{ mL NaOH}}{1 \text{ mol NaOH}} \times 75 \text{ mL NaOH}$$

وزن فرمولی NaOH تا سه رقم بامعنی، 25 g است، در نتیجه،

$$25 \text{ g NaOH} = 1 \text{ mol NaOH}$$

مقدار NaOH لازم بر حسب گرم برابر است با:

$$\frac{？ \text{ g NaOH}}{\text{ محلول}} = \frac{25 \text{ g NaOH}}{1 \text{ mol NaOH}} \times 75 \text{ mL NaOH}$$

این مسئله را طی یک مرحله نیز می توانستیم حل کنیم:

$$\frac{？ \text{ g NaOH}}{\text{ محلول}} = \frac{25 \text{ mL NaOH}}{1 \text{ mol NaOH}} \times 75 \text{ g NaOH}$$

$$= 375 \text{ g NaOH}$$

مثال ۴ -

(الف) در 25 mL از محلول $M \text{ AgNO}_3$ چند مول AgNO_3 وجود دارد؟

(ب) چه حجمی از این محلول حاوی 50 g از AgNO_3 است؟

حل

(الف) حل مسئله را با نوشتن تساوی زیر آغاز می کنیم:

$$？ \text{ mol AgNO}_3 = 25 \text{ mL AgNO}_3$$

چون غلظت AgNO_3 در محلول برابر M است،

$$\text{ محلول} = 100 \text{ mL AgNO}_3 \Rightarrow 100 \text{ mL AgNO}_3$$

که از آن، ضریب تبدیل لازم برای حل کردن مسئله را به دست می آوریم:

$$\frac{？ \text{ mol AgNO}_3}{\text{ محلول}} = \frac{25 \text{ mL AgNO}_3}{100 \text{ mL AgNO}_3} \Rightarrow \text{ محلول} = 15 \text{ mol AgNO}_3$$

(ب) همین رابطه (به صورت معکوس) برای حل این مسئله به کار می رود.

$$\frac{\text{ محلول}}{？ \text{ mL AgNO}_3} = \frac{100 \text{ mL AgNO}_3}{25 \text{ mL AgNO}_3} \Rightarrow \text{ محلول} = 400 \text{ mL AgNO}_3$$

$$= 4 \text{ L AgNO}_3$$

مثال ۵ -

برای تهیه 50 mL محلول $M \text{ HCl}$ چه حجمی از HCl غلظت

باشد به کار رود.

اغلب لازم است محلول ها را با رقیق کردن واکنش گرهای غلظت تهیه کرد. مولاریته برخی واکنش گرهای غلظت در جدول ۴ - ۱ آمده است. این حجم ها را می توان برای تعیین مقدار نسبی واکنش گر و آب لازم برای تهیه محلول با غلظت مطلوب به کار برد.

جدول ۴ - ترکیب اجزای برخی از واکنش گرهای غلظت

		واکنش گر	فرمول	وزن فرمولی	درصد جرمی مولاری
۱۷.۵	۱۰۰	۶۰.۵	$\text{HC}_2\text{H}_5\text{O}_2$	۶۰.۵	استیک اسید
۱۲.۰	۳۷	۳۶.۳۶	HCl	۳۶.۳۶	هیدروکلریک اسید
۱۵.۸	۷۰	۶۳.۰۱	HNO_3	۶۳.۰۱	نیتریک اسید
۱۴.۷	۸۵	۹۸.۰۰	H_3PO_4	۹۸.۰۰	فسفویک اسید
۱۸.۰	۹۶	۹۸.۰۷	H_2SO_4	۹۸.۰۷	سولفوریک اسید
۱۴.۸	۲۸	۱۷.۰۳	NH ₃	۱۷.۰۳	آمونیاک

تعداد مول های ماده حل شده در نمونه ای از یک محلول را می توان با ضرب حجم نمونه (V_1 ، بر حسب لیتر) در مولاریته محلول (M_1)، شمار مول های ماده حل شده در 1 L از محلول، به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\boxed{V_1 M_1 = \text{تعداد مول های ماده حل شده}}$$

برای مثال، اگر 10 mL از یک محلول $M = 50 \text{ g/L}$ (که ممکن است به صورت 50 mol/L نوشته شود) را اختیار کنیم:

$$\begin{aligned} \text{تعداد مول های ماده حل شده} &= V_1 M_1 \\ &= 10 \text{ mL} \times 50 \text{ mol/L} \\ &= 500 \text{ mol} \end{aligned}$$

هنگامی که محلول به حجم جدید، یعنی V_2 رسانده می شود، هنوز هم حاره همان تعداد مول از ماده حل شده است. غلطیت به کاهش پیدا کرده اما حاصل ضرب $V_1 M_1$ برابر با همان تعداد مول است. در نتیجه،

$$V_1 M_1 = V_2 M_2 \quad (2)$$

اگر نمونه ای 50 mL ایتری از محلول $M = 50 \text{ g/L}$ رقیق شود تا حجم جدید (یعنی V_2 به 20 mL برسد، مولاریته جدید (یعنی M_2) برابر خواهد بود با:

$$V_1 M_1 = V_2 M_2$$

$$(0.500 \text{ L})(6.00 \text{ M}) = (2.00 \text{ L})M_2$$

$$M_2 = 1.50 \text{ M}$$

چون در هر دو طرف معادله (۲)، عبارت حجم مشاهده می شود، برای بیان V_1 و V_2 از هر واحد حجمی می توان استفاده کرد، به شرط آنکه واحد یکسانی برای هر دو به کار رود. توجه کنید که این معادله فقط برای مسائل مربوط به رقیق سازی به کار می رود.

$$\begin{aligned} ? \text{ mL NaOH} &= 0.0150 \text{ mol NaOH} \left(\frac{1000 \text{ mL NaOH}}{0.750 \text{ mol NaOH}} \right) \\ &= 20.0 \text{ mL NaOH} \end{aligned}$$

محلول

مسئله را در یک مرحله می‌توان حل کرد:

$$\begin{aligned} ? \text{ mL NaOH} &= 50.0 \text{ mL H}_2\text{SO}_4 \left(\frac{0.150 \text{ mol H}_2\text{SO}_4}{1000 \text{ mL H}_2\text{SO}_4} \right) \left(\frac{2 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol H}_2\text{SO}_4} \right) \\ &\quad \text{ محلول} \\ &\times \left(\frac{1000 \text{ mL NaOH}}{0.750 \text{ mol NaOH}} \right) = 20.0 \text{ mL NaOH} \end{aligned}$$

محلول

مثال ۴-۳

یک قرص سودای نعناع حاوی NaHCO_3 به عنوان خسد اسید است. یکی از این تصریحات، برای واکنش کامل، 37.5 mL HCl محلول 37.8 M دارد. مقدار NaHCO_3 موجود در هر قرص را بر حسب گرم محاسبه کنید. معادله شیمیایی واکنش به قرار زیر است:

$$\text{NaHCO}_3(s) + \text{HCl}(aq) \longrightarrow \text{NaCl}(aq) + \text{CO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}$$

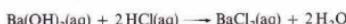
حل

$$\begin{aligned} ? \text{ g NaHCO}_3 &= 34.5 \text{ mL HCl} \left(\frac{0.138 \text{ mol HCl}}{1000 \text{ mL HCl}} \right) \times \\ &\quad \left(\frac{1 \text{ mol NaHCO}_3}{1 \text{ mol HCl}} \right) \times \left(\frac{84.0 \text{ g NaHCO}_3}{1 \text{ mol NaHCO}_3} \right) = 0.400 \text{ g NaHCO}_3 \end{aligned}$$

ضریب اول که از مولاریتة محلول HCl به دست آمده برابر پیدا کرده تعداد مول‌های HCl در ت湧ونه محلول به کار می‌رود. ضریب دوم که از ضوابط معادله شیمیایی گرفته شده است، این تعداد مول HCl را به تعداد مول‌های NaHCO_3 که با آن واکنش خواهد داد، تبدیل می‌کند. آخرین ضریب که از وزن فرمولی NaHCO_3 به دست می‌آید، مول‌های NaHCO_3 را به مقدار HCl بر حسب گرم تبدیل می‌کند.

مثال ۴-۴

نمونه‌ای از محلول Ba(OH)_2 به حجم 45.0 mL برای واکنش کامل، 37.5 mL از محلول 37.8 M HCl دارد. مولاریتة محلول Ba(OH)_2 چقدر است؟ معادله واکنش به صورت زیر است:



حل

مولاریتة محلول Ba(OH)_2 عبارتست از تعداد مول‌های Ba(OH)_2 که در 1000 mL

از جدول ۴-۱ می‌دانیم که HCl M را 12.0 است:

$$V_1 M_1 = V_2 M_2$$

$$V_1(12.0 \text{ M}) = (500 \text{ mL})(3.00 \text{ M})$$

$$V_1 = 125 \text{ mL}$$

محلول مورد نظر را با انفودن 125 mL HCl غلظت به آب کافی تا رسیدن به حجم 500 mL تهیه می‌کنیم.

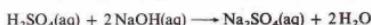
۴-۶-۲ استوکیومتری واکنش‌ها در محلول

معادله‌های شیمیایی، مبنای تمام محاسبات مربوط به استوکیومتری واکنش‌ها هستند. صرف نظر از اینکه یک واکنش در محلول رخ می‌هدد یا نه، هر نوع محاسبه‌ای در مورد آن بر نسبت مولی به دست آمده از یک معادله شیمیایی استوار است. در تجربه، گام نخست در حل کردن هر مسئله‌ای نوشتن معادله شیمیایی است.

استوکیومتری واکنش، پراساس مول تفسیر می‌شود. برای اجسام ساده، با استفاده از اوزان فرمولی، چون به مول تبدیل می‌شو، برای مواد موجود در محلول، تعداد مول‌ها را از حجم نمونه و مولاریتة محلول (تعداد مول در لیتر) به دست می‌آوریم.

مثال ۴-۵

برای واکنش با 5.0 mL H_2SO_4 م محلول 5.0 M NaOH از محلول 75.0 mL H_2SO_4 لازم است؟



حل

ابتدا، تعداد مول‌های H_2SO_4 را در ت湧ونه به دست می‌آوریم:

$$? \text{ mol H}_2\text{SO}_4 = 50.0 \text{ mL H}_2\text{SO}_4 \left(\frac{0.150 \text{ mol H}_2\text{SO}_4}{1000 \text{ mL H}_2\text{SO}_4 \text{ sol'n}} \right)$$

$$= 0.00750 \text{ mol H}_2\text{SO}_4$$

از معادله واکنش، نتیجه می‌گیریم که

$$2 \text{ mol NaOH} \Leftrightarrow 1 \text{ mol H}_2\text{SO}_4$$

بنابراین:

$$\begin{aligned} ? \text{ mol NaOH} &= 0.00750 \text{ mol H}_2\text{SO}_4 \left(\frac{2 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol H}_2\text{SO}_4} \right) \\ &= 0.0150 \text{ mol NaOH} \end{aligned}$$

بالاخره، حجم محلول NaOH را که حاوی 15.0 mL از NaOH باشد:

پاسخ مسئله، Ba(OH)_2 را دارد.

در بخش ۱۲ - ۶، بحث پیشتری همراه با مثال‌های مربوطه آمده است.

$$\frac{37.3\text{mL HCl}}{25.0\text{mLBa(OH)}_2} \quad (\text{ محلول ۳۷.۳ mL HCl})$$

$$\frac{0.150\text{ mol HCl}}{1000\text{ mol HCl}} \quad (\text{ محلول ۰.۱۵۰ mol HCl})$$

$$= 0.112\text{mol Ba(OH)}_2$$

چکیده مطالعه

رآ محدود می‌کند. این گونه مسائل را شناسایی واکنش دهنده محدود ساز و با مبنای قرار دادن مقدار داده شده ازین جسم، حل می‌کنند.

مقدار فراورده یک واکنش شیمیایی که به سه‌لیم محاسبات نظری پیش‌بینی می‌شود، بازده نظری نام دارد. این مقدار، پیشترین مقداری است که می‌توان به دست آورد. معمولاً، مقدار فراورده بدست آمده، که بازده واقعی نام دارد، کمتر از بازده نظری است. درست بازده نظری که با بازده واقعی بیان می‌شود، به درصد بازده معروف است.

در محاسبات مربوط به واکنش‌های که در محلول انجام می‌شوند، علطف محلول‌های به کار رفته اهمیت دارد. مولاریت یک محلول، تعداد مول‌های ماده حل شده در یک لیتر از محلول است. تابیران تعداد مول‌های ماده و واکنش دهنده از محلول ساز، واکشن دهنده‌ای است که به کمترین مقدار استوکیومتری داده شده و به همین دلیل، تعداد فراورده‌ای به دست آمده محاسبه می‌شود.

مطالعه‌های شیمیایی تماشگر واکنش‌های شیمیایی هستند که در آنها از نمادها و فرمول‌های شیمیایی برای نشان دادن اسما درگیر در واکنش استفاده می‌شود.

یک معادله شیمیایی، با استفاده از فرمول سنجی مواد و واکنش‌دهنده و فراورده‌ها نوشته می‌شود و با آنروز ضرایبی برای نمایش تعادل واحد اندیشه‌های فرمولی مواده می‌گردید. اگر پیش از فرمول ضرایبی نباشد شماره ۱ استنباط می‌شود.

ضرایب یک واکنش شیمیایی مواده می‌باشد، برابر با دست آوردن نسبت موادی بین هر نوع ماده شخصی شده در معادله به کار رفته در نسبت موادی، مبنای محاسبات استوکیومتری هستند که در آنها برای محاسبه مقادار نظری یک ماده واکنش دهنده لازم - یا یک فراورده تولید شده - در یک واکنش میان به کار گیرنده.

گامی، تقادیری از در یا چند ماده واکنش دهنده در یک مسئله داده شده‌اند، در این موارد، واکشن دهنده محدود ساز، واکشن دهنده‌ای است که به کمترین مقدار استوکیومتری داده شده و به همین دلیل، تعداد فراورده‌ای به دست آمده

مفهوم کلیدی

Actual yield بازده واقعی (بخش ۴ - ۴). مقدار فراورده واقعی به دست آمده از یک واکنش شیمیایی.

Chemical equation معادله شیمیایی (بخش ۴ - ۴). نمایش از یک واکنش شیمیایی به مبنای معادله شیمیایی (بخش ۴ - ۱).

Coefficient ضریب (بخش ۴ - ۴). عددی که پیش از یک نماد می‌شود.

Molar concentration مقدار از یک جسم حل شده در مقدار میانی از محلول یا حلال.

Limiting reactant واکشن دهنده محدود ساز (بخش ۴ - ۳).

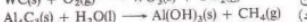
واکنش دهنده‌ای که بر مبنای معادله شیمیایی، به کمترین مقدار استوکیومتری به کار رفته و در نتیجه، مقدار فراورده به دست آمده از واکشن شیمیایی را محدود می‌کند.

Molarity مولاریت (بخش ۴ - ۵). تعداد مول‌های یک جسم (موسوم به ماده حل شده) که در یک لیتر از محلول حل شده باشد.

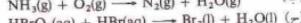
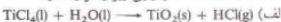
مسائل

معادلات شیمیایی

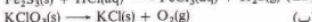
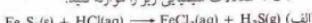
۱ - معادلات شیمیایی زیر را مواده کنید:



۲ - معادلات شیمیایی زیر را مواده کنید:



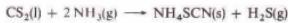
۳ - ۴ معادلات شیمیایی زیر را مواده کنید:



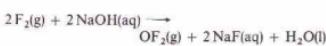
* مسائل مشکل با ستاره مخصوص شده‌اند. پاسخ مسائل فرد در پیوست آخر کتاب آمده است.

مقدار گرم $\text{P}_4\text{O}_{10}(\text{s}) + 6 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow 4 \text{H}_3\text{PO}_4(\text{l})$ حاصل از واکنش $\text{g} \times 6 \times 10^{-3}$ را تعیین کنید، و اکتش را کمال فرض کنید.

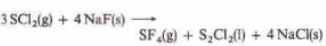
۱۵ - ۴ بیشترین مقدار $\text{NH}_4\text{SCN}(\text{l})$ که می‌توان از g $\text{CS}_2(\text{l})$ و $\text{NH}_3(\text{g})$ تهیه کرد چقدر است؟ معادله واکنش به صورت زیر است:



۱۶ - ۴ بیشترین مقدار $\text{OF}_2(\text{l})$ که می‌توان از g $\text{F}_2(\text{g})$ و $\text{O}_2(\text{g})$ تهیه کرد چقدر است؟ معادله واکنش به صورت زیر است:



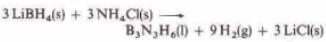
۱۷ - ۴ بیشترین مقدار $\text{SF}_6(\text{g})$ که می‌توان از g $\text{F}_2(\text{g})$ و $\text{S}\text{Cl}_4(\text{l})$ تهیه کرد چقدر است؟ معادله واکنش به صورت زیر است:



۱۸ - ۴ بیشترین مقدار $\text{B}_2\text{H}_6(\text{g})$ که می‌توان از g $\text{BF}_3(\text{g})$ و $\text{NaBH}_4(\text{s})$ تهیه کرد چقدر است؟ معادله واکنش به صورت زیر است:



۱۹ - ۴ در آزمایش، $\text{LiBH}_4(\text{s}) + \text{B}_2\text{N}_3\text{H}_8(\text{l})$ با مقدار زیادی $\text{NaBH}_4(\text{s})$ در ترکیب شده و $\text{B}_2\text{N}_3\text{H}_8(\text{l})$ دست نموده است. معادله واکنش به صورت زیر است:



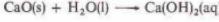
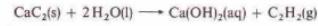
در صد باره زده $(\text{B}_2\text{N}_3\text{H}_8)$ چقدر است?

۲۰ - ۴ در آزمایش، g $\text{Ca}_3\text{P}_2(\text{s})$ با مقدار زیادی $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ترکیب شده و $\text{PH}_3(\text{g})$ دست نموده است. معادله واکنش به صورت زیر است:



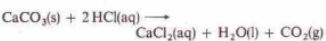
در صد باره (PH_3) چقدر است?

۲۱ - ۴ یک نمونه ۷۰٪ گرسی شامل محلولت از $\text{CaCO}_3(\text{s})$ و $\text{Ca(OH)}_2(\text{s})$ با $\text{Ca(OH)}_2(\text{s})$ تهیه زیادی آب ترکیب می‌شود. معادله این واکنش به صورت زیر است:



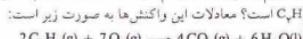
جزء $\text{C}_2\text{H}_5(\text{g})$ حاصل از این واکنش g $\times 24 \times 10^{-3}$ است. واکنش را کمال فرض کنید و در صد $\text{CaCO}_3(\text{s})$ را در این محلولت محاسبه کنید.

۲۲ - ۴ $\text{CaSO}_4(\text{s})$ و $\text{CaCO}_3(\text{s})$ که می‌شوند، g $\text{HCl}(\text{aq})$ وارد و واکنش می‌شود:

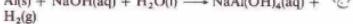
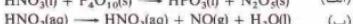
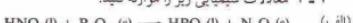


اما $\text{CaSO}_4(\text{s})$ و واکنش نمی‌دهد. جزء $\text{CO}_2(\text{g})$ تولید شده g $\times 1$ است. واکنش را کامل فرض کنید و در صد $\text{CaCO}_3(\text{s})$ را در این محلولت محاسبه کنید.

۲۳ - ۴ نمونه ای از محلولت $\text{O}_2(\text{g})$ و $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$ در $\text{CO}_2(\text{g})$ و $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ دست نموده است. جزء $\text{O}_2(\text{g})$ و $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$ می‌شوند. $\text{CO}_2(\text{g})$ و $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ دست نموده است. معادله این واکنش به صورت زیر است:



(ج) $\text{Ba}_3\text{O}_2(\text{s}) \longrightarrow \text{I}_2\text{O}_4(\text{s}) + \text{I}_2(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g})$
(د) $\text{Ba}_3\text{N}_2(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{Ba}(\text{OH})_2(\text{aq}) + \text{NH}_3(\text{g})$
(۴) معادله شیمیایی زیر را موازن کنید:



(۵) ۴ براي سوختن كامل بر يك از ترکيبات زير در اکسیژن، $\text{O}_2(\text{g})$ معادله ای بنويسيد: (الف) سیکلوفگان، $\text{C}_6\text{H}_{12}(\text{l})$ ؛ (ب) تولوئن، $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3(\text{l})$ ؛ (ج) اکتان، $\text{C}_8\text{H}_{18}(\text{l})$ ؛

(۶) ۴ براي سوختن كامل بر يك از ترکيبات زير در اکسیژن، $\text{O}_2(\text{g})$ معادله ای بنويسيد: (الف) پروپان، $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$ ؛ (ب) ههتان، $\text{C}_4\text{H}_10(\text{g})$ ؛ (ج) پترولن، $\text{C}_6\text{H}_6(\text{g})$ ؛

(۷) ۴ براي سوختن كامل بر يك از ترکيبات زير در اکسیژن، $\text{O}_2(\text{g})$ معادله ای بنويسيد: (الف) بوتان، $\text{C}_4\text{H}_10(\text{g})$ ؛ (ب) تیوفن، $\text{C}_6\text{H}_5\text{S}(\text{l})$ ؛ (ج) پیروپین، $\text{C}_4\text{H}_7\text{NO}(\text{l})$ ؛

(۸) ۴ براي سوختن كامل بر يك از ترکيبات زير در اکسیژن، $\text{O}_2(\text{g})$ معادله ای بنويسيد: (الف) آسبلين، $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}(\text{l})$ ؛ (ب) متيل سولفید، $\text{C}_2\text{H}_5\text{NS}(\text{l})$ ؛ (ج) پیازول، $\text{C}_4\text{H}_5\text{S}(\text{l})$ ؛

مسائل پراساس معادله شیمیایی

(۹) ۴ اکشن به عنوان $\text{NaB}(\text{l})$ در اثر گرم کردن در $\text{NaN}_3(\text{s})$ و $\text{Na}(\text{l})$ تجزیه می‌شود. این

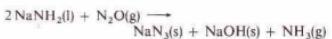
من در: (الف) معادله شیمیایی این و اکشن را بنویسید. (ب) براي تجزیه $\text{NaN}_3(\text{s})$ چند مول $\text{N}_2(\text{g})$ مورد نیاز است؟ (ج) در اثر تجزیه g $\times 25 \times 10^{-3}$ $\text{NaN}_3(\text{s})$ که g $\times 1.75 \times 10^{-3}$ $\text{N}_2(\text{g})$ تولید می‌شود؟ (د) نکاتی که در این تجزیه می‌شود؟

(۱۰) ۴ براي تجزیه $\text{NaB}(\text{l})$ در اثر گرم کردن در $\text{NaN}_3(\text{s})$ و $\text{Na}(\text{l})$ است. (الف)

معادله شیمیایی این و اکشن را بنویسید. (ب) از g $\times 1$ چند مول $\text{PCl}_5(\text{s})$ چند گرم $\text{Cl}_3\text{PO}(\text{l})$ مورد نیاز است؟ (ج) براي تجزیه g $\times 25 \times 10^{-3}$ $\text{NaN}_3(\text{s})$ که g $\times 1.75 \times 10^{-3}$ $\text{N}_2(\text{g})$ تولید می‌شود؟

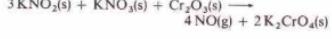
(۱۱) ۴ موردن زیر است؟ (د) چه جزوی از $\text{P}_4\text{O}_{10}(\text{s})$ براي واکشن g $\times 5 \times 10^{-3}$ $\text{NaN}_3(\text{s})$ است؟

با استفاده از معادله $\text{P}_4\text{O}_{10}(\text{s}) + \text{NaN}_3(\text{s}) + \text{Na}(\text{l}) \longrightarrow 2 \text{NaNH}_2(\text{l}) + \text{N}_2(\text{O})$



(۱۲) ۴ چند گرم $\text{I}_2(\text{s})$ و $\text{NaNH}_2(\text{l})$ براي تجزیه g $\times 5 \times 10^{-3}$ $\text{NaN}_3(\text{s})$ لازم است؟ اکشن

را کمال فرض کنید. خشک را می‌توان از واکشن Zr تجزیه کرد:



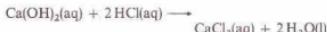
چند گرم Zr بر يك از واکشن‌های $\text{H}_2\text{O}_2(\text{l})$ و $\text{NO}(\text{g})$ تجزیه می‌شود؟ (الف) اکشن را کمال فرض کنید.

(۱۳) ۴ با استفاده از معادله $\text{PI}_3(\text{s}) + 3 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow 3 \text{HI}(\text{g}) + \text{H}_3\text{PO}_4(\text{l})$

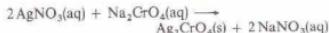
مقادیر گرم حاصل از واکشن $\text{H}_2\text{O}_2(\text{l})$ و $\text{PI}_3(\text{s})$ را تعیین کنید. اکشن را کمال فرض کنید.

(۱۴) ۴ با استفاده از معادله $2 \text{C}_2\text{H}_6(\text{g}) + 7 \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 4 \text{CO}_2(\text{g}) + 6 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

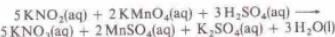
۳۶- ۴ در صورتی که برای واکنش کامل $M \times ۵$ mL از محلول P مولاریتی این محلول چقدر است؟ معادله واکنش به صورت زیر است:



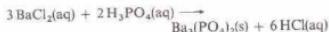
۳۷- ۴ در صورتی که برای واکنش کامل $M \times ۲۵$ mL HCl $\times ۶$ mL از محلول P مولاریتی این محلول چقدر است؟ معادله واکنش به صورت زیر است:



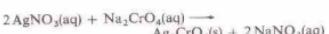
۳۸- ۴ در صورتی که برای واکنش کامل $M \times ۱۶$ mL KNO₃, $\times ۲۲$ mL KMnO₄, $\times ۱۵$ mL AgNO₃ از محلول مولاریتی این محلول چقدر است؟ معادله واکنش به صورت زیر است:



۳۹- ۴ از افزودن $\text{BaCl}_2(\text{aq})$, $\text{H}_3\text{PO}_4(\text{aq})$, $\text{BaCl}_2(\text{aq})$, $\text{H}_3\text{PO}_4(\text{aq})$ رسب می‌کند. مولاریتی محلول P چقدر است؟ معادله واکنش به صورت زیر است:



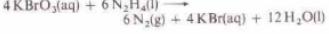
۴۰- ۴ از افزودن $\text{Na}_2\text{CrO}_4(\text{aq})$ به $M \times ۱۲۵$ mL $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ مولاریتی محلول P چقدر است؟ معادله واکنش به صورت زیر است:



۴۱- ۴ چه حجم از محلول $M \times ۲۵$ mL Na₂S₂O₃(aq) برای واکنش با $M \times ۲۵$ mL $\text{I}_2(\text{aq})$ لازم است؟ معادله واکنش به صورت زیر است:



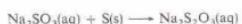
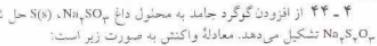
۴۲- ۴ چه حجم از محلول $M \times ۱۵$ mL KBrO₃ برای واکنش با $M \times ۲۵$ mL $\text{N}_2\text{H}_4(\text{l})$ لازم است؟ معادله واکنش به صورت زیر است:



۴۳- ۴ از افزودن فاز آبی به محلول از نسک نفره، آهن به محلول وارد شده و نفره رسب می‌کند. برای مثال:



برای حل دست کامل از $M \times ۲۰$ mL از محلول P مولاریتی آهن موجود بیان است:



چند گرم چند گرم آهن در $M \times ۱۵$ mL Na₂SO₃(aq) به $M \times ۲۰$ mL از محلول P مولاریتی این محلول چقدر است؟

۴۵- ۴ $\text{NaNO}_3(\text{aq})$ و NaCl(s) در آب حل



۴۶- ۴ تسمه‌ای از محلول P و $\text{CaCO}_3(\text{s})$ به دست $\text{CaCO}_3(\text{s})$ گرم شده و این ترکیبات تجزیه شده‌اند:



از تجزیه این تسمه $\text{CO}_2(\text{g})$ به دست $M \times ۲۰$ mL $\text{H}_2\text{O(l)}$ در دست $\text{CaCO}_3(\text{s})$ است. چه درصدی از محلول اولیه P است؟

مولاریت

۴۷- ۴ مولاریتی هر یک از محلول‌های زیر را محاسبه کنید: (الف) $M \times ۲۰$ mL NaOH در $M \times ۲۵$ mL سامانه P ; (ب) $M \times ۲۰$ mL NaCl در $M \times ۲۵$ mL سامانه P ; (ج) $M \times ۲۰$ mL AgNO₃ در $M \times ۲۵$ mL سامانه P .

۴۸- ۴ مولاریتی هر یک از محلول‌های زیر را محاسبه کنید: (الف) $M \times ۲۰$ mL KNO_3 در $M \times ۲۵$ mL سامانه P ; (ب) $M \times ۲۰$ mL $\text{H}_2\text{O(l)}$ در $M \times ۲۵$ mL سامانه P ; (ج) $M \times ۲۰$ mL Na_2SO_4 در $M \times ۲۵$ mL سامانه P .

۴۹- ۴ شمار مولاریتی هر یک از محلول‌های زیر را محاسبه کنید: (الف) $M \times ۲۰$ mL Ba(OH)₂ در $M \times ۲۵$ mL سامانه P ; (ب) $M \times ۲۰$ mL H_2SO_4 در $M \times ۲۵$ mL سامانه P ; (ج) $M \times ۲۰$ mL NaCl در $M \times ۲۵$ mL سامانه P .

۵۰- ۴ شمار مولاریتی هر یک از محلول‌های زیر را محاسبه کنید: (الف) $M \times ۲۰$ mL AgNO₃ در $M \times ۲۵$ mL HCl در $M \times ۲۵$ mL سامانه P ; (ب) $M \times ۲۰$ mL NaOH در $M \times ۲۵$ mL سامانه P ; (ج) $M \times ۲۰$ mL Na_2SO_4 در $M \times ۲۵$ mL سامانه P .

۵۱- ۴ را محاسبه کنید: (الف) $M \times ۲۰$ mL Ba(OH)₂ در $M \times ۲۵$ mL سامانه P ; (ب) $M \times ۲۰$ mL KOH در $M \times ۲۵$ mL سامانه P ; (ج) $M \times ۲۰$ mL H_2SO_4 در $M \times ۲۵$ mL سامانه P .

۵۲- ۴ برای تهیه هر یک از محلول‌های زیر چند گرم ماده حل شدنی پائید به کار بردازد: (الف) $M \times ۲۰$ mL KNO_3 در $M \times ۲۵$ mL سامانه P ; (ب) $M \times ۲۰$ mL KIO_3 در $M \times ۲۵$ mL سامانه P ; (ج) $M \times ۲۰$ mL AgNO_3 در $M \times ۲۵$ mL سامانه P .

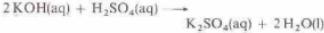
۵۳- ۴ برای تهیه هر یک از محلول‌های زیر چند گرم ماده حل شدنی پائید به کار بردازد: (الف) $M \times ۲۰$ mL NaOH در $M \times ۲۵$ mL سامانه P ; (ب) $M \times ۲۰$ mL Na_2SO_4 در $M \times ۲۵$ mL سامانه P ; (ج) $M \times ۲۰$ mL $\text{H}_2\text{O(l)}$ در $M \times ۲۵$ mL سامانه P .

۵۴- ۴ ای همه هر کسانی که محلول‌های زیر جد می‌باشند از واکنشگر غلظیت (جدول ۱) را بینند: (الف) $M \times ۲۰$ mL $\text{H}_2\text{O(l)}$; (ب) $M \times ۲۰$ mL Na_2SO_4 ; (ج) $M \times ۲۰$ mL $\text{H}_2\text{O(l)}$.

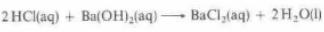
۵۵- ۴ برای تهیه هر یک از محلول‌های زیر چند گرم ماده حل شدنی پائید به کار بردازد: (الف) $M \times ۲۰$ mL $\text{H}_2\text{O(l)}$; (ب) $M \times ۲۰$ mL HCl ; (ج) $M \times ۲۰$ mL NH_3 .

واکنش‌های موجود در محلول

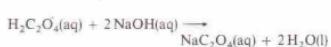
۵۶- ۴ چند گرم می‌باشد این از واکنش به صورت زیر است؟



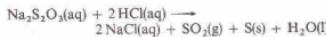
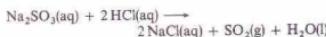
۵۷- ۴ چند گرم می‌باشد این از واکنش به صورت زیر است؟



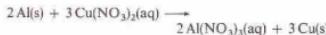
۵۸- ۴ در صورتی که برای واکنش کامل $M \times ۲۰$ mL HCl در $M \times ۲۵$ mL سامانه P مولاریتی این محلول چقدر است؟ معادله واکنش به صورت زیر است:



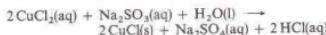
واکنش می‌دهد. معادله واکنش‌ها به صورت زیر است:



در آین واکنش‌ها $\text{S}(\text{s})$ و $\text{SO}_2(\text{g})$ به دست می‌آید. چند درصد این محلول پس از $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$ در اثر افزودن $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ به صورت زیر است:

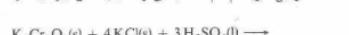


(الف) واکشنده محدود کننده چیست؟ (ب) چندگرم $\text{Cu}(\text{s})$ به دست می‌آید؟
 $\text{CuCl}_6(\text{s})$ یک شیمیدان من خواهد باستفاده از واکشن زیر g پرداخت.
 تهیه کنند:



در صورتی که بازده این واکنش $\approx 55\%$ باشد، چند گرم Na_2SO_4 باشد. به کار ببرد $\text{CuCl}_2(\text{s})$ و واکشنده محدود کننده است و مقدار زیادی H_2O بر کار رفته است.

۴ - ۵۴ فرض کنید فلز X کسید جامدی به قرمول $\text{XO}_3(\text{s})$ تشکیل دهد، و در اثر واکنش این اکسید با $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ فلز ازاد و $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ به دست آید. (الف) معادله شیمیایی این واکنش را بنویسید. (ب) یک نمونه 3~g کرسی از $\text{XO}_3(\text{s})$ با $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ترکیب شده و 1~g به دست می‌دهد. با استفاده از معادله شیمیایی وزن فرمول $\text{XO}_3(\text{s})$ را محاسبه کنید. (ج) وزن اتم X چقدر است؟



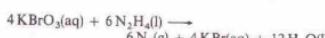
در یک آزمایش، g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7(\text{s})$ و g $\text{KCl}(\text{s})$ به کار رفته و g $\text{CrO}_2\text{Cl}_2(\text{l})$ به دست آمده است. درصد بازده این واکنش چقدر است؟



شده است. برای واکنش کامل محلول حاصل 3~mL $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ مورد نیاز است. چند درصد این مخلوط $\text{NaCl}(\text{s})$ است؟ معادله واکنش به صورت زیر است:



۴ - ۴۶ برای واکنش کامل 4~mL NaOH از $\text{HBrO}_4(\text{aq})$ مورد نیاز است. چند درصد این نمونه H_2O است؟ معادله واکنش به صورت زیر است:

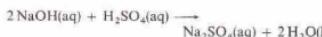


مسائل دسته پندار نشده

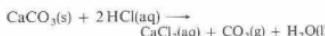
۴ - ۴۷ معادلات زیر را موارنہ کنید:



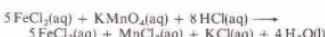
۴ - ۴۸ مولاریتی هر یک از محلول‌های زیر چقدر است؟ (الف) 2~mL NaOH که در 5~mL H_2O م محلول NaOH باشد. (ب) 1~mL NaOH که در 5~mL H_2O م محلول NaOH باشد. (ج) 2~mL NaOH به صورت زیر است:



۴ - ۴۹ چه حجم محلول $M\text{~M}\text{HCl}$ باشد برای ترازیم 22~mL HCl به دست اوریم؟ (ب) $M\text{~M}\text{HCl}$ با 1~mL H_2O و واکنش دهد. معادله واکنش به صورت زیر است:



۴ - ۵۰ در سورونی که برای واکنش کامل 22~mL $\text{FeCl}_3(\text{aq})$ به دست آید، 48.89~mL $\text{KMnO}_4(\text{aq})$ لازم باشد مولاریتی این محلول چقدر است؟ معادله واکنش به صورت زیر است:



۴ - ۵۱ نمونه‌ای از محلول $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ و Na_2SO_4 در آب حل شده و با

اوزن آب مقدار زیر ای اینجا کسر متر مکعب است آن از زیر
مکارهای آب هم نیز همین لحاظ را نگیرد و رخاک آن ! نیز سمت راست اینجا آید



$$Q = (mc + A)(t_2 - t_1)$$

جرم
حرارت
حرارت

شیمی گرمایی

$$(m_1 c_1)(t_2 - t_f) = (m_2 c_2 A)(t_f - t_1)$$

عمل می کند (d) تعریف می شود:

$$W = Fd \quad (2-5)$$

در دستگاه بین المللی، واحد کار ژول (نماد، J) است. ژول، به صورت کار انجام شده به وسیله نیرویی برابر با یک نیوتون در فاصله یک متر تعریف می شود:

$$\begin{aligned} W &= Fd \\ 1 J &= (1 N)(1 m) \\ &= 1 N\cdot m \\ &= 1 kg\cdot m^2/s^2 \end{aligned} \quad (2-5)$$

اوزی را می توان به صورت طوفیت یا استعداد انجام کار تعریف کرد. اوزی، انواع مختلف دارد، مانند اوزی گرمایی، اوزی الکتریکی، و اوزی شیمیایی، هنگامی که گونه ای از اوزی به گونه دیگری تبدیل می شود، اوزی از میان نیز رود یا موجود نمی آید. در دستگاه بین المللی، واحد SI برای کار، یعنی ژول، واحد به کار رفته برای تمام اندازه گیری های اوزی، از جمله اندازه گیری اوزی گرمایی است. این واحد، به اختصار جیمز ژول (J)، یکی از شاگردان دالتون، نامگذاری شده است. ژول نشان داد که در اثر تبدیل مقدار معینی کار به گرمایی، مقدار مشخصی اوزی تولید می شود.

۲-۵ اندازه گیری دما و گرمایی

دما اندازه سودی یا گرمی است. دما، خاصیتی از ماده است که جهت جریان خود به خود گرمای را مشخص می کند. هنگامی که بین دو شیء با دماهای متفاوت، تماس برقرار می شود، گرمای از شن گرمای تر به شن سودتو انتقال می اید تا آنکه هر دو به دمای یکسانی برسند. در واقع، گرمای را می توان به صورت نوعی اوزی تعریف کرد که به طور خود به خودی از چیزی در دمای بالاتر به چیزی در دمای پایین تر انتقال می اید.

اندازه گیری دما

اغلب مایعات، در اثر افزایش دما، منطبق می شوند. دماستن جیوهای،

طی یک واکنش شیمیایی، اوزی جذب و یا آزاد می شود، محاسبات مربوط به این تغییرات اندیشه دارای اهمیت است. شیمی گرمایی، با مطالعه گرمای آزاد شده یا جذب شده به وسیله فرایند های فیزیکی و شیمیایی سر و کار دارد. در فصل های بعدی، اغلب، با محاسبات مربوط به این تغییرات اوزی روبه رو خواهیم شد. در این فصل، با این نوع محاسبات آشنا می شویم.

۳-۵ اندازه گیری اندیشه

ممولاً، نیرو را به صورت اعمال قدرت فیزیکی - مانند هل دادن - در نظر می گیرند. در صورت نبودن مالش، یک جسم در حال حرکت با سرعت ثابتی به حرکت ادامه خواهد داد، و یک جسم درحال سکون نیز همچنان ساکن خواهد ماند (سرعت آن صفر خواهد بود). اگر این اجسام را هل دهیم، سرعت آنها تغییر خواهد کرد. افزایش سرعت در واحد زمان را شتاب نامند.

برای مثال، تصور کنید جسمی با سرعت $1 m/s$ در حرکت است. فرض کنید نیروی ثابتی براین جسم اثر کند - یعنی فشار ثابتی درجهت حرکت جسم بر آن وارد شود. حرکت جسم، سریع تر و سریع تر خواهد شد. پس از یک ثانیه، ممکن است با سرعت $2 m/s$ حرکت کند. پس از ۳ ثانیه، سرعت آن ممکن است به $3 m/s$ برسد. اگر در هر ثانیه یک مترا بر تایه بر سرعت جسم افزوده شود، شتاب آن m/s^2 خواهد بود.

نیروی که به یک جسم یک گرم، شتابی برابر با $1 m/s^2$ می دهد، کوچکتر از نیروی است که به یک جسم یک کیلوگرم همان شتاب را می دهد. درنتیجه، بزرگی یک نیرو (F)، با جرم جسم (m) و همچنین با شتاب (a) به وجود آمده به وسیله آن نیرو مناسب است:

$$F = ma \quad (1-5)$$

واحد SI نیرو، نیوتون (نماد، N) است که از واحدهای اصلی جرم (کیلوگرم)، طول (متر)، و زمان (ثانیه) استخراج می شود:

$$\begin{aligned} F &= ma \\ 1 N &= (1 kg)(1 m/s^2) \\ &= 1 kg\cdot m/s^2 \end{aligned} \quad (1-5)$$

کار (W) به صورت حاصل ضرب نیرو در فاصله ای که نیرو در آن

سلسیوس و 180° درجه فارنهایت (۲۱۲ منهای ۳۲) وجود دارد، ۵ درجه سلسیوس برابر با ۹ درجه فارنهایت است.

مقیاس دمای فارنهایت، در کارهای علمی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. تبدیل دما از مقیاس فارنهایت (۷) به مقیاس سلسیوس (۸) را می‌توان به صورت زیر انجام داد:

۱ - از درجه فارنهایت، ۳۲ درجه کم کنید. مقدار به دست آمده بایانگر میزان بالا بودن دما بر حسب درجه فارنهایت نسبت به دمای انجماد آب است.

۲ - چون ۵ درجه سلسیوس برابر با 9° درجه فارنهایت است، در نتیجه، مقادیر بعدست آمده، برابر با درجه سلسیوس بالاتر از دمای انجماد آب یعنی ${}^{\circ}\text{C}$ است.

$$t_c = \frac{5}{9}(t_f - 32)$$

$$t_c = \frac{5^{\circ}\text{C}}{9^{\circ}\text{F}}(t_f - 32^{\circ}\text{F}) \quad (3-5)$$

در شکل ۱-۵، دو مقیاس سلسیوس و فارنهایت مقایسه شده‌اند. شرح مقیاس ترمومدینامیکی دما که مقیاس کلوین نامیده می‌شود، در بخش ۱۰-۳ آمده است.

اندازه گیری گرمایی

ژول، واحد SI است و برای تمام اندازه گیری‌های اتری، شامل اندازه گیری‌های گرمایی، به کار می‌رود. ولی، در گذشته، شیمیدانان معمولاً گرمای را بر مبنای کالری اندازه گیری می‌کردند. گرمای ویژه یک جسم به صورت مقدار گرمایی لازم برای افزایش دمای یک گرم از جسم به میزان ${}^{\circ}\text{C}$ ، تعريف می‌شود. کالری، استدی بر اساس گرمای ویژه آب تعريف شد. فاصله دمایی یک درجه یا بدید قید می‌شد، شیزرا گرمایی ویژه آب با تغییرات دما، اندکی تغییر می‌کند. سالهای مستمامدی، کالری به صورت مقدار گرمایی لازم برای افزایش دمای یک آب از 14°C به 25°C تعريف می‌شد.

اندازه گیری پرسار دقیق مقدار اتری گرمایی بر حسب ژول، با اندازه گیری‌های الکتریکی صورت می‌گیرد. در نتیجه، امریزو ژکلر را بر حسب همان روش ژول تعريف می‌کنند و نه گرمایی ویژه آب:

$$1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J} \quad (\text{دقیقاً})$$

در اینجا، اشاره به چند نکته ضروری است:

- ۱ - ژول و کالری، واحدهای نسبتاً کوچک برای اندازه گیری مقدار گرمای شیمیایی هستند.

1. Andres Celsius

۲. جو، نشاری بر سطح زمین وارد می‌کند. میانگین فشار جو در کثثر دیرا ${}^{\circ}\text{C}$ را جو استاندارد (ساد، atm) گویند و اکنون بر حسب واحدهای SI تعريف می‌شود (بخش ۱-۱ را ببینید). دمای انجماد یا دمای جوش تعیین شده در فشار ۱ atm را دمای انجماد نرماء و دمای جوش نرماء گویند.

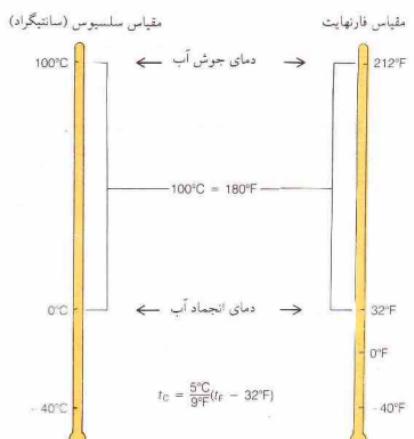
3. Centum

5. G.Daniel Fahrenheit

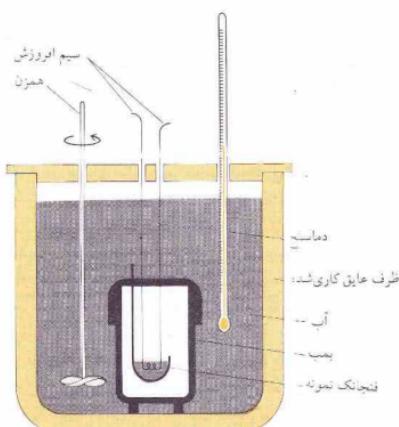
به گونه‌ای طراحی شده است تا از ابساط جیوه برای اندازه گیری دما استفاده شود. چنین داماسنجی شامل جیوه کوچک است که به یک لوله پرسار یاریک (موسوم به لوله موبین) وصل شده است. جیوه و بخشی از لوله حاوی جیوه است، فضای بالای جیوه نیز تخلیه شده و سر لوله نیز مسدود گردیده است. با افزایش دما، جیوه منطبق می‌شود و در لوله موبین بالا می‌رود.

مقیاس دمای سلسیوس که به افتخار آندرس سلسیوس (۱) اختصار سوتی نامگذاری شده است، در مطالعات علمی به کار می‌رود و جزء دستگاه بین‌المللی به حساب می‌آید. این مقیاس، بر گمارش ${}^{\circ}\text{C}$ به مراتب انجماد آب 0°C و به مراتب جوش آب در شرایط متعارف استوار است.^۲ هنگامی که یک داماسنج در مخلوط آب و بخ قرار گیرد، ارتقای جیوه در لوله با نشانه ${}^{\circ}\text{C}$ زمانی که داماسنج در فشار استاندارد جو در آب جوش قرار داده می‌شود، سطح جیوه در لوله موبین بالا را به نشانه ${}^{\circ}\text{C}$ نشاند. با انتقال می‌شوند مخصوص می‌کنند. فاصله بین این دو نقطه ثابت را وابه بخش مساوی که هر یک ششانده‌هندۀ یک درجه است تقسیم می‌کنند. با استفاده از درجه‌هایی به همان اندازه، بخش بالاتر از ${}^{\circ}\text{C}$ نیز مذکور می‌شود. مقیاس سلسیوس، قبل از مقیاس سانتیگراد مشهور بود که از واژه لاتین سنتروم (به معنی صد) و گریدوس (به معنی یک درجه) گرفته شده است.

(۱) دمای انجماد نرماء آب در مقیاس دمای فارنهایت (به اختصار ج. دالیل فارنهایت)، ایارساز آلمانی نامیده شده، (به اختصار ج. نرماء آب، 212°F) است چون بین این دو نقطه ثابت، ۱۰۰ درجه



شکل ۱-۵ مقایسه مقیاس‌های دمایی سلسیوس (سانتیگراد) و فارنهایت



شکل ۵ - ۲ پیک بسب گرماسنج

گرماسنج به قرار زیر است:

- ۱- تسموئهای از ماده و اکتش دهنده که به دقت توزین شده است، در بسب قرار داده می شود و سپس با گاز اکسیژن تحت فشار، پر می شود.
- ۲- بسب در مقدار داده معنی آب که در مخزن عایق کاری شده قرار دارد، فرو برده می شود، برای یکنواخت کردن دمای آب با سایر بخش های دستگاه از یک همن استفاده می شود.

- ۳- دمای افزایش دستگاه (۱) یادداشت می شود.
- ۴- واکنش سوختن، با گرم کردن یک سیم افروزانش که در داخل بسب قرار داده شده، آغاز می شود.

- ۵- گرمای حاصل از واکنش، به وسیله گرماسنج و محتویات آن جذب می شود و دمای پایانی رود. دمای پایانی (۲) یادداشت می شود.
- ۶- گرماسنج و آب پیرامون آن، گرما را جذب می کنند. طرفیت گرمایی کل گرماسنج و محتویات آن، یعنی C_{total} ، به صورت زیر محاسبه می شود:

$$C_{total} = C_{H_2O} + C_{cal} \quad (5)$$

- الف- طرفیت گرمایی آب گرماسنج، یعنی C_{H_2O} ، را با استفاده از جرم آب به کار رفته و گرمای ویژه آب می توان محاسبه کرد.
- ب- طرفیت گرمایی بقیه دستگاه، یعنی C_{cal} ، باید به صورت تجزیی بدست آید. تعیین این مقدار، شامل اندازه گیری افزایش دمای گرماسنج

- ۵- توجه کنید که در صورت استفاده از معادله $q = C(t_2 - t_1)$ برای تحلیل غیریست که در آن، دادهای سرمه شود، مقدار t_2 (مایه پایانی) کوچکتر از مقدار t_1 (مایه آغازین) خواهد بود. درنتیجه، کمیت $(t_2 - t_1)$ مقدار منطق خواهد داشت و q نیز ممکن خواهد بود. چون q به صورت گرمای جذب شده به وسیله نمونه تعریف شده است، علامت منفی q به معنی خارج شدن گرمای از جسم خواهد بود.

۲- مجموع بین المثلی اوزان و اندازه ها، اندازه گیری انحراف را بر مبنای ژول توصیه می کند و خواستار گذاشته شدن واحد کالری است، اما، در گذشته، مقادیر گرمائی شناسی، معمولاً، بر حساب کالری و کیلوکالری گزارش می شدند.

الف- برای تبدیل مقدار داده شده بر حساب کالری به ژول، آنرا در $4\text{ cal}/(4\text{ J})$ ضرب کنید.

ب- برای تبدیل مقدار داده شده بر حساب کیلوکالری به kcal/J ، آنرا در $(4\text{ J})/(4\text{ cal})$ ضرب کنید.

۳- گرمای ویژه آب در فاصله بین دمای انجماد و دمای جوش آب را قابل فرض می کنیم،

$$\text{یا } q = 4\text{ cal}/(4\text{ J}) \quad (4)$$

۳- ۲ گرماسنجی

طرفیت گرمایی (C) جرم معینی از یک جسم برای رساندن گرمای لازم برای بالا بردن دمای آن جرم به میزان 1°C است. گرمای ویژه، طرفیت گرمایی یک گرم از یک جسم است. یعنی مقدار گرمای لازم برای بالا بردن دمای ۱۸ از جسم به میزان 1°C بنا بر این،

$$(گرمای ویژه) (جرم) = (4\text{ cal}/(4\text{ J})) \quad (4-5)$$

چون گرمای ویژه آب $(4\text{ cal}/(4\text{ J}))$ است، طرفیت گرمایی 125 g برای این است با:

$$\begin{aligned} C &= (گرمای ویژه) (جرم) \\ &= [125\text{ g}][4.184\text{ J}/(\text{g}\text{ }^\circ\text{C})] \\ &= 523\text{ J}/\text{K} \end{aligned} \quad (4-5)$$

برای افزایش دمای نمونه به میزان یک درجه 1°C ، 523 g گرمای لازم است. برای افزایش دما به میزان 2°C ، به دو برابر این مقدار گرمای نیاز خواهیم داشت. بهطور کلی،

$$q = C(t_2 - t_1) \quad (5-5)$$

که در آن، گرمای جذب شده به وسیله نمونه، C ، طرفیت گرمایی نمونه، t_1 ، دمای آغازین و t_2 ، دمای پایانی است. گرمای جذب شده به وسیله 125 g آب، همانگاهی که دمای آن از 20°C به 25°C افزایش یابد به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\begin{aligned} q &= C(t_2 - t_1) \\ &= (523\text{ J}/\text{K})(25.00^\circ\text{C} - 20.00^\circ\text{C}) \\ &= (523\text{ J}/\text{K})(5.00^\circ\text{C}) \\ &= 2615\text{ J} = 2.62\text{ kJ} \end{aligned} \quad (5-5)$$

گرماسنج، دستگاه اندازه گیری تغییرات دمای مربوط به یک واکنش شیمیایی است. نوع گرماسنج مورد استفاده، بر مبنای نوع واکنش مشخص می شود. برای اندازه گیری گرمای حاصل از سوختن، از یک گرماسنج (شکل ۵-۲) استفاده می شود. مراحل به کارگیری بسب

این مقدار (معنی 47.0 kJ) برابر با مقدار گرمای آزاد شده در اثر سوختن 3.00 g گلولوکت است. به این ترتیب،

$$47.0 \text{ kJ} \approx 3.00 \text{ g C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$$

گرمای آزاد شده برای یک مول گلولوکت (180 g) برابر است با:

$$\text{kJ} = 180. \text{ g C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \left(\frac{47.0 \text{ kJ}}{3.00 \text{ g C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} \right) = 2.82 \times 10^3 \text{ kJ}$$

۱-۵ معادلهای گرماسنجی
اگر یک واکنش گازرا (ایواکنشی) که بیش از مقدار گاز مصرف شده، گاز تولید کند) در ظرف پسته انجام گیرد، فشار داخل ظرف افزایش خواهد داشت. اما، اغلب واکنش‌ها در مخزن‌های باز انجام می‌شوند. برای این واکنش‌ها، صرف نظر از مقدار گاز تولید شده، با مصرف شده، فشار ثابت است.^۱

گرمای آزاد شده یا جذب شده به وسیله واکنش‌هایی که در فشار ثابت انجام می‌شوند را می‌توان به خاصیتی به نام آنتالپی نسبت داد که با نماد H° نمایش داده می‌شود. هر جسم خاصی دارای آنتالپی مشخص است (که محتوی گرمایی نیز خوانده می‌شود).^۲ به این ترتیب، گروه معینی از مواد واکنش‌هایی که در ظرف محدود H° معنی است. فواروردهای مربوط به این مواد واکنش دهنده نیز دارای آنتالپی کل، $H^\circ_{\text{اند}}$ هستند. در ترتیب H° این دو آنتالپی است، در ترتیب، با نماد ΔH° نشان داده می‌شود. از حرف یونانی δلتای پیزگ، Δ ، برای نشان دادن تفاوت استفاده می‌شود:

۱. واکنش‌های انجام شده در یک بمب گرماسنج ممکن است به تغییر قابل توجهی در فشار داخل بمب متغير شود باشد. معادله واکنش مربوط به مثال ۱-۵ به قرار زیر است:



تجویه کنید که ۶ مول گاز (گاز O_2) مصرف می‌شود و ۶ مول گاز (گاز CO_2) به وجود می‌آید. بنابراین فشار داخل در اثر انجام این واکنش تغییر نمی‌کند. اگر تعداد مول‌های گاز تولید شده در یک واکنش بیشتر از تعداد مصرف شده باشد، کثافت داخل بمب گرماسنج افزایش خواهد داشت. اگرچنانچه در ظرف باز در شارخ اتمام گیرد، گازهای تولید شده خارج خواهند شد. در این حالت فشار ثابت می‌ماند و برای با فشار جز خواهد بود. برای چنین واکنشی، گرمای آزاده گیری شده پس از تغییر فشار، با گرمای آزاده گیری شده در فشار ثابت، تفاوت خواهد داشت. در مورد این گونه واکنش‌ها باید ضرب صحیحی برای مقدار به دست آمده از بمب گرماسنج به کار گرفته شود (بخش ۱۹-۲).^۳

(فشار، اثر قابل توجهی بر سیاری از واکنش‌ها، از جمله واکنش‌های غیرگازی ایروزی مثال، واکنش‌هایی که در محلول انجام می‌شوند)، واکنش‌هایی که در آنها تعداد مول‌های گاز تولید شده و معرف شده برابر هستند، تدارد.^۴ توجه داشته باشید که محتوی گرمایی (یا آنتالپی، H ، با طریق گرماسنج C) (تعیف شده در بخش ۱-۵) تفاوت دارد. به علت شباهت بین اوزه‌ها، استعمال آنتالپی به جای محتوی گرمایی، ارجح است.

در اثر مقدار معینی از گرماسنج، گرمایی به کار رفته برای این کار را با انجام یک واکنش که مقدار مشخصی گوما در گرماسنج تولید می‌کند، می‌توان تأمین کرد، یا با استفاده از مقدار معینی انرژی الکتریکی.

۷- گرمای آزاد شده در واکنش (۷)، از طریق گرمایی کل، C_{total} ، و افزایش دما (ΔT) محاسبه می‌شود:

$$q = C_{\text{total}}(t_2 - t_1) \quad (5-5)$$

مثال ۱-۵

برای اندازه گیری گرمای سوختن گلولوک، $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ، از یک بمب گرماسنج استفاده شده است:



نمونه‌ای از گلولوک، به وزن 8 g مر، در یک بمب گرماسنجی که از گاز اکسیژن تحت فشار پر شده است قرار داده می‌شود. بعب گرماسنج، در یک ظرف عایق‌کاری شده که 1 kg است، آب پر شده، جای می‌گیرد. دمای آغازین دستگاه 20°C است. مخلوط واکنش با گرمایش الکتریکی سیم داخل بمب گرماسنج، افزونه می‌شود. در این واکنش، دمای گرماسنج و محتویات آن به 25°C افزایش می‌یابد. طریق گرمایی این گرماسنج $2.1 \text{ kJ}/\text{C}$ است. وزن مولکولی گلولوک 180 g است. گرمای آزاد شده در اثر سوختن 1 mol گلولوک را محاسبه کنید.

حل

چون $1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg}$ است، آب با گرمای ویژه $(1.81 \text{ J}/\text{g}^\circ\text{C})$ در 4°C به کار رفته است، طریق گرمایی آب پیرامون گرماسنج، $C_{\text{H}_2\text{O}}$ ، برابر است:^۵

$$(5-5) \quad (5-5)$$

$$C_{\text{H}_2\text{O}} = [1.20 \times 10^3 \text{ g}] [4.18 \text{ J}/(\text{g}^\circ\text{C})] \\ = 5.02 \times 10^3 \text{ J}/\text{C} = 5.02 \text{ kJ}/\text{C}$$

ظرفیت گرمایی گرماسنج، C_{cal} ، برابر با $2.1 \text{ kJ}/\text{C}$ است. طریق گرمایی کل، C ، برابر است:^۶

$$(5-5) \quad C_{\text{total}} = C_{\text{H}_2\text{O}} + C_{\text{cal}} \\ = 5.02 \text{ kJ}/\text{C} + 2.21 \text{ kJ}/\text{C} \\ = 7.23 \text{ kJ}/\text{C}$$

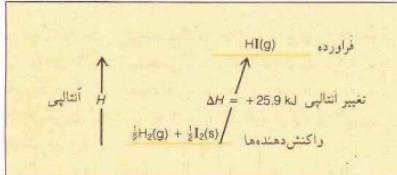
درنتیجه، مقدار 2.23 kJ گرمای بالا برداشتن دمای دستگاه به میزان 4°C لازم است.

$$q = C_{\text{total}}(t_2 - t_1) \quad (5-5)$$

$$= (7.23 \text{ kJ}/\text{C})(25.50^\circ\text{C} - 19.00^\circ\text{C})$$

$$= (7.23 \text{ kJ}/\text{C})(6.50^\circ\text{C})$$

$$= 47.0 \text{ kJ}$$



شکل ۵ - ۴ نمودار آنتالپی برای یک واکنش گرم‌گیر

شده است، تغییر می‌دهند. مقدار ΔH ، به کمیت‌های مولی معادله شیمیایی مربوط است. برخلاف معمول، از ضرایب کسری نیز برای موازنۀ واکنش شیمیایی می‌توان استفاده کرد. یک ضریب کسری، بین‌گر کسری از یک مول از جسم است. بنابراین،



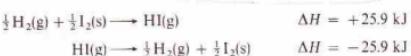
از واکنش ۱ مول گاز هیدروژن با $\frac{1}{2}$ مول گاز اکسیژن برای تولید ۱ مول آب مایع، $\Delta H = -286 \text{ kJ}$ گرم‌گار آزاد است.
حالات هر یک از مواد شرکت‌کننده در واکنش، باید در معادله واکنش مشخص شود. تشانه‌های مانند (g) برای گاز، (l) برای جامد، (s) برای مایع، یا (aq) برای «در محلول آبی» پس از فرمول هر یک از مواد قید می‌شود. تبایز به این روال را از مقایسه معادله زیر با معادله قبلی می‌توان درک کرد:



توجه داشته باشید که مقدار $\Delta H = -44 \text{ kJ}$ گرم‌گار کسری در واکنش دوم (که در آن $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ تولید شده) در مقایسه با واکنش اول (که در آن $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ به وجود آمده)، آزاد شده است. این مقدار گرم‌گار برابر تبدیل ۱ مول $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ به ۱ مول $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ در 25°C و در ۱ atm است.

هنگامی که یک واکنش بر عکس شود، علامت ΔH تغییر خواهد کرد.

واکنش که درجهت معینی گرم‌گاری باشد، درجهت عکس، گرم‌گاری شود:

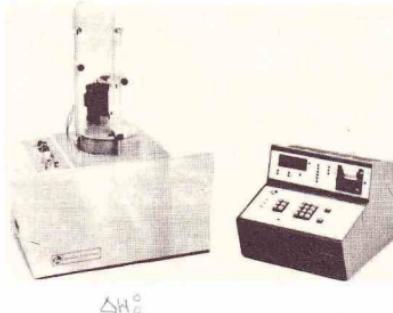


اگر ضرایب مواد در یک معادله شیمیایی را در ضریب‌های ضرب کنیم، مقدار ΔH نیز باید در همان ضریب ضرب شود. برای مثال، اگر معادله آخر در ضرب شود، مقدار ΔH نیز ۲ برابر خواهد شد.

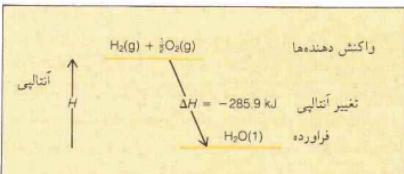
$2 \text{HI}(\text{g}) \longrightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{s}) \quad \Delta H = 2(-25.9 \text{ kJ}) = -51.8 \text{ kJ}$
به معین ترتیب، ضرایب یک معادله و مقدار ΔH را می‌توان برهمان عدد تقسم کرد.
رووال نوشتن معادله‌های گراماشیمیایی را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

1. Exothermic reactions

2. Endothermic reactions



دو نوع بمب گرماسنج



شکل ۵ - ۳ نمودار آنتالپی برای یک واکنش گرم‌گاز

$$\Delta H = H_f - H_i \quad (\text{واکنش دهنده} - \text{فراورده})$$

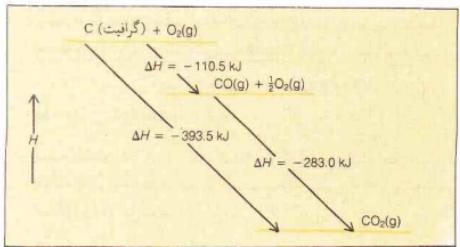
۱ - واکنش‌هایی که گرم‌گار آزاد کنند، واکنش‌های گرم‌گازی نامیده می‌شوند. برای این واکنش‌ها آنتالپی فراورده‌ها کمتر از آنتالپی واکنش دهنده است، ΔH ، مقدار منفی دارد. هنگامی که واکنش رخ می‌دهد، فراورده‌ها جای مواد واکنش دهنده را در سیستم می‌گیرند.

درنتیجه، آنتالپی سیستم واکنش کاهش می‌باید (ΔH منفی) و این تفاوت به صورت گرم‌گار آزاد سیستم بیرون می‌رود (شکل ۵ - ۳ - ۱). (بیانید).

۲ - واکنش‌هایی که گرم‌گار آزاد نمایند، واکنش‌های گرم‌گازی مشهرند. برای این نوع واکنش‌ها، آنتالپی فراورده‌ها بیشتر از آنتالپی مواد واکنش دهنده است و مثبت می‌باشد. برای انجام این گونه واکنش‌ها، برای افزایش آنتالپی، باید گرم‌گار به سیستم داده شود (شکل ۵ - ۴). (بیانید).

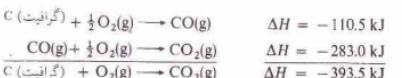
آنتالپی مواد شیمیایی به دما، قشار، و حالت فیزیکی آنها بستگی دارد. طبق تعریف، مقدار ΔH برای واکنش‌هایی گزارش می‌شود که در دمای 25°C و در فشار استاندارد 100 kPa انجام شده باشند (بخش ۱۰ - ۲ - ۱). در صورتی که شرایط دیگری به کار گرفته شده باشد، باید آنرا مشخص کرد.

داده‌های گرم‌گار شیمیایی را با نوشتن یک معادله شیمیایی برای واکنش موردنظر و آوردن مقدار ΔH واکنش، به همان صورت که نوشته

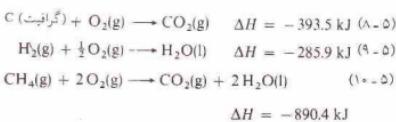


شکل ۵ - نمایش قانون هشن با نمودار آنتالپی

این تبدیل می‌تواند پیلود دو مرحله نیز صورت گیرد: واکنش گرافیت با CO_2 که بودست می‌دهد، در بین آن، واکنش $\text{CO} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ که تولیدی کنند. حاصل جمع معادله‌های در مرحله، با معادله واکنش مستقیم یکسان است (شکل ۵ - ۵ را ببینید).



چون با داده‌های گراماشیمیایی می‌توان اعمال جبری انجام داد، لذا آنتالپی هر واکنش را از اندازه گیری‌های انجام شده برای سایر واکنش‌ها به دست آورده. مثلاً، معادله‌های گراماشیمیایی زیر را در نظر گیرید:



این معادله‌ها را می‌توان برای محاسبه ΔH واکنش که در آن، مثان، CH_4 ، از گربن و هیدروژن تشکیل می‌شود، به کار گرفت. این تغییر آنتالپی را نمی‌توان مستقیماً اندازه گیری کرد:



چون در سمت چپ معادله $(8-5)$ و همچنین، در سمت چپ معادله دلخواه ما نیز 1 mol C(گرافیت) آمده است، معادله $(8-5)$ را به صورت قابلی آن می‌نویسیم:



در سمت چپ معادله مورد نظر ما، دو مول $\text{H}_2(\text{g})$ در سمت چپ معادله دلخواه ما نیز 1 mol C(گرافیت) فقط یک مول $\text{H}_2(\text{g})$ وجود دارد، درنتیجه، معادله $(8-5)$ و مقدار ΔH ، هر دو، در ۲ ضرب می‌شوند:



۱ - برای واکنش‌های گرمایزا (واکنش‌هایی که گرمای آزاد می‌کنند)، ΔH منفی است. برای واکنش‌های گرمایگر (واکنش‌هایی که گرمای آزاد می‌کنند)، ΔH مثبت است.

۲ - مگر در مواردی که ذکر شده باشد، مقدار ΔH به واکنش‌هایی که در 25°C و فشار استاندارد اجرا شده باشند، اشاره دارد.

۳ - نشانه‌هایی مانند (g), (l), (s) و (aq)، برای شناسادن حالت فیزیکی هر جسم، پس از فرمول اجسام در معادله شیمیایی می‌آیند.

۴ - ضرایب مواد در معادله شیمیایی، بیانگر تعداد مول هر یک از مواد در گریگر در واکنش است (اعداد کسری نیز ممکن است به کار رود) و مقدار ΔH به این مقابله از مواد مربوط است.

۵ - اگر ضرایب معادله شیمیایی در عددی ضرب یا بر عددی تقسیم شوند، مقدار ΔH نیز باشد در همان عدد ضرب با تقسیم شود.

۶ - اگر واکنش شیمیایی برعکس شود، علامت و نه مقدار ΔH تغییر داد می‌شود. مسائل گراماشیمیایی، با همان روش مسائل ساده استوکیومتری حل می‌شوند.

مثال ۵ - واکنش ترمیت، بسیار گرمایزاست:



از واکنش $8-5$ آلمینیم با Fe_2O_3 کافی چه مقدار گرمای آزاد می‌شود؟

حل معادله ΔH نشان می‌دهد:

$$-848 \text{ kJ} \approx 2 \text{ mol Al}$$

چون وزن اتمی Al برابر با 27 است.

$$7 \text{ kJ} = 36.0 \text{ g Al} \left(\frac{1 \text{ mol Al}}{27.0 \text{ g Al}} \right) \left(\frac{-848 \text{ kJ}}{2 \text{ mol Al}} \right) = -565 \text{ kJ}$$

۵-۵ قانون هشن

مبنای بسیاری از محاسبات گراماشیمیایی، قانون ثابت بودن مجموع گرماست که در سال 1842 توسط هشن به صورت تجزیی ثبت شد. قانون هشن می‌گوید که تغییر آنتالپی برای هر واکنش شیمیایی مقداری است ثابت، خواه و اکتشن در یک مرحله و خواه در چند مرحله صورت گیرند. بنابراین، با داده‌های گراماشیمیایی می‌توان اعمال جبری انجام داد. برای مثال، واکنش گرافیت با CO_2 که منجر به تولید گاز کوئین دیرکسید می‌شود را در نظر بگیرید:



۶-۵ آنتالپی تشکیل

روش ساده برای محاسبه ΔH هر واکنش شامل استفاده از مقادیر ثابت شده‌ای به نام آنتالپی استاندارد تشکیل است. ابتدا، چگونگی تعریف این مقادیر را بین می‌نیم و پس با شیوه به کارگیری آنها آشنا می‌شویم.

آنچه استاندارد تشکیل یک ماده مرکب (با تعداد H_f° مول مخصوص) می‌شود، مقدار ΔH مرتبه با واکنش است که در آن، یک مول ماده مرکب در 1 atm و در دمای معین، از مناصر سازانده خود، در پایدارترین حالت، در فشار 1 atm و در آن دمای معین ساخته می‌شود. بخش‌های مختلف این تعریف را باید توضیح داد.

۱- آین تعریف در مردم و اکتشافات علمی معتبر است که شامل ترکیب‌ها و عناصری در حالت‌های استاندارد شدن باشد.

حال استاندارد یک مایع یا گاز، مایع خالص یا جامد خالص در فشار 1 atm است. حال استاندارد یک گاز در فشار 1 atm ، با خرسن رفتار ایده‌آل است (بخش‌های ۱۰ - ۵ و ۱۰ - ۶ را ببینید). تعداد ΔH تغییرات آنتالپی استاندارد را شناساند می‌دد و به واکنش‌های اشاره دارد که شامل اجمامی در حالت‌های استاندارد باشند.

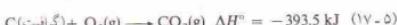
۲- دمای مرجع، معمولاً 25°C است. اغلب مقدار H_f° (و همچنین مقادیر ΔH_f° مورده استفاده در این کتاب) به واکنش‌های اشاره دارند که در دمای مرجع 25°C صورت گرفته‌اند.

۳- برخی از عناصر، بیش از یک حالت دارند. فرم عنصر به کار رفته برای بدست آوردن مقدار H_f° ، پایدارترین فرم آن (دارای کمترین آنتالپی) در 1 atm و در دمای مرجع است. مثلاً کربن به صورت الناس و گرافیت وجود دارد. آنتالپی الناس بالاتر از آنتالپی گرافیت است:



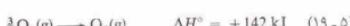
نتیجه، پایدارترین حالت کربن در 25°C و 1 atm گرافیت است و مقادیر ΔH_f° ترکیبات کربن دار را از آن به دست می‌آورند.

دو واکنش زیر را برای تشکیل $\text{CO}_2(\text{g})$ در نظر بگیرید:



آنچه استاندارد برای تشکیل $\text{CO}_2(\text{g})$ در معادله $(۱۷-۵)$ که شامل $\text{C}(\text{گرافیت})$ می‌باشد، داده شده است.

اکسیژن نیز فرم‌های مختلفی دارد. آنتالپی مولکول اکسیژن، یعنی $\text{O}_2(\text{g})$ کمتر از مولکول اوزون $\text{O}_3(\text{g})$ است:



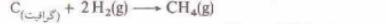
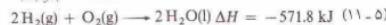
۱. مقادیر ΔH که قیلاً در این نصل آمددهاند، در واقع مقادیر ΔH° هستند. چون در آن موارد، تفاوت ΔH و ΔH° اهمیت نداشت، اشاره‌ای به آن نشد.

درست راست معادله دلخواه ماء، یک مول (g) CH_4 وجود دارد. در نتیجه، معادله $-5 = ۱$ باید بر عکس شود و علامت ΔH نیز باید تغییر داد شود:



$$\Delta H = +890.4 \text{ kJ} \quad (۱۲-۵)$$

معادله‌های $۱-۵$ ، $۱۱-۵$ ، $۱۲-۵$ را با هم جمع می‌کنیم. عبارت‌های مشترک در هر دو طرف معادله‌های $\text{O}_2(\text{g})$ ، $\text{CO}_2(\text{g})$ و $2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ (حذف می‌شوند):

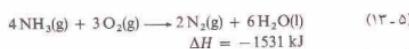


$$\Delta H = -74.9 \text{ kJ}$$

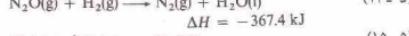
مقدار ΔH بعدست آمده، آنتالپی واکنش موردنظر ماست:

مثال ۳-۵

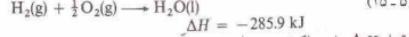
با در دست داشتن معادله‌های گرماسیمایی زیر:



$$\Delta H = -1531 \text{ kJ}$$

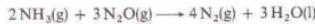


$$\Delta H = -367.4 \text{ kJ}$$



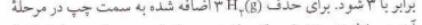
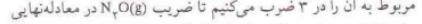
$$\Delta H = -285.9 \text{ kJ}$$

مقدار ΔH برای واکنش زیر را به دست آورید:



حل

چون در سمت چپ معادله دلخواه، دو مول $\text{NH}_3(\text{g})$ وجود دارد، معادله ΔH و مقدار ΔH را بر 2 تقسیم می‌کنیم. معادله $۱۴-۵$ و مقدار ΔH مربوط به آن را در 3 ضرب می‌کنیم تا ضربی شده به سمت چپ در معادله $۱۳-۵$ اضافه شده باشد. سپس مقدار ΔH را بر 2 ضرب می‌کنیم؛ مقدار ΔH مربوطه را نیز در 3 ضرب کرده و علامت آن را تغییر می‌دهیم.



معادله‌ها و مقادیر ΔH را اضافه می‌کنیم. عبارت‌های مشترک در دو طرف معادله‌های $\text{O}_2(\text{g})$ ، $2\text{H}_2(\text{g})$ ، $3\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ و $3\text{H}_2(\text{g})$ را حذف می‌کنیم:



$$\Delta H = -1010.0 \text{ kJ}$$

آنالیپی تشکیل را می‌توان مستقیماً اندازه‌گیری کرد یا با استفاده از قانون هیش از سایر داده‌های گرم شیمیایی دیگر محاسبه کرد. نتیجه محاسباتی که در بخش ۵ - آمده است،



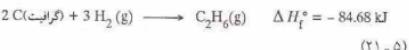
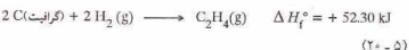
$$\Delta H_f^\circ = -74.9 \text{ kJ}$$

آنالیپی استاندارد تشکیل $\text{CH}_4(\text{g})$ است. در جدول ۵ - ۱ برخی از آنالیپی‌های استاندارد آمده است.

تغییر آنالیپی آزاد برای یک واکنش را می‌توان از آنالیپی آزاد تشکیل ترکیبات درگیر در واکنش محاسبه کرد. مثلاً، تغییر آنالیپی آزاد برای واکنش زیر:

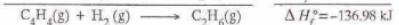
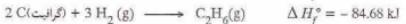
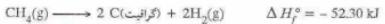


را می‌توان از آنالیپی آزاد تشکیل اتیلن، $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$ و اتان، $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$ محاسبه کرد:



معادله ۵ - ۲۰ را به صورت معکوس می‌نویسیم که بیانگر تبدیل $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$ به عنصر سازنده آن است. مقدار مربوط به تغییر آنالیپی برای واکنش معکوس برای $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$ - $\Delta H_f^\circ = -52.30 \text{ kJ}$ - یا - $\Delta H_f^\circ = +52.30 \text{ kJ}$ - است. می‌توان تصور کرد که عنصر حاصل از تجزیه $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$ به اضافه یک مول $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$ ، اتان، $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$ ، بدست خواهد داد. به این ترتیب، معادله ۵ - ۲۱ به صورت نشان داده شده نوشته می‌شود. با جمع این دو معادله،

معادله گراماشیمایی مطلوب بدست خواهد آمد:



به این ترتیب، ΔH° واکنش برای است با $\Delta H_f^\circ(\text{C}_2\text{H}_4) - \Delta H_f^\circ(\text{C}_2\text{H}_6)$. $\Delta H_f^\circ(\text{C}_2\text{H}_4)$ به طور کلی، مقدار ΔH° برای هر واکنشی را می‌توان با کم کردن مجموع آنالیپی تشکیل مواد واکنش دهنده از مجموع آنالیپی تشکیل فراورده‌ها بدست آورده:

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H_f^\circ_{\text{(واکنش دهنده)}} - \sum \Delta H_f^\circ_{\text{(فراورده)}} \quad (۲۲ - ۵)$$

حرف یونانی بزرگ Σ ، بیانگر جمع است. با معکوس کردن علامت (ΔH_f°) (واکنش مدنده)، مقدار ΔH° ، می‌توان فرایندی را نشان داد که در آن مواد واکنش دهنده به عنصر سازنده خود شکسته می‌شوند.

هنگام به کار گرفتن این روش برای تعیین مقادیر ΔH° ، باید دو نکته را در نظر گرفت:

جدول ۵ - ۱ آنالیپی تشکیل (kJ/mol) برخی از ترکیبات شیمیایی در ۱ atm و ۲۵°C

ترکیب	ΔH_f°	ترکیب	ΔH_f°
$\text{CS}_2(\text{l})$	- ۸۷۴.۶	$\text{AgCl}(\text{s})$	- ۱۲۷.۰
$\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s})$	- ۸۲۲.۳	$\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})$	- ۱۶۶۹.۱
$\text{HBr}(\text{g})$	- ۳۶۴.۲	$\text{BaO}(\text{s})$	- ۱۲۱۸.۰
$\text{HCl}(\text{g})$	- ۹۲۷.۰	$\text{CaCO}_3(\text{s})$	- ۵۸۸.۱
$\text{HCN}(\text{g})$	+ ۱۳۰.۰	$\text{CaCO}_3(\text{s})$	- ۱۲۰۶.۹
$\text{HF}(\text{g})$	- ۲۶۹.۰	$\text{CaO}(\text{s})$	- ۶۳۰.۵
$\text{HgBr}_2(\text{s})$	- ۱۶۹.۰	$\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s})$	- ۹۸۵.۵
$\text{HL}(\text{g})$	+ ۲۵۹.۰	$\text{Ca}_3\text{P}_2(\text{s})$	- ۵۰۷.۷
$\text{HNO}_3(\text{l})$	- ۱۷۳.۲	$\text{CF}_4(\text{g})$	- ۹۱۳.۴
$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	- ۲۲۱.۸	$\text{CH}_4(\text{g})$	- ۷۴۰.۸
$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	- ۲۸۵.۹	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$	+ ۲۲۶.۷
$\text{H}_2\text{S}(\text{g})$	- ۲۰۲.۰	$\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$	+ ۵۲۳.۰
$\text{MgO}(\text{s})$	- ۶۰۱.۸	$\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$	- ۸۴۰.۶
$\text{NaCl}(\text{s})$	- ۴۱۱.۰	$\text{C}_2\text{H}_6(\text{l})$	+ ۲۹۰.۴
$\text{NF}(\text{g})$	- ۱۱۳.۰	$\text{CHCl}(\text{l})$	- ۱۲۷.۰
$\text{NH}_3(\text{g})$	- ۴۶۰.۹	$\text{CH}_3\text{NH}_3(\text{g})$	- ۲۸۰.۰
$\text{NH}_3\text{NO}_3(\text{s})$	- ۳۶۵.۰	$\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$	- ۲۰۱.۲
$\text{NO}(\text{g})$	+ ۹۰۰.۷	$\text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$	- ۲۲۸.۰
$\text{NO}_2(\text{g})$	+ ۳۲۰.۰	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$	- ۲۷۷.۰
$\text{PH}_3(\text{g})$	+ ۹۰۲.۵	$\text{CO}(\text{g})$	- ۱۱۰.۰
$\text{SO}_2(\text{g})$	- ۲۹۶.۹	$\text{CO}_2(\text{g})$	- ۳۹۳.۵
$\text{ZnO}(\text{s})$	- ۳۴۸.۰	$\text{COCl}_2(\text{g})$	- ۲۲۲.۰

بنابراین پایدارترین فرم اکسیژن در ۱ atm و ۲۵°C و $\text{O}_2(\text{g})$ است. این فرم

برای محاسبه آنالیپی استاندارد تشکیل به کار می‌رود (مانند آنچه که در معادله ۵ - ۱۷ آمده است). توجه کنید براي عناصری که در طبیعت

به صورت دو انتی هستند $(\text{H}_2, \text{F}_2, \text{O}_2, \text{N}_2, \text{I}_2)$ ، آنالیپی فرم انتی اینها سیار باطل است. فرم پایدار هر یک از این مناصص، مولکول دو انتی است $(\text{O}_2(\text{g})$ ، پایدار اکسیژن، نه $\text{O}(\text{g})$).

طبق عرضه، آنالیپی استاندارد تشکیل پایدارترین فرم یک عنصر در

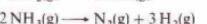
۱ atm و دمای مرجع (ΔH°) برای واکنشی که در آن، این فرم از منظر از خود آن عنصر موجود می‌باشد (یا برابر صفر است)، توجه کنید که می‌توان

معادله ۵ - ۱۴ را یافته که آنالیپی آزاد تشکیل $\text{O}_2(\text{g})$ داشت. به این ترتیب، آنالیپی تشکیل، نوع معنی از تغییر آنالیپی است. در واقع مقادیر ΔH° برای واکنش نشان داده در شکل‌های ۵ - ۳ و ۵ - ۴، به ترتیب، مقادیر ΔH° برای $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ و $\text{HI}(\text{g})$ را نشان می‌دهند:



$$\Delta H^\circ = -2\Delta H_f^\circ = +92.38 \text{ kJ}$$

۳- دو معادله گرماشیمیایی بالا را جمع می کنیم، برای عنصر در گیر در واکنش (یعنی Cl_4 و N_2 ، معادله ای اضافه نمی شود:



$$\Delta H^\circ = 6\Delta H_f^\circ = -553.80 \text{ kJ}$$

$$\Delta H^\circ = -2\Delta H_f^\circ = +92.38 \text{ kJ}$$

$$\Delta H^\circ = -461.42 \text{ kJ}$$

عبارت $\text{H}_2(\text{g}) + 3 \text{Cl}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 6 \text{HCl}(\text{g})$ می شود، توجه کنید که در معادله نهایی ظاهر می شوند، گرچه برای وارد کردن آنها هیچ تدارک و پیزایی دیده نشده بود.

مثال ۴-۵

با استفاده از آنتالپی تشکیل، مقدار ΔH° واکنش زیر را محاسبه کنید:



حل

مقداری مواد دنیاز را جدول ۴-۵ به دست می آوریم.

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= \sum \Delta H_f^\circ - (\sum \Delta H_f^\circ)_{\text{(واکنش دهنده)}} \quad (۲۲-۵) \\ &= 3\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2) - [\Delta H_f^\circ(\text{Fe}_2\text{O}_3) + 3\Delta H_f^\circ(\text{CO})] \\ &= (3 \text{ mol})(-393.5 \text{ kJ/mol}) - [(1 \text{ mol})(-822.2 \text{ kJ/mol}) \\ &\quad + (3 \text{ mol})(-110.5 \text{ kJ/mol})] \end{aligned}$$

$$= -1180.5 \text{ kJ} + 1153.7 \text{ kJ} = -26.8 \text{ kJ}$$

مثال ۵-۵

بر مبنای داده های زیر:



$$\Delta H^\circ = -493.4 \text{ kJ}$$

مریبوط به $\text{H}_3\text{BO}_3(\text{s})$ برای ΔH_f° در این مورد، مقدار ΔH_f° مریبوط به $\text{H}_2(\text{g})$ برای ΔH_f° در این واکنش دهنده، را نیز به دست می آوریم: $\Delta H_f^\circ = -1088.7 \text{ kJ/mol}$ و $\Delta H_f^\circ = -285.9 \text{ kJ/mol}$ است. آنتالپی تشکیل B_2H_6 را محاسبه کنید.

حل

در این مورد، مقدار ΔH° هر واکنش معلوم است و مقدار ΔH° یکی از موارد واکنش دهنده، را نیز به دست می آوریم:

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H_f^\circ - (\sum \Delta H_f^\circ)_{\text{(واکنش دهنده)}} \quad (۲۲-۵)$$

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= 2\Delta H_f^\circ(\text{H}_3\text{BO}_3) - [\Delta H_f^\circ(\text{B}_2\text{H}_6) + 6\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O})] \\ &= -493.4 \text{ kJ} - (2 \text{ mol})(-1088.7 \text{ kJ/mol}) - [(1 \text{ mol})\Delta H_f^\circ(\text{B}_2\text{H}_6) \\ &\quad + (6 \text{ mol})(-285.9 \text{ kJ/mol})] \end{aligned}$$

استفاده از آنتالپی تشکیل برای بدست آوردن مقادیر H°

۱- معادله گرماشیمیایی و اکتش را بنویسید.

۲- عبارت های معادله زیر را جایگزین کنید:

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H_f^\circ - (\text{فراورده})_{\text{(واکنش دهنده)}}$$

الف- عبارت $\sum \Delta H_f^\circ$ جمع آنتالپی استاندارد تشکیل

ترکیبی است که در سمت راست معادله گرماشیمیایی قرار دارد.

ب- عبارت $(\text{فراورده})_{\text{(واکنش دهنده)}}$ جمع آنتالپی استاندارد

تشکیل ترکیبی است که در سمت چپ معادله گرماشیمیایی قرار دارد.

برای بدست آوردن هر یک از این جمع ها، آنتالپی استاندارد

تشکیل هر ترکیب را در تعداد مول های آن ترکیب در واکنش

(که با ضرائب مریبوط در معادله گرماشیمیایی نشان داده شده اند) ضرب می کنیم.

برای خاصیتی که در فشار ۱ atm و در دمای مرجع (۲۵°C)

در معادله گرماشیمیایی قرار دارند، تغییر آنتالپی در نظر گرفته نمی شود.

۱- آنتالپی استاندارد تشکیل بر حسب کلیل ژول بر مول داده

می شود، هر یک از مقادیر داده شده در جدول ۴-۵، مریبوط به تشکیل

فقط یک مول از ترکیب است، اگر بیشتر از یک مول (یا کمتر از یک

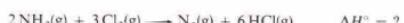
مول) از ترکیب در واکنش مورد مطالعه درگیر باشد، مقدار ΔH_f° باید در

تعداد مول های درگیر ضرب شود.

۲- آنتالپی استاندارد تشکیل یک عنصر در پایدارترین فرم آن در

۱ atm و در دمای مرجع، صفر است، در جمع $\sum \Delta H_f^\circ$ (فراورده) ΔH_f° (واکنش دهنده) و ΔH_f° (واکنش زیر را در نظر گرفته نمی شود.

و واکنش زیر را در نظر نگیرید:



تغییر آنتالپی را به صورت زیر می توان محاسبه کرد:

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H_f^\circ - (\text{فراورده})_{\text{(واکنش دهنده)}} \quad (۲۲-۵)$$

$$= 6\Delta H_f^\circ(\text{HCl}) - 2\Delta H_f^\circ(\text{NH}_3)$$

$$= (6 \text{ mol})(-92.30 \text{ kJ/mol}) - (2 \text{ mol})(-46.19 \text{ kJ/mol})$$

$$= -553.80 \text{ kJ} + 92.38 \text{ kJ} = -461.42 \text{ kJ}$$

محاسبات را با افزودن معادله های گرماشیمیایی مناسب، می توان بازبینی و کنترل کرد.

۱- چون در این واکنش ۶ mol از $\text{HCl}(\text{g})$ تولید می شود، معادله

برای آنتالپی استاندارد تشکیل یک مول $\text{HCl}(\text{g})$ باید در ۶ ضرب می شود و ΔH_f° مریبوط به $\text{HCl}(\text{g})$ نیز در ۶ ضرب می شود.



$$\Delta H^\circ = 6\Delta H_f^\circ = -553.80 \text{ kJ}$$

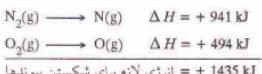
۲- در این واکنش، دو مول $\text{NH}_3(\text{g})$ مصرف می شود، معادله

تشکیل $\text{NH}_3(\text{g})$ باید در ۲ ضرب شده و برعکس می شود. مقدار ΔH_f° برای $\text{NH}_3(\text{g})$ نیز در ۲ ضرب شده و علامت آن تغییر داده می شود.

در این مثال، انرژی آزاد شده کل دارای تشکیل پیوند $(\Delta H = -862 \text{ kJ})$ باز
انرژی کل لازم برای شکستن پیوند H_2O است. $(\Delta H = + 435 \text{ kJ} + 243 \text{ kJ} = + 678 \text{ kJ})$

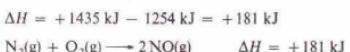
بسیار است. در نتیجه، واکنش گرمایش است.
در واکنش های گرمایش، عکس این قضیه صادق است. انرژی لازم برای شکستن پیوندها، بیشتر از انرژی آزاد شده در اثر تشکیل آنهاست.

$\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2 \text{NO}(\text{g}) \quad \Delta H = 2\Delta H_f^{\circ}(\text{B}_2\text{H}_6) = + 180.74 \text{ kJ}$
هر کدام از پیوندهای موجود در این مولکول ها، پیوند ساده نیست، در نتیجه آنها را با خط تیره مشخص نمی کنیم. اما، انرژی تفکیک پیوند برای هر سه مولکول دو اتمی توانش اراده شده در معادله بالا تعیین شده اند و می توان آنها را برای پیدا کردن ΔH واکنشی به کار گرفت.
انرژی لازم برای شکستن پیوندها در مولکول های $\text{N}_2(\text{g})$ و $\text{O}_2(\text{g})$ ، جمع انرژی تفکیک پیوندها در دو مولکول است:



مقادیر ΔH برای تشکیل دو مول $\text{NO}(\text{g})$ با ضرب کردن انرژی تفکیک پیوندهای مولکول $\text{NO}(\text{g})$ در ۲ و تغییر دادن علامت می توان بدست آورد:
 $2 \text{N}(\text{g}) + 2 \text{O}(\text{g}) \longrightarrow 2 \text{NO}(\text{g}) \quad \Delta H = 2(-627 \text{ kJ}) = -1254 \text{ kJ}$

انرژی تشکیل پیوندها
مقادیر ΔH واکنش را با حجم مقدار ΔH مربوط به پیوندهای شکسته شده و پیوندهای تشکیل شده می توان بدست آورد. چون برای شکستن پیوندها انرژی بیشتری لازم است تا انرژی آزاد شده در اثر تشکیل پیوندها، واکنش گرمایش است:



اگر قرار بود فقط انرژی تفکیک مولکول های دو اتمی را به کار ببریم، این روش بسیار محدود می شد. اما، با بدست آوردن مقادیر تغییرنامنوعی پیوند برای پیوندهای مربوط به سایر اندوخته های مولکولی، می توان این شیوه را گسترش داد.

مولکولی که بیش از دو اتم داشته باشد، مانند H_2O را مولکول چنداتمی نامند. در مولکول آب، دو پیوند $\text{H}-\text{O}$ وجود دارد و تفکیک مولکول آب به اتم هاییش با شکستن این دو پیوند $\text{H}-\text{O}$ صورت می گیرد. مقدار ΔH برای این واکنش:



$$\Delta H = + 926 \text{ kJ}$$

$$\begin{aligned} -493.4 \text{ kJ} &= -2177.4 \text{ kJ} - [(1 \text{ mol})\Delta H_f^{\circ}(\text{B}_2\text{H}_6) - 1715.4 \text{ kJ}] \\ -493.4 \text{ kJ} &= -462.0 \text{ kJ} - (1 \text{ mol})\Delta H_f^{\circ}(\text{B}_2\text{H}_6) \\ \Delta H_f^{\circ}(\text{B}_2\text{H}_6) &= + 31.4 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

۷-۸ انرژی پیوندهای شیمیایی

پیوندهای شیمیایی، اتم های سازنده مولکول ها را در گستار همدیگر نگاه داشته اند (فصل ۷ را ببینید). انرژی لازم برای شکستن پیوند که دو اتم را در یک مولکول دو اتمی به یکدیگر متصل کرده است، انرژی تفکیک پیوند ۱ نام دارد، این مقادیر، بر حسب کیلوژول بر مول برای پیوندهای گازی می شوند. در معادله های زیر که نمایشگر این فرایند هستند، پیوند بین اتم ها با خط تیره نشان داده شده است؛ مثلاً، پ به صورت $\text{H}-\text{H}$:



مشت بودن مقادیر ΔH با لایانگر جذب از ری در این فرایند هاست. پیوند شیمیایی مربوط به مولکول H_2 ، H_2 ، قوی ترین پیوند در میان سه پیوند ایست. گستن مولکول H_2 ، بیشترین مقادیر انرژی را لازم دارد. اگر یکی از این معادله ها بر عکس شود، علامت مقدار ΔH نیز باید تغییر کند:



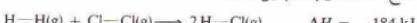
تشکیل پیوند شیمیایی با آزاد شدن انرژی همراه است - همان مقدار انرژی برای شکستن پیوند لازم خواهد بود.
انرژی تفکیک پیوندها را می توان برای تعیین برخی از مقادیر ΔH به کار گرفت. واکنش زیر را در نظر بگیرید:



مقادیر ΔH این واکنش را با حجم مقدار ΔH مربوط به $\text{HCl}(\text{g})$ اس، زیرا معادله شیمیایی با لایانگر تشکیل دو مولکول $\text{HCl}(\text{g})$ می باشد. مقادیر ΔH را به شیوه زیر می توان از انرژی تفکیک پیوندها بدست آورد. تغییر آنتالپی برای حجم مقادیر ΔH مربوط به انرژی لازم برای شکستن ۱ از پیوندهای $\text{Cl}-\text{Cl}$ ، اند $\text{H}-\text{H}$ ، اند $\text{H}-\text{Cl}$ ، و انرژی آزاد شده در اثر تشکیل ۲ از پیوندهای $\text{H}-\text{Cl}$ است:



جمع معادله های بالا، چنین است:



است. چون انرژی سیاری از پیوندهای صورت تتریبی در دست است، مقدار ΔH به دست آمده با استفاده از این تغییر نیز باشد تخمینی تلقی شود. در برخی مولکول‌ها، دو اتم با پیوندهای مضاعف به یکدیگر متصل‌اند، مثلاً دو اتم نیتروژن، برحسب نوع مولکول، می‌توانند بهوسیله یک پیوند ساده ($N-N$)، یک پیوند دوگانه ($N=N$)، یا یک پیوند سه‌گانه به یکدیگر متصل باشند. در جدول ۵-۱، پیوندهای مضاعف مشخص شده‌اند. توجه کنید که ترتیب افزایش انرژی پیوند در دستای از این ترکیبات به صورت پیوند ساده > پیوند دوگانه > پیوند سه‌گانه است:

$N-N$	+159 kJ/mol	$C-C$	+347 kJ/mol	$C-N$	+293 kJ/mol
$N=N$	+418 kJ/mol	$C=C$	+619 kJ/mol	$C=N$	+616 kJ/mol
$N\equiv N$	+941 kJ/mol	$C\equiv C$	+812 kJ/mol	$C\equiv N$	+879 kJ/mol

هنگام استفاده از انرژی پیوندها برای تعیین ΔH برای یک واکنش باید سه عامل را درنظر گرفت:

۱- این سه عامل را همان‌طور که نشان داده شد، باید فقط برای واکنش‌هایی به کار رود که تمام مواد واکنش‌دهنده و فراورده‌های آنها گذشتند.^۱

۲- نتیجه این نوع محاسبات را باشد تخمینی تلقی کرد زیرا مقدار انرژی سیاری از پیوندها تقریبی است.

۳- در برخی موارد، انرژی پیوندهای معینی که به آسانی قابل توصیف نیستند، با الگوی میانگین انرژی پیوندها سازگار نیست، تا زمانی که این گونه پیوندها را مورد بحث قرار دهیم (بخش ۴-۸)، باید از آوردن مثال‌هایی که شامل این پیچیدگی‌ها باشند، خودداری کنیم.

مثال ۵-۵

با استفاده از میانگین انرژی پیوندها، مقدار ΔH برای واکنش زیر را حساب کنید:



حل

من تو ان تصور کرد که این واکنش طی چند مرحله صورت می‌گیرد. هنگام شکستن پیوند، انرژی جذب می‌شود (ΔH مثبت است)، و در صورت تشکیل پیوند، انرژی آزاد می‌گردد (ΔH منفی است). در این

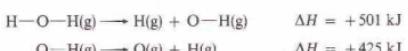
* واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها در جالت گازی هستند.
** پیوند دوگانه اکسپرسن مولکول.

^۱ مقادیر ΔH برای سایر ازان و اکتشن‌ها را من تو ان با استفاده از انرژی پیوندها محاسبه کرد، به عبارت‌هایی برای به حساب آوردن تغییر حالت مواد واکنش‌دهنده و فراورده‌ها به کار گرفته شوند. این کتاب، به این نوع محاسبات نمی‌پردازیم.

جدول ۵-۲ میانگین انرژی برخی پیوندها (kJ/mol)

پیوند	میانگین انرژی	پیوند	میانگین انرژی
H—I	۱۹۳	Br—Br	
I—I	۳۴۷	C—C	
N—Cl	۶۱۹	C=C	
N—H	۸۱۲	C≡C	
N—N	۳۲۶	C—Cl	
N=N	۴۸۵	C—F	
N≡N	۴۱۲	C—H	
O—Cl	۲۹۳	C—N	
O—F	۶۱۶	C=N	
O—H	۸۷۹	C≡N	
O—O	۳۳۵	C—O	
O ₂ **	۷۷۷	C=O	
P—Cl	۲۴۳	Cl—Cl	
P—H	۱۵۵	F—F	
S—Cl	۳۶۴	H—Br	
S—H	۴۲۱	H—Cl	
S—S	۵۶۵	H—F	
	۴۳۵	H—H	

به فرایندی اشاره دارد که در آن، دو مول از پیوندهای $O-H$ شکسته می‌شوند. بنابراین، میانگین انرژی پیوند برای پیوندهای $O-H$ برابر با $+463 \text{ kJ/mol}$ ، یا $+926 \text{ kJ/mol}$ بود. پیوندهای در مولکول H_2O ، هم ارزند. اما درصورتی که قرار باشد این پیوندها یک به یک شکسته شوند، در آن صورت مقابله ΔH یکسان نخواهد بود.



به طور کلی، شکستن دوین پیوند در مولکول‌های مانند H_2O آسان‌تر از شکستن تحسین پیوند است. پایداری قطعه باقیمانده از حذف H (یعنی $O-(O-H)$ ، به اندازه مولکول اولیه (یعنی $(H-O-H)$ نیست. مقابله ΔH مربوط به یک‌ایک مراحل بالا برای ما اهمیت ندارد. میانگین مقدار ΔH برای این مراحل سراسر $+463 \text{ J/mol}$ است که میانگین انرژی پیوند و مقدار به کار گرفته شده برای محاسبات مربوط به پیوند $O-H$ می‌باشد.

() قدرت یک پیوند در مولکول به ساختار کلی مولکول استنگی دارد. درنتیجه، انرژی پیوند نوع معینی از پیوند در تمام مولکول‌های دارای آن پیوند یکسان نیست. مثلاً انرژی از پیوند $O-H$ در مولکول $H-O-H$ با انرژی از پیوند $O-H$ در مولکول $H-O-Cl$ دارد. مقابله که برای این اثرات متفاوت است، مقداری که در جدول ۵-۲ آمده، انرژی تفکیک پیوند در مولکول‌های دو اتنی هستند. مقابله دیگر میانگین انرژی پیوندها می‌باشد و هریک از این مقابله، میانگین به دست آمده از موارد سیاری

راه کوئاته تری نیز برای حل این مسئله وجود دارد. تمام پیوندهای شکسته شده (با ΔH مثبت) و تمام پیوندهای تشکیل شده (با ΔH منفی) را فهرست می‌کنیم، با این جمع جبری ارقام این نهضت است.

درنتیجه:

پیوندهای شکسته شده	ΔH :
6 mol of N—H پیوندها	6 mol(+ 389 kJ/mol) = + 2334 kJ
3 mol of Cl—Cl پیوندها	3 mol(+ 243 kJ/mol) = + 729 kJ
پیوندهای تشکیل شده	
1 mol of N≡N پیوندها	1 mol(− 941 kJ/mol) = − 941 kJ
6 mol of H—Cl پیوندها	6 mol(− 431 kJ/mol) = − 2586 kJ
	− 464 kJ
نتیجه:	

در بخش ۵ - ۶ برای محاسبه مقدار H این واکنش، از آتسالی تشکیل ترکیبات استفاده کردیم. مقدار به دست آمده با این روش ($- 464 \text{ kJ}$)، قابل اعتمادتر از مقدار بدست آمده از انرژی پیوندها (یعنی $- 464 \text{ kJ}$) است.

استوکومتری که شامل تعییرات گرمایی باشد را با استفاده از معادلهای گرمایی شیمیایی می‌توان حل کرد. این معادله را می‌توان در عددي ضرب ΔH (نیز در همان عدد ضرب خواهد داشت) با بر اندی ΔH نیز بر همان عدد تقسیم کرده شود. با معمول کردن ΔH نیز خوب است. مقدار ΔH نیز خواهد گردید.

معادله از این اندازه گرمایی مسماجی نوشته، سه روش دیگر نیز برای بدست آوردن این آزمایش‌های گرمایی مسماجی نوشته اند. بر این مبنای تابعیت بدست آوردن این معادله را از اندازه‌های گرمایی شیمیایی بیان شده است.

۱ - عددي از معادلهای گرمایی مسماجی را می‌توان جمع زد و معادله گرمایی شیمیایی جدیدی بدست آورد. توجهی این روش، بر مبنای قانون هش است که می‌کوید مقدار ΔH نیز ثابت است، خواه این و اکتش در یک مرحله صورت گیرد، خواه در چندین مرحله.

۲ - آتسالی تشکیل استانداره را می‌توان برای بدست آوردن آتسالی تعییر یک و اکتش، با استفاده از معادله نیز بدست آورده:

$$\Delta H^{\circ} = \Delta H_{\text{آ}}^{\circ} - (\text{فراوردها})$$

۳ - میانگین انرژی پیوندها را نیز می‌توان به کار گرفت. مقدار ΔH و اکتش، جمع مقادیر ΔH برای انرژی مربوط به شکستن پیوندهای شیمیایی در مواد و اکتش دهنده، ΔH برای انرژی آزاد شده در اثر تشکیل پیوندهای فراورده است.

اما میانگین انرژی پیوند به انرژی پیوندهای مربوط به یک مولکول چند اتصاص اشاره دارد و این مقدار میانگین بسیاری تعداد زیادی از مواد بدست آمده است.

کالری Calorie (بخش ۵ - ۶) مقدار تغیری گرمایی لازم برای بالا بردن دمای ۱ g آب از 14°C به 5°C با راسپطة (تفقی) $1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$

فرایند، 6 mol از پیوندهای N—H شکسته می‌شوند:



$$\Delta H = 6(+ 389 \text{ kJ}) = + 2334 \text{ kJ}$$

سه مول از پیوندهای Cl—Cl شکسته می‌شوند:

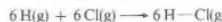


$$\Delta H = 3(+ 243 \text{ kJ}) = + 729 \text{ kJ}$$

یک مول از پیوندهای N≡N شکیل می‌شود:



شش مول از پیوندهای Cl—H نیز شکیل می‌شود:



$$\Delta H = 6(- 431 \text{ kJ}) = - 2586 \text{ kJ}$$

با جمع کردن این مراحل، به جواب مستقله می‌رسیم:



$$\Delta H = - 464 \text{ kJ}$$

چکیده مطالعه

شیمی گرمایی با مطالعه گرمای آزاد شده یا جذب شده به وسیله تعییرهای شیمیایی و فیزیکی سر و کار دارد. واحد به کار رفته در تمام اندازه‌گیری‌های اینرژی، شامل اندازه گیری گرمایی مول است. مقیاس دما در اندازه گیری‌های علمی مقیاس سلسیوس است.

ظرفیت گرمایی کل گرمایی مسماج و محویات آن می‌توان محاسبه کرد. به اندازه یک درجه سلسیوس است. تعییر گرمایی یک و اکتش را با انجام دادن آن و اکتش در دستگاهی به نام گرمایی مسماج و اندازه گیری تعییر دسای گرمایی و محویات آن می‌توان تعیین کرد. مقدار گرمایی مربوطه را زان این تعییر دما و از

ظرفیت گرمایی کل گرمایی مسماج و محویات آن می‌توان محاسبه کرد. گرای آزاد شده، یا تولیدشده به وسیله یک و اکتش شیمیایی به خاصیتی

به نام آتسالی (با محتوی گرمایی) مربوط است. اگر آتسالی پیروارده‌های یک و اکتش، پیشتر از آتسالی مواد و اکتش هدنه باشد، در آن سورس، انجام

و اکتش با جذب گرمایه خواهد بود. اگر آتسالی مواد و اکتش هدنه باشد، آن ناماند و فتری اتسالی است. اگر آتسالی مواد و اکتش هدنه باشد، انجام و اکتش با ادا شدن گرمایه همراه خواهد بود. و اکتش از این نوع را گرمایارا نامند، و ΔH و اکتش که گرمای آزاد است، منفی است.

معادله گرمایی مسماج شامل یک معادله شیمیایی همراه با مقدار مولی پیان می‌شود. مسائل

مفهوم کلیدی

Bond energy انرژی پیوند (بخش ۵ - ۷) انرژی لازم برای شکستن پیوند بین دو اتم در یک مولکول. این عبارت کسی دیگرگز نداند و اندازه گیری است.

Antrix تغییریکی پیوند به انرژی لازم برای شکستن یک پیوند مشخص که دو اتم را در یک مولکول دو اتمی مینم در کثا هم نگذمیم دارد، گفته می‌شود.

جوش نرمال آب، 211°F است.
Heat گرمای (بخش ۵-۲). نوعی انرژی که خود به خود از جسمی با دمای بالاتر به جسمی با دمای پایینتر منتقل می‌شود.
Heat capacity ظرفتگی گرمایی (بخش ۵-۳). مقدار گرمایی لازم برای افزایش دمای یک جسم به اندازه 1°C .
Joule جوول (بخش ۵-۱). واحد SI برای اندازه‌گیری انرژی؛ $1\text{ Joule} = 1\text{ kg m}^2/\text{s}^2$.

قانون جمع ثابت گرمایی (Bخش ۵ - ۵). تغییر انتقالی هوا و اکتش شیمیایی ثابت است. خوده و اکتش در یک مرحله سرعت کثیر، خوده در چند مرحله. **مولکول Polyatomic molecule** شامل پیش از در آتم پاشد.

گرمایی و وزیره (Bخش ۵ - ۲). مقدار گرمایی لازم برای بالا بردن دمای ۱۰ از جسم به نتایج $^{\circ}\text{C}$.

Temperature (Bخش ۵ - ۵). درجه گرمای سرد بودن، آن خاصیت ماده که جهت انتقال خوده برخود گرمای را مشخص من کند.

Thermochromy شیمی گرمایی (نقده) مطالعه تغییرات انرژی مربوط به تغییرات شیمیایی و فیزیکی.

دماستنی Calorimeter
گرمای اندازه افتاده در یک واکنش شیمیایی و تغییرات فیزیکی به کار می رود.
Celsius temperature scale
مقیاس دمای سلسیوس (بخش ۲-۵) می باشد.
مقیاس اندازه گیری دمای کارگردان 0° به دمای الجماد نرمال آب و 100° می باشد.
دماجوش نترال اسید می بینند.
واکنش گرمایگیر (بخش ۴-۵) واکنش شیمیایی که گرما جذب کند.
Energy این روزی (بخش ۱-۱) ظرفیت با استعداد انجام کار.
Enthalpy, H همچوینی گرمایی یک سونوئه از ماده.
برای واکنشی که در شناس ثابت انجام گیرد، تغییر آنتالپی، ΔH ، شامل گردی های منتقل شده (جدب شده یا آزاد شده) است.
Enthalpy of formation آنتالپی شکل (بخش ۵-۶) برای یک ترکیب معین، تغییر آنتالپی واکنش است که در ۱ mol از آن ترکیب از پایدارترین فرم عناصر سازنده باشد موجود نباشد.
واکنش گرمایزا (بخش ۴-۵) یک واکنش شیمیایی که گرما ازدارد کند.

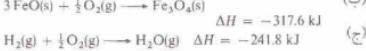
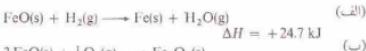
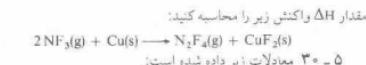
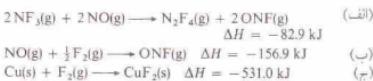
مساند

گرماستن در اکسیژن زیاد سوزانده شده است. این گرماسنج که طرفت گرمایی آن به تنهایی $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ /kl است، حاوی kg - $75\text{--}80$ آب می باشد. دمای این گرماسنج و محبوطات آن $22\text{--}24\text{ }^{\circ}\text{C}$ است. از سوختن $1\text{--}2$ مول افزایش یافته است. از سوختن $1\text{--}2$ مول استنکی اسید چند قدر گرمای آزاد می شود.

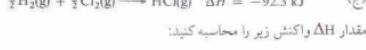
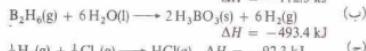
۱۶- ۵ بک یک مقدار گرمای آزاد از کربون، $4\text{--}5$ کلریم از کربون، $0\text{--}1$ کلریم از اکسیژن سوزانده شد. این گرماسنج که طرفت گرمایی آن به تنهایی $27\text{--}28\text{ }^{\circ}\text{C}$ /kl است، حاوی kg - $1\text{--}2$ آب است. دمای این گرماسنج و محبوطات آن از $27\text{--}28\text{ }^{\circ}\text{C}$ است. از سوختن $1\text{--}2$ مول کربون چه مقدار گرمای آزاد می شود؟

۱۷- ۵ از سوختن $1\text{--}2$ مول گلکوز در گرماسنجی حاوی kg - $95\text{--}98$ آب سوزانده شود، و دمای این مجموعه از $20\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$ است. برسد، طرفت گرمایی این گرماسنج چقدر است؟

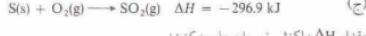
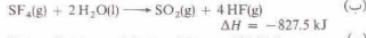
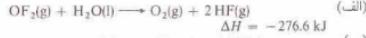
۱۸- ۵ از سوختن $1\text{--}2$ مول ساکاروز، $1\text{--}2$ مول گلکوز، $1\text{--}2$ مول کربون، $1\text{--}2$ مول کلریم از اکسیژن سوزانده شود. این گرماسنج که طرفت گرمایی آن $22\text{--}24\text{ }^{\circ}\text{C}$ /kl است، چند گرم اکارز را این گرماسنج یابد سوزانده شود تا دمای این گرماسنج و محبوطات آن از $22\text{--}24\text{ }^{\circ}\text{C}$ شود؟



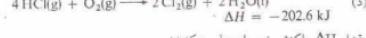
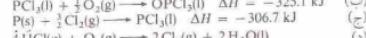
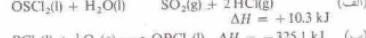
-31 kJ مطالعات زیر داده شده است:



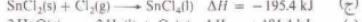
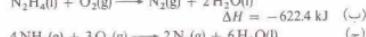
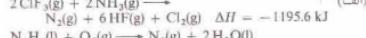
-32 kJ مطالعات زیر داده شده است:



-33 kJ مطالعات زیر داده شده است:

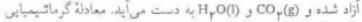


-34 kJ مطالعات زیر داده شده است:

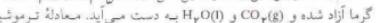


21 kJ از سوختن $\text{HgO}(\text{s})$ در 20°C و 101 kPa مطالعات زیر داده شده است: معادله گرمائشیمیاب سوختن

یک مول $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$ را تولید:



یک مول $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$ را تولید:



از سوختن $\text{N}_2\text{H}_4(\text{l})$ در 20°C چه مقدار گرمایش می‌شود؟

24 kJ در اثر تحریر عصاره بیوه، گلکوکوز، $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ و شراب به دست می‌آید:



در اثر تولید یک لیتر شراب که حاوی 95 g $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{l})$ است چه مقدار گرمایش می‌شود؟

25 kJ معادله گرمائشیمیاب زیر مورد نظر است:



(الف) مقدار برای تهییه 1 kg B_2F_9 مطالعات زیر داده شده است:

26 kJ چند گرم $\text{NaN}_3(\text{s})$ تولید می‌شود؟

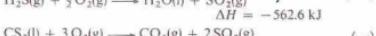


(الف) از اکتشن 5 g $\text{N}_2\text{O}_4(\text{l})$ ساماندار گرمایشی مطالعات زیر داده شده است:

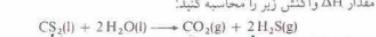
27 kJ از سوختن $\text{Zn}(\text{s})$ مطالعات زیر داده شده است:



مقدار ΔH از سوختن $\text{Zn}(\text{s})$ را محاسبه کنید:



مطالعات زیر داده شده است:



مقدار ΔH از سوختن $\text{Zn}(\text{s})$ را محاسبه کنید:



مطالعات زیر داده شده است:

۳۵ - معادلات زیر داده شده است:

۳۵ - $\Delta H = -5 \text{ kJ}$

(الف) $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{HNO}_3(\text{l}) \longrightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})$

$$\Delta H = -145.7 \text{ kJ}$$

(ب) $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s}) \longrightarrow \text{N}_2\text{O}(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

$$\Delta H = -125.2 \text{ kJ}$$

(ج) $3\text{NO}(\text{g}) \longrightarrow \text{N}_2\text{O}(\text{g}) + \text{NO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -1169.2 \text{ kJ}$

(د) $4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -1169.2 \text{ kJ}$

(ه) $\text{NO}(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{NO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -56.6 \text{ kJ}$

مقدار ΔH را کنش زیر را محاسبه کنید:



۳۶ - معادلات زیر داده شده است:

۳۶ - $\Delta H = -5 \text{ kJ}$

(الف) $2\text{NH}_3(\text{g}) + 3\text{N}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow 4\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

$$\Delta H = -1010 \text{ kJ}$$

(ب) $\text{N}_2\text{O}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{N}_2\text{H}_4(\text{l}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

$$\Delta H = -317 \text{ kJ}$$

(ج) $2\text{NH}_3(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{N}_2\text{H}_4(\text{l}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -143 \text{ kJ}$

(د) $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -286 \text{ kJ}$

مقدار ΔH را کنش زیر را محاسبه کنید:



۳۷ - آنتالپی تشکیل

۳۷ - معادلات گرماشیمیایی مربوط به آنتالپی‌های تشکیل استاندارد زیر را بنویسید:

(الف) $\text{AgCl}(\text{s}), -127 \text{ kJ/mol}$

(ب) $\text{NO}(\text{g}), +33.8 \text{ kJ/mol}$

(ج) $\text{CaCO}_3(\text{s}), -1206.9 \text{ kJ/mol}$

۳۸ - معادلات گرماشیمیایی مربوط به آنتالپی‌های تشکیل استاندارد زیر را بنویسید:

(الف) $\text{CS}_2(\text{l}), +87.86 \text{ kJ/mol}$

(ب) $\text{HCN}(\text{g}), +130.5 \text{ kJ/mol}$

(ج) $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s}), -365.1 \text{ kJ/mol}$

۳۹ - با استفاده از آنتالپی‌های تشکیل استاندارد (جدول ۵ - ۱) مقدار ΔH° را کنش زیر را محاسبه کنید.



۴۰ - با استفاده از آنتالپی‌های تشکیل استاندارد (جدول ۵ - ۱) مقدار ΔH° را کنش زیر را محاسبه کنید.



۴۱ - با استفاده از آنتالپی‌های تشکیل استاندارد (جدول ۵ - ۱) مقدار ΔH° را کنش زیر را محاسبه کنید.



۴۲ - با استفاده از آنتالپی‌های تشکیل استاندارد (جدول ۵ - ۱) مقدار ΔH° را کنش زیر را محاسبه کنید.



۴۳ - (الف) معادله شیمیایی سوختن یک مول متیل الکل، $\text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$ را بنویسید.

در (g) می‌باشد.

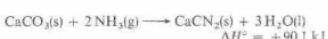
(ب) با استفاده از آنتالپی‌های تشکیل استاندارد (جدول ۵ - ۱) مقدار ΔH° را کنش را محاسبه کنید.

۵ - (الف) معادله شیمیایی سوختن یک مول متیل الکل، $\text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$ را بنویسید. فراورده‌های این و اکتش (g) هستند، (ب) با استفاده از آنتالپی‌های تشکیل استاندارد (جدول ۵ - ۱) مقدار ΔH° را کنش را محاسبه کنید.

۵ - (الف) معادله گرماشیمیایی سوختن یک مول هیدرزاپن، $\text{N}_2\text{H}_4(\text{l})$ در (g) را بنویسید. فراورده‌های این و اکتش (g) هستند و مقدار ΔH° آن -622 kJ است. (ب) با استفاده از پاسخ خود و مقادیر موجود در جدول ۱ - آنتالپی استاندارد تشکیل هیدرزاپن را محاسبه کنید.

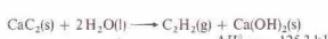
۵ - (الف) معادله گرماشیمیایی سوختن یک مول اوروند، $\text{CO}(\text{NI}_3)(\text{g})$ (g) را بنویسید. فراورده‌های این و اکتش (g) هستند و مقدار ΔH° آن -63 kJ است. (ب) با استفاده از پاسخ خود و مقادیر موجود در جدول ۱ - آنتالپی استاندارد تشکیل هیدرزاپن را محاسبه کنید.

۵ - با استفاده از معادله گرماشیمیایی زیر:



و مقادیر موجود در جدول ۵ - ۱ آنتالپی استاندارد تشکیل (s) را محاسبه کنید.

۵ - با استفاده از معادله گرماشیمیایی زیر:

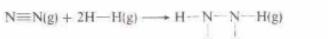


و مقادیر موجود در جدول ۵ - ۱ آنتالپی استاندارد تشکیل (s) را محاسبه کنید.

انرژی پیوند

۴۹ - با استفاده از انرژی‌های متوسط پیوندی (جدول ۵ - ۲) آنتالپی تشکیل HF(g) را محاسبه کنید. پاسخ خود را با مقدار داده شده در جدول ۵ - ۱ مقایسه کنید.

۵۰ - با استفاده از انرژی‌های متوسط پیوندی (جدول ۵ - ۲) آنتالپی تشکیل $\text{N}_2\text{H}_4(\text{g})$ را محاسبه کنید:



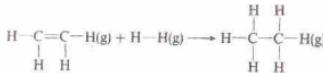
۵۱ - با استفاده از معادله گرماشیمیایی زیر:

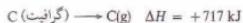


و انرژی‌های متوسط پیوندی (جدول ۵ - ۲) انرژی متوسط پیوندی را برای XeF_2 در (g) می‌پوندد.

۵۲ - آنتالپی استاندارد تشكیل (g) $\text{ClF}_3(\text{g})$ را محاسبه کنید. با استفاده از این مقدار و انرژی‌های متوسط پیوندی موجود در جدول ۵ - ۲ آنتری-متریستوپسیوندی را برای $\text{Cl}-\text{F}$ در (g) می‌پسوندد. محاسبه کنید.

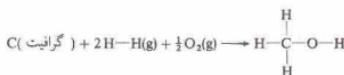
۵۳ - با استفاده از انرژی‌های متوسط پیوندی (جدول ۵ - ۲) و اکتش زیر را محاسبه کنید:





باشد به کل انرژی مورد نیاز افزوده شود.

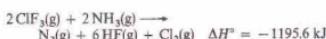
۵۴- با استفاده از انرژی‌های متوسط پیوندی (جدول ۵-۲) آنتالپی تشكیل $\text{CH}_3\text{OH}(g)$ را محاسبه کنید:



تجویز داشته باشد که در مورد مقادیر آنتالپی تشكیل برای پیوندهای $\text{C}-\text{H}$ فرض بر این است که C(g) به کار رفته است، در نتیجه:



مسائل طبقه‌بندی شده
۵۱- معادله گرامشی‌بینی زیر داده شده است:



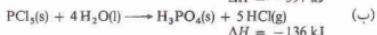
آنتالپی استاندارد تشكیل ClF_3 را محاسبه کنید.

۵۲- با ساسن معادله گرامشی‌بینی داده شده در مسئله ۵-۱، بگویید چه مقادیر گرمای از واکنش کامل $\text{ClF}_3(\text{g}) + \text{NH}_3(\text{g}) \longrightarrow \text{HF(g)}$ از آزاد منشود؟

۵۳- معادلات زیر داده شده‌اند:



$$\Delta H = -397 \text{ kJ}$$



$$\Delta H = -136 \text{ kJ}$$



$$\Delta H = -68 \text{ kJ}$$

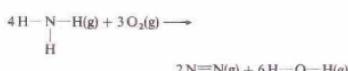
مقدار ΔH واکنش زیر را باید:



۵۴- یک نمونه ۱۰ گرمی از گلولات‌بارکسید، $\text{H}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_4(\text{s})$ در یک بسب گرماتنیخ از $\text{O}_2(\text{g})$ زیاده شونده شده است، این گرماتنیخ که طرفیت گرمایی آن به تنهایی 20°C است، حاوی 0.25kg از 22.0°C به 20.9°C رسید. از سوختن «رو ۱

مول گلولات‌بارکسید چه مقادیر گرمای آزاد منشود؟

۵۵- با استفاده از انرژی‌های متوسط پیوندی ΔH واکنش زیر را محاسبه کنید:

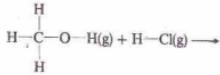


$n = 1, 2, 3, \dots, 7$ که کمتر
 $l = (n-1)$ کمتر از n است

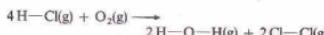
$m =$ کمتر از $2n-2$ کمتر از n است

$S = \pm 1/2$ کمتر از n است

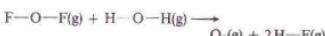
۵۴- با استفاده از انرژی‌های متوسط پیوندی (جدول ۵-۲) و اکشن زیر را محاسبه کنید:



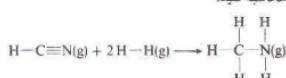
۵۵- با استفاده از انرژی‌های متوسط پیوندی (جدول ۵-۲) و اکشن زیر را محاسبه کنید:



۵۶- با استفاده از انرژی‌های متوسط پیوندی (جدول ۵-۲) و اکشن زیر را محاسبه کنید:

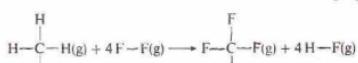


۵۷- (الف) با استفاده از انرژی‌های متوسط پیوندی (جدول ۵-۲) و اکشن زیر را محاسبه کنید:



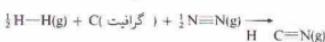
(ب) با استفاده از آنتالپی‌های استاندارد تشكیل موجود در جدول ۵-۱ و اکشن زیر را محاسبه کنید. میزان سازگاری این مقادیر چقدر است؟

۵۸- (الف) با استفاده از انرژی‌های متوسط پیوندی (جدول ۵-۲) و اکشن زیر را محاسبه کنید:



(ب) با استفاده از آنتالپی‌های استاندارد تشكیل موجود در جدول ۵-۱ و اکشن زیر را محاسبه کنید. میزان سازگاری این مقادیر چقدر است؟

۵۹- (الف) با استفاده از انرژی‌های متوسط پیوندی (جدول ۵-۲) آنتالپی تشكیل HCN(g) را محاسبه کنید:



تجویز داشته باشد که در مورد مقادیر آنتالپی تشكیل برای پیوندهای $\text{C}-\text{N} \equiv \text{N}$ فرض بر این است که C(g) به کار رفته است، در نتیجه:

ساختار الکترونی اتم‌ها

در این فصل، یک دزیراً ساختار اتمی را که در قصل ۲ آغاز شد، ادامه می‌دهیم. در اینجا، عمدتاً با تعداد، ارایش، و انرژی الکترون‌ها در یک اتم سر و کار داریم. در واقع، ساختار الکترونی هر اتم تعیین‌کننده خواص شیمیایی آن اتم است.

بخش اعظم نظریه ساختار اتمی از آزمایش‌های انجام شده با تابش الکترومغناطیسی به دست آمده است. در نتیجه ابتدا به ماهیّت و نوع این انرژی می‌پردازیم.

$$\lambda v = c \quad (1)$$

و به این ترتیب،

$$v = \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

در این کتاب، واحد بر ثانیه $1/\text{s}$ یا s^{-1} را برای فرکانس به کار می‌بریم. توجه کنید که بیان v بر حسب مترا بر ثانیه و λ بر حسب مترا در معادله $v = c/\lambda$ بر حسب بر ثانیه $1/\text{s}$ به دست خواهد داد. واحد برای فرکانس، هertz (نماد، Hz) است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$$

واحد هertz، به افتخار هاینریش هریتز^۱ که در ۱۸۸۸ میلادی امواج الکترومغناطیسی با طول موج بلندتر از نورمنشی را ساخت و نشان داد که تابش دارای طول موج بلند، همان پدیده‌هایی را بروز می‌دهد که نور نامگذاری شده است.

طبق امواج الکترومغناطیسی در شکل ۶-۲، نتایج داده شده است. امواج دایری یاری طول موج‌های سیار بلند هستند، امواج زیر قرمز (تابش گرمایی) طول موج متوسطی دارند و اشعة X (احوال از تابیه رادیوگیری) یاری طول موج‌های سیار کوتاه‌اند. نور مرئی (تابش نور مرئی) شامل تابش با طول موج در گستره تقریبی $4 \times 10^{-7} \text{ m}$ تا $7 \times 10^{-5} \text{ m}$ (برابر با 400 nm تا 750 nm) است.

1. Infrared waves

۳. گاهی اوقات این واحد به صورت سیکل بر ثانی (cycle/s) ثبت می‌شود، زیرا فرکانس برابر با تعداد سیکل‌ها یا موج‌هایی که از یک نقطه مبنی در یک ثانیه می‌گذرد. در اینجا، لازم است که طول موج بر حسب واحدی مانند مترا بر سیکل ثبت شود تا حذف واحدها ممکن شود.

4. Heinrich Hertz

۵. در گذشته، طول موج را بر حسب واحد آنگستروم (Å) می‌گرداند. این واحد، جزء دستگاه بین‌المللی نیست. مجموع بین‌المللی اوران و اندیزها توصیه می‌کنند که نانومتر (10^{-9} m)، (nm)، (10^{-10} m)، (Å) به جای آن به کار رود.

$$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m} = 10^{-8} \text{ cm}$$

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-7} \text{ cm}$$

پنایران،

$1 \text{ Å} = 10 \text{ nm}$ تا 10^4 nm 750 nm تا 400 nm 750 Å تا 400 Å می‌بینویست.

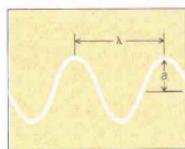
۱-۶ تابش الکترومغناطیسی
امواج رادیویی، امواج زیر قرمز^۱، نور مرئی، و اشعة X، انواع تابش‌های الکترومغناطیسی‌اند. تابش الکترومغناطیسی، در فضای به صورت موجی حرکت می‌کند (شکل ۶-۱). برای توصیف این امواج از اصطلاحات زیر استفاده می‌شود.

۱- طول موج، λ (الاندا)، فاصله بین دو نقطه مشابه بر روی دو موج بین در بین است (مانند فاصله بین قله تا قله یا دزه تا دزه). شدت^۲

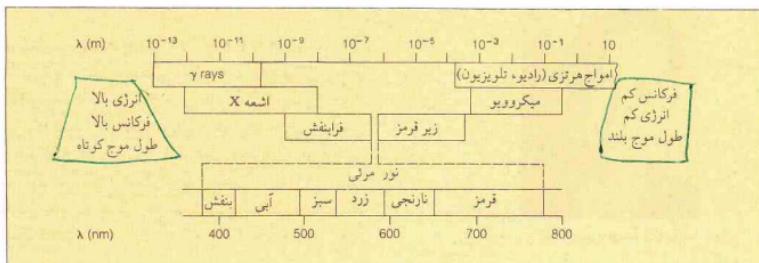
۲- دامنه، A ، یک موج برابر با بلندی قله را عمق دارد. شدت^۲ (با روشنایی) تابش با مریع دامنه آن، یعنی A' متناسب است.

۳- تمام امواج الکترومغناطیسی، در خالی، صرف نظر از طول موج شان، با سرعت یکسان، $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ حرکت می‌کنند. این سرعت را سرعت نور نامند و با تمام ۵ مشخص می‌شود.

۴- فرکانس یک تابش، f (Hz)، تعداد موج‌هایی است که طی یک ثانیه از یک نقطه می‌گذرند. برای نوع معمینی از تابش، حاصل ضرب طول موج در تعداد موج‌ها در ثانیه (فرکانس) برابر فاصله طی شده در ثانیه (سرعت نور) است:



شکل ۶-۱ طول موج، λ ، و دامنه، A ، یک موج



شکل ۶ - ۲ تابش الکترومغناطیسی، (توجه کنید که گستره تابشی تابشی الکترومغناطیسی بر مقیاس لگاریتمی در بخش بالای نمودار رسم شده است. طیف نور مرئی، به این روال رسم نشده است.)

حل

(الف) معادله ۶ - ۲ بینگر رابطه فرکانس با طول موج است. چون $c = \lambda f$
برحسب واحد متر بر ثانیه داده شده، باید λ به متر تغییر داده شود.
در نتیجه:

$$? m = 700. \text{nm} = 7.00 \times 10^{-7} \text{m}$$

در نتیجه با استفاده از معادله ۶ - ۲،

$$v = \frac{c}{\lambda} \quad (2-6)$$

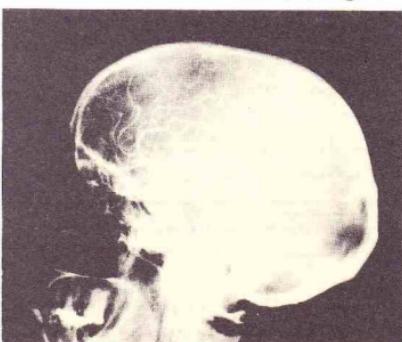
$$= \frac{3.00 \times 10^8 \text{m/s}}{7.00 \times 10^{-7} \text{m}} = 4.29 \times 10^{14} \text{s}$$

(ب) طول موج این تابش برابر 10^{-7}m است. در نتیجه،

$$v = \frac{3.00 \times 10^8 \text{m/s}}{4.00 \times 10^{-7} \text{m}} = 7.50 \times 10^{14} \text{s}$$

توجه کنید که نور دارای طول موج بلندتر (نور قرمز)، فرکانس پایین تری دارد. به سخن دیگر، طیک تانیه تعداد کمتری از امواج دارای طول موج بلندتر از یک نقطه می‌گذردند.

یک اجاق میکروویو (ریز موج) امواج میکروویو، تابشی‌های الکترومغناطیسی با طول موج بلندتر از نور مرئی، در گستره 10^{-3}m تا 10^{-1}m هستند.



نظریه موج، بسیاری از خواص تابش الکترومغناطیسی را با موقوفت تفسیر می‌کند. اما تفسیر بعضی از خواص این تابش‌ها فقط هنگامی امکان پذیر می‌شود که چنین تابش‌هایی را مشکل از دفاتر در نظر بگیریم. در ۱۹۰۰ میلادی ماکس پاتلک نظریه کواتشوی اثری تابشی را بیان کرد. پلاکت پیشنهاد کرد که اثری تابشی فقط به صورت کمیت‌های جدا از هم به نام کواتانا، جذب یا منتشر می‌شود. اثری هر کواتوم، E ، مناسب با فرکانس تابش، f ، است:

عکس گرفته شده از یک چینی با شمعه X . پس از تزریق یک ماده مات در رگ، هدف از گرفتن این عکس تعیین گرفتگی یک رگ خوش به وسیله یک تومور با لخته خوبی بوده است. اشعه X امواج الکترومغناطیسی با طول موج کوتاه‌تر از نور مرئی در گستره 10^{-3}m تا 10^{-1}m است.

مثال ۶ - ۶

فرکانس (الف) یک نور قرمز با طول موج 700 nm ، و (ب) نور بنفش با طول موج 400 nm چقدر است؟



نیلس بوهر، ۱۸۸۵ تا ۱۹۶۲

$$E = h\nu$$

(۳-۶)

ثابت تابناسب، یعنی ثابت پلانک، $1.5 \times 10^{-34} \text{ ج.س}$ است.

چون بین E و ν تابناسب مستقیم وجود دارد، تابش پر انرژی دارای فرکانس بالاتری است. فرکانس بالا به این معنی است که تعداد زیادی از امواج، طی یک ثانیه، از یک نقطه می‌گذرند. در تیجه، طول موج تابش پر انرژی یا بد کوتاه باشد. از سوی دیگر تابش کم انرژی دارای فرکانس پایین تر و طول موج بلندتر است. البتہ اینشتن^۱ در ۱۹۰۵ پیشنهاد کرد که کوانتوم‌های پلانک در واقع تکه‌های نایپوشانه انرژی‌اند که بعداً فوتون نامیده شدند.

مثال ۲-۶

انرژی یک کوانتوم از (الف) نور قرمز با فرکانس $10^{17}/\text{s}$ و (ب) نور بنفش با فرکانس $10^{14}/\text{s}$ بقدر است؟

حل

معادله ۶-۳ را که برای پیدا کردن انرژی هر کوانتوم به کار می‌گیریم، ثابت پلانک $J/\text{s} = 6.63 \times 10^{-34} \text{ ج.س}$ است.

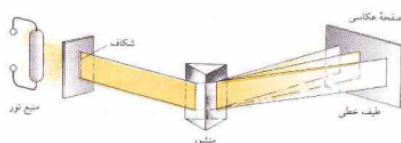
$$(الف) \quad E = h\nu \\ = (6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})(4.29 \times 10^{14}/\text{s}) \\ = 2.84 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$(ب) \quad E = (6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})(7.50 \times 10^{14}/\text{s}) \\ = 4.97 \times 10^{-19} \text{ J}$$

توجه داشته باشید که تابش با فرکانس پایین تر (نور قرمز) دارای انرژی کمتری به ازیز هر کوانتوم (همچنین طول موج بلندتر - مثال ۲-۱ و شکل ۲-۲ را بینند).

۲-۶ طیف‌های آنتنی

وقتی پرتو از نور از یک منشور می‌گذرد، پرتو خشم می‌شود، یا شکسته می‌شود. میزان شکست یک موج به طول موج آن مستگی دارد. چون نور سفید معمولی شامل امواجی با تمام طول موج‌های گستره



شکل ۲-۶ طیف‌نما

مرغی است، پرتو از نور سفید به صورت نوار عرضی از رنگ‌ها که به طیف پیوسته موسم است در می‌آید. این طیف، رنگ‌های کمتری پیوسته است که در آن کتابه هر نوار رنگی با کتابه نوار مجاور در هم می‌آمیزد، مثلاً، بنفش با آبی، آبی با سبز و غیره.

اگر گاز یا بخار یک ماده شیمیایی را در یک فوک التکنیکی با شعله چراغ بوون ۷ گرم کنیم، نور از آنها منثور می‌شود. اگر پرتوی از این نور را به وسیله شبور تجزیه کنیم، یک طیف خطی به دست می‌آید (شکل ۲-۳). این طیف مركب از تعداد محدودی خطوط رنگی است که هر یک از آنها به طول موج معینی مربوط است، هر عنصر دارای طیف خطی و بزیه‌ای است.

فرکانس‌های خطوط طیفی هیدروژن در ناحیه مرغی طیف را می‌توان از معادله زیر به دست آورد:

$$v = \frac{c}{\lambda} = (3.289 \times 10^{15}/\text{s}) \left(\frac{1}{\lambda^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 3, 4, 5, \dots \quad (4-6)$$

که در آن، n یک عدد صحیح، مساوی با ۳، ۴ یا بزرگتر از آن است. این رابطه، در ۱۸۸۵ میلادی توسط بالمر^۲ از مشاهدات تجزیی بدست آمد و بر نظریه ساختار اتمی مبنی نبود. خطوط طیفی تجزیه مرغی که به وسیله معادله بالمر توصیف می‌شوند، به سری بالمر مشهورند.

نظریه بوهر

در ۱۹۱۳ نیلس بوهر نظریه‌ای برای ساختار الکترونی اتم هیدروژن بیان کرد که طیف خطی این عنصر را تبیین می‌کرد. اتم هیدروژن دارای یک الکترون و هسته‌ای مركب از یک پرتو نور است. نظریه سرمه حاوی تکه‌های زیر بود.

۱ - الکترون اتم هیدروژن فقط می‌تواند در مدارهای کروی معینی (که تراز انرژی یا لایه نیز خوانده می‌شوند) وجود داشته باشد. این لایه‌ها به طور متحدد المركز دور هسته قرار دارند و با حروف (K, L, M, N, O, ...) یا مقادیر (۱, ۲, ۳, ۴, ۵, ...) مشخص می‌شوند.

¹ Albert Einstein² Bunsen flame³ J. J. Balmer

طبقه لیمان: قدرت تقدیر زیاد

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ جوول}\cdot\text{سیکاند}$$

- ۴- الکترون دارای انرژی معینی است که به مداری که در آن حرکت می‌کند بستگی دارد. تراز K ($n = 1$), نزدیکترین لایه به هسته، کوچکترین شعاع را داراست. الکترونی که در لایه K باشد، پایین ترین انرژی ممکن را داراست زیرا کمترین فاصله ممکن را با مردمشته هسته دارد. با افزایش فاصله از هسته O , N , M , L , K (برابر $1, 2, 3, 4, 5$)، شعاع لایه و انرژی الکترون موجود در آن افزایش می‌یابد. برای دور کردن الکترون از باز را بثبت هسته و هدایت آن به لایه‌های دورتر و دورتر باشد انرژی صرف کرد. همچو الکترونی در اتم نمی‌تواند چنان انرژی‌ای داشته باشد که آن را بین دو لایه مجاور قرار دهد.
- ۵- هنگام که الکترون‌های یک اتم نزدیکترین فاصله ممکن را با هسته دارند (برای هیدروژن یک الکترون در لایه K) در شرایط پایین ترین انرژی ممکن، یعنی حالت پایه، قرار دارند. با گرم کردن اتمها به وسیله کوسنکتریکی یا شعله چیزی بوزن، الکترون‌ها انرژی جذب می‌کنند و به ترازهای بیرونی که انرژی بالاتری دارند، جهش پیدا می‌کنند. این اتمها در حالت برانگیخته قرار دارند.

- ۶- وقتی یک الکترون به تراز پایین ترین برومی گردد، مقدار معینی انرژی آزاد خواهد کرد. تفاوت انرژی بین حالت پر انرژی و حالت کم انرژی، به صورت یک کواتنوم نور منتشر می‌شود. این کواتنوم نوری دارای فرکانس (ν طول موج) مشخص است و خط طیفی ویژه‌ای به وجود می‌آورد. در مطالعات طیفی، بسیاری از اتمها در حالی انرژی جذب می‌کنند که اتمهای دیگر در حال نش آن هستند. هر خط طیفی به انتقال الکترونی مخصوصی مربوط است.

بور، معادله‌ای برای به دست آوردن انرژی یک الکترون در هر مدار، E ، پیشنهاد کرد. این معادله را به صورت زیر می‌توان خلاصه کرد:

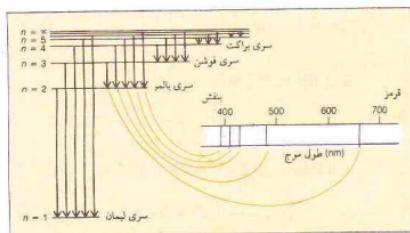
$$E_{\text{مدار}} = \frac{(2.179 \times 10^{-18} \text{ ج})}{n^2} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (5-6)$$

- اگر انرژی الکترون در یک لایه بیرونی (n_r) را با E_r و انرژی الکترون در یک لایه درونی (n_i) را با E_i نشان دهیم، هنگام بازگشت الکترون از لایه بیرونی به لایه درونی، $(E_r - E_i)$ به صورت یک فوتون نور آزاد می‌شود. بر مبنای معادله پلانک، انرژی یک فوتون برابر $h\nu$ است. بنابراین،

$$\hbar\nu = E_0 - E_i \quad (6-6)$$

$$\hbar\nu = \frac{(-2.179 \times 10^{-18} \text{ ج})}{n_i^2} - \frac{(-2.179 \times 10^{-18} \text{ ج})}{n_r^2} \quad (6-7)$$

$$\hbar\nu = (2.179 \times 10^{-18} \text{ ج}) \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_r^2} \right) \quad (7-8)$$



شکل ۶-۴ رابطهٔ بین انتقال‌های الکترونی اتم هیدروژن و خطوط‌ای طیفی ناحیهٔ لیمان

$$\nu = (3.289 \times 10^{15} / \text{s}) \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (8-6)$$

خطوط‌ای به وجود آمده به وسیله انتقال‌های الکترونی از ترازهای بالاتر به تراز $2 = n_i$ با معادله زیر بیان می‌شوند:

$$\nu = (3.289 \times 10^{15} / \text{s}) \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad n_i = 3, 4, 5, \dots \quad (4-6)$$

این معادله با معادلهٔ بالمر که مذکوه‌های تجزیه به دست آمده بود یکسان است. رابطهٔ بین پرخواست از انتقال‌های الکترونی اتم هیدروژن و خطوط‌ای طیفی در شکل ۶-۶ نمایش داده شده است. چون انتقال‌های الکترونی به تراز $1 = n_i$ (سری لیمان)^۳ از ریزپوشش نسبت به تراز $= 2$ ($n = 2$ سری بالمر) آزاد می‌کنند، طول موج خطوط سری لیمان کوتاه‌تر از سری بالمر است. از سوی دیگر، خطوط‌ای سری پاسکن^۴ که شستاند هدنه انتقال به تراز $n = 3$ هستند، در طول موج‌های بلندتری نسبت به سری بالمر قرار دارند. خطوط پاشن در ناحیهٔ زیر فریز مردم می‌شوند. نظریهٔ پوش در تفسیر طیف هیدروژن، سیمار موفق است، اما تمنی تواند طیف اتم‌های دارای پوشش از یک الکترون را توضیح دهد. در نتیجه، الگوی ائمی بیشتر از یک الکترون را توضیح دهد. برای پیدا کردن فرکانس این خط طیفی از معادله ۶-۸ استفاده می‌کنیم.

مثال ۶-۳

فرکانس و طول موج خط مربوط به انتقال الکترون از تراز $= 3$ به تراز $= 2$ در طیف هیدروژن چقدر است؟

حل

برای پیدا کردن فرکانس این خط طیفی از معادله ۶-۸ استفاده می‌کنیم.

- Ground state
- Excited state
- Lyman series

- Excited state
- Paschen series

تناوبی، مشاهده می‌شود. در جدول متالیف، عناظر به گونه‌ای تنظیم شده بودند که عناظر شبیه به هم در ستون‌های عمودی، موسوم به گروه (شکل ۵-۶) را پیشید. ظاهر می‌شدند.

برای قرار دادن عناظر مشابه در زیر یکدیگر، متالیف مجبور شد از جدول خود جاهای خالی برای عناظر کشف نشده منشئ را اضافه کند. او براساس سیستم خود توانست خواص سه عنصر کشف نشده را پیش‌بینی کند. اسکالاندیم، گالیم، و ژرمانیم که خواص هر یک از آنها به خواص پیش‌بینی شده توسعه متالیف شbahat فراوانی داشت، اعتبار سیستم تناوبی را نشان داد. وجود گازهای نجیب (Ar, Ne, He), Kr, Xe, و Rn (توسعه متالیف پیش‌بینی نشده) اما پس از کشف آنها در سال‌های ۱۸۹۲ تا ۱۸۹۳ این عناصرهای خوبی در جدول تناوبی قرار گرفتند.

طرح جدول تناوبی چنان‌سوود که سه عنصر (K, I, Na, Li, Ba, Sr, Ca) خارج از ترتیب تعیین شده با افزایش وزن اتمی، قرار می‌گرفتند. مثلاً بد بر بینای وزن اتمی، باید عنصر شماره ۲۰ باشد. اما بد بر طور اختیاری به عنوان عنصر شماره ۵۳ معرفی شد تا در گروهی از عناظر (Cl, F)، و (Br) که با آنها شbahat شیمیایی دارد، قرار گیرد. مطالعه بعدی طبقه‌بندی تناوبی، بسیاری از شیمیدانان را متوجه این امر ساخت که خاصیت بنایی دیگری، علاوه بر وزن اتمی، من و توان اعمال حاصلت تناوبی مشاهده شده باشد. پیشنهاد شده که این خاصیت بنایی، از جهتی به عدد اتمی که در آن زمان فقط یک شماره ساده به دست آمده از سیستم تناوبی بود، بستگی دارد.



قانون تناوبی موزلی

کار هتری موزلی^۷ در سال‌های ۱۹۱۳ و ۱۹۱۴ این مسئله را حل کرد. وقتی اشعة کاتدی پر اتریز بر روی یک هدف متغیر شود، اشعة X تولید می‌شود (شکل ۶-۶). این تابش X را می‌توان به اجزای آن با طول موج‌های مختلف تقسیم کرد و طیف خطی به دست آمده را روی یک صفحه عکاسی به ثبت رسانیم. وقتی عناظر مختلف به عنوان هدف به کار بروه شوند، طیف‌های اشعة X مختلفی به دست آید؛ هر طیف فقط از چند خط تشکیل شده است.

موزلی، طیف اشعة X را می‌نماید با اعداد اتمی بین ۱۲ (آلومنیم) و ۷۹ (طلا) را طبله کرد. او با بررسی خواص هایی که در طیف این عناظر، دریافت کرد که بین چند فرکانس خط طیفی و عدد اتمی عنصر بین طبله ای خطی وجود دارد (شکل ۶-۷). به بیان دیگر، وقتی که عناظر

از یک عنصر به عنصر بعدی همیشه به مقدار ثابت افزایش می‌یابند. به این ترتیب موزلی توانست بر بنای طیف اشعة X، عدد اتمی صحیح هر عنصر را تعیین کند. او این روش توانست مسئله طبقه‌بندی عناظری که وزن اتمی آنها با عناظر همسایه‌شان هموارویی نداشت

$$\begin{aligned} v &= (3.289 \times 10^{15}/s) \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_0^2} \right) \\ &= (3.289 \times 10^{15}/s) \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) \\ &= (3.289 \times 10^{15}/s) \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9} \right) \\ &= 0.4568 \times 10^{15}/s = 4.568 \times 10^{14}/s \end{aligned} \quad (۶-۶)$$

طول موج را می‌توان از معادله ۶-۲ به دست آورد.

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{c}{v} \\ &= \frac{2.998 \times 10^8 \text{ m/s}}{4.568 \times 10^{14}/\text{s}} \\ &= 6.563 \times 10^{-7} \text{ m} = 656.3 \text{ nm} \end{aligned} \quad (۶-۶)$$

توجه کنید که بدین متر به نانومتر را با روش زیر می‌توان انجام داد:

$$\begin{aligned} ? \text{ nm} &= 6.563 \times 10^{-7} \text{ m} \left(\frac{1 \text{ nm}}{10^{-9} \text{ m}} \right) = 6.563 \times 10^2 \text{ nm} \\ &= 656.3 \text{ nm} \end{aligned}$$

۳-۶ عدد اتمی و جدول تناوبی

در اوایل سده نوزدهم میلادی، شbahat شیمیایی و فیزیکی عناظر توجیه شیمیدانها را به خود جلب کرد. در سال‌های ۱۸۱۷ و ۱۸۲۹ یوهان دوربایر^۸ مقاله‌هایی منتشر کرد و در آنها خواص مجموعه‌های سه‌تابی از فلزات را مورد بررسی قرار داد، مطالعه بعدی طبقه‌بندی تناوبی، بسیاری از شیمیدانان را متوجه این امر ساخت که خاصیت بنایی دیگری، علاوه بر وزن اتمی، من و توان اعمال حاصلت تناوبی مشاهده شده باشد. پیشنهاد شده که این خاصیت بنایی، از جهتی به عدد اتمی که در آن زمان فقط یک شماره ساده به دست آمده از

سیستم تناوبی بود، بستگی دارد.

در سال‌های بعد بسیاری از شیمیدانها برای طبقه‌بندی عناظر به صورت گروههای، بر مبنای شbahat خواص آنها تلاش کردند. طی سال‌های ۱۸۶۳ تا ۱۸۶۷، جان نولندز^۹ «قائمه اکتاوا» های خود را پیشنهاد کرد. نولندز تأکید کرد که وقتی عناظر را بر حسب افزایش وزن اتمی شان فهرست می‌کنند، عنصر هشتم به عنصر اول شbahat دارد، عنصر نهم به عنصر دوم، و همین طور نولندز، این رابطه را با اکتاواهای موسیقی مقایسه کرد. متأسفانه، رابطه واقعی پیچیده‌تر از آن است که نولندز تصویری کرد. زمانی که او قانون اکتاواهای خود را پیشنهاد کرد، کار او تاحداً در ساختگی به نظر رسید و سایر شیمیدانها اعتیانی به آن نکردند. اما، سال‌ها بعد به خاطر این کار، نشان دیوی^{۱۰} به وسیله انجمن پادشاهی^{۱۱} به نولندز داده شد.

دوران جدید طبقه‌بندی عناظر از کارهای سیلوپس لوشار مایر^{۱۲} (۱۸۶۹) و پیزه دمیتری متالیف^{۱۳} (۱۸۶۹) ریشه گرفت. متالیف قانون تناوبی را مطرح کرد که می‌گفت: وقتی عناظر را به ترتیب افزایش وزن اتمی شان مطالعه می‌کیم، شbahat هایی در خواص آنها به صورت

1. Johann W. Döbereiner (1780 - 1849)

2. John A. R. Newlands

3. Davy Medal

4. Royal Society

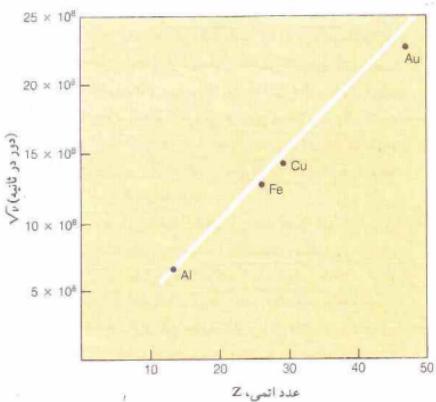
5. Julius Lothar Mayer

6. Dimitri Mendeleev

7. Henry G. J. Moseley

تاریخ	گروه														
	I a		II a		III a		IV a		V a		VI a		VII a		VIII a
	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b (0)
1	H 1.0														
2	Li 6.9	Be 9.0		B 10.8		C 12.0		N 14.0		O 16.0		F 19.0			
3	Na 23.0	Mg 24.3		Al 27.0		Si 28.1		P 31.0		S 32.1		Cl 35.5			
4	K 39.1	Ca 40.1	Sc 45.0	Ti 47.9	V 50.9	Cr 52.0	Mn 54.9	Fe 55.8	Co 58.9	Ni 58.7					
	Cu 63.5	Zn 65.4	Ga 69.7	Ge 72.6	As 74.9	Se 79.0	Br 79.9							Kr 83.8	
5	Rb 85.5	Sr 87.6	Y 88.9	Zr 91.2	Nb 92.9	Mo 95.9	Tc 97.9	Ru 101.1	Rh 102.9	Pd 106.4					
	Ag 107.9	Cd 112.4	In 114.8	Sn 116.7	Sb 121.8	Te 127.6	I 126.9							Xe 131.3	
6	Cs 132.9	Ba 137.3	La* 138.9	Hf 178.5	Ta 180.9	W 183.9	Re 186.2	Os 190.2	Ir 192.2	Pt 195.1					
	Au 197.0	Hg 200.6	Tl 204.4	Pb 207.2	Bi 209.0	Po 214.0	At 219.0							Rn 222.0	
7	Fr	Ra	Ac**												
*	Ce 140.1	Pr 140.9	Nd 144.2	Pm	Sm 150.4	Eu 152.0	Gd 157.3	Tb 158.9	Dy 162.5	Ho 164.9	Er 167.3	Tm 168.9	Yb 173.0	Lu 175.0	
**	Th 232.0	Pa 238.0	U 238.0	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

شکل ۵ - ۶ جدول تأثیری بر اساس جدول ۱۸۷۱ میلادی مندلیف. (عناصری که در هنوز شناخته نشده بودند، در مربع‌های زنگی مشخص شده‌اند.)



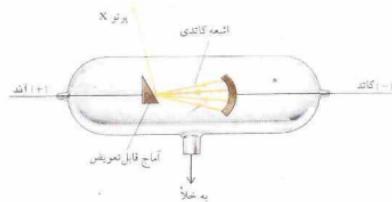
شکل ۶ - ۷ رابطهٔ بین فرکانس خطوط اختصاصی الشعه X و عدد اتمی



دیمیتری مندلیف، ۱۸۳۴ تا ۱۹۰۷



هنری بکريل، ۱۸۵۲ تا ۱۹۰۸



شکل ۶ - ۸ لامپ اشعه X

The diagram illustrates the periodic table with arrows indicating the flow of electrons through different shells.
 - Row 1: Hydrogen (H) is shown above Helium (He).
 - Row 2: Lithium (Li) and Beryllium (Be) are shown, with an arrow from Be pointing to Boron (B) in the next row.
 - Row 3: Sodium (Na) and Magnesium (Mg) are shown, with an arrow from Mg pointing to Carbon (C) in the next row.
 - Row 4: Potassium (K) and Calcium (Ca) are shown, with an arrow from Ca pointing to Silicon (Si) in the next row.
 - Row 5: Scandium (Sc), Titanium (Ti), Vanadium (V), Chromium (Cr), Manganese (Mn), Iron (Fe), Cobalt (Co), Nickel (Ni), and Copper (Cu) are shown, with an arrow from Cu pointing to Zinc (Zn) in the next row.
 - Row 6: An arrow points from Zinc (Zn) to Gallium (Ga) in the next row.
 - Row 7: An arrow points from Gallium (Ga) to Germanium (Ge) in the next row.
 - Row 8: An arrow points from Germanium (Ge) to Arsenic (As) in the next row.
 - Row 9: An arrow points from Arsenic (As) to Selenium (Se) in the next row.
 - Row 10: An arrow points from Selenium (Se) to Bromine (Br) in the next row.
 - Row 11: An arrow points from Bromine (Br) to Krypton (Kr) in the next row.

شکل ۶-۸ روش‌های طراحی نمایش گروه‌های جدول تأثیری، توضیحات در متن کتاب (بعش ۶-۳) آمده است.

شیمیابی مشابه هستند.

باشد توجه داشت که روش‌های گروه‌گونی برای گماردن نشانه‌های A و B به اهداف گروه، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۶-۵ سه روش نشان داده شده است.

۱ روش نشان داده شده در بالا (روش (a)، روش به کار گرفته شده در این کتاب است.

در این روش، بعد از گروه‌های IA و IIA، گروه‌های B III و IV ب و غیره قرار می‌گیرند. گروه IIIA در ستون سیزدهم قرار دارد. این سیستم، نشانه‌های A و B با انگل طبقه‌بندی مشخصی از عنصرهند - عنصر نمونه (گروه‌های (A) و عنصر واسطه (گروه‌های (B) - که بعداً (بعش ۶-۹) به آن می‌پردازیم.

۲ روش نشان داده شده در وسط (روش (b)، قادیمی‌ترین ووش از میان این سه است. در این روش، بعد از گروه‌های IA و IIA، گروه‌های IIIA، IIIIB، IVA، و V قرار دارند. ستون سیزدهم به گروه IIIIB اختصاص دارد. گرچه مدلیف از نشانه‌های A و B برای مشخص کردن گروه‌ها استفاده نکرد، سیستم نشان داده شده در (b) از جدول نشان داده شده در شکل ۶-۶ و جدول‌های تقطیع شده توسعه مدلیف استنتاج شده است. توجه کنید که نشانه‌های به کار رفته برای مشخص کردن گروه‌ها در (b) به نشانه‌های شکل ۶-۵ شباهت دارند.

۳ روش نشان داده شده در پایین (روش (c)، شیوه جدیدی است که برای از میان برداشتن ابهام‌هایی که در نمایش گروه‌ها وجود دارد، پیشنهاد شده است. این روش هنوز کاربرد گسترده‌ای پیدا نکرده است.

۶-۲ مکانیک موچی

در سال‌های ۱۹۰۵ تا ۱۹۱۰، ماکس پلانک و آگوست اینشتین، نظریه کواتومی نور را بیان کردند. جنبه انتقالی این نظریه آن است که نور را می‌توان به صورت ذره‌های ریزی به نام فوتون در نظر گرفت. پیش از آن نور را به صورت امواجی از انرژی فرض می‌کردند، و هنوز هم برخی از خواص نور را به طبیعت موجی آن بهتر می‌توان تبیین کرد. امروزه نور را به صورت امواجی از انرژی و جریانی از فوتون را به نظر می‌گیرند. هر یک از این مفاهیم ارایی شواهد و مشاهدات تجربی مهمی است. انتخاب یکی از این گوهرها برای توضیح یک مسئله، به تناسب و

(a) را حل کند. مولزی، همچنین نشان داد که از ۱۷ تا ۲۷ (که در پایین جدول در شکل ۶-۵ قرار دارند) باید ۱۴ عنصر در جدول تأثیری به دلیل لاتانوم قرار گیرند. نمودار مولزی نشان داد که باید ۴ عنصر کشف شده (با اعداد اتمی ۲۳، ۲۱، ۲۰، ۲۲) و ۷ (با اعداد اتمی ۲۵ و ۲۷) از عنصر شماره ۷۹ (معنی طلا) وجود داشته باشد. تأثر تأثیری بر مبنای کار مولزی دوباره تعریف شد: خواص فیزیکی و شیمیابی عنصر، تأثیر تأثیری ملبد اتفاق هستند.

اعداد اتمی مولزی با بارهای هسته‌ای محاسبه شده توسعه و افزورده بر مبنای پراش ذرات (۲۶)، سازگاری تقریبی داشت. در نتیجه، مولزی پیشنهاد کرد که عدد اتمی ۲۷ شماره واحدی از بار مثبت در هسته اتم است. او گفت: «همیشه پیش‌بینی در اتم وجود دارد که از عنصری به عنصر دیگر، با اندامهای نقطه افزایش می‌پذیرد. این کیست فقط می‌تواند با مرووطه به هسته مکری مثبت باشد».

پژوههای X، تابش‌های الکترو-مagnetیس با طول موج‌های بسیار کوتاه (در توجه فرانکس و انرژی بالاتر) از نور مرئی (بعش ۶-۱) هستند. طیف اشعه X که عنصر از انتقال اتمی الکترونی می‌باشد در اتم‌های آمág در عنصر به وجود می‌آید (بعش ۶-۱). در الام اسپری، X-پژوهان کاولدی الکترون‌ها را از لایسهای داخلی اتم‌های آمág جدا می‌کنند. سقوط الکترون‌های بیرونی به این جهات خالی، باعث تولید اشعه X می‌شود. چون انتقال الکترونی از اتم‌های بالاتر از یک اتم به تراز ۲، فراوانی است که در آن مقدار نسبتاً زیاد انرژی از آدمی شود. فرانکس تابش حاصل نیز با لایخاوده بود. در نتیجه، طول موج مرووطه کوتاه و مخصوص اشعه X خواهد بود.

فرانکس تابش مرووطه بک انتقال الکترونی به بار هسته اتم نیز بسیگی دارد. مقدار اثری آزاده شده با مربوط بار هسته (Z) نسبت مستقیم دارد. هرچند بار پیشتر باشد، انرژی پیشتری از آhad خواهد شد و تابش با طول موج کوتاه‌تر خواهیم داشت. مشاهدات مولزی نشان دهنده این رابطه است. در روزگار مادتاول ترین فرم جدول تأثیری، فرم بلند آن است که در صفحه داخل جلد این کتاب آمده است. در بخش ۶-۷، جدول تأثیری را مورد بررسی قرار دادیم. به بای اوپرید که تأثر شامل عناصری هستند که در سطرهای افقی از جدول آمده است. گروه‌ها (یا خانواده‌ها)، در ستون‌های عمودی قرار دارند و شامل عناصری با خواص فیزیکی و

سهولت کاربرد آن الگو استگنی دارد.

به همان ترتیب که نور هم ماهیت موجی و هم ماهیت ذره (ذره

مانند) دارد، ماده نیز دارای طبیعت دوگانه است. اما این دوگانگی به اندازه‌گیری شده است. طول موج توب بیس بال (جرم، 46 g) در حال حرکت با سرعت $4 \times 10^8 \text{ m/s}$ را محاسبه کنید.

(ب) براساس نظریه بوهر، سرعت الکترون در اتم هیدروژن حرکت می‌کند را پیدا کنید (جرم الکترون، $8 \times 10^{-31} \text{ kg}$ است).

$$\text{چون } \lambda = \frac{h}{mc} = 1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 6.63 \times 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$$

$$\text{(الف)} \quad \lambda = \frac{h}{mv} \quad (12-6)$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}}{(0.146 \text{ kg})(44.1 \text{ m/s})} \\ = 1.03 \times 10^{-34} \text{ m}$$

$$\text{(ب)} \quad \lambda = \frac{h}{mv} \quad (12-6)$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}}{(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(2.19 \times 10^6 \text{ m/s})} \\ = 3.32 \times 10^{-10} \text{ m} = 0.332 \text{ nm}$$

طول موج مربوط به توب بیس بال به اندازه‌ای کوتاه است که با ابزارهای شناخته شده کتون قابل اندازه‌گیری نیست. اما، طول موج الکترون در ناحیه اشعه X طیف الکترون-مغناطیسی قرار دارد.

اندکی پس از انتشار نظریه دوبروی، کلایتون دیرسون^۳ و لستگرمر^۴، خاصیت موجی الکترون را به طور تجربی تأیید کردند. آنان شناس داند که الکترون‌ها به همان شیوه پراش پیدا می‌کنند که اشعه X (معادله برآگ)^۵ در بخش $11 - 13$ را (بینید) پیدا کرد. بعد از این پژوهش پرتو الکترون دقیقاً با همان زاویه‌ای صورت می‌گیرد که بر مبنای طول موج دوبروی پیش‌بینی شود.

اصل عدم قطعیت هایز نیوگ

این ایده بوهر که الکترون در اتم فقط می‌تواند مقادیر معین و شخصی از ری داشته باشد، گام مهمی در پیشرفت نظریه ائمی بود. نظریه بوهر، الگوی مناسبی برای تبیین طیف اتم هیدروژن بدست داد. اما تلاش برای گسترش این نظریه و کاربرد آن برای تبیین طیف

1. Louis de Broglie

2. Momentum

3. Clinton Davisson

4. Lester Germer

5. Bragg

وابطه دوبروی

در ۱۹۲۴، لویی دوبروی^۱ پیشنهاد کرد که الکترون و سایر ذره‌ها دارای خواص موجی هستند. از روی یک فوتون نور، E ، برابر است با فرکانس، ν ، ضرب در ثابت پلانک، \hbar :

$$E = hv$$

(۳-۶)

چون $\lambda = c/v$ و در آن، c سرعت نور و λ طول موج (بخش ۱-۶) است، می‌توان ν را c/λ جانشین کرد:

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

(۹-۶)

با استفاده از معادله اینشتین، $E = mc^2$ ، که در آن m جرم مؤثر فوتون است، می‌توان به جای E عبارت mc^2 را قرار داد:

$$mc^2 = h \frac{c}{\lambda}$$

(۱۰-۶)

$$\text{با حل کردن این معادله برای } \lambda, \text{ طول موج:}$$

$$\lambda = \frac{h}{mc}$$

(۱۱-۶)

براساس نظریه دوبروی، معادله مشابهی را برای طول موج الکترون نیز می‌توان به دست داد:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

(۱۲-۶)

که در آن m جرم الکترون و v سرعت آن است. حاصل ضرب mv را اندازه حرکت آگیند. هر شی ای در حال حرکت دارای خصلت موجی است. طول موج مربوط به اشیای معمولی، چنان کوتاه است که خاصیت موجی آنها را نمی‌توان آشکار ساخت. اما طول موج مربوط به الکترون و سایر ذره‌های بنیادی، مطلب دیگری است.



لویی دوبروی، ۱۸۸۷ تا ۱۸۹۲

کشف شد.

در روش بوهر، الکترون به صورت یک ذره باردار درحال حرکت در نظر گرفته می شد. برای پیش بینی مسیر یک جسم در حال حرکت، باید موقعیت و سرعت آنرا به طور همزمان دانم. اصل عدم قطعیت^۱

و رون هایزنبیرگ^۲ (۱۹۲۶) نشان می دهد که تعیین همزمان مکان دقیق و اندازه حرکت دقیق یک جسم به کوچکی الکترون، غیرممکن است. اگر برای تعیین هرچه دقیق تر یکی از این مقادیر کوش کنیم، به ممان اندازه در تعیین دیگر عدم قطعیت خواهیم داشت.

اشهار را با برخورد به کار رفته برای روش کرد آنها پیش، برای تعیین مکان مخصوصی به کوچکی الکترون، باید نوری با طول موج بسیار کوتاه به آن تابانیده شود. هرچند طول موج یک هنگام برخورد با الکترون اثری آن پیشتر است (بخش ۶). بنابراین کوتاه کردن این مکان سبب تغییر ثابت و چیزی که حرکت آن می شود، تلاش برای تعیین مکان الکترون سبب شدید اندازه حرکت آن می شود.

فوتون های دارای طول موج های بسیار کوتاه، اثری کمتر و اثر کوچک تری بر اندازه حرکت الکترون دارند. اما این فوتون ها، به دلیل طول موج بلندتر شان، قادر به تعیین مکان دقیق الکترون نیستند. در نتیجه عدم قطعیت در تعیین مکان الکترون و در اندازه حرکت آن با هم ارتباط دارند. هایزنبیرگ نشان داد که عدم قطعیت در مکان یک شیء، Δx ، ضریرد عدم قطعیت در اندازه حرکت آن، Δt است، پرایبر، با،

برزگرتر از ثابت پلانک، h ، تقسیم بر 4π است:

$$\Delta x \Delta m v \geq h / 4\pi \quad (۱۳-۶)$$

عدم قطعیت در اندازه گیری برای اشیایی به کوچکی الکترون، اهمیت بسیار دارد، اما برای اشیایی با اندازه معمولی اثری ندارد.

مثال ۵-۶

عدم قطعیت در سرعت (الف) یک توب بیس بال (جرم، $1.46 \times 10^{-26} \text{ kg}$) و (ب) یک الکترون (جرم، $1.67 \times 10^{-30} \text{ kg}$) را حساب کنید، در صورتی که موقعیت هر شیء با دقت $1.0 \times 10^{-11} \text{ m}$ می باشد، که حدود ۰.۱٪ شیاع یک اتم معمولی است) تعیین شده باشد.



اوین شرودینگر، ۱۸۸۷ تا ۱۹۶۱

عدم قطعیت در سرعت توب بیس بال، مساوی یا بزرگتر از سرعتی است که جایه جایی 1.2 nm را در یک میلیون سال به وجود آورد.

$$\Delta v \geq \frac{5.28 \times 10^{-35} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}}{(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(1.00 \times 10^{-11} \text{ m})} = 5.80 \times 10^6 \text{ m/s} \quad (\text{ب})$$

عدم قطعیت در سرعت الکترون، حدود ۰.۲٪ سرعت توب بیس بال و پرایبر. سرعت خود الکترون برمبنای محاسبات بوهر ($1.0 \times 10^6 \text{ m/s}$) است.

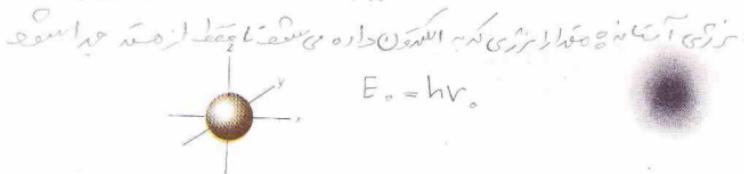
اصل عدم قطعیت هایزنبیرگ نشان می دهد که در نوع کوئنتی برای گسترش الکترون، اساس مکانیک موجی است. این معادله به صورت الکترون در یکاتم غیر ممکن است، اروین شرودینگر^۳، با هر کار بردن رابطه دوبروی، معادله ای برای توصیف الکترون بر مبنای خصلت موجی آن بیان کرد.

معادله شرودینگر

معادله شرودینگر، اساس مکانیک موجی است. این معادله به صورت یک تابع موجی، ψ (پسی)، برای یک الکترون نوشته می شود. با حل این معادله برای الکترون اتم هیدروژن، تعدادی تابع موجی بدست می آید. هر یک از این توابع موجی، به تراز انرژی مشخص برای الکترون مربوط است و بیانگر تابعه ای است که الکترون را در آن می توان بانافت. تابع موجی یک الکترون بیانگر چیزی به نام اوریستیال است (برای متمایز شدن از اوریستیک مدار بوهر، چنین نامیده شده است).

شدت یک موج با مریع دامنه آن مناسب است. تابع موجی، ψ ، یک تابع دامنه است. در هر موقعیتی در قضا مقادیر ψ برای یک جسم سیاست کوچک، متناسب با چگالی یار الکترون است. یار الکترون به علت حرکت سریع آن به صورت ابری از بار قرض می شود. چگالی این ابر در

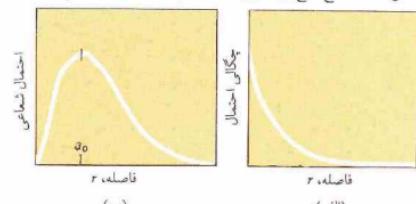
اصل عدم قطعیت کیز نیزگ؟ $\Delta \lambda \Delta m \geq \frac{h}{4\pi}$



شکل ۶ - ۱۱ نمایش سطح مرزی یک الکترون در حالت $n = 1$ در اتم هیدروژن. (حجم کرکه شامل ۹۰٪ چگالی الکترونی است، هسته در مبدأ مخصوص قرار دارد).

مبانی نظریه بوهر برای شمعان پوسته n برابر است. در نظریه بوهر، n ، فاصله ای است که در آن، الکترون را بیشتر می توان یافت. چون در اصل الکترون را در هر فاصله ای از هسته می توان پیدا کرد، نمی توان شکل رسم کرد. اما تجربیات را که احتمال یافتن الکترون در آن 100% باشد، مشخص کند. اما تجربیات می توان رسم کرد که احتمال یافتن الکترون در یک محدوده ای از n اتم هیدروژن در شکل ۶ - ۱۱ نشان داد شده است.

شکل ۶ - ۹ سطح مقطع ابرپاره مربوط به یک الکترون در حالت $n = 1$ اتم هیدروژن



شکل ۶ - ۱۰ منحنی های احتمال یافتن الکترون در حالت $n = 1$ اتم هیدروژن.

(الف) احتمال یافتن الکترون در واحد حجم برحسب فاصله از هسته.
(ب) احتمال یافتن الکترون در یک فاصله معین برحسب فاصله از هسته.

۶-۵ اعداد کوانتومی

در مکانیک موجی (ماکانیک کوانتومی) توزیع الکترون در اتمی که دارای چند الکترون باشد، به صورت لا یهایی تقسم شده است. این این لایهای نیز شامل یک یا دو یا بیش از دو لایه فرعی هستند. هر یک یا چند اوربیتال است که به موسیله الکترون ها اشغال شده است. هر یک از الکترون های یک اتم به مجموعه ای از چهار عدد کوانتومی مشخص می شود که به صورت تقریبی بینگر یابند: لایه فرعی، اوربیتال و اسپین الکترون هستند.

عدد کوانتومی اصلی، n ، تقریباً به λ بیان شده توسط بوهر مربوط است. این عدد مشخص کننده لایه یا ترازی است که الکترون به آن تعلق دارد. این لایه ها ناحیه هایی هستند که اثناها احتمال یافتن یک الکترون زیاد است. مقدار n ، یک عدد صحیح مثبت است:

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

هر چه مقدار بزرگ تو باشد، لایه از هسته دورتر است و انرژی الکترون در آن لایه بالاتر است.

هر لایه، شامل یک یا چند لایه فرعی است. شمار لایهای فرعی در یک لایه اصلی برابر با مقدار n است. در لایه $n = 1$ ، فقط یک لایه فرعی است، در لایه $n = 2$ دو لایه فرعی، در لایه $n = 3$ سه لایه فرعی و همین طور. هر لایه فرعی با یک عدد کوانتومی فرعی l ، مشخص می شود. مقادیر l برای لایه های فرعی با مقدار n لایه اصلی تعیین می شود. برای هر یک از عبارت ها، یک مقدار برای

بعض نواحی بیشتر است. احتمال پیدا کردن الکترون در یک ناحیه معین با چگالی ابر پاره در آن تقریباً متناسب است. در نظریه ای که ابر الکترونی چگالان تو پاشد، احتمال بیشتر است. در این نظریه برای توصیف مسیر الکترون کوششی نمی شود؛ فقط به پیش بینی مکان احتمالی الکترون می پردازد.

برای الکترونی در حالت $n = 1$ اتم هیدروژن، چگالی ابر الکترونی در نزدیکی هسته بیشتر است زیرا با افزایش فاصله از هسته، چگالی

کمتر می شود (شکل ۶ - ۹). منحنی های شکل ۶ - ۱۰ اطلاعات بیشتری درباره این توزیع احتمال به دست می دهد. در منحنی (الف)، برحسب فاصله از هسته رسم شده است. احتمال پیدا کردن الکترون در یک حجم کوچک در نزدیکی هسته بسیار زیاد است و با افزایش فاصله از هسته، بسیار صفر می کند.

منحنی (ب)، منحنی توزیع شعاعی است. احتمال کل برای یافتن الکترون در یک فاصله معین از هسته برحسب فاصله از هسته رسم شده است. پرسنی های کسری بسیار نازک را در نظر بگیرید که به صورت متعدد المیک در اطراف هسته قرار دارند. احتمال پیدا کردن الکترون در هر پرسنی چقدر است؟ احتمال یافتن الکترون در یک حجم کوچک در نزدیکی هسته، بیشتر است. اما حجم پرسنی نزدیکی به هسته، کمتر از پرسنی های بیرونی نیست. احتمال توزیع شعاعی هر دو عامل را به حساب می آورد.

این منحنی در فاصله a ، یک ماکریزم نشان می دهد. احتمال کل برای پیدا کردن الکترون در تمام نظمه های با فاصله a از هسته بزرگ تر در $a = r$ به پیشترین مقدار مرسد. این مقدار با حجم بدست آمده بر

وجود دارد:

$$l = 0, 1, 2, 3, \dots, (n - 1) \quad (15-6)$$

اگر $n = 1$ باشد، تنها مقدار ۱ صفر است و فقط یک لایه فرعی داریم.
 برای $n = 2$ ، دو لایه فرعی، به ترتیب، با صفر و ۱ وجود دارند. برای
 $n = 3$ ، سه لایه فرعی با مقادیر ۰/۱۰۰ و ۱ و ۲ وجود دارند.
 برای تماش لایه‌های فرعی از نمادهای دیگر نیز استفاده می‌شود.
 برای هر یک از مقادیر l از یک حرف استفاده می‌شود:

$$l = 0, 1, 2, 3, 4, 5 \dots$$

نمانه: $s, p, d, f, g, h \dots$

چهار نشانه تختست، حروف اول صفت‌های (sharp)، (principal)
 (اصلی)، (diffuse)، (پراکنده) و (بینایی) هستند که قبل از برای
 مشخص کردن خطاهای طبقی به کار می‌رودند. برای مقادیر اینگونه از
 l ، این حروف به ترتیب اتفاقی ادامه می‌یابد: s, p, d, f, g, h . او غیره. با ترکیب
 عدد کوانتوم اصلی با یکی از این حروف را مسامه‌ای برای مشخص کردن
 لایه‌های فرعی پیدا می‌شود. از لایه فرعی $2 = s$ و $= p$ از لایه فرعی $3 = d$
 و لایه فرعی $2 = p$ و $= l$ را لایه فرعی $2 = p$ می‌نامند. جدول ۶-۱
 شامل چیزی‌ای از تعداد لایه‌های فرعی چهار لایه اول است. انرژی
 الکترون‌های هر لایه با افزایش مقدار افزایش $n = 3 > 2 > 1 > 0$ می‌باشد. برای مثال انرژی
 الکترون‌های لایه $3 = p$ بزرگ‌تر از $2 = d$ و $1 = s$ است. این افزایش می‌باشد.
 هر لایه فرعی شامل یک یا چند اوریتال است. تعداد اوریتال‌ها در
 یک لایه فرعی از معادله زیر بدست می‌آید.

$$n = 2l + 1 \quad (16-6)$$

برای مثال در هر لایه فرعی $0 = l = 0$ ۱ اوریتال وجود
 خواهد داشت. در هر لایه فرعی $1 = l = 1$ ۳ اوریتال و
 در هر لایه فرعی $2 = l = 2$ ۵ اوریتال خواهد بود.
 به بیان دیگر،

جدول ۶-۱ نشانه لایه‌های فرعی

فرعی	نشانه لایه	ل	ن
۱s		۰	۱
۲s		۰	۲
۲p	۱	۱	۲
۳s		۰	۳
۳p	۱	۱	۳
۳d	۲	۲	۳
۴s		۰	۴
۴p	۱	۱	۴
۴d	۲	۲	۴
۴f	۳	۳	۴

لایه فرعی m_l	اوریتال نشانه تعداد اوریتال‌ها	لایه فرعی n	اوریتال لایه اول
۱	۱s	۱	۱
۱	۲s	۲	۱
۲	۲p	۳	۱
۱	۳s	۳	۱
۱	۳p	۳	۱
۵	۳d	۳	۲
۱	۴s	۴	۰
۲	۴p	۴	۱
۵	۴d	۴	۲
۷	۴f	۴	۳

نمانه: $s, p, d, f, g \dots$

$$l = 0, 1, 2, 3, 4 \dots$$

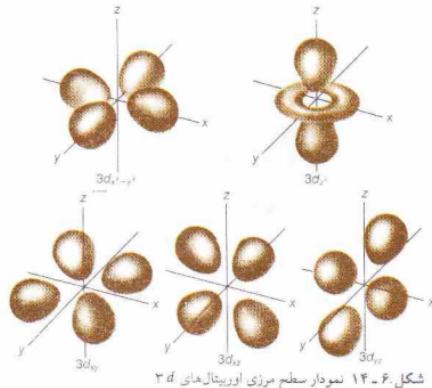
تعداد اوریتال‌ها

چون لایه فرعی n شامل یک اوریتال است لایه فرعی p شامل سه اوریتال و لایه فرعی d شامل پنج اوریتال است، و الی آخر.
 هر یک از اوریتال‌های یک لایه فرعی، با عدد کوانتوم مغناطیسی اوریتال، m_l مشخص می‌شود. برای هر یک از لایه‌های فرعی، مقادیر m_l را با مبارگات‌های سری زیر می‌توان بدست آورد:

$$m_l = +l, +l - 1, \dots, 0, \dots, -(l - 1), -l$$

درنتیجه، برای $l = 0$ ، تنها مقدار مجاز $m_l = 0$ ، صفر است (یک اوریتال).
 برای $l = 1$ ، می‌تواند $m_l = 1, 0, -1$ باشد (سه اوریتال). برای $l = 2$ ، می‌تواند $m_l = 2, 1, 0, -1, -2$ باشد (پنج اوریتال).
 توجه داشته باشید که مقادیر m_l ایده‌بود می‌آیند و مقادیر اینها از l به این ترتیب، هر یک از اوریتال‌های که اتم با جمجمه‌ای از مقادیر l ، $l - 1, \dots, 0, \dots, -(l - 1), -l$ مشخص می‌شود، اوریتالی که با اعداد کوانتومی l ، $l - 1, \dots, 0, \dots, -(l - 1), -l$ توصیف شود، اوریتالی در لایه فرعی p از لایه دوم، یعنی $2p$ است. اعداد کوانتومی اوریتال‌های چهار لایه اول در جدول ۶-۲ آمده است.

در بخش ۴-۴ ابرالکترونی اوریتال ۱ را مورد بحث قرار دادیم (شکل‌های ۹-۶، ۹-۷ و ۹-۸ را بینید). هر یک از بخش‌های سه‌گانه، شکل ۱۲-۶ (الف)، منحنی احتمال شاععی اوریتال ۲ است. این منحنی نشان‌دهنده دو ناحیه است که در آنها احتمال پیدا کردن الکترون در این ترتیب در این



داشت. اوریتال‌های p اثری زیست کسان دارند. در غیاب میدان مغناطیسی هیچ فرقی بین الکترون‌های موجود در اوریتال‌های p مختلف وجود ندارد، اما، در صورتی که مطالعات طبقی در یک میدان مغناطیسی انجام شود، برخی از خطوط طیف به چندین خط شکافته می‌شوند. این اثر که به اثر زیمان ۱۷ شهر است، با حذف میدان مغناطیسی از میدان می‌رود، مقدار m_l یک اوریتال با جهت‌گیری آن اوریتال با چهت ثابت میدان مغناطیسی بستگی دارد.

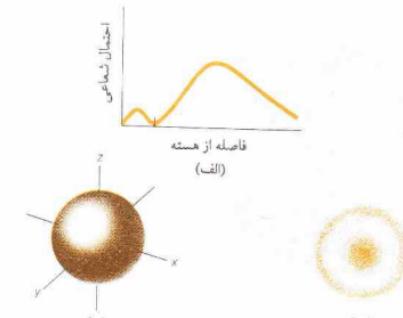
نمودار سطح مزدوج اوریتال d در شکل ۱۴-۶ نمایش داده شده است. شکل اوریتال $2d_{xy}$ با سایر اوریتال‌ها تفاوت دارد، اما تمام آنها از نظر اثری بستگاند.

سه عدد کوتاه‌ترین اول (معنی n, l, m_l)، از حالت معادله موجود شروع پنکریده است. این عدد کوتاه‌ترین چهارم، یعنی عدد کوتاه‌ترین مغناطیسی است، همین m_l برای توصیف کامل یک الکترون لازم است. یک الکترون مانند سایر ذرات باردار چرخنده در حول یک محور دارای خواص مغناطیسی است. یک بار چرخنده، میدان مغناطیسی ایجاد خواهد کرد و الکترون بین دارای یک میدان مغناطیسی است که می‌توان آنرا برمی‌داند یک اسپین ظاهری توصیف کرد. عدد کوتاه‌ترین مغناطیسی اسپین یک الکترون می‌تواند یکی از دو مقدار زیر را دارا باشد:

$$m_s = +\frac{1}{2} - \frac{1}{2}$$

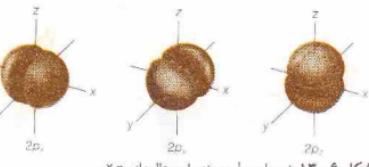
دو الکترون با مقادیر متفاوت m_l و m_s (یکی $\frac{1}{2}$ و دیگری $-\frac{1}{2}$)، دارای اسپین‌های مخالفاند. گشایش مغناطیسی اسپین این دو الکترون، یکدیگر را حذف می‌کنند. هر اوریتال دارای دو الکترون اسپین‌های مخالف پر می‌شود.

آتو اشترن^۱ و والتر گرلاخ^۲ در ۱۹۲۱ میلادی، وجود اسپین الکترون



شکل ۱۴-۷ نمودارهای اوریتال ۲. (الف) توزیع احتمال شعاعی، (ب)

سطح مقطع ابر الکترونی، (ج) نمودار سطح مزدوج



الکترونی اوریتال ۲p دو ناحیه مشخص با چگالی الکترونی بالا وجود دارد. این نواحی در شکل ۱۴-۸ (ب) نیز که نمایشگر سطح مقطع چگالی الکترونی اوریتال است، آشکارند. اما، نمودار سطح مزدوج اوریتال ۲p، به همان صورت اوریتال ۱s است، مگر از نظر اندازه شکل ۱۴-۸ (ج) را با شکل ۱۴-۶ مقایسه کنید. تمام اوریتال‌های ۲p کروی هستند.

نمودارهای سطح مزدوج اوریتال ۲p در شکل ۱۴-۸ نشان داده شده است. در این نمودارها هسته در مرکز مختصات قرار دارد. چگالی الکترونی اوریتال ۲p کروی نیست. بلکه هر اوریتال هر شامل دو بخش موسوم به آلب است که در دو طرف صفحه‌ای که از هسته می‌گذرد قرار دارند. شکل هر سه اوریتال یکسان است. اما، از نظر چهت‌گیری آلبها تفاوت دارند. چون آلبها را می‌توان در هفت محور x, y, z فراز داد، نمودارهای $2p_x, 2p_y$ و $2p_z$ به آنها داده شده است.

میدان مغناطیسی، اثری بر اثری الکترون (انداده، زیر اوریتال ۲p کروی است. صرف نظر از اینکه یک کره را چگونه با چرخانیم، نسبت به یک چارچوب مرجع ثابت یکسان خواهد بود. یک اوریتال کروی (یک اوریتال ۱s) نیز در یک میدان مغناطیسی در برابر خطوط نیرو فقط یک سیما خواهد داشت.

اوریتال‌های ابر کروی نیستند. هر لایه فرعی م شامل سه اوریتال است که از لحاظ چهت‌گیری با یکدیگر تفاوت دارند. هر اوریتال ۳s، ۳p و ۳d می‌شوند. هر اوریتال ۳p دارای سیمای متفاوتی در برابر خطوط نیروی میدان مغناطیسی خواهد

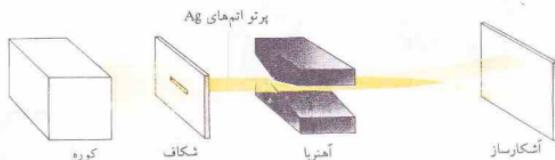
1. Zeeman effect

2. Otto Stern

3. Wather Gerlach



ولفگانگ پارلی، ۱۹۰۰ تا ۱۹۵۸



شکل ۱۵-۶ آزمایش اشترن-گرلاخ

- ۳- m_e بیانگر جهتگیری اوریتال است.
۴- m_p به اینین الکترون اشاره دارد.

اصل طرد پارولی

اصل طرد ولفگانگ پارولی^۱ می‌گوید مجموعه چهار عدد کواتومی برای دو الکترون در یک نمودار کیسان یا شکاف دارد. حتی در صورتی که دو الکترون دارای مقادیر یکسان باشند، از تخطی مقادیر m_e تفاوت خواهد داشت. این وضعیت بیانگر مذود بودن دو الکترون در یک اوریتال است. مثلاً الکترون جفت شده در اوریتال ۱s دارای مجموعه کواتومی (۱, ۰, ۰, ۰) و اوریتال ۲p دارای مجموعه کواتومی (۲, ۱, ۰, ۰) است. بنابراین براساس اصل طرد پارولی نمی‌توان بیش از دو الکترون داشته باشد.

اعداد کواتومی اوریتال‌های چهار لایه اول در جدول ۶-۲ آمده است. مجموعه اعداد کواتومی الکترون درین اوریتال‌ها را با مقادیر m_e (۱/۳ + با ۱/-) و مجموعه ای از مقادیر (۱, ۰, ۰, ۰) نمایشگر اوریتال‌اند. می‌توان مشخص کرد.

حاکمتر الکترون موجود در یک لایه $n=2$ است. هر اوریتال می‌تواند ۲ الکترون داشته باشد. بنابراین، پیشترین تعداد الکترون در یک لایه، دو برابر تعداد اوریتال‌های آن لایه است. پیشترین تعداد الکترون در یک لایه فرعی را با ضرب تعداد اوریتال‌های آن لایه فرعی در 2^n می‌توان بدست آورد. طرفیت لایه‌ها و لایه‌های فرعی از $= n$ تا $= 4$ در جدول ۶-۳ آمده است.

۶-۶ پرشدن اوریتال‌ها و قاعدة جوند

نحو آبیش الکترون‌ها در یک نمودار پیکربندی الکترونی آن اتم گردند. پیکربندی الکترونی حالت پایه برای ۱s الکترون اول را می‌توان با این فرض بدست آورد که الکترون‌ها به ترتیب افزایش مقدار n در لایه و به ترتیب افزایش مقدار l در لایه‌های فرعی قرار می‌گیرند. در مورد اتم‌هایی با عدد اتمی بزرگ‌تر از ۱۸، وضعیت اندکی پیچیده‌تر است.

را با آزمایشی شنان داند (شکل ۱۵-۶ را بینید). نقره در کوره‌ای تبخیر شد و پرتوی از اتم‌های نقره به وجود آمد. این پرتو با هیوئی ایک میدان مغناطیسی ثانیع (نایکتروراخ) به دو قسمت تجزیه شد. اتم‌های نقره شامل ۷۷ الکترون هستند ۲۲ الکترون دارای یک نوع اسپین و ۲۳ الکترون دارای اسپین مخالفاند. تعداد ۲۳ زوج الکترون از ۴۶ الکترون تشکیل می‌شود که فاقد اسپین و میدان مغناطیسی مستند. اینین الکترون جفت شده (الکترون چهل و هفتم) تعیین کننده جهت انحراف مسیر اتم نقره در میدان مغناطیسی است. اینین انحراف مسیر در اثر پره‌کش بین میدان مغناطیسی مربوط به اسپین الکترون و میدان مغناطیسی بیرونی بوجود می‌آید. در مجموعه ای از اتم‌های نقره تبعیمی دارای الکترون جفت شده با $\frac{1}{3} = m_p$ و تبعیمی دیگر دارای الکترون جفت شده را $\frac{-1}{3} = m_p$ هستند. درنتیجه پرتو اتم‌های نقره به دو بخش تجزیه می‌شود.

به این ترتیب هر اتم را چهار عدد کواتومی می‌توان توصیف کرد.

- ۱- بیانگر لایه و فاصله نسبی الکترون از هسته است.
- ۲- بیانگر لایه فرعی و شکل اوریتال الکترون است. در چیزی میدان مغناطیسی اوریتال‌های یک لایه فرعی معنی از لحاظ افزایش هم ارزند.

جدول ۶-۳ حداقل تعداد الکترون‌های بزرگ‌تر از چهار لایه اول

نمایش لایکنرمی	نمایش اوریتال‌های لایه فرعی (۱+۰)	نمایش اوریتال‌های لایه فرعی (۲+۱)	نمایش اوریتال‌های لایه فرعی (۳+۲)	نمایش اوریتال‌های لایه فرعی (۴+۳)
۲	۲	۱	۱	۱s
۸	۲	۱	۱	۲s
۱۸	۲	۱	۱	۳s
	۶	۲	۲	۳p
		۱۰	۵	۳d
۳۲	۲	۱	۱	۴s
	۶	۲	۲	۴p
		۱۰	۵	۴d
۶۴		۷	۷	۴f

$n = 1$	$n = 2$						
$l = 0$	$l = 0$						
$m_l = 0$	$m_l = 0$						
<table border="1"> <tr><td>1</td></tr> <tr><td>2</td></tr> <tr><td>$t(x)$</td></tr> </table>	1	2	$t(x)$	<table border="1"> <tr><td>3</td></tr> <tr><td>4</td></tr> <tr><td>$t(x)$</td></tr> </table>	3	4	$t(x)$
1							
2							
$t(x)$							
3							
4							
$t(x)$							
	<table border="1"> <tr><td>5</td></tr> <tr><td>6</td></tr> <tr><td>7</td></tr> <tr><td>8</td></tr> <tr><td>9</td></tr> <tr><td>10</td></tr> </table>	5	6	7	8	9	10
5							
6							
7							
8							
9							
10							

شکا. ۱۶- ترتیب پر شدن او، سیگارهای لایه ۱ و ۲

پیکرندی التکرونی عصر ششم، یعنی کرین، را می توان با درنظر گرفتن یک التکرون اضافی از پیکرندی بور به دست آورد. البته پرسش هایی درمورد جای دادن این التکرون ششم کرین مطற می شود. آیا التکرون ششم به اوپریتال ۲۶ که دارای یک التکرون است تعلق دارد، یا به سایر اوپریتال ها؟ چهتگیری اسپین التکرون ششم چگونه است؟ قاعده حاکم چندگانه هوند، پاسخ این پرسش ها را بدست می دهد. بنابر قاعده هوند، التکرونها به نحوی بین اوپریتال های یک لایه فرعی توزیع می شوند که شمار التکرون های چفت شده با اسپین موادی به حدود یک بود. اصطلاحاً اسپین مواری یعنی اسپین تمام التکرون های چفت شده در یک چهت باشد - تمام مقایسه $m=1$ این التکرون های چفت شده علاوه بر کسانی باشد.

بنابراین، در آنم کوین هر یک از الکترون‌های ۲ یک اوریستیال جداگانه را مشغای می‌کند، و همچگونه اسپین این دو الکترون یکسان است. در نمودار اوریستیال کوین در محدود ۶ - ۶ - ۴ این دو الکترون حفظ شده به خوبی تماشی داده شدند. اما تضییق آن دو در نمایش

تجویه کنید که تمام بالاترین های نمایش الکترونی، اعداد زوج هستند. چنین وضعیتی ضرورتی با این معنی نیست که تمام الکترونها در اوربیتال‌ها جفت شده‌اند. عالم‌نمایش الکترونی بیانگر پیکربندی الکترون‌ها به ایهای فرعی است (نه اوربیتال‌ها). آنکه الکترون‌های جفت شده را با استفاده از شانه‌گذاری دیگری برای اوربیتال‌ها می‌توان مشخص کرد. نمایش کریں بوسروت $2P_1^1$ $2P_2^1$ $2S_1^1$ در می‌اید. البته، اگر به یادداشته باشیم که سه اوربیتال $2P$ داریم و بنابر اصل هوند دو الکترون باید در اوربیتال‌های جداگانه باشند تیازی به این نشانه‌گذاری، بخواهد بد.

قاعده هوند رو شکل ۶-۱۶ نمایش داده شده است. هر اوریتال، یک مربع نشان داده شده است. ترتیب پروردشون اوریتالها، با اعداد داخل مربع ها مشخص شده است. چون الکترون‌ها دارای بار منفی هستند و یکدیگر را جذب می‌کنند و پیش از آنکه چفت شوند، هر کدام در یک اوریتال ۲p قرار می‌گیرند. پیکربندی الکترونی B, C, O, F و N که در جدول ۶-۶ نشان داده شده بیانگر قاعده هوند است، پنج اوریتال لایه فرعی ۵ و هفت اوریتال لایه فرعی از هشتمین پریمی شوند- اینتها در الکترون‌ها دارای لایه فرعی قرار می‌گیرند و فقط بعد از اینها در الکترون‌ها دارای لایه فرعی قرار می‌گیرند.

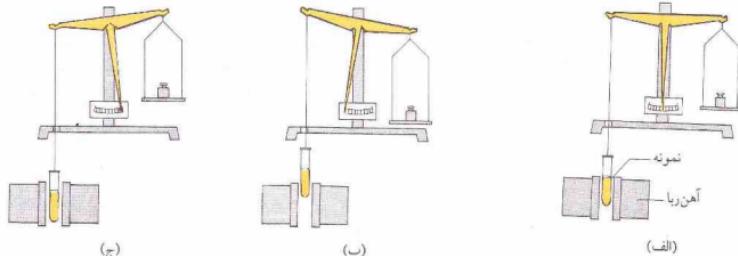
اًتم ليٰم يك جفت الكترون در اوپيٰتال ۱ به اضافه يك الكترون در اوپيٰتال ۲ دارد. $m_l = 0$ و $l = 2$ است. نمايش الكتروني اتم N_a ، $1^2 2^1$ است. اتم بعدی، يعني بريٰم، دارای زوج الكترون های در هر دو اوپيٰتال $1^2 2^2$ و $2^2 3^1$ است. نمايش الكتروني اتم Be ، $2^2 3^1$ است.

اًتم بور، الكترون دارد. دو الكترون با اسپين مختلف شده، اوپيٰتال ۱ را اشغال کرده‌اند؛ جفت الكترون دیگر در اوپيٰتال ۲ قرار دارند، و هر دو الكترون پنج در اوپيٰتال ۲ جای دارد. لایه فرعی $1^2 2^5 = 1^1 2^4$ است. شامل همچنان در اوپيٰتال (ما مقدار) $1^1 2^4 + 1^1 3^1 = 1^2 3^1$ است. چون در اوپيٰتال ۲ از تریٰتیٰ پیکان دارند الكترون پنج بمی توانند هر یکی از آنها قرار گیرد. در نمودار اوپيٰتال ۲ در چندول ۶ - ۴ آمده است.

يك پیکان در اوپيٰتال های $2p$ قرار دارد، اما این اوپيٰتال های p شخص رشد نموده‌اند. نمايش الكتروني، اتم $1^1 2^2 3^1 2^1 p^1 = 1^1 2^2 3^1 2^1 1^1$ است.

جدول ٦ - ٤ پیکنندی الکترونی، ده عنصر اول

	نماش الكتروني	نودار اوربياتي	٢s	٢p	١s
^1H					
^2He	$\uparrow\downarrow$				
^3Li	$\uparrow\downarrow$	\uparrow			$1s^2 2s^1$
^4Be	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$			$1s^2 2s^2$
^5B	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	\uparrow		$1s^2 2s^2 2p_1$
^6C	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	\uparrow	\uparrow	$1s^2 2s^2 2p_1$
^7N	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	\uparrow	\uparrow	$1s^2 2s^2 2p_1$
^8O	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	\uparrow	$1s^2 2s^2 2p_2$
^9F	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$1s^2 2s^2 2p_5$
$_{10}\text{Ne}$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$1s^2 2s^2 2p_6$



شکل ۶-۱۷ تعمیم خواص مغناطیسی. (الف) توزین نمونه در غیاب میدان مغناطیسی (میدان مغناطیسی خاموش). (ب) نمونه دیامغناطیسی به وسیله میدان مغناطیسی دفع می‌شود. (ج) نمونه پارا مغناطیسی به درون میدان مغناطیسی کشیده می‌شود.

گروه IA، در اوریتال \downarrow لایه بیرونی خود، یک الکترون دارند. شباهت پیکربندی الکترونی عنصر یک گروه پیانگ شباهت خواص آنهاست. بیرونی ترین لایه این عنصرها را لایه ظرفیتی، و الکترون‌های موجود در آن را الکترون‌های ظرفیتی کویند. تمام الکترون‌های لایه ظرفیتی، صرف نظر از لایه فرعی، الکترون ظرفیتی به شمار می‌آیند. برای عنصرهایی که به عنصر نمونه مشهورند (عنصر گروه A در جدول مورد استفاده)، تعداد الکترون‌های ظرفیتی برابر با شماره گروه است. گازهای نجیب (گروه صفر)، هشت الکترون در لایه ظرفیتی خود دارند، بجز هیشم که دارای دو الکترون است.

۶-۷ پاختار الکترونی عنصر

داده‌های موجود در جدول‌های ۶-۴ و ۶-۵ نشان‌دهنده شیوه بدست آوردن پیکربندی الکترونی آنها هستند. اتم هیدروژن آغاز می‌کنند که یک الکترون در اوریتال ۱ دارد. با افزون یک الکترون به پیکربندی اتم بعدی، یعنی هلیم می‌رسیم (که ۲ است). به این ترتیب از عنصری به عنصر دیگر می‌روم تا به پیکربندی اتم سوندفروم مانند برسیم. این روش که نخستین بار توسط لندنگ لگک پارولی پیشنهاد شده بروش آقای مشهور است.

در برخی موارد، پیکربندی الکترونی بدست آمده با روش آقای خطا دارد. اما این خطایها کچک هستند و اغلب به مکان یک الکترون مربوط می‌شوند. پیکربندی صیحی عناصر در جدول ۶-۶ آمده است.

الکترونی که در روش آقای از هر عنصری به عنصر بعدی اضافه می‌شود به الکترون متمایزکننده^۳ معروف است. این الکترون پیکربندی یک اتم را اتم بعدی تمایز کنند. در مرحله الکترون متمایزکننده

^۱ اقسام فرموناتیسی، مانند آهن، به شدت به وسیله میدان مغناطیسی جذب می‌شوند. خاصیت فرموناتیسی، نوعی خاصیت پارامغناطیسی است اگر در برخی از مواد جاذب وجود دارد. آنها (aufbau) واره آلمانی به معنی بنادردن است.

3. Differentiating electron

آنکه تمام اوریتال‌ها به وسیله یک الکترون اشغال شدند، جفت شدن الکترون‌ها صورت خواهد گرفت. قاعده هوند با اندازه گیری‌های مغناطیسی تأیید شده است.

تعداد الکترون‌های جفت شده در یک اتم، یون، یا مولکول را می‌توان با اندازه گیری‌های مغناطیسی تعیین کرد. اجسام پارا مغناطیسی، به داخل میدان مغناطیسی کشیده می‌شوند (شکل ۶-۱۷). اجسام دارای الکترون‌های جفت شده، پارا مغناطیسی‌اند. گفتار مغناطیسی به تعداد الکترون‌های جفت شده بستگی دارد. حوصلت پارامغناطیسی یک اتم، به دو اثر مستگی دارد: اسپین الکترون‌های جفت شده و حرکت اوریتال مربوط به آنها. اثر اسپین الکtron بزرگ‌تر از اثر حرکت اوریتال است و در بسیاری از موارد اثر اخیر ناجائز است.

اجسام دیامغناطیسی، به آرامی به وسیله میدان مغناطیسی دفع می‌شوند (شکل ۶-۶). تمام الکترون‌های یک جسم دیامغناطیسی جفت شده‌اند. خاصیت دیامغناطیسی در تمام مواد وجود داده اما در صورت وجود الکترون‌های جفت شده به وسیله اثر پارامغناطیسی پوشانده می‌شود.

در جدول ۶-۵ شانه‌گذاری الکترونی لایه‌های فرعی بیرونی اتم‌های عنصرهای متمایزکننده اتفاق می‌افتد. در اتم‌هایی که دارای الکترون در لایه‌های فرعی درونی هستند، این لایه‌ها پر شده‌اند. به شباهت بین پیکربندی عنصر یک گروه توجه کنید. مثلاً تمام عنصرهای

جدول ۶-۵ پیکربندی الکترونی لایه‌های بیرونی عنصرهای متمایزکننده

I A	II A	III A	IV A	V A	VI A	VII A	0
H							$\frac{1}{2}He$
1s ¹	2s ²	3s ²	4s ²	5s ²	6s ²	7s ²	1s ²
L	2p ¹	3p ¹	4p ¹	5p ¹	6p ¹	7p ¹	
N	2p ³	3p ³	4p ³	5p ³	6p ³	7p ³	$\frac{1}{2}Ne$
O	2p ⁴	3p ⁴	4p ⁴	5p ⁴	6p ⁴	7p ⁴	$\frac{1}{2}O_2$
F	2p ⁵	3p ⁵	4p ⁵	5p ⁵	6p ⁵	7p ⁵	$\frac{1}{2}F_2$
Cl							
Ar							$\frac{1}{2}Ar$
Br							$\frac{1}{2}Br_2$
I							$\frac{1}{2}I_2$

جدول ٦ - آرایش الكتروني عناصر

عنصر	Z	1s	2s 2p	3s 3p 3d	4s 4p 4d 4f	5s 5p 5d 5f	6s 6p 6d	7s
H	1	1						
He	2	2						
Li	3	2	1					
Be	4	2	2					
B	5	2	2 1					
C	6	2	2 2					
N	7	2	2 3					
O	8	2	2 4					
F	9	2	2 5					
Ne	10	2	2 6					
Na	11	2	2 6	1				
Mg	12	2	2 6	2				
Al	13	2	2 6	2 1				
Si	14	2	2 6	2 2				
P	15	2	2 6	2 3				
S	16	2	2 6	2 4				
Cl	17	2	2 6	2 5				
Ar	18	2	2 6	2 6				
K	19	2	2 6	2 6	1			
Ca	20	2	2 6	2 6	2			
Sc	21	2	2 6	2 6 1	2			
Ti	22	2	2 6	2 6 2	2			
V	23	2	2 6	2 6 3	2			
Cr	24	2	2 6	2 6 5	1			
Mn	25	2	2 6	2 6 5	2			
Fe	26	2	2 6	2 6 6	2			
Co	27	2	2 6	2 6 7	2			
Ni	28	2	2 6	2 6 8	2			
Cu	29	2	2 6	2 6 10	1			
Zn	30	2	2 6	2 6 10	2			
Ga	31	2	2 6	2 6 10	2 1			
Ge	32	2	2 6	2 6 10	2 2			
As	33	2	2 6	2 6 10	2 3			
Se	34	2	2 6	2 6 10	2 4			
Br	35	2	2 6	2 6 10	2 5			
Kr	36	2	2 6	2 6 10	2 6			
Rb	37	2	2 6	2 6 10	2 6	1		
Sr	38	2	2 6	2 6 10	2 6	2		
Y	39	2	2 6	2 6 10	2 6 1	2		
Zr	40	2	2 6	2 6 10	2 6 2	2		
Nb	41	2	2 6	2 6 10	2 6 4	1		
Mo	42	2	2 6	2 6 10	2 6 5	1		
Tc	43	2	2 6	2 6 10	2 6 6	1		
Ru	44	2	2 6	2 6 10	2 6 7	1		
Rh	45	2	2 6	2 6 10	2 6 8	1		
Pd	46	2	2 6	2 6 10	2 6 10			
Ag	47	2	2 6	2 6 10	2 6 10	1		
Cd	48	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2		
In	49	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 1		
Sn	50	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 2		
Sb	51	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 3		
Te	52	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 4		
I	53	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 5		
Xe	54	2	2 6	2 6 10	2 6 10	2 6		

←—————

جدول ٦ - (أدام)

العنصر	Z	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	7s
Cs	55	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6			1			
Ba	56	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6			2			
La	57	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6	1		2			
Ce	58	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	2	6			2			
Pr	59	2	2	6	2	6	10	2	6	10	3	2	6			2			
Nd	60	2	2	6	2	6	10	2	6	10	4	2	6			2			
Pm	61	2	2	6	2	6	10	2	6	10	5	2	6			2			
Sm	62	2	2	6	2	6	10	2	6	10	6	2	6			2			
Eu	63	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6			2			
Gd	64	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6	1		2			
Tb	65	2	2	6	2	6	10	2	6	10	9	2	6			2			
Dy	66	2	2	6	2	6	10	2	6	10	10	2	6			2			
Ho	67	2	2	6	2	6	10	2	6	10	11	2	6			2			
Er	68	2	2	6	2	6	10	2	6	10	12	2	6			2			
Tm	69	2	2	6	2	6	10	2	6	10	13	2	6			2			
Yb	70	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6			2			
Lu	71	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	1		2			
Hf	72	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	2		2			
Ta	73	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	3		2			
W	74	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	4		2			
Re	75	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	5		2			
Os	76	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	6		2			
Ir	77	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	7		2			
Pt	78	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	9		1			
Au	79	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		1			
Hg	80	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2			
Tl	81	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	1		
Pb	82	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	2		
Bi	83	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	3		
Po	84	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	4		
At	85	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	5		
Rn	86	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6		
Fr	87	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6	1	
Ra	88	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6	2	
Ac	89	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6	1	
Th	90	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6	2	
Pa	91	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	2	6	1	
U	92	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	3	2	6	1	
Np	93	2	2	6	2	5	10	2	6	10	14	2	6	10	4	2	6	1	
Pu	94	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	6	2	6	2	
Am	95	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	7	2	6	2	
Cm	96	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	7	2	6	1	
Bk	97	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	8	2	6	1	
Cf	98	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	10	2	6	2	
Es	99	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	11	2	6	2	
Fm	100	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	12	2	6	2	
Md	101	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	13	2	6	2	
No	102	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	2	
Lr	103	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	1	2

شکل ۱۸-۶، با پر کردن بی در بین اوربیتال ها، از پایین به بالا، می توان به دست آورد. توجه داشته باشید که در هر لایه فرعی $n=7$ ، سه اوربیتال در هر لایه فرعی $l=1$ ، پنج اوربیتال، و در همه لایه فرعی $l=0$ ، هفت اوربیتال وجود دارد. پس از پر شدن هر لایه فرعی الکترون ها به لایه فرعی بعدی می روند.

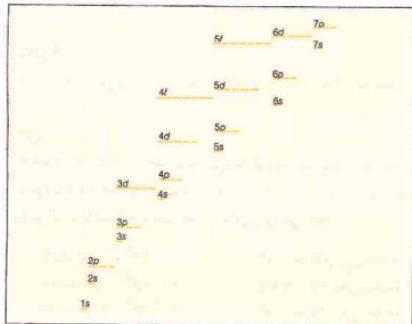
برای دست اوردن پیکربندی های الکترونی می توان از جدول تناوبی استفاده کرد. در شکل ۱۹-۶، نوع الکترون متمایز کننده به موقعیت عصر در جدول تناوبی، بسط داده شده است. توجه کنید که جدول تناوبی را می توان به بلوک های $\langle 1, 2, 3 \rangle$ ، $\langle 4, 5, 6 \rangle$ ، $\langle 7, 8, 9 \rangle$ تقسیم کرد، عدد کوانتومی اصلی الکترون متمایز کننده، برایرا شماره تناوب عصر مربوط به «بلوک ۱» و «بلوک ۲» شماره تناوب منهای ۱ برای عناصر $\langle 1, 2, 3 \rangle$ و «بلوک ۴» و «شماره تناوب منهای ۲ برای عناصر «بلوک ۵» است. برای ادامه بحث مربوط به پیکربندی الکترونی عناصر، از یک جدول تناوبی (مانند جدول داخل جلد کتاب) استفاده کنید.

تناوب اول فقط شامل ۲ عنصر هیدروژن و هیلیم است که هر دو از «بلوک ۱» هستند. پیکربندی هیدروژن $1s^1$ و پیکربندی هیلیم $1s^2$ است. تناوب دوم، با لیتیم $1s^2 2s^1$ و بربیلم $1s^2 2s^2$ آغاز می شود که در آنها، الکترون در اوربیتال $2p$ قرار می گیرد. برای شش عنصری که این تناوب را کامل می کنند، معنی بور $1s^2 2p^6$ (تاگز جنگ بور) $2s^2 2p^6$ ، الکترونها به تدریج در سطح اوربیتال $2p$ قرار می گیرند.

الگوی تناوب دوم در تناوب سوم سکونتگار می شود. دو عنصر «بلوک ۳» عبارتند از: سدیم $1s^2 2s^2 2p^1$ (۱۸)، ۲۷ و منزیم $1s^2 2s^2 2p^6$ (۱۸)، ۳۷. شش عنصر «بلوک ۴» از الکلینیم $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ (۱۸)، ۴۷ و آرگون $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ (۱۸)، ۴۸ ادامه می پاید.

در بحث مربوط به پیکربندی یقینه الکترون ها، فقط به اوربیتال های بیرونی اشاره می شود. نخستین همپوشانی اتریز اوربیتال در تناوب $(Z=1)$ مشاهده می شود که اولین عنصر تناوب چهارم است. پیکربندی الکترونی پیتاسیم، علی رغم خالی بودن اوربیتال های $3d$ ، به صورت $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$... است. همینطور کلسیم $(Z=2)$ دارای پیکربندی کلسیم $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1$... است. توجه کنید که پیتاسیم و کلسیم، از «بلوک ۴» هستند.

در عنصر بعدی معنی اسکاندینیم $(Z=21)$ ، لایه فرعی $3d^1$ وارد میدان می شود (۲۷)، $3d^1 4s^1$...). در عنصر بعد از اسکاندینیم تا روی، لایه فرعی $3d^1$ به تدریج پر می شود. پیکربندی الکترونی روی $(Z=30)$ به صورت $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1 4s^1$... است. عنصر $3d^1$ «بلوک ۴» را عنصر واسطه نیز می نامند. گفته می شود که این عنصر $3d$ در «رسانازی» از خود تنشانی دهنده، زیرا خارین الکترون در لایه $(Z=2)$ قبل از بیرونی ترین لایه $= 4$ (۲۷) قرار می گیرد. عنصر شماره ۲۱ $3s^2 3p^6 3d^1 4s^1$ که به خاراوهای B در جدول تناوبی مورده استفاده دارند، اولین دسته عنصر واسطه را تشکیل می دهد. پرشدن لایه $4f$ ، از عنصر $3f^1$ معنی گالیم $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1 4s^1$... شروع می شود. تناوب چهارم، به کربیتون $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1 4s^1$ (۲۷) ختم می شود. تناوب پنجم، از رویدیم $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1 4s^1$ (۲۷) و استرانسیم



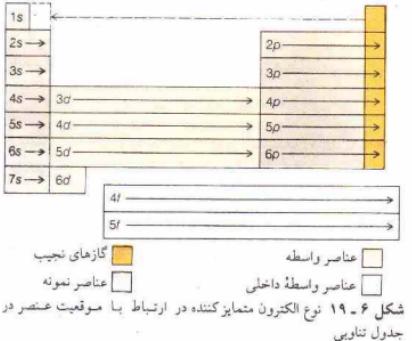
شکل ۱۸-۶ ترتیب پر کردن اوربیتال های اتمی به روش آفبا

به کم اتریز ترین اوربیتال در دسترس افزوده می شود. تمام اوربیتال های یک لایه فرعی همان اتریز هستند. مثلاً اتریز هر یک اوربیتال های $3s$ با اتریز دو اوربیتال دیگر $3p$ یکسان است. اوربیتال های پیچگانه d نیز دارای اتریز پیکسان هستند. اما اوربیتال های متعلق به لایه های فرعی متغیر از اتریز مقاومت دارند. برای یک n

مشخص ترتیب افزایش اتریز اوربیتال ها به صورت $f < d < p < s$ و است. در لایه $n=3$ اوربیتال $3s$ دارای کمترین اتریز، اوربیتال $3d$ دارای پیشترین اتریز، و اتریز اوربیتال $3p$ در بین این دو مقدار قرار دارد.

ترتیب استانداردی برای اتریز وجود ندارد که در مردم تمام عنصر صادق باشد. در فرایند فرضی آنها، با افزوند پروتون و نوترون به هسته اتم و قراردادن الکترون های بیشتر در پیرامون آن، حوصلت اتم تغییر می کند. خوشبختانه ترتیب اتریز اوربیتال از عنصری به هضم دیگر، به آهستگی و به طور منظم تغییر می کند. در نتیجه ترتیب آنها نشان داده شده در شکل ۱۸-۶ را می توان به دست آورد.

آن ترتیب، فقط به موقعیت اوربیتال مربوط است که در فرایند آفبا، الکترون متمایز کننده را در خود جای می دهد. پیکربندی الکترون را از



شکل ۱۹-۶ نوع الکترون متمایز کننده در ارتباط با موقعیت عصر در جدول تناوبی

مثال ۶ - ۶
نمایش الکترونی پیکربندی الکترونی قلع ($Z = 50$) را بنویسید.

حل

راه خود را با استفاده از جدول تناوبی، با افودن عبارت‌های مربوط به الکترون افزوده شده، به عنوان تارساندن به $Z = 50$ (قلع) ادامه می‌دهیم.
روش کار را با استفاده از یک جدول تناوبی برسی کنید:

(ما را به He می‌رساند)	تناوب اول: $1s^2$
(ما را به Ne می‌رساند)	تناوب دوم: $2s^2 \ 2p^6$
(ما را به Ar می‌رساند)	تناوب سوم: $3s^2 \ 3p^6$
(ما را به Kr می‌رساند)	تناوب چهارم: $4s^2 \ 3d^{10} \ 4p^6$
(ما را به Sn می‌رساند)	تناوب پنجم: $5s^2 \ 4d^{10} \ 5p^6$

با تغییر دادن این ارایش عبارت به دست آمده، نمایش الکترونی با ترتیب اصلی به دست می‌آید:

$$1s^2 \ 2s^2 \ 2p^6 \ 3s^2 \ 3p^6 \ 3d^{10} \ 4s^2 \ 4p^6 \ 4d^{10} \ 5s^2 \ 5p^6$$

مثال ۷ - ۶
نمایش الکترونی پیکربندی الکترونی عنصر ثوریمیم ($Z = 60$ و Nd) را بنویسید.

حل

تناوب اول: $1s^2$
تناوب دوم: $2s^2 \ 2p^6$
تناوب سوم: $3s^2 \ 3p^6$
تناوب چهارم: $4s^2 \ 3d^{10} \ 4p^6$
تناوب پنجم: $5s^2 \ 4d^{10} \ 5p^6$
تناوب ششم: $6s^2 \ 4f^{14}$

باتغییرآرایش این عبارت‌ها، به نمایش الکترونی عنصر ثوریمیم رسیدم:

$$1s^2 \ 2s^2 \ 2p^6 \ 3s^2 \ 3p^6 \ 3d^{10} \ 4s^2 \ 4p^6 \ 4d^{10} \ 4f^{14} \ 5s^2 \ 5p^6 \ 6s^2$$

نمایش الکترونی لانتانم ($Z = 58$ و لانتانیدها) ($Z = 71$ تا 77) مشکلی دارد. نمایش $1s^2 \ 2s^2 \ 2p^6 \ 3s^2 \ 3p^6 \ 3d^{10} \ 4s^2 \ 4p^6 \ 4f^{14} \ 5s^2 \ 5p^6 \ 6s^2$... ختم می‌شود. ممکن است چنین تصور شود که نمایش الکترونی عنصر بعدی، بعنی Ce ($Z = 58$ ، به $6s^2 \ 4f^{14} \ 5p^6 \ 6d^1$) ... ختم خواهد شد. اما، الکترون متمایز پیکربندنده $5d^5$ اضافه شده، به La ، به لایه فرعی $4f^6$ می‌رود، درنتیجه نمایش الکترونی Ce به $6s^2 \ 4f^{14} \ 5p^6 \ 6d^5$... خاتمه می‌یابد. نمایش های الکترونی بعدی به (برای Pr ($Z = 59$)) $6s^2 \ 4f^{14} \ 5p^6 \ 6d^5$... خاتمه می‌یابد. (برای Nd ($Z = 60$)) $6s^2 \ 4f^{14} \ 5p^6 \ 6d^5$...، و غیره ختم می‌شوند.

علی‌رغم خالی بودن اوریتال‌های $4f^4$ ، آغاز می‌شود. توجه کنید که این دو عنصر به «بلوک ۴» تعلق دارند. سری واسطه دیگری با اضافه شدن الکترون‌ها به لایه فرعی $4d^5$ آغاز می‌شود. اینتریم ($Z = 39$ $4s^2 \ 4p^6 \ 4d^1$ $5s^2$) سرديسته این عناصر و کادمیم ($Z = 48$ $4s^2 \ 4p^6 \ 4d^10$) آخرین عضو آنهاست. تناوب پنهانم با سری مشکل از ایندیم تا گزون که در آنها لایه فرعی $5p^6$ پرمی شود، به پایان می‌رسد. گزون ($Z = 54$)، دارای پیکربندی $5p^6 \ 6s^2$... است. در پایان این تناوب، لایه فرعی $4f^6$ هنوز خالی است.

تناوب ششم از نظر ترتیب اوریتال‌ها، پیچیده‌تر است. دو عنصر اول، عنصر سیزمیم ($Z = 6$) $1s^2 \ 2p^6$ و ساریم ($Z = 55$ $4s^2 \ 4p^6 \ 5d^1$) اینجا با اولین پیچیدگی روش آلبیا خود را پرمی کنند. در $4f^7$ و $4g^8$ از نظر ترازی همان به تکلیف زیریکاند الکترون بعدی (برای لانتانم $Z = 57$)، این عنصر واسطه به شمار می‌رود، اما الکترون بعدی (برای سریم) ($Z = 58$) در لایه فرعی $4f^7$ جای می‌گیرد. پیکربندی الکترونی لانتانم یک قرار می‌گیرد، پیکربندی پرمی (برای سریم) ($Z = 59$) در لایه فرعی $4f^7 \ 5p^6$ گردید. پیکربندی الکترونی لانتانم تا 70 (تریتیم) $4f^{14} \ 5p^6 \ 5d^1$... است. در عنصر 58 (سریم) تا 71 (پیکربندی)، الکترون‌ها در لایه فرعی $4f^7$ قرار می‌گیرند.

این عناصر، به عناصر واسطه داخلی مشهورند. در این عناصر، الکترون به سومین لایه فرعی ($4f$) نسبت به بیرونی ترین لایه ($5d$) افزوده می‌شود. پس از پرش داشتن لایه فرعی $4f$ ، الکترون بعدی در لایه فرعی $5d$ قرار می‌گیرد. درنتیجه، پیکربندی لوتسیم ($Z = 71$) $6s^2 \ 4f^{14} \ 5p^6 \ 5d^1$...، عنصر 60 $6s^2 \ 4f^{14} \ 5p^6 \ 5d^1$...، سومین سری عنصر واسطه به پایان می‌رسد، تناوب ششم، با پرش داشتن تراز فرعی $6p$ در عناصر 81 تا 86 خاتمه می‌یابد.

تناوب هفتم کامل نیست و بسیاری از عناصر ساخته شده بوسیله واکنش‌های هسته‌ای که در طبیعت موجود نیستند، را دربر می‌گیرد. به طور کلی در این تناوب از شیوه تناوب ششم پیروری می‌شود. در 87 و 88 ، الکترون‌ها در لایه فرعی $7s$ قرار می‌گیرند، و الکترون افزوده‌دانده برای هفتم $8s^2$...، هشتم $8s^2 \ 6d^1$...، غناصر 9 تا 10 شامل هشتمه دوم عنصر واسطه داخلی هستند و در آنها از فرعی $5f^5$ پر می‌شود و بالاخره در عنصر واسطه $10e^-$ ، $11e^-$ و $12e^-$ ، الکترون‌ها به لایه فرعی $6d$ افزوده می‌شوند. پیکربندی الکترونی برخی از اتم‌های تناوب هفتم با پیکربندی پیش‌بینی شده براساس روش آلبیا تفاوت دارد (جدول ۶-۶).

برای تعیین پیکربندی الکترونی هر عنصر، از هیدروژن آغاز می‌کنیم، و براساس جدول تناوبی الکترون‌های اضافه شده را در اوریتال‌ها قرار می‌دهیم تا به عنصر مرور نظر برسیم. این روش با مثال‌های زیر نمایش داده شده است.

۶-۸- لایه های پر و نیمه پر

در جدول ۶-۶ پیکربندی الکترونی صحیح عناصر نشان داده شده است. برای پیشتر عناصر آرایش پیش بینی شده با روش آقیا، با بررسی های ط芬ی و مفاظتی مطابق شده است. اما آرایش الکترونی برخی از عناصر با الگوی استاندارد تفاوت دارد. در موارد معینی می توان این تفاوت ها را بر مبنای پایداری یک لایه فرعی پر یا نیمه پر تبیین کرد.

آرایش پیش بینی شده برای لایه های فرعی ۲d و ۴f در اتم کروم (Z = ۲۴) به صورت $^{2d^4\ 4f^8}$ است، در حالی که پیکربندی به دست آمده با روش تجزیه $^{2d^5\ 4f^1}$ می باشد. اختصاراً پایداری حاصل از قرار گرفتن چفت نشده در هر یک از پنج اوریتال (۳d) یک لایه فرعی نیمه پر (دلیلی برای آرایش مشاهده شده $^{3d^5\ 4f^1}$ می تواند باشد. وجود یک لایه فرعی نیمه پر می تواند تبیین کننده این واقعیت تجربی باشد که آرایش نایمه پر $^{2d^5\ 4f^5}$ مولیبدن (Z = ۴۲) که با کروم در یک گروه فهرار دارد، به جای آنکه $^{2d^4\ 4f^5}$ (معنی آرایش پیش بینی شده) باشد، به صورت $^{2d^5\ 4f^1}$ است.

پایداری یک لایه فرعی نیمه پر 2f در پیکربندی الکترونی گادولینیم (Z = ۶۴) نیز مشاهده می شود. پیکربندی پیش بینی شده با روش آقیا برای عناصر واسطه داخلی به صورت $^{6d^5\ 7f^2}$... ختم می شود. ولی ساختار پذیرفته شده گادولینیم به صورت $^{6d^5\ 5f^1}$... می شود. آرایش الکترونی پیش بینی شده در دو لایه فرعی آخر مس $^{3d^1\ 4f^1}$ (Z = ۲۹)، $^{3d^1\ 4f^3}$ (Z = ۳۰)، $^{3d^1\ 4f^5}$ (Z = ۳۱) در است که شامل یک لایه فرعی نیمه پر 4f و یک الکترون در ۴d است. آرایش این تفاوت با توجه به پایداری پیکربندی شده در $^{3d^1\ 4f^1}$ می باشد. تبیین این تفاوت به دلیل ساختار تجربی $^{3d^1\ 4f^1}$ در آرایش پیش بینی شده امکان پذیر است. تغیر $^{3d^1\ 4f^1}$ در الکترون پر شدن لایه فرعی $^{3d^1}$ در آرایش پذیر است. در اینجا آرایش $^{Z=79}$ که به مس در یک گروه قرار دارد، به دلیل اینکه آرایش پیش بینی شده $^{4f^1}$ (Z = ۴۰)، دارای پیکربندی الکترونی با لایه فرعی پر شده 2f هستند، در مورد پالادیم (Z = ۴۶) دو الکترون در انحراف درگیرند - تنها مرکزی که در آن بایز از یک الکترون منحروف شده است. آرایش پیش بینی شده برای دو لایه فرعی پالادیم به صورت $^{5d^5\ 6f^1}$ است، حال آنکه آرایش مشاهده شده به صورت $^{4d^5\ 5f^1}$ می باشد.

لایه های فرعی پر شده و نیمه پر در مواردی که از ترتیب آقیا نیز پیروی می شود، به پایداری آتمها کمک می کنند در بخش های ۷-۲ و ۷-۳ مثال های پیشتری آمده است. اما، پایداری گازهای نجیب مهم ترین مثال است. پایداری این عناصر و پایان بودن فعالیت شیمیایی آنها بازتاب پایداری فوق العاده آرایش الکترونی آنهاست.

انواع دیگر انحراف و بیوه در میان عناصری با عدد اتمی بالا نیز مشاهده شده است. به طور کلی شیمی عناصری برای هدف هایی که ماده ای کتاب دنبال می کنم مهم نیستند. به طور اکثراً شیمی عناصری برای آرایش الکترونی پیش بینی شده با روش آقیا به طور دضایت بخشی قابل تبیین است.

۶-۹- الایع عناصر

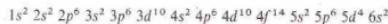
عناصر را می توان بر پایه آرایش الکترونی آنها طبقه بندی کرد:

مثال الکترونی پیکربندی الکترونی تنگستن (W، Z = ۷۴) را بتوانید.

حل

تناوب اول:	$1s^2$
تناوب دوم:	$2s^2\ 2p^6$
تناوب سوم:	$3s^2\ 3p^6$
تناوب چهارم:	$4s^2\ 3d^1\ 4p^6$
تناوب پنجم:	$5s^2\ 3d^1\ 5p^6$
تناوب ششم:	$6s^2\ 4f^1\ 5d^5$

با تغییر آرایش عبارت های بالا به نمایش الکترونی تنگستن می رسیم:



ترتیب آقیا را نمی توان برای تغییر فرایند هایی که متفاصلن از دست دادن الکترون (بیونش) هستند به کار گرفت. پیکربندی آتم آمن، Fe، به صورت $^{4s^2\ 3p^6\ 3d^6\ 4f^2}$ است. بدین ترتیب، گرچه الکترون های $3d$ از آخرين الکترون های اضافه شده با روش آقیا هستند، بیونش منجر به از دست دادن الکترون های $4f$ می شود. آتم Fe هستند، در اینجا $4f$ و $2d$ الکترون است. بیونش $2d$ از دارای $2d^5$ در هسته و $2f^2$ الکترون است. ترتیب ارزی اوریتالها در اتم و در بیونش متفاوت است. به طور کلی اولین الکترون های از دست رفته در بیونش، الکترون های دارای بالاترین مقادیر f و d هستند. بدین ترتیب نمایش الکترونی را باید بر مبنای آغاز ارایش مقدار n ، و نه به ترتیب فرضی پیشنهاد اوریتالها نوشت.

گاهی اوقات نمایش الکترونی را به صورت خلاصه شده ای می نویسند که در آن تمام یک گاز تعجب در داخل گوش، برای نمایش پیکربندی الکترونی مغزه درونی به کار می رود. بدین ترتیب برای نمایش پیکربندی آتم به صورت $^{2s^2\ 2p^5\ 3d^4\ 4f^5\ 5s^1}$ نمایش داده می شود. در اینجا، تمام [Kr] پیکربندی الکترونی Kr است که

الکترون را به حساب می آورد:



با به صورت $[He]$ نمایش داده می شودند.

۱۶- Mg به صورت $[Ne]$ نمایش داده می شودند.

۱۷- Fe به صورت $[Ar]$ نمایش داده می شودند.

۱۸- ۲۵- ۲۶- ۲۷-

۳ - عناصر واسطه. این عناصر در خانواده‌های B جدول تناوبی مشاهده می‌شوند. او بیکی های این عناصر، درون سازی آنهاست، یعنی الکترون های منحصراً کنته است برای اپلی اصل آفیا، یک الکترون d درونی است. الکترون های موجود در d لایه بیرونی در واکنش های شیمیایی شرکت می‌کنند. تمام این عناصر فاز مستند و اغلب آنها پارامغناطیس اند و ترکیبات پارامغناطیس دندیداً رنگین تولید می‌کنند.

۴ - عناصر واسطه داخلی. این عناصر در بایان جدول تناوبی قرار دارند، ولی در واقع باید در دنباله گروه IIIIB از این عناصر، فیزیکی و شیمیایی این عناصر بسیار متفاوت است. برخی از این عناصر، پارامغناطیس و برخی دیامغناطیس اند. ولی ترکیبات حاصل از این عناصر به طور کلی دیامغناطیس و بی رنگ هستند. تمام این عناصر در لاتانتم قرار دارند، به سری الاتاندها شناورند و نظری این سری در تناوب هستم به سری آکتینیدها وغیره. کترون های منحصراً کنته از خارجین الکترون اضافه شده به مرد (که از این عناصر)، یک الکترون d است که به لایه ای افزوده می شود که سومین لایه از آخره بسامار می رو. در نتیجه سه لایه آخر این عناصر ممکن است در واکنش های شیمیایی آنها طرفکت کنند. تمام عناصر واسطه داخلی قلزنده. این عناصر به طور کلی پارامغناطیس اند و ترکیبات آنها نیز پارامغناطیس و به شدت رنگین هستند.

۱ - گازهای نجیب. در جدول تناوبی، گازهای تجیب در پایان هر تناوب در گروه ۰ (صفه) قرار دارند. این عناصر گازهای یک اتمی بی رنگ هستند که از لحاظ شیمیایی و مغناطیسی خشنی به شمار می روند. به استثنای هلیم (که آرایش ۱۶ دارد)، تمام گازهای نجیب دارای آرایش بسیار پایدار np^6 هستند.

۲ - عناصر نموفه. این عناصر در خانواده های A در جدول تناوبی مورد استفاده ما قرار دارند و شامل فلزها و نافلزها هستند. خواص فیزیکی و شیمیایی این عناصر بسیار متفاوت است. برخی از این عناصر، پارامغناطیس و برخی دیامغناطیس اند. ولی ترکیبات حاصل از این عناصر به طور کلی دیامغناطیس و بی رنگ هستند. تمام این عناصر کترونی ائمه، کامل با پایدار $ns^2 np^6$ است به استثنای لایه بیرونی که می توان کترون های آن را به عنوان کترون های اضافه شده در نظر گرفت. این لایه بیرونی به لایه ظرفیتی مشهور است: الکترون های موجود در آن، الکترون های ظرفیتی اند. تمام الکترون های ظرفیتی هر اتم برابر با شماره گروه آن است. شیمی این عناصر به تعداد الکترون های ظرفیتی بستگی دارد.

چکیده مطالب

نمایش ائمه الکترون های مغناطیسی، دارای بیکی موجی اند که بر مبنای طول موج (A) و فرکانس (F) قابل توصیف اند و در افق با سرعت یکسان (سرعت نور، c) سری می کنند. بنابراین این سری کمیت وابیت $E = h\nu$ برقرار است. تابش الکترون های مغناطیسی درای خصالت دوگانه ΔE و موج است. می توان جذب و شناسایی را به سورت کواتوم های (موسوم به فوتون) در نظر گرفت که بر حسب انرژی توپیفیمی شوند. انرژی یک کواتوم، E با فرکانس تابش مناسب است: $E = hv$. که در آن ν تابث پلاک است.

نور و سیله کارا با پیغام مواد شیمیایی گرم شده در یک قوس الکتریک منتشر می شوند. نگامگانی که بروتی از این نور از یک منشور پلکاره یک طبق خطی به وجود می آید. چنین طبقی شامل تعداد محدود خطهای رنگین است که هر کدام به طول مقادیر از نور مربوط اند. هر عنصری درای خطهای طیفی ویژه خود است.

نظیر روش برهه در دوره ساختار الکترونی اتم هیدروژن از مطالعه طیف خطی آن عنصر روش گرفت. براساس نظریه برهه، انرژی الکترون اتم هیدروژن کوتاید است و الکترون موقت می توان در مدارها (اوپریتی) از الایمه از انرژی کوتاید در پیرامون ستاره قرار گیرد. برگشت الکترون یک اتم را از مداری با انرژی بالاتر در مداری با انرژی پایین رفته، با تابش انرژی همراه است. انرژی فوتون منتشر شده (که عامل یک خط از طبق خلی است) برابر با تابش انرژی بین دو مدار می باشد. همان طور که نور درای خصالت دوگانه ΔE و موج است الکترون نیز طیبیت دوگانه ای دارد. طول موج آن (A) از رابطه دوپروری به دست می آید: $A = h/mv$. که در آن ν تابث پلاک و اندازه سرعت الکترون (جرم ضرب در سرعت) است.

اصل عدم قطعیت هایزینگ می گوید که تعیین همزمان مکان دقیق و اندازه حرکت دقیق جسمی به کوچکی الکترون غیر ممکن است. بدین این اصل هر کوشش برای کشش روش بوهی می باشد. به جای آن، ماده ای که ماده ای که برای توپیفیکنیدی الکترونی بر مبنای حصلت موجی الکترون به کار می رو. برای این این الکترون رفته از مدار این ایمنی از کار گرفت، این امواج به حالت های مشخص انرژی (اوپریتال) مربوط اند که نواسی دارای احتمال بالا برای پیدا کردن الکترونها هستند. هر الکترون را چهار عدد

کواتوم منحصر می شود.

- عدد کواتوم اتمی اصلی، n ، لایه با ترازی را مشخص می کند که اختلال پیدا شده الکترون در آن را رو. مقدار n عدد صحیح و مثبت است: $1, 2, 3, \dots$
- عدد کواتوم فرعی، m ، مشخص کننده لایهای فرعی و شکل اوریتال مربوط به الکترون است. در یک لایه معین (که با n مشخص می شود)، l می تواند مقادیر صحیح سری $(l = 0, 1, 2, 3, \dots)$ را از این پایانهای فرعی داشته باشد.
- عدد کواتوم مغناطیسی اوریتال، m_l ، چوت گزی اوریتال در لایه فرعی را مشخص می کند. برای مقادیر شخصی از m_l می تواند تمام مقادیر صحیح از $-l$ تا $+l$ (از جمله صفر) را دارا باشد. تعداد مقادیر m_l برای هر مدار $m_l = l + 1$ ، \dots را بر ترتیب پایانهای فرعی از $l = 0$ تا $= l$ به کار گیرد.
- عدد کواتوم مغناطیسی اوریتال، m_s ، به اینین نسبی الکترون ($\frac{1}{2}$) با اشاره دارد. اوریتال این اسپین دارای اسپین های مخالف (جفت شده) بر می شود.

اصل عدد کواتوم اتمی که برای دو الکترون موجود در یک اتم تابش هر چهار عدد کواتوم را می کنند. ایزیش کواتوم اتمی را می توان با روش اینجا به دست آورده که در آن الکترون را برای اینزی اوریتال های اضافه می شوند تا آرایش مورد نظر به دست آید. توزیع الکترون های در میان اوریتال های یک لایه فرعی از قاعده هوند پیری می کند که هم گوید الکترون های بونهای توزیع می شوند که پیشتر تعداد الکترون های جفت شده باشند یعنی موزایی و وجود آید. مادوی که دارای الکترون های جفت شده باشد، پارامغناطیس نامیده می شوند (به درون میدان مغناطیسی کشیده می شوند). مادوی که تمام الکترون های آنها جفت شده باشد دیامغناطیس اند (از میدان مغناطیسی فرق نمی شوند).

موزایی، با مطالعه اینجا می شود. عناصر توانست اعیت عدد این را نشان دهد. هر چهار گروهی جفت تواری برای کارهای موزایی استوار است. جدول تناوبی را می توان برای بدست آوردن آرایش الکترونی عناصر استوار است که آن هم به زیر آرایش جدول توابی بر خواص شیمیایی عناصر استوار است که آن هم به ساختار الکترونی آنها بستگی دارد.

مفاهیم کلیدی

Rossh آلبایشن ۶-۷، روشن برای بدست آوردن آرایش الکترونی اتم ها که در آن الکترونها به صورت پر در بین اضطراف می شوند (بر مبنای انرژی اوریتال) تا اینطور مورد نظر به دست آید.
Diamagnetic substance جسم دیامغناطیس (بخش ۶-۶). جسمی که به درون میدان مغناطیسی کشیده شود. چنین اجسامی دارای الکترون های جفت شده هستند.

Photon فوتون (بخش ۶-۱). یک کواتوم از انرژی تابشی.
Principal quantum number عدد کواتومی اصلی (n) عدد کواتومی مشخص کننده لایه انرژی الکترون که عدد به آن مربوط است. مقادیر n، اعداد صحیح می باشند. ۱، ۲، ۳... هستند.

Quantum کواتوم (بخش ۱-۵). مقدار مشخص و کوچکی از انرژی تابشی. بر این شانس تابشی پرانک، این روش تابشی به صورت از این طریق که این روش تابشی، E، با فرکانس تابش، ν، متناسب است. $E = h\nu$ (دیگر $E = \frac{hc}{\lambda}$).

Representative element عناصر تمثیل (بخش ۹-۶). عنصری که به یکی از گروه های در جدول تابعی موره استفاده می در این کتاب مدل داشته باشد. در این مثال اخیرین اگرچه الکترون اضافه شده به این بر اساس روش آفیا یک الکترون دیگر ماست که در بیرون ترین لایه قرار می گیرد.

Spectrum طیف (بخش ۶-۲) الگویی از نور که بر پراکنده ساختن پرتوی از نور طول موج یا مخفت ای دست آید. پرتو سیاهی به دلیل داشتن تمام طول موج ها، یک طیف پویه به دست می دهد. آنرا منیر شده به دست خواهد داد که فقط یک جسم که در حالت پرانکننده باشد طیف خطی به دست خواهد داد که فقط شامل طول موج های معین است.

Speed of light, c سرعت نور (بخش ۶-۶). سرعت پیر تمام امواج تابشی از یک فرعی (بخش ۶-۵). سرعت از یک لایه الکترونی که با مقدار معین از مشخص می شود. یک لایه الکترونی ممکن است دایری یکی باشد لایه فرعی باشد و یک لایه فرعی می تواند یک چند اوریتال داشته باشد. نمایهای d, f, g... به ترتیب برای تابشی لایه های فرعی (برای رسانیدن کار را درون).

Subshell عدد کواتومی فرعی (بخش ۶-۵). سرعت از یک لایه الکترونی که با مقدار معین از مشخص می شود. که بیانگر نیازی این الکترونی ممکن است دایری باشد. درین مثال این عناصر اوریتال های این لایه های فرعی و شکل اوریتال های مربوط به الکترونی است که عدد به آن متعلق دارد. در یک لایه فرعی می تواند چند اوریتال داشته باشد. از این نظر مقدار صحیحی از رسانیدن مشخص شده با (۱)، (۲)، (۳)... به دست آید.

Transition element عناصر انتقالی (بخش ۶-۶). عناصر الکترونی مشارک یکنندگان بر اساس اصل آنها، یک الکترون n است و به لایه $n+1$ می پردازند. درین مقدار می شود.

Uncertainty principle اصل عدم تعیین (حزم ضرب در سرعت، mv) یک الکترون دقیق و انسازه حرکت دقیق (حزم ضرب در سرعت، mv) غیرممکن است.

Valence electrons که در لایه خارجی در حالت پایه یک اتم از عناصر نمونه قرار دارند.

Wave function, ψ تابع موجی (بخش ۶-۶). جواب مادله موجی شرودینگر، مربع تابع موجی، ψ^2 ، در هر نقطه متناسب با چگالی بار الکترون با استعمال پیدا کردن الکترون در آن نقطه است.

Wavelength, λ طول موج (بخش ۶-۱). فاصله بین دو نقطه مشابه بر روی دو موج پس در بین از تابش الکترون مغناطیسی.

Rossh آلبایشن ۶-۷. روشن برای بدست آوردن آرایش الکترونی اتم ها که در آن الکترونها به صورت پر در بین اضطراف می شوند (بر مبنای انرژی اوریتال) تا اینطور مورد نظر به دست آید.

Diamagnetic substance به وسیله میدان مغناطیسی دفع شود. در این اجامام تمام الکترون ها جفت شدند.

Electromagnetic radiation اتری تابشی که با سرعت مشخص (سرعت سیر نور، c) حرکت می کند و بر پایه موج یا کواتوم قابل تفسیر است.

Electronic configuration آرایش الکترون (بخش ۶-۶). نموده ای از ترتیب این الکترونها در یک اتم؛ با تعداد اوریتال های یا نمایش الکترونی قابل توصیف است (جدول ۶-۳ را ببینید).

Energy shell, energy level Energie ای اوریتال، تراز انرژی (بخش ۶-۶). و ۵-۵. گروهی از اوریتال های اتم که دارای عدد کواتومی اصلی (n) پیکان پایند.

Excited state حالت پرالگیخته (بخش ۶-۶). حالاتی از یک عنصر که در آن پیکنیدی الکترونی اتم اوریتالی پیشتری نسبت به حالت پایه به آن می بخشد.

Exclusion principle of Pauli اصل طرد پاولی (بخش ۶-۵). دو الکترون موجود در یک اتم تنی توانند چهار عدد کواتومی پیکان داشته باشند.

Fermi-Kaas فرمی کاس (بخش ۶-۱). تعداد موج های تابش الکترون مغناطیسی که طی یک تابه از یک نقطه می گذرد.

Ground state برای یک اتم که در آن تمام الکترون های اتم مکری فناضل ممکن را دارند.

Hund's rule قاعده هوند (بخش ۶-۶). در حالت پایه یک اتم، الکترون های بگونه ای در میان اوریتال های یک لایه فرعی توزیع شده اند که بینشون تعداد الکترون های جفت شده با اسپین های موزایی به دست آید.

Inner - transition element عنصر واسطه داخلی (بخش ۶-۷). عناصر لاتاندی و آکنیندی موجود در قسمت پایین جدول تابعی، در نهایت این عناصر الکترون مشارک یکنندگان (آخرین الکترون اضافه شده به این اتم) بروش آفیا یک الکترون n است که به لایه سوم از اخیرین لایه اضافه می شود.

Magnetic orbital quantum number, m_o عدد کواتومی مغناطیسی اوریتال (بخش ۶-۵). یک عدد کواتومی که بیانگر جهت گیری اوریتال مربوط به الکترون است که عدد به آن مربوط می شود. برای مقدار مشخصی از m_o ، می تواند مقادیر صحیح از $+1$ تا -1 (از جمله صفر) را دارا باشد. تعداد مقادیر m_o برای هر مقدار از اوریتال به تعداد اوریتال های این لایه فرعی است.

Magnetic spin quantum number, m_s عدد کواتومی مغناطیسی اسپین (بخش ۶-۶). یک عدد کواتومی که بیانگر اسپین سریع می شود. برای اوریتال که عدد به آن مربوط می شود، اوریتال می تواند دو الکترون دارای اسپین مخالف ($\frac{1}{2}$ و $-\frac{1}{2}$) در خود جای دهد.

Orbit مدار (بخش ۶-۶). در نظریه پوهر حالت مجاز یک الکترون با مقدار مشخصی به تام n بیان می شود.
Orbital اوریتال (بخش ۶-۴). حالت انرژی یک الکترون که با سه عدد

مساند

تابش الكترومغناطيسى

- ۱۲-۶ سهاره آکتروس ۳۶ سال نوری از زمین فاصله دارد. یک سال طول مسافتی است که نور در یک سال طی می‌کند. آکتروس چند کیلومتر از زمین فاصله دارد.

۱۳-۶ ۱۳ در یک سیگال نور قرمز با انرژی $1 \times 10^{-16} \text{ eV}$ و طول موج ۷۵۰ nm چند فوتون وجود دارد.

۱۴-۶ ۱۴ در یک سیگال نور بخش با انرژی $1 \times 10^{-16} \text{ eV}$ و طول موج ۴۰۰ nm چند فوتون وجود دارد؟

طیفه‌های انتی

۱۵-۶ براساس نظریه برهو مثناً نور منتشر شده از یک ماده در طیفنماپیشست؟

۱۶-۶ مقامیان زیر را به مقامیان کنید: (الف) طیف خطی، (ب) پیوسته، (ج) حالت اپیک، (د) ماتن پرایگنخ: (آ) سری های بالمر خطوط طنبی، (ب) سری های لسان خطوط طنبی، (ج) انرژی الکترون در لایه β ، (د) انرژی الکترون در لایه γ .

۱۷-۶ طول موج (برحسب ناتوانی) خط طنبی مربوط به انتقال الکترون از لایه β به لایه γ در اتم هیدروژن چقدر است.

۱۸-۶ طول موج (برحسب ناتوانی) خط طنبی مربوط به انتقال الکترون از لایه β به لایه γ در اتم هیدروژن چقدر است؟

۱۹-۶ سطح بالاتر به لایه β = $2 \times 10^{-16} \text{ eV}$ مربوط می شود. نوع انتقال الکترونی مربوط به خط طنبی nm چیست؟

۲۰-۶ سطح خطوط طنبی هیدروژن در ناحیه مرئی به انتقال الکترونها از سطح بالاتر به لایه β = $2 \times 10^{-16} \text{ eV}$ مربوط می شود. نوع انتقال الکترونی مربوط به خط طنبی nm چیست؟

۲۱-۶ سری های پیوستن خطوط طنبی هیدروژن در طول موج های 275 nm و 495 nm مشاهده می شود. انتقال الکترونی مربوط به این سری ها کدام است؟

۲۲-۶ سری های پراکت خطوط طنبی هیدروژن در طول موج های 458 nm و 511 nm مشاهده می شوند. انتقال الکترونی مربوط به این سری ها کدام است؟

۲۳-۶ $2.375 \times 10^{-16} \text{ eV}$ مقدار متابل و موزن هر یک در زمان خود معتقد بودند که چند عنصر وجود دارد که هر کدام کشش شده است. هر یک از این دو پیش بینی خود را بر جه اساس اعلام کردند.

۲۴-۶ موزن چه تغییری در قانون تابوی متابلیق به وجود آورد؟

۲۵-۶ موزن شان داده که فرکانس، ۵ کخط مشخص از طبق پرتو X یک عضز از طبق فرمول $A = \frac{c}{\lambda}$ که در آن $c = 3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$ و $\lambda = 5 \text{ nm}$ است، به عدد انتی Z ، عضز مربوط می شود. عدد انتی عنصری که خط متابل و موزن به پرتو X آن در اکتا طول موج 8.8 nm ظاهر می شود چند است؟ این عضز چیست؟

۲۶-۶ موزن شان داده که فرکانس، ۵ کخط مشخص از طبق پرتو X یک عضز از طبق فرمول $A = \frac{c}{\lambda}$ که در آن $c = 3 \times 10^{10} \text{ cm/s}$ و $\lambda = 5 \text{ nm}$ است، به عدد انتی Z ، عضز مربوط می شود. عدد انتی عنصری که خط متابل و موزن به پرتو X آن در اکتا طول موج 15 nm ظاهر می شود چند است؟ این عضز چیست؟

۱-۶ انرژی کامپیک از شتابه های زیر بیشتر است؟ (الف) پرتو مازاری پیش می مکروزو (ب) نور زرد با نور آبی (ج) موج رادیوی یا میکروزو?

۲-۶ مساحت زیرآباهمه مقایسه (الف) طول موج فرکانس نور (ب) طول موج، ماده (ج) کوتannon نور، فوتون نور (د) سرعت نور، فرکانس نور

۳-۶ فرکانس و انرژی هر کوتannon (بر حسب ν) (عمر) (ب) پرتو میکروزو با طول موج $2.5 \times 10^{-16} \text{ m}$

۴-۶ فرکانس و انرژی هر فوتون (بر حسب ν) (عمر) (ب) پرتوهای مازاری پیش می مکروزو با طول موج $5.85 \times 10^{-16} \text{ m}$

۵-۶ طول موج و انرژی هر کوتannon از پرتوهای زیر چقدر است؟ (بر حسب ν) (الف) نور زرد با طول موج $10 \times 10^{-16} \text{ m}$ (ب) نور پرتوهای فرکانس 10^4 Hz با طول موج 10^{-16} m (ج) نور کوتannon SI میان کنید که کوچکترین رقم آن بزرگتر از ۱ است.

۶-۶ طول موج و انرژی هر کوتannon از پرتوهای زیر (بر حسب ν) (الف) پرتوهای میمند (بر حسب ν) (ب) موج رادیویی با طول موج 10^4 m (ج) فوتون های را در دستگاه SI بین کنید که کوچکترین پرتوهای میمند باشند.

۷-۶ اثر فوتولکتریک شامل شرکترونها از سطح یک فلز در اثر تاشیش دهن آن فلز با نور است. برای خارج کردن یک الکترون از اتم فوتونی با انرژی مینمum $E_{min} = 1.5 \times 10^{-16} \text{ eV}$ لازم است. (الف) فرکانس و طول موج (بر حسب ν) (ب) آیا نور آبی با طول موج $4.5 \times 10^{-16} \text{ m}$ این کار را ناجم می مهدد؟

۸-۶ اثر فوتولکتریک شامل شرکترونها از سطح یک فلز در اثر تاشیش دهن آن فلز با نور است. برای خارج کردن یک الکترون از میمند فوتونی با انرژی مینمum $E_{min} = 1.5 \times 10^{-16} \text{ eV}$ لازم است. (الف) فرکانس و طول موج (بر حسب ν) (ب) آیا نور آبی با طول موج $4.5 \times 10^{-16} \text{ m}$ این کار را ناجم می مهدد؟

۹-۶ اثر فوتولکتریک شامل شرکترونها از سطح یک فلز در اثر تاشیش دهن آن فلز با نور است. برای خارج کردن یک الکترون از میمند فوتونی با انرژی مینمum $E_{min} = 1.5 \times 10^{-16} \text{ eV}$ لازم است. (الف) فرکانس و طول موج (بر حسب ν) (ب) آیا نور آبی با طول موج $4.5 \times 10^{-16} \text{ m}$ این کار را ناجم می مهدد؟

۱۰-۶ اثر فوتولکتریک شامل شرکترونها از سطح یک فلز در اثر تاشیش دهن آن فلز با نور است. برای خارج کردن یک الکترون از میمند فوتونی با انرژی مینمum $E_{min} = 1.5 \times 10^{-16} \text{ eV}$ لازم است. (الف) فرکانس و طول موج (بر حسب ν) (ب) آیا نور آبی با طول موج $4.5 \times 10^{-16} \text{ m}$ این کار را ناجم می مهدد؟

۱۱-۶ نسبت فوتونی با طول موج $2 \times 10^{-16} \text{ m}$ بر کار رود، انرژی جیشی (بر حسب ν) (الف) الکترون خارج شده چند است؟

۱۲-۶ اثر فوتولکتریک شامل شرکترونها از سطح یک فلز در اثر تاشیش دهن آن فلز با نور است. در اثر تاشیش دهن فلز با فوتونی هایی به طول موج 528 nm که مکترن از میمند فوتونی از 590 nm است. (الف) فرکانس و طول موج (بر حسب ν) (ب) آیا فوتونی با کار رفته بیشتر از حد مورد نیاز باشد، انرژی اضافی به سرعت انرژی جیشی (انرژی حرارتی) به شرکترونها می شود. اگر فوتونی با طول موج 200 nm به کار رود، انرژی جیشی (بر حسب ν) (الف) الکترون خارج شده چند است؟

۱۳-۶ اثر فوتولکتریک شامل شرکترونها از سطح یک فلز در اثر تاشیش دهن آن فلز با نور است. در اثر تاشیش دهن فلز با فوتونی هایی به طول موج 727 nm یا مکترن، یک الکترون از سطح خارج می شود. (الف) کمترین مقدار انرژی لازم بر حسب ν برای خارج کردن شرکترونها از سطح یک فلز در اثر تاشیش دهن آن فلز با نور است. اگر فوتونی با کار رفته بیشتر از این حد مورد نیاز باشد، این روزت از فوتونی جیشی (انرژی حرارتی) به شرکترونها می شود. اگر فوتونی با طول موج 16 nm به کار رود، انرژی جیشی (بر حسب ν) (الف) الکترون خارج شده چند است؟

۱۴-۶ نسبت فوتونی با طول موج 10^{-16} m بر کار رود، انرژی جیشی (بر حسب ν) (الف) الکترون خارج شده چند است. مدت ثانیه طول موج کش تا بنیام به زمین بررسد. یک مایل ایام.

رنگ این نور چیست؟

۶ - ۵۹ - ۶

نرگی مورد استفاده در کرم‌های شد آفتاب، پارا-آمینو بنزویلک

اسید (نام PABA) پرتو موادی را بشش را جذب کرده و ماکریسم جذب آن در

۶ - ۶۰ - ۶

نانونتر صورت می‌گیرد. فرکانس مربوط به این جذب و انرژی هر کواتروم

(بر حسب ژول) چقدر است؟

۶ - ۶۱ - ۶

سرعت کالولهای 320 m/s تعیین شده است. (الف) اگر یک مرد

۶ - ۶۲ - ۶

پورندی پتواند با سرعت این کالوله حرکت کند طول موج (بر حسب مترا)

مربوط به او چقدر می‌شود؟ (ب) اگر او می‌توانست سریع تر از این کالوله حرکت

کند آنرا طول موج مربوط به او از مقدار محاسبه شده در قسمت اول این پرسش

بلندتر با کوتاه‌تر می‌شود؟ یک پورند برابر $8 \times 10^{-15} \text{ m}$ است.

۶ - ۶۳ - ۶

شطر هسته‌ای اکسیژن تقریباً $1 \times 10^{-15} \text{ m}$ است. جرم پروتون

۶ - ۶۴ - ۶

موجود در این هسته‌ها $kg = 7 \times 10^{-27}$ است. اگر عدد قطبیت مکان این پروتون

برابر قطر خود هسته‌ها باشد، عدم قطبیت سرعت این پروتون چقدر است؟

۶ - ۶۵ - ۶

وزنی دویافت که فرکانس، $7 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ، یک خط مشخص از طبق پرتو X

یک منظر از طریق فرمول $a = \sqrt{k}/\lambda$ به داده اند، Z ، مربوط می‌شود که

در آن a تقریباً برابر با $1 \times 10^{-15} \text{ m}$ و λ تقریباً برابر 1 Å است. عدد اند

عنصری که خط مربوط به طبق پرتو X آن در طول 18 nm ظاهر می‌شود
چقدر است؟ این عنصر چیست؟

۶ - ۶۶ - ۶

آرایش‌های الکترونی که در جدول ۵-۶ آمده است را بررسی کنید.

فهرستی از عناصر شنی تاب و اول را به دست آورید که آرایش آنها با آرایش پیش‌بینی شده بر مبنای قاعده افقی تفاوت دارد. در کدام موارد می‌توان انحراف از قاعده افقی را به وجود لایه فرعی نسبت داد؟ در کدام موارد به وجود لایه فرعی پردازی شود؟

۶ - ۶۷ - ۶

عناصر موجود در یک شنی و یک گلوره را در موارد زیر با هم مقایسه کنید: (الف) آرایش الکترونی؛ (ب) خواص شیمیایی.

۶ - ۶۸ - ۶

برای آرایش الکترونی حالت پایه عناصر زیرلایه‌ها را سنجیده:

(الف) Ar; (ب) Br; (ج) Cl; (د) Cd; (ه) Rb; (ز) Ca; (ب) Rb; (ب) Rb.

۶ - ۶۹ - ۶

نذردار ازرسی الام رای مذاکردن سنترین الکترون از یک اتم مجزا در حالت پایه، اولین ازرسی بیوش عنصر در آن شناسی شود.

(الف) فرکانس خط طیعی هیدروژن مربوط به انتقال الکترون از $n = \infty$ به $n = 1$

را محاسبه کنید. (ب) ازرسی این انتقال را (بر حسب ژول) محاسبه کنید.

(ج) اولین ازرسی بیوش هیدروژن بر حسب کلوژول بر مول چقدر است؟



خواص اتم و پیوند یونی

آن اتم به اتم های مختلف اندکی تغییر کند. اما این تغییرات معمولاً کمتر از چند پیکومتر مستند. در نتیجه اطلاعات به دست آمده با این روش را برای مقایسه می توان به کار گرفت.

در شکل ۷ - شعاع اتمی بر حسب عدد اتمی رسم شده است. مقادیر مربوط به گازهای نجیب در دست نیست. در این نمودار دو روند قابل ذکر مستند:

۱ - شعاع اتمی عناصری که در یک گروه از جدول تناوبی قرار دارند، از بالا به پایین افزایش می باید. مقادیر مربوط به عناصر گروه IA (يعنی Li ، Na ، K ، Rb ، Cs و Fr) و عناصر گروه VIIA (يعنی F ، Cl ، Br ، I و At) در شکل ۷ متناسب شده اند. افزایش شعاع اتمی در هر گروه اشکار است. وقتی از یک اتم به اتمی که افزایش اندماز اتم در پین دارد.

دیگر برای اتم اضافه که شود اندماز اتم نیز افزایش می باید. افزایش بار هسته پایعث کاهش اندماز اتم می شود. اما بر هسته به وسیله الکترونها بین هسته و الکترون های لایه بیرونی پوشیده شده است. تعداد الکترون های پوشانده هسته از یک اتم به اتم دیگر گردد؛ همراه با افزایش بار هسته، تغییر می کند. در نتیجه بار مؤثر هسته ای که یک الکترون لایه بیرونی تجویره می کند، بار کل هسته نیست. به این ترتیب اندماز اتم، عمدتاً با مقدار عدد کاتوهومی اصلی، n ، الکترون های بیرونی تعیین می شود.

۲ - شعاع اتمی عناصر نمونه در یک تناوب، از جب به راست کن که می شود. در شکل ۷ - ۱ به بخشی از نمودار توجه کنید که به عناصر تناوب دوم (از Ta تا F) مربوط است. هنگامی که از یک اتم به اتم بعدی می رویم، یک الکترون به همان لایه ای که قبلاً الکترون گرفته بود (يعنی $= 2$ = افزوده) می شود و یک پرتوون نیز به هسته اضافه می شود. افزایش بار هسته با افزایش پوشش الکترونی همراه نیست. پوشش یک الکترون برای الکترون های موجود در لایه پایین تر، چندان مؤثر نیست. در نتیجه بار مؤثر هسته ای تجویره شده به وسیله الکترونی در لایه $2 + n$ در طول تناوب افزایش پیدا می کند زیرا این الکترون ها به وسیله هسته جاذب می شوند و اندماز اتم کاهش می باید.

۱. طول پیوند کورالانسی ساده به کار گرفته می شوند. بخش ۸ - ۱ بیبیلد.
۲. در گذشته اعداد اتمی بر حسب انگشتی شرم بین شد ($\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$) در دستگاه بین المللی (SI) این اعداد بر حسب تابع من $n = 10^{-10}\text{m}$ (pm) = 10^{-10}m (pm) = 10^{-10}m (pm) بین می کنند. به این ترتیب فاصله پیوند $\text{Cl} - \text{Cl}$ به صورت زیر است:

$$10^{-10}\text{m} = 10^{-10}\text{m} = 10^{-10}\text{m} = 10^{-10}\text{m} = 10^{-10}\text{m}$$

پیوندهای شیمیایی که از متصل شدن اتم ها به یکدیگر تشکیل می شوند، نتیجه تغییر در توزیع الکترون هستند. سه نوع پیوند شیمیایی اصلی وجود دارد:

۱ - پیوند یونی (فصل ۷) از انتقال الکترون از یک نوع اتم به نوع دیگر تشکیل می شود. اتم مربوط به یکی از عناصر واکنش دهنده، با از دست دادن الکترون به صورت یون مثبت در می آید. اتم مربوط به عنصر دیگر، با گرفتن الکترون به یون منفی تبدیل می شود. جاذبه الکترواستاتیکی (مثبت - منفی) بین یون های دارای بار مخالف، آنها را در یک ساختار بلوری نگه می دارد.

۲ - پیوند کوروالانسی (فصل های ۸ و ۹) الکترونها متصل نمی شوند، بلکه به اشتراک گذاشته می شوند. یک پیوند کوروالانسی ساده مرکب است از یک چفت الکترون مشترک در بین دو اتم است. مولکول از اتم هایی تشکیل شده که بیکدیگر پیوند کوروالانسی دارند.

۳ - پیوند فلزی (فصل ۲۵) در فلزات و آلیاژها وجود دارد. در این مورد اتم های فلز در یک ساختار سه بعدی قرار می گیرند الکترون های لایه بیرونی این اتم ها، آزادانه در تمام ساختار حرکت می کنند و عامل پستگی اتم ها هستند.

موضوع این تصل پیوند یونی است. بخش اول به بررسی چند خاصیت اتمی که برای مطالعه پیوندهای شیمیایی اهمیت دارند، اختصاص یافته است.

۱-۲ اندازه اتمها

چگونگی و اکتشاف یک اتم به عوامل گوناگونی بستگی دارد. بار هسته ای و از الکترونی از مهم ترین عوامل به شمار می روند. اندازه موثر اتم نیز اهمیت دارد. اما تعیین اندازه اتم کار آسانی نیست. نظریه موجی پیش بینی می کنده که بعد از تاچه ای با بگالی بالا این الکترونی که یک اتم به دریج رفتق می شود در بین تهاجم به پایان می رسد. ما نمی توانیم یک اتم واحد را جدا کرده و اندازه گیری کنیم. اما اندازه گیری فاصله بین هسته ای دو اتم متصل به هم، به چند روش امکان پذیر است. شعاع اتمی را از طول پیوند می توان به دست آورد. مثلاً طول پیوند $\text{Cl} - \text{Cl}$ در مولکول Cl_2 برابر با 198 pm است. نصف این مقدار، 99 pm را بارهای شعاع اتمی کل فرض می شود. از مسوی دیگر با کم کردن شعاع اتمی کلار $\text{Cl} - \text{Cl}$ از طول پیوند $\text{C} - \text{Cl}$ (176 pm) می توان شعاع اتمی C ، یعنی 77 pm را به دست آورد. اندازه مؤثر یک اتم ممکن است از پیوندی به پیوند دیگر، هنگام متصل شدن

- ۱- اگر سیستمی انرژی جذب کند، علامت مقدار ΔH آن مثبت خواهد بود. چنین فرایندی را **گرمایش** نامند.
 - ۲- اگر سیستمی انرژی آزاد کند، علامت مقدار ΔH آن منفی خواهد بود. چنین فرایندی را **کولهایز** نامند.

تعیین مقدار انرژی پونش، مستلزم به کارگیری انرژی برای خنثی کردن انرژی جاذبه هسته و جدا کردن الکترون است. چون فرایند پوش منضمین جذب انرژی است، پس علامت انرژی پونش همواره مثبت است. مثلاً آتریوم به شرنک اول سدهم مدرن به صورت زیان داد:



از پیونش برای هر یک از کترون‌ها بر حسب کترون و لت (eV/atom) یا بر حسب کیلوژول بر مول (kJ/mol) برای یک مول کترون پیونش می‌شود.^۳ از پیونش بین شده بر حسب kJ/mol به از پیونش برای کنندن ۱ مول کترون (10×10^{22} اتم) است. در شکل ۳، نمودار از پیونش بر حسب عدد اتمی تغییرات داده شده است.

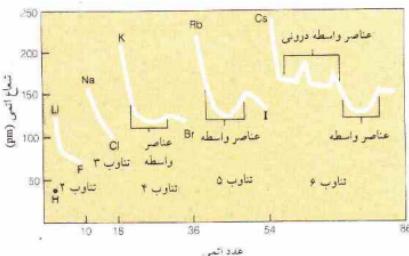
د اتمی تماش داده شده است.
رد:

۱- به طور کلی انرژی بیوش در یک تناوب از چپ به راست افزایش می‌باشد. به پیش‌هایی از منحنی که به عنصر تناوب دوم (از نا تا Ne)، عنصر تناوب سوم (از Na تا Ar ، و غیره مربوطاند، توجه کنید. با کوچکتر شدن اتمها و افزایش بار مؤثر هسته، انرژی بیوش افزایش می‌باشد و جداگانه الکترون پیش از حد دارد مردم شد.

۲- به طور کلی اثری پوش در یک گروه از عناصر نمونه از بالا به پایین کاهش می‌باشد. عناصر گروه IA (Rb, K, Na, Li) و عناصر گروه، صفر (He) و عناصر (Rn) در شکل ۷-۳ مخصوص شده‌اند. وقتی در یک گروه از بالا به پایین از اتمی به اتم دیگر می‌دریم بار هسته‌ای افزایش می‌باشد، اما این اینجا با افزایش تعداد الکترون‌های پوششی در لایه‌های دورتری عدمتازی اذفاف می‌شود. در نتیجه اتم بزرگتر می‌شود و الکترون از لایه‌های بالاتر و بالاتری جدا می‌گردد. جذاشدن الکترون آسان تر می‌شود و اثری پوش کاهش می‌باشد.

افزایش انرژی یوشن عناصر واسطه در یک تناوب، به اندازه عناصر مونome نیست. انرژی یوشن عناصر واسطه داخلی تقریباً ثابت است. درین سری‌ها آخرین الکترون اضافه شده با اتم به لایه‌های درونی می‌رود.

فریبیس تعداد هزارهای گوپوشی پیکار اثر مشاهده شده است.
امن فلزات، میل به از دست کوترون در واکنش های شیمیایی و
شکل یون مثبت دارند. انم نافلزات نسبتی بین رفتار مستند و نافلزات نیز
فلزات منحصری با ارتو یونشن بالا به شمار می وند. انسزی یونشن اغلب
منحصری با ارتو یونشن بالا به شمار می وند.



عنصر واسطه و عناصر واسطة داخلی، تفاوت هایی با این الگوی کلی نشان می دهد. در عنصر واسطه کلکترون های مستقر یزدکنده اوریتال های داخلی H_1 را پر می کنند. اثر این راه استه بر الکترون های بیرونی که تعیین کننده اندازه اتم است، به عمل پوشش الکترون های داخلی کم می شود. به این ترتیب در یک سری واسطه، انبساط تدریجی الکترونها در اوریتال های داخلی H_1 ، ابتدا سبب کندشدن کاهش شعاع اتمی می شود، اما در اوخر سری، هنگامی که لایه های فرمی H_n تقریباً پر شده اند، باعث افزایش شعاع اتمی می گردند.

روند کلی تغیر شعاع اتمی در شکل ۷-۲ خلاصه شده است. اتمهای فلزات پرگرتر از اتمهای نافلزات‌اند. شعاع اتمی اغلب فلزات پرگرتر از 120 pm است. شعاع اتمی اغلب نافلزات کوچک‌تر از 120 pm می‌باشد.

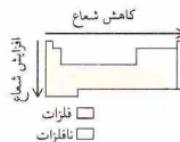
۲-۷ افزایی پونش

بروزی لازم برای جدا کردن سست ترین الکترون متصل به یک اتم منفرد در حالت پایه آن را بروزی پونش اول^۱ نامند.

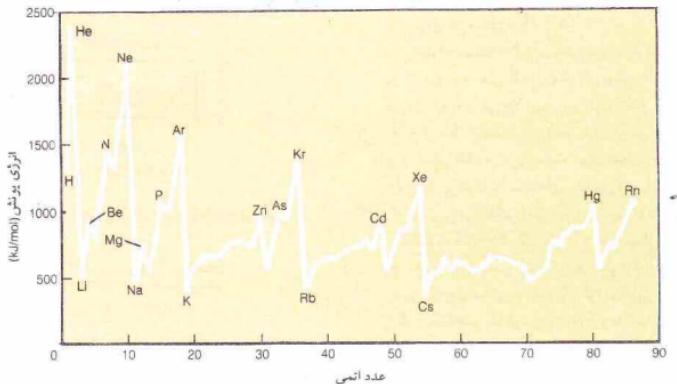


نماد $A(g)$ ، بیانگر اتم گازی هر عنصر است.

در اینجا باید قراردادهای مربوط به علامتگذاری مقادیر انرژی (بخش ۵-۴) را مورد توجه قرار دهم:



نکل ۷ - ۲ روند عمومی تغییر شعاع اتمی در ارتباط با طبقه‌بندی تناوبی



شکل ۷ - ۳ اولین انرژی یونش عناصر بر حسب عدد اتمی

جدول ۷ - ۱ انرژی یونش فلزات تناوب سوم

فلز						
انرژی یونش						
کل/mol	چهارم	سوم	دوم	اول	گروه	
+۵۵۴۱		+۶۹۱۳	+۴۵۶۳	+۴۹۶	I A	Na
+۵۰۴۵		+۷۳۲۱	+۴۴۵۰	+۷۳۸	II A	Mg
+۱۱۵۷۵		+۲۷۴۴	+۱۸۱۶	+۵۷۷	III A	Al

انرژی‌های یونش بالاتر از سومین انرژی برای تمام عناصر بسیار بالاست، بونهای دارای بار بزرگ‌تر از $3+$ ، به ندرت در شرایط معمولی به وجود می‌آیند.

انرژی یونش سه عنصر اول در تناوب سوم جدول تناوبی، بر حسب کیلوژول در جدول ۷ - ۱ نمایش داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت، انرژی یونش هر عنصر از اولین به بهارمین یونش، افزایش می‌یابد. اما در هر مورد پس از حذف تمام الکترون‌های طرفیتی، جهشی در انرژی لازم صورت می‌گیرد. این نقطه در جدول نشان داده شده‌اند؛ تعداد الکترون‌های طرفیتی برابر با شماره گروه است. پس از جدالندن الکترون‌های طرفیتی، برای جدا کردن الکترون بعدی باید به سراغ آزادی سیار پایدار گاز نجیب، یعنی 2^{∞} برویم که در زیر لایه طرفیتی قرار دارد.

روندهای مربوط به اولین انرژی یونش در شکل ۷ - ۴ آمده است. توجه کنید که واکنش پدیرترین فلزها در گوشه پایین سمت چپ جدول تناوبی قرار دارند. واکنش پدیری بر مبنای جدا کردن الکترون، با حرکت از این گوشۀ جدول به سمت بالا به سمت راست، کاهش می‌یابد.

۷ - ۳ الکترون خواری

تغییر انرژی مربوط به این واکنش یک الکترون به یک اتم گازی در

فلزات کمتر از 1000 kJ/mol و انسوئی یونش نافلزات بالاتر از 1000 kJ/mol است.

برخی از ویژگی‌های متحقق شکل ۷ - ۳ به آزادی الکترونی اتمها مربوط می‌شود. به نقاط مربوط به عناصر زیر توجه کنید:

۱ - گازهای نجیب (He)، Kr ، Ar ، Ne ، Xe ، Rn ، و Rb) همه دارای آزادی الکترونی n^p در لایه خارجی‌اند (یعنی همکم که آزادی 1^{∞} دارد).

۲ - عناصر Be ، Mg ، Zn ، Cd ، Cs ، Hg هر یک دارای یک لایه فرعی پرشدۀ در بیرونی ترین لایه‌اند (n^2).

۳ - عناصر N ، P ، و As ، هر یک دارای یک لایه فرعی n^p به در بیرونی ترین لایه‌اند (n^3).

انرژی یونش هر یک از این عناصر (به ویژه گازهای نجیب) بالاتر از انرژی یونش عنصر بعد از آنها در جدول تناوبی است. در ترتیب این سه آزادی الکترونی را می‌توان سه‌تاً پایدار به حساب آور، زیرا جدا کردن الکترون از آنها دشوار است. در هر مورد، کندن الکترون از اتم مربوط به عنصر بعدی آسان‌تر است.

تا اینجا فقط اثواب اولین انرژی یونش اشاره کردی‌ایم. دو مین انرژی یونش یک عنصر به جدا شدن یک الکترون از یون 1^+ آن عنصر مربوط است:



مثلاً دو مین انرژی یونش سدیم را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:



سومین انرژی یونش، به حلف یک الکترون از ۲⁺ اشاره دارد. جدا کردن الکترون که دارای بار منفی است، از یک یون دارای بار مثبت، افزایش بار یون بیش از حد مشکل می‌شود. در ترتیب افزایش

انرژی یونش به صورت: اولین $>$ دومین $>$ سومین و غیره است. چون

باید انرژی صرف شود

به موارد استثنای در این تعمیم نیز باید اشاره شود. برای مثال در تناوب دوم مقدار الکترون خواهی بریلیم (ایه فرعی ۲۰ پر شده)، نیتروژن (ایه فرعی ۷۰ نیمه پر) و نتون (نمایم لایه های فرعی پر شده)، خارج از خط هستند. این عناصر دارای آرایش الکترونی نسبتاً پايداراند و به آسانی الکترون نمی پذيرند. برای عناصر مربوطه در تناوب های دیگر نيز می توان به استثناهای مشابهی رسید. در تناوب، اتمی که پيشترین میل الکترون گیری (بزرگترین مقدار منفی) را داشته باشد، به گروه VIIA (Cl, F, Cl, B, I, At) تعلق دارد. آرایش الکترونی هر يك از اين عناصر، يك الکترون كمتر از آرياش گاز تنجيب دارد. روند تغیير الکترون خواهی عناصر يك گروه تابعی به چه صورت است؟ الگوی مشخصی که در مورد تمام گروه ها صادق باشد، وجود ندارد. در مورد عناصر گروه VIIA (الکترون خواهی VIIA) خارج از خط است (جدول ۷ - ۲ و پيشيند). فلوئور - كوچكترین اتم گروه - بـر مبنـی اندـازه اتمـي يـاد هـڪـامـ اـنمـيـشـ يـكـ الـکـتروـنـ، بـيشـترـينـ مـقـدرـ انـرـژـيـ رـاـ زـادـهـ آـمـاـ درـ مـوـردـ يـكـ اـتمـ كـوـچـكـ، الـکـتروـنـ اـفـرـودـ شـدـهـ تـهـ مـقـطـعـ يـهـ وـسـیـلـهـ هـستـهـ جـذـبـ مـنـفـیـ شـودـ، بلـکـهـ بـهـ وـسـیـلـهـ الـکـتروـنـهـاـيـ موجودـ درـ اـتـمـ نـیـزـ يـهـ شـدـتـ دـفعـ مـنـفـیـ گـرـدـ، يـكـ الـکـتروـنـهـاـيـ طـفـیـلـ درـ يـكـ الـایـهـ کـوـچـكـ، مـشـرـکـتـ اـزـ مـوقـعـ استـ کـهـ هـسـانـ تـعـدـاـتـ الـکـتروـنـ درـ لـایـهـ بـزرـگـ تـرـ قـرـارـ گـرفـتـ باـشـدـ. درـ مـوـردـ فـلوـئـورـ، بـهـ ظـرـفـ مـرـسـدـ کـهـ جـاذـبـ نـیـوـمـنـ دـاشـتـ اـنـوـنـشـ اـنـوـنـشـ کـوـچـكـبـودـ اـنـداـزـهـ اـتـمـ، بـرـ اـینـ دـافـعـهـ قـوـیـ خـالـبـ شـدـهـ استـ.

دو مین الکترون خواهی نیز در پرخی موارد تعیین شده است. این مقادیر به فرایند های اشاره دارند که در آنها يك الکترون به يك بون متفاوت اضافه می شود. برای مثال،



چون يك بون متفاوت و يك الکترون هم دیگر را دفع می کنند، این فرایند به انرژی سیاز دارد (انرژی آزاد نمی کند). تمام **مقادیر دو مین الکترون خواهی**، دارای **علامت مثبت** هستند.

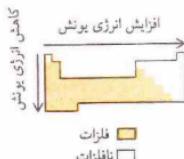
در محاسبات مربوط به تولید يك بون دارای چند بار متفاوت باید تمام الکترون خواهی های مربوطه را در نظر گرفت. اثر کلی مربوط به این بون ها، همیشه گرمگایگر است. مثلاً در تشکیل بون O^{2-} از اتم O، انرژی آزاد شده در او لین الکترون خواهی،



کمتر از انرژی مورد نیاز در دو مین الکترون خواهی است.

1. First electron affinity

۱. در پرخی دویل الکترون خواهی به صورت انرژی آزاد شده به وسیله اين فرایند تعریف شده است. در این متابع به مقادیر الکترون خواهی مربوط به فرایند های که در آنها الکترون آزاد می شود، علامت مثبت داده شده است. این روال غلامگذاری حکس روز این تابع است. علامت مثبت برای تابع آزاد شدن انرژی و علامت مثبت برای تابع آزاد جاذب انرژی به کار رفته است.



شکل ۷ - ۴ روند تغییر انرژی بونش در ارتباط با طبقه بندی تابعی

حالات پایه آن اولین الکترون خواهی می تماند:



توجه کنید که الکترون خواهی به فرایند اشاره دارد که در آن يك بون متفاوت از يك اتم خشند (در اثر گرفتن الکترون) به وجود می آيد. آرسوی دیگر انرژی بونش مربوط به فرایند است که در آن يك بون مثبت از يك اتم خشند (در اثر حذف الکترون) تولید می شود.

در جدول ۷ - ۲، الکترون خواهی پرخی از عناصر تماشی داده شده است. این فرایند اغلب (با این نهایت) با آزاد شدن الکترون همراه است. در نتیجه پیشتر ارقام مربوط به اولین الکترون خواهی دارای علامت مثبت هستند. مثلاً اولین الکترون خواهی فلوئور $\Delta H_{1st\ elec\ af} = -328 \text{ kJ/mol}$ است:



پرخی از مقادیر همراه است شده در جدول ۷ - ۲، مثبت آن. برای مثال،



علامت مثبت الکترون خواهی نشان می دهد که پذیرش الکترون اضافی به وسیله اتم سود نظر، با انجام کار (جذب انرژی) همراه است. نزدیک شدن الکترون به يك اتم خشند با جذب ان الکترون به وسیله هسته و دفع آن به وسیله الکترون های آن اتم همراه است. اگر جاذبه پیشتر از دافعه باشد تشکیل بون متفاوت با آزاد شدن انرژی همراه خواهد بود. در صورتی که دافعه بزرگتر از جاذبه باشد، برای تشکیل بون متفاوت

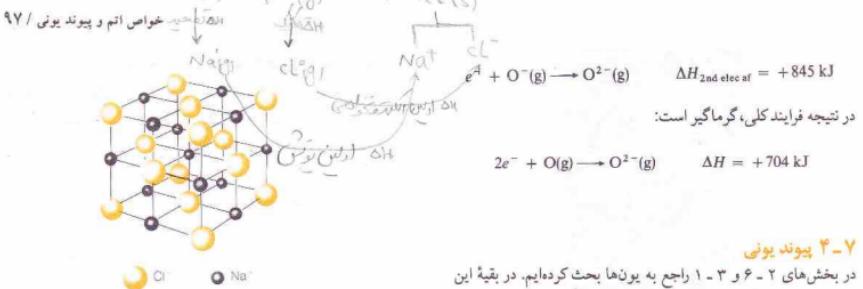
جدول ۷ - ۲ الکترون خواهی (kJ/mol)

الف. افزایش يك الکترون		ب. افزایش دو الکترون	
H	-73	He	(+21)
Li	-50 (+240)	Be	-328 (+28)
Na	-53 (+290)	C	-122 -27
K	-48 (+196)	N	0 0
Rb	-47 (+168)	O	-141 -141
Ca	-46 (+92)	F	-328 -328
		Ne	(+21)
B	-27	C	-122
Al	-43	Si	0
Ga	-29	P	-200
In	-29	As	-349
Tl	-29	Se	-397
Pb	-35	Br	-325
Bi	-91	Xe	(+39)
Po	-183	I	(+41)
At	-270	Rn	(+41)

ب: افزایش دو الکترون

0 S +332

* مقادیر داخل پرانتز با محاسبات نظری به دست آمده است. سایر مقادیر آزاده گیری های تجزیی آند.



شکل ۷ - ۶ ساختار پلوری سدیم کلرید

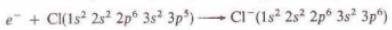
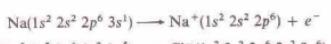
IA قرار دارد و اتم های آن دارای یک الکترون ظرفیتی هستند. کلر در گروه VIIA قرار دارد و اتم های آن دارای هفت الکترون ظرفیتی اند. اتم سدیم یک الکترون از دست دهد؛ اتم یک الکترون می گیرد:



یون سدیم حاصل دارای بار ۱+ است زیرا هسته سدیم دارای ۱۱ پروتون (بار ۱۱+)، در حالی که یون سدیم فقط ۱۰ الکترون دارد (یک الکترون از دست داده است). یون کلر حاصل نیز دارای بار ۱- است زیرا هسته کلر شامل ۱۷ پروتون (بار ۱۷+)، اما یون کلر دارای ۱۸ الکترون (یک الکترون گرفته است) می باشد.

در این واکنش، عدد الکترون های حذف شده از اتم سدیم باید برابر با عدد الکترون های گرفته شده، به وسیله اتم کلر باشد. در نتیجه تعداد یون های سدیم شکل شده برابر تعداد یون های کلر است و فرمول NaCl نسبت بین یون های موجود در این ترکیب (۱ به ۱) را بدست می دهد. این یون ها همگرای چذب گرد و بلور تشکیل می دهند (شکل ۷-۶). در بلور سدیم کلرید، هیچ کدام از یون ها منحصر به یون دیگری تعقل ندارند، بلکه هر یون سدیم به وسیله شش یون کلر و هر یون کلر به وسیله شش یون سدیم احاطه شده است. آرایش یون ها در اینجا نشان است که جاذبه بین یون های دارای مشابه غلبه می کند. جاذبه نهایی، عامل ثبات شکل پلوری است و پیوند یونی نام دارد.

آرایش الکترونی کامل اتم های یون ها در این واکنش به صورت زیر است،



آرایش الکترونی یون سدیم با شون یکسان است و یون کلرید نیز همان آرایش الکترونی آرگون را دارد. این یون ها به ترتیب با شون و آرگون هم الکترون (دارای آرایش الکترونی یکسان) هستند.

غلب عنصر نموده طی واکنش های شیمیایی الکترون از دست

۷-۲ پیوند یونی

در بخش های ۲-۶ و ۳-۱ راجع به یون ها بحث کردیم. در بقیه این فصل به گسترش آن بحث می پردازیم. در اینجا یادآوری مطالب زیر که قبل از بیان شده اند ضروری است:

۱- یون، ذره ای مشکل از یک اتم یا گروهی از اتم هاست که بار الکتریکی دارد.

الف- کاتیون، دارای بار مثبت است (زیرا یک یا چند الکترون از دست داده است).

ب- آئیون، بار منفی دارد (زیرا یک یا چند الکترون گرفته است).

۲- یون یک اتمی از یک اتم تشکیل شده است.

الف- اتم فلز کاتیون تولید می کند.

ب- اتم نافلز آئیون تولید می کند.

۳- یون چند اتمی، یک ذره باردار شامل بیش از یک اتم است. یون های چند اتمی ممکن است کاتیون (برای مثال NH_4^+) یا آئیون (MnO_4^- , OH^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) باشند.

۴- ترتیبات یونی مرکب از تعداد زیادی کاتیون و آئیون با آزادی هندسی نظم به صورت بلور است. عامل تکثیر از این ساختار پلوری جاذبه بین یون های مثبت و منفی است. فرمول یک ترکیب یوپلگر نسبت ساده یون های مثبت و منفی لازم برای تشکیل یک بلور خوش است (مثال ۳-۱ را ببینید).

ترکیبات حاصل از عناصر نمونه اغلب با استفاده از نماد عناصر مربوطه به اضافه نظمه هایی برای تماشی الکترون های ظرفیت مشخص می شوند (شکل ۷-۵ را ببینید). الکترون های لایه خارجی تنها الکترون های درگیر در واکنش های شیمیایی عناصر نمونه اند و برای هر عنصر نمونه از تعداد این الکترون ها ظرفیت برابر با شماره گروه است.

واکنش بین اتم سدیم و یک اتم کلر را در نظر بگیرید. سدیم درگروه

گروه	IA	IIA	IIIA	IVA	VIA	VIIA	O
اتم	Na^+	Mg^{2+}	Al^{3+}	Si^{4+}	S^{2-}	Cl^{-}	F^-
یون	Na^+	Mg^{2+}	Al^{3+}	Si^{4+}	S^{2-}	Cl^{-}	F^-

شکل ۷-۵ نماد عناصر و یون های عناصر تناوب سوم که تماشی مدهند. الکترون های ظرفیتی است.



بلورهای یونی سدیم کلرید (NaCl) که برابر بزرگ شده است.

یک اتم Al (آلیزی از گروه IIIA) یا از دستدادن سه الکترون آرایش گاز نجیب پیدا می‌کند. اکسید مربوط به آلموینیت شامل یون‌های Al^{3+} و O^{2-} است. برای مواده کردن با رای باری دو یون Al^{3+} (بار کل، +۳) و سه یون O^{2-} (بار کل، -۶) را در فرمول ترکیب Al_2O_3 (متور کرد).

۵-۲ انرژی شیک

تغییر آنتالپی مربوط به تراکم یون‌های گازی مثبت و منفی به صورت بلور را انرژی شیکه نامید. مثلاً انرژی شیکه بلوری سدیم کلرید، -788 kJ/mol است:

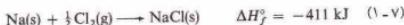


به علت انرژی زیاد بودن این فرایانده انرژی شیکه همواره علامت منفی دارد. انرژی شیکه (با تغییر علامت) را می‌توان به عنوان انرژی لام برای جدا ساختن یون‌های آن بلور نیز در نظر گرفت:



اهمیت انرژی شیکه را می‌توان با استفاده از روش تحلیلی که توسط ماکس بورن^۱ و فریتس هابر^۲، به طور مستقل از یکدیگر، در سال ۱۹۱۶ بیان شده بود، درک کرد. چرخه بورن - هابر^۳ برای تهیه سدیم کلرید را به عنوان ثالث می‌آوریم (شکل ۷-۵).

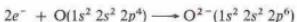
تحلیل بورن - هابر بر قانون هیش (بخش ۵-۵) استوار است که می‌گوید: تغییر آنتالپی هواکشن شیمیایی صرف نظر از یونکه و اکشن در یک مرحله صورت می‌گیرد یا در چند مرحله، مقدار ثابتی است. تغییر آنتالپی مربوط به تهیه یک مول $\text{NaCl}(\text{s})$ در یک مرحله از $\text{Na}(\text{s})$ و $\text{Cl}_2(\text{g})$ را آنتالپی تشکیل این ترکیب نامند (بخش ۵-۶):



1. Lattice energy
2. Max Born
3. Fritz Haber

من دهنده یا الکترون می‌گیرند تا یون‌های هم الکترون با یک گاز نجیب به وجود آورند. اغلب این یون‌های هم الکترون با گازهای نجیب در لایه خارجی خود Δ الکترون دارند (آرایش p^6)^۴. اما محدودی از آنها آرایش H^+ هیلم دارند (مانند Li^+ , Be^{2+} , H^- که به آرایش p^6 مشهور است. یون‌های نشان داده شده در شکل ۷-۵، یون‌های p^6 دارند. کاتیون‌ها (Al^{3+} , Mg^{2+} , Na^+) با نئون (گاز نجیب تابو قبلي) هم الکترون‌اند و آنسیون‌ها (S^{2-} , P^{3-} , Cl^{-}) با آرگون (گاز نجیب همان توابع) هم الکترون می‌باشند. توجه داشته باشید که تمام یون‌ها دارای آرایش الکترونی گاز نجیب‌اند.

یک اتم اکسیژن (نافلزی از گروه VIA) دارای 6 الکترون ظرفیتی است و با گرفتن دو الکترون، آرایش الکترون نئون (p^6) پیدا می‌کند.



در واکنش بین سدیم و اکسیژن، به از هر اتم اکسیژن، دو اتم سدیم لازم است، زیرا تعداد الکترون‌های از دست رفته باید با تعداد الکترون‌های گرفته شده برابر باشد:

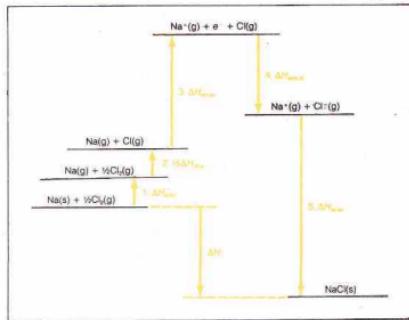


ساده‌ترین نسبت بین یون‌ها در محصول واکنش، یعنی سدیم اکسید، با فرمول ترکیب، یعنی Na_2O ، مشخص می‌شود.

فرمول یک ترکیب یونی را می‌توان از فرمول یون‌های آن به دست آورد. بر میثت کل کاتیون‌ها باید برابر با مرتفع کل آئیون‌ها باشد. یون Ca^{2+} حاصل از کلیسیم (فلزی از گروه IIIA) دارای بار $+2$ است:



فرمول ترکیب حاصل از یون‌های Ca^{2+} و Cl^{-} ، یعنی کلیسیم کلرید، به صورت CaCl_2 است که در آن برای هر یون کلیسیم، دو یون کلرید لازم است. کلیسیم اکسید مربک از یون‌های Ca^{2+} و O^{2-} است دارای فرمول CaO می‌باشد. این فرمول‌ها بیانگر ساده‌ترین نسبت بین یون‌ها هستند.



شکل ۷-۷ چرخه بورن - هابر برای $\text{NaCl}(\text{s})$

بیشتر انرژی آزاد شده به وسیله واکنش کلی به این مرحله مربوط است که فرایند به وسیله این مرحله از نظر انرژی مناسب می شود. با جمع معادله های گراماشیمیایی تشان داده شده در مرحل ۱ تا ۵ [معادله های (۷) - (۲) تا (۶) - (۷)، معادله آنتالپی تشکیل (s) NaCl(s) به دست می آید:



چرخه بالا را به صورت زیر می توان وارسی کرد:

$$\begin{aligned} \Delta H_f^\circ &= \Delta H_{\text{subl}} + \frac{1}{2} \Delta H_{\text{diss}} + \Delta H_{\text{ion en}} + \Delta H_{\text{elec af}} + \Delta H_{\text{lat en}} \\ &= +108 \text{ kJ} + 122 \text{ kJ} + 496 \text{ kJ} - 349 \text{ kJ} - 788 \text{ kJ} \\ &= -411 \text{ kJ} \end{aligned}$$

از چرخه های یون - هایرو برای تحلیل فرایندها و مطالعه اثر تغییرات بر یکی از مرحل استفاده می شود. این چرخه ها را برای محاسبه تغییر آنتالپی یکی از مرحلای اولک فرایند تیز می توان به کار برد.

مثال ۱ - ۷

انرژی شبکه (s) MgCl_v(s) را محاسبه کنید. آنتالپی تصحیب، اولین انرژی یونش و دومن انرژی یونش برای منزیم، به ترتیب +۱۵۰ kJ/mol +۱۵۰ kJ/mol +۳۷۸ kJ/mol +۴۵۰ kJ/mol +۴۵۰ kJ/mol +۲۴۹ kJ/mol +۲۴۹ kJ/mol است. آنتالپی تشکیل (s) Cl_v(g) تیز، به ترتیب -۶۴۲ kJ/mol -۶۴۲ kJ/mol است.

حل

معادلات گراماشیمیایی برای مرحل چرخه را باید جمع کرد تا معادله گراماشیمیایی آنتالپی تشکیل یک مول MgCl_v(s) به دست آید:



توجه داشته باشد که در این مورد یون مثبت دارای بار +۲ است و در توجه اولین و دومن انرژی یونش فلز را باید به کار گرفت. همچنین چون یک مول از MgCl_v از دو مول از اتم های Cl تشکیل شده است، باید آنرژی تسفیکی یک مول از مولکول های Cl_v و دو یون اکترون خواهی یک مول از اتم های Cl را در نظر گرفت. مرحل فرایند به قرار زیر است:

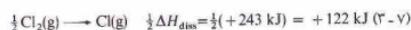
ΔH	معادله شیمیایی	مرحله
+۱۵۰ kJ	Mg(s) → Mg(g)	تصمید
+۷۷۸ kJ	Mg(g) → Mg ⁺ (g) + e ⁻	اوین انرژی یونش
+۱۴۵ kJ	Mg ⁺ (g) → Mg ⁺⁺ (g) + e ⁻	دومن انرژی یونش
+۲۴۳ kJ	Cl _v (g) → ۲Cl(g)	تسفیک
(-۲۴۹ kJ) = -۶۴۹ kJ	۲Cl(g) + ۲e ⁻ → ۲Cl ⁻ (g)	اوین اکترون خواهی ۲ مول از اتم های Cl
ΔH_{laten}	Mg ⁺⁺ (g) + ۲Cl ⁻ (g) → MgCl _v (s)	انرژی شبکه
+۱۸۸۳ + ΔH_{laten}	Mg(s) + Cl _v (g) → MgCl _v (s)	جمع کل

می توان تصور کرد که یک مول NaCl(s)، طی مراحلی، از Na(s) و Cl_v(g) به وجود آمده باشد. مجموع مقادیر ΔH براساس قانون هش، برای یا آنتالپی تشکیل (s) باشد که مقادیر ΔH سنتر یک مرحله ای است. فهرست این واکنش ها به قرار زیر است:

- فلز سدیم بلوری به صورت اتم های سدیم گازی در می آید؛ برای هر مول Na مقدار ۱۰۸ kJ جذب خواهد شد (آنتالپی تضعیف):



۲ - نصف مول از مولکول های گازکلر به یک مول اتم های کلر گازی تبدیل می شود؛ در این فرایند ۱۲۲ kJ جذب می شود. آنتالپی تسفیک (g) که انرژی پیوند Cl-Cl تیز نامیده می شود (بخش ۷.۵)، برایر با ۲۲۳ kJ + بر مول Cl_v است. چون تسفیک یک مول Cl_v دو مول از اتم های Cl به دست می دهد که فقط یک مول برای تولید یک مول NaCl لازم است، فقط نصف انرژی تسفیک لازم خواهد بود:



۳ - اتم های سدیم گازی به یون های سدیم گازی بوتینده می شوند. مقدار انرژی لازم برایر با اوین انرژی یونش سدیم است (بخش ۷ - ۷):



۴ - اتم های کلر گازی، با گرفتن اکترون به یون های کلر گازی تبدیل می شوند. تغییر آنتالپی برای یک مول Cl(g) برایر با اوین اکترون خواهی کلر است (بخش ۷ - ۳). طی این فرایند، انرژی آزاد می شود:



این مرحله، اولین مرحله ای است که طی آن انرژی آزاد می شود. آنرا آزاد شده در این مرحله برای تأمین انرژی جذب شده در مرحل قبلی کافی نیست.

۵ - در مرحله آخر یون های گازی به صورت یک مول سدیم کلرید بلوری متراکم می شوند. تغییر آنتالپی مربوط به این فرایند، با انرژی شبکه NaCl(s)، برایر با ۷۸۸ kJ/mol - می باشد که بین اگر انرژی آزاد شده است.



۱ - راستی، چرا Na دو الکترون از دست نمی‌دهد و به صورت در نمی‌آید لزوج برای این فرایند، مجموع اولین و دومین انرژی پونش سدم (جدول ۱ - ۷) است:

$$+496 \text{ kJ/mol} + 4563 \text{ kJ/mol} = +5059 \text{ kJ/mol}$$

انرژی شبکه برای $NaCl_{\text{g}}$ فرضی، بسیار کوچکتر از آن خواهد بود تالاری لازم برای این پونش را فراهم کند. انرژی شبکه $NaCl_{\text{g}}$ احتماً نزدیک به انرژی شبکه $MgCl_{\text{g}}$ (معنی -2525 kJ/mol) است (جدول ۱ - ۳). برای جدا کردن یک الکترون از آرایش گاز نجیب انرژی بسیار زیادی لازم است.

۲ - اگر نمی‌تواند برای تشکیل پون دو الکترون از دست بدهد، چیزگونه Na با از دست دادن دو الکترون به Mg^{+} تبدیل می‌شود؟ اتم Mg با از دست دادن دو الکترون، آرایش گاز نجیب پیدا می‌کند. مجموع اولین و دومین انرژی پونش Mg (جدول ۱ - ۱)، بسیار کمتر از این مجموع برای Na است:

$$+738 \text{ kJ/mol} + 1450 \text{ kJ/mol} = +2188 \text{ kJ/mol}$$

انرژی شبکه $NaCl_{\text{g}}$ ، $MgCl_{\text{g}}$ mol، -2525 kJ/mol (جدول ۱ - ۳)، پیش از انرژی لازم برای این پونش است.

۳ - با وجودی که انرژی لازم برای جدا کردن یک الکترون کمتر از انرژی لازم برای جدا کردن دو الکترون است، چرا Mg^{+} فقط شبکه نمی‌دهد. در این مورد، انرژی لازم برای تشکیل Mg^{+} فقط دیگر انرژی شبکه $MgCl_{\text{g}}$ فروض کنید. بزرگترین انرژی شبکه $NaCl$ (معنی -788 kJ/mol)، جدول ۱ - ۱ است. از سوی دیگر، انرژی شبکه $MgCl_{\text{g}}$ (معنی -2525 kJ/mol)، تبعیق بر این شبکه است. نتیجه بار مثبت بیشتر بر روی Mg^{+} ، تشکیل $MgCl_{\text{g}}$ را ارجح می‌کند.

به این ترتیب می‌توان علت تشکیل کاتیون با آرایش M^{+} (گاز نجیب) به وسیله فلزها را توضیح داد. در تشکیل پون هیچگاه بیشتر از سه الکترون رده و بدلن نمی‌شوند. مقادیر انرژی لازم برای جدا شدن یا گرفتن پیش از سه الکترون در دست نیست. تکیباتی قرار گرفتار TiCl_4 , SiO_4 , SF_6 , PCl_5 , SnBr_4 , O_2 پون نیستند.

تشکیل پون‌های منفی با آرایش الکترون گاز نجیب نیز از لحاظ انرژی ارجح است. تمام پون‌های منفی یک اتمی، پون‌های گاز نجیب اند. اتم ناقلات الکترون می‌گیرد تا به آرایش گاز نجیب برسد و رسیدن به این آرایش، به دلایل زیر مطلبون است:

- ۱ - بر اساس داده‌های مربوط به الکترون خواهی در جدول ۱ - ۷.
- ۲ - تشکیل O^{2-} با آزاد شدن انرژی 141 kJ/mol (-) همراه است و تشکیل

۱. تابع ترمودینامیکی صحیح برای وارسی خود به خود بودن و اکشن، تغییر انرژی ازاد گیبی، معنی ΔG° است نه تغییر انتالپی، ΔH° (یعنی ۱۹ - ۴ را ببینید).

مقدار کل ΔH باشد: در نتیجه،

$$+1883 \text{ kJ} + \Delta H_{\text{lat en}} = -642 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_{\text{lat en}} = -2525 \text{ kJ}$$

بروز شبکه $NaCl_{\text{g}}$ برابر با 2525 kJ/mol است.

تفاوت بین انرژی شبکه $NaCl_{\text{g}}$ (- 788 kJ/mol) و انرژی شبکه $MgCl_{\text{g}}$ (- -2525 kJ/mol)، عمدتاً از تفاوت در بار کاتیون‌های این دو ترکیب ناشی می‌شود. جاذبه بین یک پون Mg^{+} (بار $+2$) و یک پون Na^{+} (بار $+1$) و یک پون Cl^- است.

به طور کلی، بزرگی انرژی شبکه به دو عامل استگنجی دارد:

- ۱ - **بار یونی**: تشکیل بلورهای حاوی پون‌های با بار بزرگتر از $+1$.
- ۲ - انرژی پیشرفتی آزاد می‌کند تا تشکیل بلور حاوی پون‌های $+1$ و -1 . پون‌های اداری بار پیشرفت، با بزرگی پیشرفت پون‌های مختلف را جذب می‌کنند تا پون‌هایی که فقط بار $+1$ یا -1 دارند. مقادیر نشان داده شده در جدول ۱ - ۷ بیانگر این نکته است.

۲ - **اندازه پون‌ها**: هر چه دو بار مخالفتی پیشرفت به یکدیگر نزدیک شوند، تحریز گذاری فوی تری به وجود خواهد آمد. در نتیجه از تشکیل بلور به وسیله پون‌های کوچک انرژی پیشرفت آزاد می‌شود تا از پون‌های Na^+ بزرگ، در صورتی که بار پونی ترکیبات مشابه باشد. چون پون Na^+ (شعاع، 95 pm) کوچکتر از پون Cs^+ (شعاع، 169 pm) است، تفاوت بین انرژی شبکه $NaCl$ (- 788 kJ/mol) و انرژی شبکه Cs_2O (معنی -669 kJ/mol) تعجب‌آور نیست. انرژی شبکه Na_2O و $CsCl$ را که در جدول ۱ - ۳ آمده است، مقایسه کنید.

۶-۷ آنواع پون

نیروی حرکتی یک واکنش پونی، جاذبه الکترواستاتیکی بین پونهاست. این جاذبه، نتیجه از آزاد شدن انرژی شبکه است.

انرژی شبکه، عامل مهمی در تعیین مقدار بار اختیار شده به وسیله اتمها در تشکیل یک بلور پونی است.

جدول ۱ - ۷ - برخی مقادیر انرژی شبکه

نوع ترکیب	یون‌های تشکیل دهنده	مجموع شاعع پون شبکه (pm) ^{***}	انرژی
$NaCl$	Na^+ , Cl^-	$95 + 181 = 276$	-788
$CsCl$	Cs^+ , Cl^-	$169 + 181 = 350$	-669
Na_2O	Na^+ , O^{2-}	$95 + 140 = 235$	-257
Cs_2O	Cs^+ , O^{2-}	$169 + 140 = 309$	-249
$MgCl_{\text{g}}$	Mg^{+} , Cl^-	$65 + 181 = 246$	-2525
MgO	Mg^{+} , O^{2-}	$65 + 140 = 205$	-389

۱ - بار، به ترتیب، مربوط به کاتیون و آکشن است.
۲ - بر حسب شاعع کاتیون و میس شاعع آکشن داده شده است.

۳ - بر حسب شاعع کاتیون و میس شاعع آکشن داده شده است.

$$\text{Zn}(\dots 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2) \longrightarrow \text{Zn}^{2+}(\dots 3s^2 3p^6 3d^{10}) + 2e^-$$

رایش الکترونی یون Zn^{2+} آرایش پایداری است. تمام لایه‌های فرعی مربوط به لایه خارجی یون Zn^{2+} پر شده‌اند. سایر اتم‌ها یون‌هایی با مشابه با Zn^{2+} تشکیل می‌دهند. این یون‌ها را d^1 , s^1 , ns^1 , np^1 , nd^1 , np^6 , nd^6 و d^7 نامند. دشکا ۷-۸ آمده‌اند.

۳- یون‌های Sn^{4+} . قلع، کاتیون Sn^{4+} تشکیل می‌دهد که نمونه‌ای از نسبت به دنیا است:

$$\text{Sn}(\dots 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^2) \longrightarrow \text{Sn}^{2+}(\dots 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2) + 2e^-$$

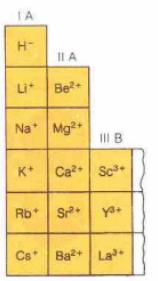
ین آرایش الکترونی نیز یک آرایش پایدار است؛ تمام لایه‌های رسمی اشغال شده، پر شده‌اند. یون‌های دارای آرایش مشابه با $(n-1)^{ns}$, $(n-1)^p$, $(n-1)^d$ هستند. توجه کنید که آرایش یک یون n^{α} با حذف دو الکترون از یک اوپریتال به دست مدد در شکل ۷-۸ تعداد ۹ یون $n^{5-\alpha}$ آمده است. عناصر بزرگتر گروه IIIA ممکن است اندیشه‌های 3^{α} , 4^{α} و 5^{α} داشته باشند.

۴- یونت های دیگر، در واکنش های مربوط به فلزات و اسbestos،
کترون های داخلی نیز ممکن است مانند کترون های بیرونی چند
سونید. اما خروج کترون های بیرونی آسان نیست. اغلب عناصر
اسطمه نمی توانند این را ایجاد (معنی ۳، ۴، ۵، ۶)، با
دستورالعمل شکل ۷. فهرستی از آرایش های کترونی فلزات و اسbestos در
جدول ۲-۷ آمده است. آرایش کترونی نشان داده شده در جدول،

بسیاری از فلزات و اسپهه ایش از یک نوع کاتیون شکلی می دهند.
برای نمونه می توان Cu^{+} , Cr^{+} , Fe^{+} و Ra^{+} را نام برد. برای تولید یون Fe^{+} بشرطی افزایش لازم است تا یون Fe^{3+} افزایی شود. برای ترکیبات Fe^{+} بزرگتر از افزایی شکله ترکیبات Fe^{3+} است. توازن
نیز همچنان باشد.

جدول ۷ - ۴ برخی کاتیون‌های قلزات واسطه سری اول

مثال	أرياش الكتروني
$3s^2$	$3p^6$ $3d^1$ Ti^{3+}
$3s^2$	$3p^6$ $3d^2$ V^{3+}
$3s^2$	$3p^6$ $3d^3$ Cr^{3+} , V^{2+}
$3s^2$	$3p^6$ $3d^4$ Cr^{2+} , Mn^{3+}
$3s^2$	$3p^6$ $3d^5$ Mn^{4+} , Fe^{3+}
$3s^2$	$3p^6$ $3d^6$ Fe^{2+} , Co^{3+}
$3s^2$	$3p^6$ $3d^7$ Co^{2+}
$3s^2$	$3p^6$ $3d^8$ Ni^{2+}
$3s^2$	$3p^6$ $3d^9$ Cu^{2+}



O^{3-} به اثری $+7.4 \text{ kJ/mol}$ راستی، چهار اتم O به جای یون O^{3-} یون O^{3-} تشکیل نمی‌نمد؛ از روی شبکه NaO_3 فرضی احتمالاً در خواهد بود. از روی شبکه NaCl -7.88 kJ/mol است.

که حاوی یون O^{3-} است برای $2\Delta V = -2\Delta U$ با:

$$\Delta H^\circ_f = \frac{\partial H^\circ_f}{\partial T} \Delta T + \frac{\partial H^\circ_f}{\partial P} \Delta P$$

۲- همچنان Cl⁻ با یون Na⁺ تشکیل یون NaCl می‌دهد؟

تشکیل شیشه بلوری فرسنگی، اتری بیشتری (احتمالاً در حدود ۲۰۰ kJ/mol) نسبت به تشکیل شیشه بلوری NaCl آزاد می‌کند. اما تولید یون Cl^- به اتری بسیار زیادی نیاز دارد که به مرابط پیشتر از اتری هر شبکه بلوری است. الکترون اضافه شده به Cl^-

برای شکلی CIT به لایه‌ای فتوار از ارایش m^* می‌رود. این المکرون به لایه کوتاژی بعده که بواسطه یک لایه سنته شده m^* از همه جدا شده و بواسطه یار منفی میربوط به یون CIT نیز دفع می‌شود. افزایش این المکرون به سبب ایجاد زیادی اثرزی دارد. افزوند المکرون به لایه بعد از ارایش گاز کاربوناتی، هیچگاه شاهدند شدند است.

کوکنون به لایه بعد از ارایش گاز کاربوناتی، هیچگاه شاهدند شدند است.

پون‌ها را بر مبنای اثربخشی کوتاژی شان می‌توان به چند نوع تقسیم کرد (شکل ۷، ۸، ۹ و ۱۰):

۱- یونهای گاز نجیب، این یونها با گازهای تجیب هم الکترون اند (بخش ۷-۴). تمام آبیونهای یک اتمی، در این دسته قرار دارند. دو نوع یون‌گاز: تسبیح و حمد داده

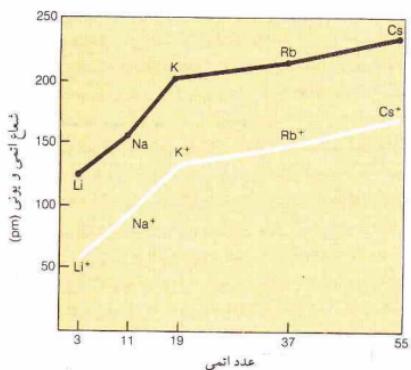
الف - یونهای آم. این یونها با هیلم (آرایش الکترونی^{۱۵}) هم الکترون اند. فقط سه یون ^۷داریم: H^- , Li^{+} , Be^{2+} .

ب - یونهای آم. اغلب یونهای گاز تجیب، p^6 , با تعداد آلتی، لامپا، He , Ne , Ar , Kr , Xe ، ...

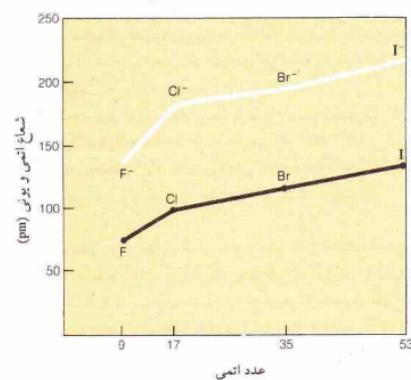
۲- یونهای^{۱۰}، فلزات معینی، علی رغم عدم امکان تشکیل کاپیون های ^{۱۱} آمودر و اکتشن های یوتوی شرکت می کنند. مثلاً روی باید ۱۲ تکtron از دست بدهد تا به آرایش گاز تجییب برسد. اما روی فقط با از دست دادن دو تکtron و تشکیل ^{۱۲} Zn در اکتشن ها شرکت می کنند:

	II A	III A	IV A	V A	VI A	VII A
IB	Al^{3+}			N^3-	O^{2-}	F^-
II B	Ga^{3+}	Ge^{2+}	As^{3-}	Se^{2-}	Br^-	
Ag ⁺	Cd^{2+}	In^{3+}	Sn^{2+}	Sb^{3-}	Te^{2-}	I^-
Au ⁺	Hg^{2+}	Tl^{3+}	Pb^{2+}	Bi^{3+}		

شکل ۷ - ۸ انواع یون‌ها و ارتباط آنها با جدول تناوبی



شکل ۷-۱۰ شعاع اتمی و شعاع یونی عناصر گروه IA



شکل ۷-۱۱ شعاع اتمی و شعاع یونی عناصر گروه VII A

(شکل ۷-۱۱). شعاع اتم Cl برابر با 99 pm و شعاع یونی Cl^- برابر با 111 pm است. افزایش یک الکترون به Cl و تشکیل یون Cl^- منجر به دافعه الکترون‌های رفتگی و گسترش لایه مربوط به آنها می‌شود.

۷-۸ انتشار ترکیبات یونی

نمگذاری ترکیبات یونی بر چند قاعده استوار است. ابتدا نام کاتیون (یون مثبت) ترکیب و سپس نام آئیون (یون منفی) آن می‌آید.
۱ - کاتیون‌ها، اغلب کاپیون‌ها، یون‌های یک‌اتمی تشکیل شده از اتم‌های فلزی، اگر فلز فقط یک نوع کاتیون تشکیل دهد نام یون و نام فلز یکسان خواهد بود:

۷-۹ شعاع یونی

فاصله بین مرکز دو یون مجاور در یک بلور را می‌توان با پراش اشعه X (بخش ۱۱-۱۳) تعیین کرد. برای اغلب بلورها این فاصله برابر با مجموع شعاع کاتیون و شعاع آئیون است. اما تقسیم این فاصله به منظوریه دست آوردن هر یک از دو شعاع، کار آسانی نیست.

یکی از راه‌های حل این مسئله مطالعه بلور مشکل از کاپیون‌های بسیار کوچک و آئیون‌های بزرگ، مانند لیتیم یدید (شکل ۷-۹ الف) است. در بلور Li_3Al ، فرض می‌شود که یون‌های آبی یکدیگر چسبیده‌اند. نصف فاصله بین دو یون Al^{3+} (در شکل ۷-۹ الف)، برابر با شعاع یون

آتم است:

$$\text{شعاع } \text{Al} = \frac{432 \text{ pm}}{2} = 216 \text{ pm}$$

اما در اغلب بلورها، یون‌ها به یکدیگر تجذیبیده‌اند. در نتیجه فاصله d در شکل ۷-۹ ب وانی توابیرای بدهست آوردن شعاع یونی به کار گرفته. با به دست آوردن شعاع Al ، سایر شعاع‌های یونی را نیز می‌توان محاسبه کرد. اگر فاصله بین مرکز یک یون K^+ و یک یون Al^{3+} تعیین شود (d در شکل ۷-۹ ب)، شعاع یون K^+ را با کم کردن شعاع Al از فاصله K^+ تا آتم یون به دست آورده:

$$\text{شعاع } \text{K}^+ + \text{شعاع } \text{Al}$$

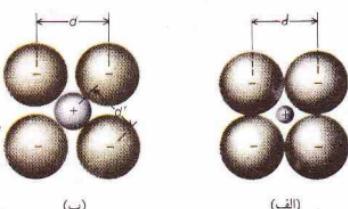
$$349 \text{ pm} = \text{K}^+ + 216 \text{ pm}$$

$$\text{K}^+ = 133 \text{ pm}$$

یک یون مثبت، همیشه کوچکتر از آتم به وجود آورنده آن است، (شکل ۷-۱۰). شعاع K برابر با 133 pm و شعاع K^+ 100 pm است. جدا شدن یک الکترون و تشکیل یون K^+ نمایشگر حذف تمام لایه $n=4$ از آتم است. به علاوه در یون K^+ اعداد پروتون‌ها بیشتر از الکترون‌هاست. در نتیجه الکترون‌های این یون به هسته تزدیگی تر می‌شوند. به همین دلیل یک یون K^+ بزرگ‌تر از یون $3s^2$ است. مثلاً

$$\text{Fe} = 117 \text{ pm} \quad \text{Fe}^{2+} = 75 \text{ pm} \quad \text{Fe}^{3+} = 60 \text{ pm}$$

یک یون منفی همیشه بزرگ‌تر از آتم به وجود آورنده آن است



شکل ۷-۹ تعبیین شعاع یونی. (برای توضیح بیشتر به متن کتاب رجوع کنید).

جدول ۷-۵ بیرخنی یون‌های مهم

آئیون	کاتیون
$\text{C}_2\text{H}_5\text{O}^-$	استات
Br^-	برمید
ClO_3^-	کلرات
Cl^-	کلرید
ClO_4^-	کلریت
CN^-	سیانید
F^-	فلوئورید
OH^-	هیدروکسید
ClO^-	هپوکلرایت
I^-	ید
NO_2^-	نیترات
NO_3^-	نیتروز
ClO_2^-	پرکلرایت
MnO_4^-	تیتانات
CO_3^{2-}	کربنات
CrO_4^{2-}	کرومات
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	دی‌کرومات
O^{2-}	اکسید
O_2^-	پراکسید
SO_4^{2-}	سولفات
S^{2-}	سولفید
SO_3^{2-}	سولفیت
AsO_4^{3-}	ارساتان
N^-	نیترید
PO_4^{3-}	فسفات
	آمونیوم NH_4^+
	منزیم Mg^{2+}
	باریم Ba^{2+}
	کادمیم Cd^{2+}
	کلسیم Ca^{2+}
	کروم Cr^{2+} یا مکرومو
	کالت Co^{2+} یا کالانتو
	من Cu^{2+} یا پرپریک
	آهن Fe^{2+} یا فرو
	سرپ Pb^{2+} یا پلیمپر
	منگنز Mn^{2+} یا منگانو
	جیوه Hg^{2+} یا مرکوری*
	جیوه Hg^{2+} یا مرکوریک
	نیکل Ni^{2+} یا نیکلو
	قلع Sn^{2+} یا استانو
	روزی Zn^{2+}
	آلومینیم Al^{3+}
	کروم Cr^{3+} یا کرومیک
	آهن Fe^{3+} یا تریک

* آن یون دو اتمی، مرکوری (I) (نامده شده است چون آن را می‌توان شامل دو یون Hg^{+2} دانست.

آئیون‌های چند اتمی فراوانی شناخته شده‌اند که مشهورترین آنها در فهرست آئیون‌ها در جدول ۷-۵ آمده است. به خاطر سپردن نام و ساختار آئیون‌های این جدول اهمیت فراوانی دارد. روش نامگذاری این آئیون‌ها در بخش ۱۳-۶ مورد بحث قرار گرفته است.

نام ترکیبات یونی شامل نام کاتیون و سیس نام آئیون (به صورت واژه‌ای جداگانه) است:

Fe_3O_4 , آهن (III) (اکسید یا فریک اکسید
 PbCO_3 , سرب (II) (کربنات یا پلیمپریتات
 Ag_2PO_4 , نقره فسفات
 NH_4S , آمونیوم سولفید
 $\text{Cu}(\text{CN})_2$, سیانید یا کورپریک سیانید
 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, منزیم نیترات

Na^+ , یون سدیم
 Mg^{2+} , یون منزیم
 Al^{3+} , یون الومینیم

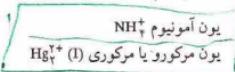
برخی فلزات، بیش از یک نوع کاتیون تشکیل می‌دهند. در این موارد تشخیص بین کاتیون‌ها ممکن است با اشاره به بار آنها صورت گیرد. بار کاتیون به وسیله یک عدد رومی که در پرانتز بعد از نام فارسی فلز می‌آید، مشخص می‌شود:

Cu^{2+} , یون من (I) و Cu^{2+} , یون من (II)
 Fe^{3+} , یون آهن (II) و Fe^{3+} , یون آهن (III)

در یک روشن قدریم برای تشخیص یون‌های حاصل از یک فلز، انتها نام آن فلز تغییر می‌کرد. در مواردی که نماد عنصر از لاتینی گرفته شده باشد از نام‌های لاتینی استفاده می‌شود. پسوند و (ous) در نایپریک ازوپرینداری بارگذشت، و پسوند ایک (ic) در نام یون دارای بار پیشتر به کار می‌رفت:

Cu^+ , یون کورپر و Cu^{2+} , یون کورپریک
 Fe^{2+} , یون فرو و Fe^{3+} , یون فریک

توجه کنید که در این روش، بار به صورت مشخص داده نشده و این روش را برای فلزاتی که بیش از دو نوع کاتیون مختلف تشکیل می‌دهند، نمی‌توان به کار گرفت.
 یون چند اتمی از چندین اتم به هم پیوسته با پیوندهای کرووالانسی (فصل ۸ را ببینید) به وجود آمده است. شمار یون‌های چند اتمی، زیاد نیست؛ دو یون چند اتمی هم عبارتند از:



یون Hg^{2+} , مرکوری (I) نامده می‌شود، زیرا می‌تواند به صورت دو Hg^{2+} ، در نظر گرفته شود. فهرستی از کاتیون‌های مشهور در جدول ۷-۵ آمده است.

۲- آئیون‌های آئیون‌های یک اتمی، از اتم‌های ناقلات به وجود می‌آیند. نام این آئیون‌ها را با جانشین کردن پسوند معمولی نام ناقل با (ide)، (ide)- می‌توان به دست اورد:

Cl^- , یون کلرید
 O^{2-} , یون اکسید
 N^{3-} , یون نیترید

البته تمام یون‌هایی که نام آنها به (ide)- ختم می‌شود ناقلات نیستند. برخی از آئیون‌های چند اتمی تیز به چنین پسوندی ختم می‌شوند؛ برای مثال،

CN^- , یون سیانید
 OH^- , یون هیدروکسید
 O^{2-} , یون پراکسید

چکیده مطالب

شاع پک اتم، انرژی پوش آن و الکترون‌خواهی، خواص تباوی اند و به ساختار آن آمیستگی دارند. درک این خواص می‌تواند ما را در یادگیری علم و پنجه‌گیری کاشت اتمها و تشکیل پونها باری دهد.

در پک اکتشن پون، اتمای فلزات الکترون از دست می‌دهند (پونهای مشبیت به وسیله می‌آورند) حال آنکه ناخالات الکترون می‌گیرند (پونهای تولید می‌کنند). اتم فلزات، به طور کلی، بزرگ‌ترند و آسان‌تر از اتم ناخالات، الکترون‌خواهی، و انرژی شیکه کم‌ترند. اتم فلزات به طور کلی کوچک‌ترند و آسان‌تر از اتم فلزات الکترون می‌گیرند.

پیروی محرومکه و اکتشن پون جاذبه الکترون‌استاتیک پونهای مثبت و منفی نسبت به بدکدیگر است که منجر به تشکیل یک پاره پونی و آزاد شدن انرژی شیکه می‌شود. انرژی شیکه را می‌توان با استفاده از چرخه پورن - هابرکه که مقنعن اتمام عملیات ریاضی بر روی تغییرات آلتیاتی مرتبه تشكیل پلوهای پونی است، محاسبه کرد. این پاره همچنین وسیله‌ای برای طبقه امتحانی می‌باشد. انتقالات گوناگون انرژی سریوط به تشکیل پلوهای پونی است.

مفاهیم کلیدی

Anion (بخش ۷ - ۳). یک پون دارای بار منفی؛ اتم با گروهی از اتمها که یک یا چند الکترون گرفته باشند.

Atomic radius (بخش ۷ - ۱). شاع تغییری یک اتم بر مبنای تقسیم فاصله‌های پیوندی.

Bond distances (بخش ۷ - ۱). فاصله بین هسته‌های دو اتم که بدکدیگر متعلق شده‌اند.

Born - Haber cycle مطالعه تغییرات آلتیاتی یک ریاضی. مقدار ΔH° برای کل ریایند را پویا مجموع مقادیر ΔH° مراحل از شاع اتمها که در آن داده شده است.

Cation (بخش ۷ - ۳). یک پون دارای بار مثبت؛ اتم با گروهی از اتمها که یک یا چند الکترون از دست داده باشند.

Electron affinity (بخش ۷ - ۶). کاتیونی با آرایش الکترونی $n^p n^d$ یون d^{10} پون (بخش ۷ - ۴). کاتیونی با آرایش الکترونی n^p در لای آخر (که در آن عدد کاتوتومی اصلی بین لایه است) است.

Effective nuclear charge بر یک الکترون لایه خارجی در یک اتم پس از آنکه بار هسته به طور مؤثری به وسیله اکتشن پلوهایی که آرایش الکترونی n^p (بخش ۷ - ۳). کاتیونی که همان آرایش الکترونی n^p داشته باشد که همان اکتشن الکترونی n^p به اضافه یک لایه اضافی شامل در الکترون در یک اولینی است.

Ion (بخش ۷ - ۴). بار مؤثر هسته (بخش ۷ - ۱). بار مثبت مؤثر بر یک الکترون لایه خارجی در یک اتم پس از آنکه بار هسته به طور مؤثری به وسیله اکتشن پلوهایی که آرایش الکترونی n^p داشته باشد یا کاهش یابد.

Ionization energy عبارت است از تغییر انرژی سریوط به فرایندی که در آن یک الکترون به اتم گذاری در حالت پایه افزوده شده باشد. دو مین الکترون‌خواهی و سیله الکترون‌خواهی هستند که در آنها الکترون به پونهای منفی افزوده می‌شود.

Shielding (بخش ۷ - ۱). اثر الکترون‌های داخلی بر کاهش بار هسته‌ای تجربه شده به وسیله الکترون‌های خارجی.

چون اغلب مراحل چرخه پورن - هابرگرام‌گیرند، انرژی شیکه (یک مرحله به شدت گمراز) تقلیل اصلی در تعیین روال و اکتشن اتمها و تشکیل پک ایکتیک پونی دارد. نوع پونهای تشکیل شده در اکتشن (که مسکن است بر اساس آرایش الکترونی طبقه‌بندی شود) به هم‌سنجی بین پیغامبر پورن، الکترون‌خواهی، و انرژی شیکه کم‌ترند.

در پلوهای پونی، آنپونها معمولاً بزرگ‌تر از کاتیونها هستند. آنپونها بزرگ‌تر و کاتیونها کوچک‌تر از اتمی هستند که از آن وجود آندان.

در ناتنگداری یک ترکیب پونی پونی، ایستاده نام کاتیون و سپس نام آنپون را می‌نویند. نام کاتیون از آن به وسیله آنده پکسان است. در مواردی که پیش از کاتیون از افزار بسیار موجود می‌آیند، پاره پون حاصل را می‌توان به وسیله انداد ورسی در اصل پرداختن بین از نام قاریس قلار مخصوص کرد. نام یک آنپون که اینم را جایگزین کردن پیوون معمولی نام تافل با پسندید (ide) به میست آورد. نام آنپون‌های جند اینم را در میان از جدول ۷ - ۵ گرفت.

Ionic bonding پیوون پونی (بخش ۷ - ۴). جاذبه بین پونهای منت و منفی که آنها را در ساختار پلوری در کارهای هم‌سنجی نگه می‌دارد. این پیوون، نتیجه انتقال الکترون‌هاست.

Ionic compound ترکیب پونی (بخش ۷ - ۴). ترکیب مرکب از کاتیونها و آنپونها که به وسیله جاذبه الکترون‌استاتیک، ساختار پلوری پهنه‌اند. ساختار پلوری که تکرار الگوی متعدد شمشخری از پونهای هستند.

Ionic radius شاع (بخش ۷ - ۷). شاع تغییری یک اتم بر مبنای تقسیم فاصله بین سطه اتمها مربوط به پونهای مجاور در یک پلوهای پونی.

Ionic reaction واکنش پونی (بخش ۷ - ۷). واکنشی که در آن الکترون‌ها متفاوت شوند و کاتیون و آنپون به وجود می‌آیند.

Ionization energy جدای کردن سنترنین الکترون از یک اتم در حالت پایه اند که اولین انرژی پورن است. این پونی انرژی پورش و انرژی های بالاتر، مربوط به فرایندی‌های هستند که در آنها الکترون از یک پون دست داده شود.

Isoelectronic اینرژی که در آن الکترون‌ها متفاوت شوند و کاتیون و آنپون به وجود می‌آیند.

Lattice energy (بخش ۷ - ۵). تغییر آلتیاتی مربوط به توکمک پونهای گازی در یک پلوهای پونی.

Noble gas ion پونی یک گاز تجییب (بخش ۷ - ۴ و ۷ - ۶). کاتیون یا آنپون که با یک گاز تجییب هم الکترون باشد؛ یک پون $^{\Lambda}$ یا $^{\Lambda}e$.

ion e^- پون (بخش ۷ - ۴ و ۷ - ۶). کاتیون یا آنپون با آرایش الکترونی گاز تجییب که در الکترون در آخرین لایه الکترونی آن یعنی $^{\Lambda}e^-$ با آنپون یا آنپون با آرایش پونهای e^- یون e^- یون (بخش ۷ - ۴ و ۷ - ۶). کاتیون یا آنپون با آرایش الکترونی گاز تجییب که در الکترون در اوربیتال e^- و شش الکترون در سه اوربیتال e^- مربوط به لایه خارجی اند.

Shielding پوشاش (بخش ۷ - ۱). اثر الکترون‌های داخلی بر کاهش بار هسته‌ای تجربه شده به وسیله الکترون‌های خارجی.

مسائل *

خواص اتم ها

- ۷- ۱- چگونگی تغییر شعاع اتمی عناصر یک تاوب را تبین کنید و روشن مشاهده شود را توضیح دهید.
- ۷- ۲- چگونگی تغییر شعاع اتمی عناصر یک خواره را تبین کنید و روشن مشاهده شده را توضیح دهید.
- ۷- ۳- پیش‌بینی تبدیل کدام جزء از هر یک از زوچهای زیر بزرگ‌تر است؟
 (الف) Cl⁻; (ب) Sb³⁺; (ج) (P³⁺, Al³⁺, Si⁴⁺)
- ۷- ۴- پیش‌بینی تبدیل کدام جزء از زوچهای زیر بزرگ‌تر است؟
 (الف) Ba²⁺; (ب) Se²⁻; (ج) (Ge⁴⁻, Ga³⁺, Cs⁺, Cd²⁺, B³⁺, Br⁻, Ba²⁺, In³⁺)
- ۷- ۵- طول پیوندهای زیر داده شده است: Cl⁻: ۱۷۲ pm, N³⁻: ۲۲۶ pm, F⁻: ۱۷۸ pm, O²⁻: ۱۴۰ pm, S²⁻: ۱۸۰ pm. براساس این داده‌ها، شعاع اتمی نیتروژن مقدار است؟
- ۷- ۶- طول پیوندهای زیر داده شده است: I⁻: ۲۵۵ pm, As³⁻: ۲۲۷ pm, As⁻: ۲۲۸ pm, Br⁻: ۲۲۸ pm. بر اساس این داده‌ها، طول پیوند As⁻ بر این قدر است؟
- ۷- ۷- در هر یک از زوچهای زیر اولین انرژی پوشن کدام جزء بیشتر است؟
 (الف) As³⁺; (ب) Ba²⁺; (ج) (Cs⁺, Sr²⁺, As³⁺, S²⁻, Kr⁰, Ar¹⁺)
- ۷- ۸- در هر یک از زوچهای زیر اولین انرژی پوشن کدام جزء بیشتر است؟
 (الف) Cs⁺; (ب) (K⁺, Cl⁻, Se²⁻, I⁻, Cl⁻, Rb⁺, Mg²⁺, Se²⁻, S²⁻, O²⁻, Sb³⁺)
- ۷- ۹- (الف) چرا دومین انرژی پوشن یک عنصر معمولاً بازگردد از اولین انرژی پوشن آن است? (ب) دومین انرژی پوشن Ca²⁺ در مقایسه با سایر اتمی پوشن آن است (مول ۱۰۱ kJ/mol). (ج) دومین انرژی پوشن آن است (مول ۴۹ kJ/mol). (الف) دومین انرژی پوشن آن است (مول ۱۱۴ kJ/mol). (ب) چرا این خاتمه برای همین میتواند بازگردد است؟
- ۷- ۱۰- چرا دوین کترون خواهی تناصر اغلب مقداری مثبت است؟
- ۷- ۱۱- چرا کترون خواهی سلفور از مقدار انحراف سیار سایر هالوژن‌ها کوچکتر است؟
- ۷- ۱۲- چرا کترون خواهی بریلیم، یتربوتن و یونرون در مقایسه با مقادیر مربوط به سایر عناصر تاوب دوچار از خط قرار دارد؟
- ۷- ۱۳- اولین کترون خواهی گوگرد (Mg²⁺) مول ۲۰۰ kJ/mol است. اولین انرژی پوشن نیاز برای اضافه شدن به اتم گوگرد مول ۳۲۲ kJ/mol است. دومین کترون خواهی گوگرد بقدر است؟
- ۷- ۱۴- از چون یونکرتوون به اتم سلیم (Mol ۱۹۵ kJ/mol) انرژی آزاد می‌شود، افزایش دو کترون به اتم سلیم (Mol ۲۲۵ kJ/mol) انرژی آزاد است. اولین و دومین مقدار کترون خواهی سلیم چقدر است؟

انرژی شبکه، چرخه بورن - هابر

- ۷- ۱۵- با استفاده از داده‌های زیر انرژی شبکه بلوار را محاسبه کنید. اولین انتالپی تشكیل CsCl برای سرما مول ۴۴۳ kJ/mol است. انتالپی تصفیه Cl₂ برای سرما مول ۴۷۰ kJ/mol است. انرژی تشكیل Cl₂ در مول کلور ۲۲۳ kJ/mol و اولین مقدار کترون خواهی سلیم گلر در اتم کلر مول ۳۴۶ kJ/mol است.
- ۷- ۱۶- با استفاده از داده‌های زیر انرژی شبکه بلوار KBr را محاسبه کنید. انتالپی تشكیل KBr برای سرما مول ۴۹ kJ/mol است. انتالپی تصفیه K₂ برای سرما مول ۴۱۸ kJ/mol است. تغییر انتالپی مربوط به تبدیل Br⁻ (I) در مول کلورهای Br⁻ برای سرما مول ۲۲ kJ/mol و اولین آخر کتاب آمده است.

* مسائل مشکل تر بر سفاره مشخص شده است. پاسخ مسائل فرد در پیوست آخر کتاب آمده است.

- ۷- Cu^{+2} یا Ca^{+2} یا I^- ؛ (د) Ag^+ ترکیبات یوتونی
- ۸- Fe^{+2} فرمول ترکیبات زیر را بنویسید: (الف) آمونیوم استات: (ب) الومینیم سولفات: (ج) کالات (III) سولفات: (د) پارم کربنات: (ه) پتانیم آرسنات.
- ۹- Fe^{+2} فرمول ترکیبات زیر را بنویسید: (الف) سدیم پراکسید: (ب) نیکل (II) سفناست: (ج) مس (I) کلرید: (د) سرب (II) شترات: (ه) جیوه (I) سولفات.
- ۱۰- Fe^{+2} فرمول ترکیبات زیر را بنویسید: (الف) سدیم پراکسید: (ب) منگنز (II) شترات: (ج) کلسیم سلفات: (د) پتیم اکسید: (ه) فنر نیترات.
- ۱۱- Fe^{+2} فرمول ترکیبات زیر را بنویسید: (الف) روی کلراید: (ب) کلسیم کلرات: (ج) سرب (II) سولفات: (د) پتانیم نیترات: (ه) الومینیم اکسید.
- ۱۲- Fe^{+2} ترکیبات زیر را نامگذاری کنید: (الف) $\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$: (ب) AgClO_4 : (ج) $\text{Cr}(\text{IO}_6)_3$: (د) CdI_2 : (ه) $\text{Sn}(\text{NO}_3)_4$: (ب) Al_2O_3 : (ج) NH_4NO_3 : (د) KMnO_4 : (ب) PbCrO_4 : (ج) $\text{Mg}(\text{OH})_2$: (د) Li_2SO_4 : (ب) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$: (ج) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$: (د) Na_2CO_3 : (ب) $\text{Ni}(\text{CN})_2$: (ج) NaClO_4 : (د) Na_2O_3 : (ب) SnF_6 : (ه) NaClO_3
- ۱۳- مسائل دسته‌بندی شده
- ۱۴- چرا از میان تمام مواد چرخه سربون در کسب نتیجه مطابق بازی بهبود یک ترتیب بونی ارزی شیبکه بسیار هم است؟
- ۱۵- Fe^{+2} غیر قاراز و خلارت را در موارد زیر با هم مقایسه کنید: (الف) شمع اتمی: (ب) پتانسیل بوتش.
- ۱۶- Fe^{+2} طول پوندهای زیر را دهد شده‌اند: (P-P=۲۲ pm, P-I=۲۲ pm, P-C=۲۲ pm, C-I=۲۲ pm, I-I=۲۲ pm, براسان این داده‌ها، طول پوند C-P چقدر است؟
- ۱۷- Fe^{+2} از میان مواد عماصر موجود در شتابور (Na, Ar) (الف) کدامیک می‌شیرین شمع اتمی را دارد: (ب) کدامیک اولین ارزی بونش بزرگتر دارد؟ (ج) کدامیک در اثر آزادیکtron و تشکیل آبیون ۱ ارزی پیشتری در هر مول آزاد می‌کند: (د) کدامیک واکنش پذیرین‌تر است: (ه) کدام عنصر کمترین واکنش پذیری را دارد؟ (ز) چه عدادی از این عناصر قرار هستند؟
- ۱۸- Fe^{+2} ضمن بحث در مورد تغییرات ارزی در حین تشکیل ترکیبات بونی، توضیح دهد چرا Cu^{+2} هر در بون Cu^{+2} و Cu^{+2} را تشکیل می‌دهد، نه Na^{+2} . فقط بون Na^{+2} را تشکیل می‌دهد، نه Na^{+2} .
- ۱۹- Fe^{+2} با استفاده از داده‌ای زیر اثابنی تشکیل سدیم سولفات را محاسبه کنید. آثارنی تصمید مول $\text{Mol} = 1 + 1 + 16 \times \text{kL}$ و اولین ارزی پونش آن مول $\text{kL} = 46 \text{kL}$ است. آثارنی تغییر مربوط به تبدیل $\text{S}(\text{g}) \rightarrow \text{S}(\text{g})$ است. اولین مقدار الکترون‌خواهی ۵ برابر انتقام‌هاگی گوگرد مول $= 0.05 \text{kL}$ و دو مدن مقدار الکترون‌خواهی آن برابر بونهای گوگرد مول $= 0.52 \text{kL}$ است. ارزی شیکا $\text{Na}^{+2} \text{S} = 21.92 \text{kL}$ است.

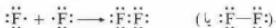
- ۲۰- در هر یک از بونهای زیر شده تعیین کنید: (ب) انتظار دارد کدامیک از بونهای پارامغناطیس باشد؟
- ۲۱- Fe^{+2} (الف) در هر یک از بونهای زیر شده تعیین کنید: (ب) انتظار دارد کدامیک از بونهای پارامغناطیس و کدامیک پارامغناطیس باشد؟
- ۲۲- Fe^{+2} (الف) در هر یک از قسمت‌های زیر فرمول دو بون (کاتیون یا آئیون) هم الکترون را با اتم یا بون مرده نظر را به دست دهد: (ه) Hg^+ : (ب) Br^- : (ج) K^+ : (د) An^{+4} : (ه) Hg^+
- ۲۳- Fe^{+2} (الف) در هر یک از قسمت‌های زیر بونهای دارای آزادیکtronی Fe^{+2} : (ب) Cd^{+2} : (ج) Ba^{+2} : (د) As^{+3} : (ه) Al^{+3} : (ب) Au^{+4} : (ج) Br^{-2} : (د) Bi^{+3} : (ه) Ge^{+4} : (ب) Ga^{+3} : (ج) C^{+4} : (د) Ra^{+5} : (ه) Mn^{+6} : (ب) Fe^{+7} : (ج) Ti^{+8} : (د) Zr^{+9} : (ه) V^{+10} : (ب) Nb^{+11} : (ج) Ta^{+12} : (د) Nb^{+13} : (ه) Ta^{+14} : (ب) W^{+15} : (ج) Hf^{+16} : (د) Os^{+17} : (ه) Pt^{+18} : (ب) Au^{+19} : (ج) Hg^{+20} : (د) Bi^{+21} : (ه) Ge^{+22} : (ب) Ga^{+23} : (ج) C^{+24} : (د) Ra^{+25} : (ه) Mn^{+26} : (ب) Fe^{+27} : (ج) Ti^{+28} : (د) Nb^{+29} : (ه) Ta^{+30} : (ب) W^{+31} : (ج) Hf^{+32} : (د) Os^{+33} : (ه) Pt^{+34} : (ب) Bi^{+35} : (ج) Ge^{+36} : (د) Ra^{+37} : (ه) Mn^{+38} : (ب) Fe^{+39} : (ج) Ti^{+40} : (د) Nb^{+41} : (ه) Ta^{+42} : (ب) W^{+43} : (ج) Hf^{+44} : (د) Os^{+45} : (ه) Pt^{+46} : (ب) Bi^{+47} : (ج) Ge^{+48} : (د) Ra^{+49} : (ه) Mn^{+50} : (ب) Fe^{+51} : (ج) Ti^{+52} : (د) Nb^{+53} : (ه) Ta^{+54} : (ب) W^{+55} : (ج) Hf^{+56} : (د) Os^{+57} : (ه) Pt^{+58} : (ب) Bi^{+59} : (ج) Ge^{+60} : (د) Ra^{+61} : (ه) Mn^{+62} : (ب) Fe^{+63} : (ج) Ti^{+64} : (د) Nb^{+65} : (ه) Ta^{+66} : (ب) W^{+67} : (ج) Hf^{+68} : (د) Os^{+69} : (ه) Pt^{+70} : (ب) Bi^{+71} : (ج) Ge^{+72} : (د) Ra^{+73} : (ه) Mn^{+74} : (ب) Fe^{+75} : (ج) Ti^{+76} : (د) Nb^{+77} : (ه) Ta^{+78} : (ب) W^{+79} : (ج) Hf^{+80} : (د) Os^{+81} : (ه) Pt^{+82} : (ب) Bi^{+83} : (ج) Ge^{+84} : (د) Ra^{+85} : (ه) Mn^{+86} : (ب) Fe^{+87} : (ج) Ti^{+88} : (د) Nb^{+89} : (ه) Ta^{+90} : (ب) W^{+91} : (ج) Hf^{+92} : (د) Os^{+93} : (ه) Pt^{+94} : (ب) Bi^{+95} : (ج) Ge^{+96} : (د) Ra^{+97} : (ه) Mn^{+98} : (ب) Fe^{+99} : (ج) Ti^{+100} : (د) Nb^{+101} : (ه) Ta^{+102} : (ب) W^{+103} : (ج) Hf^{+104} : (د) Os^{+105} : (ه) Pt^{+106} : (ب) Bi^{+107} : (ج) Ge^{+108} : (د) Ra^{+109} : (ه) Mn^{+110} : (ب) Fe^{+111} : (ج) Ti^{+112} : (د) Nb^{+113} : (ه) Ta^{+114} : (ب) W^{+115} : (ج) Hf^{+116} : (د) Os^{+117} : (ه) Pt^{+118} : (ب) Bi^{+119} : (ج) Ge^{+120} : (د) Ra^{+121} : (ه) Mn^{+122} : (ب) Fe^{+123} : (ج) Ti^{+124} : (د) Nb^{+125} : (ه) Ta^{+126} : (ب) W^{+127} : (ج) Hf^{+128} : (د) Os^{+129} : (ه) Pt^{+130} : (ب) Bi^{+131} : (ج) Ge^{+132} : (د) Ra^{+133} : (ه) Mn^{+134} : (ب) Fe^{+135} : (ج) Ti^{+136} : (د) Nb^{+137} : (ه) Ta^{+138} : (ب) W^{+139} : (ج) Hf^{+140} : (د) Os^{+141} : (ه) Pt^{+142} : (ب) Bi^{+143} : (ج) Ge^{+144} : (د) Ra^{+145} : (ه) Mn^{+146} : (ب) Fe^{+147} : (ج) Ti^{+148} : (د) Nb^{+149} : (ه) Ta^{+150} : (ب) W^{+151} : (ج) Hf^{+152} : (د) Os^{+153} : (ه) Pt^{+154} : (ب) Bi^{+155} : (ج) Ge^{+156} : (د) Ra^{+157} : (ه) Mn^{+158} : (ب) Fe^{+159} : (ج) Ti^{+160} : (د) Nb^{+161} : (ه) Ta^{+162} : (ب) W^{+163} : (ج) Hf^{+164} : (د) Os^{+165} : (ه) Pt^{+166} : (ب) Bi^{+167} : (ج) Ge^{+168} : (د) Ra^{+169} : (ه) Mn^{+170} : (ب) Fe^{+171} : (ج) Ti^{+172} : (د) Nb^{+173} : (ه) Ta^{+174} : (ب) W^{+175} : (ج) Hf^{+176} : (د) Os^{+177} : (ه) Pt^{+178} : (ب) Bi^{+179} : (ج) Ge^{+180} : (د) Ra^{+181} : (ه) Mn^{+182} : (ب) Fe^{+183} : (ج) Ti^{+184} : (د) Nb^{+185} : (ه) Ta^{+186} : (ب) W^{+187} : (ج) Hf^{+188} : (د) Os^{+189} : (ه) Pt^{+190} : (ب) Bi^{+191} : (ج) Ge^{+192} : (د) Ra^{+193} : (ه) Mn^{+194} : (ب) Fe^{+195} : (ج) Ti^{+196} : (د) Nb^{+197} : (ه) Ta^{+198} : (ب) W^{+199} : (ج) Hf^{+200} : (د) Os^{+201} : (ه) Pt^{+202} : (ب) Bi^{+203} : (ج) Ge^{+204} : (د) Ra^{+205} : (ه) Mn^{+206} : (ب) Fe^{+207} : (ج) Ti^{+208} : (د) Nb^{+209} : (ه) Ta^{+210} : (ب) W^{+211} : (ج) Hf^{+212} : (د) Os^{+213} : (ه) Pt^{+214} : (ب) Bi^{+215} : (ج) Ge^{+216} : (د) Ra^{+217} : (ه) Mn^{+218} : (ب) Fe^{+219} : (ج) Ti^{+220} : (د) Nb^{+221} : (ه) Ta^{+222} : (ب) W^{+223} : (ج) Hf^{+224} : (د) Os^{+225} : (ه) Pt^{+226} : (ب) Bi^{+227} : (ج) Ge^{+228} : (د) Ra^{+229} : (ه) Mn^{+230} : (ب) Fe^{+231} : (ج) Ti^{+232} : (د) Nb^{+233} : (ه) Ta^{+234} : (ب) W^{+235} : (ج) Hf^{+236} : (د) Os^{+237} : (ه) Pt^{+238} : (ب) Bi^{+239} : (ج) Ge^{+240} : (د) Ra^{+241} : (ه) Mn^{+242} : (ب) Fe^{+243} : (ج) Ti^{+244} : (د) Nb^{+245} : (ه) Ta^{+246} : (ب) W^{+247} : (ج) Hf^{+248} : (د) Os^{+249} : (ه) Pt^{+250} : (ب) Bi^{+251} : (ج) Ge^{+252} : (د) Ra^{+253} : (ه) Mn^{+254} : (ب) Fe^{+255} : (ج) Ti^{+256} : (د) Nb^{+257} : (ه) Ta^{+258} : (ب) W^{+259} : (ج) Hf^{+260} : (د) Os^{+261} : (ه) Pt^{+262} : (ب) Bi^{+263} : (ج) Ge^{+264} : (د) Ra^{+265} : (ه) Mn^{+266} : (ب) Fe^{+267} : (ج) Ti^{+268} : (د) Nb^{+269} : (ه) Ta^{+270} : (ب) W^{+271} : (ج) Hf^{+272} : (د) Os^{+273} : (ه) Pt^{+274} : (ب) Bi^{+275} : (ج) Ge^{+276} : (د) Ra^{+277} : (ه) Mn^{+278} : (ب) Fe^{+279} : (ج) Ti^{+280} : (د) Nb^{+281} : (ه) Ta^{+282} : (ب) W^{+283} : (ج) Hf^{+284} : (د) Os^{+285} : (ه) Pt^{+286} : (ب) Bi^{+287} : (ج) Ge^{+288} : (د) Ra^{+289} : (ه) Mn^{+290} : (ب) Fe^{+291} : (ج) Ti^{+292} : (د) Nb^{+293} : (ه) Ta^{+294} : (ب) W^{+295} : (ج) Hf^{+296} : (د) Os^{+297} : (ه) Pt^{+298} : (ب) Bi^{+299} : (ج) Ge^{+300} : (د) Ra^{+301} : (ه) Mn^{+302} : (ب) Fe^{+303} : (ج) Ti^{+304} : (د) Nb^{+305} : (ه) Ta^{+306} : (ب) W^{+307} : (ج) Hf^{+308} : (د) Os^{+309} : (ه) Pt^{+310} : (ب) Bi^{+311} : (ج) Ge^{+312} : (د) Ra^{+313} : (ه) Mn^{+314} : (ب) Fe^{+315} : (ج) Ti^{+316} : (د) Nb^{+317} : (ه) Ta^{+318} : (ب) W^{+319} : (ج) Hf^{+320} : (د) Os^{+321} : (ه) Pt^{+322} : (ب) Bi^{+323} : (ج) Ge^{+324} : (د) Ra^{+325} : (ه) Mn^{+326} : (ب) Fe^{+327} : (ج) Ti^{+328} : (د) Nb^{+329} : (ه) Ta^{+330} : (ب) W^{+331} : (ج) Hf^{+332} : (د) Os^{+333} : (ه) Pt^{+334} : (ب) Bi^{+335} : (ج) Ge^{+336} : (د) Ra^{+337} : (ه) Mn^{+338} : (ب) Fe^{+339} : (ج) Ti^{+340} : (د) Nb^{+341} : (ه) Ta^{+342} : (ب) W^{+343} : (ج) Hf^{+344} : (د) Os^{+345} : (ه) Pt^{+346} : (ب) Bi^{+347} : (ج) Ge^{+348} : (د) Ra^{+349} : (ه) Mn^{+350} : (ب) Fe^{+351} : (ج) Ti^{+352} : (د) Nb^{+353} : (ه) Ta^{+354} : (ب) W^{+355} : (ج) Hf^{+356} : (د) Os^{+357} : (ه) Pt^{+358} : (ب) Bi^{+359} : (ج) Ge^{+360} : (د) Ra^{+361} : (ه) Mn^{+362} : (ب) Fe^{+363} : (ج) Ti^{+364} : (د) Nb^{+365} : (ه) Ta^{+366} : (ب) W^{+367} : (ج) Hf^{+368} : (د) Os^{+369} : (ه) Pt^{+370} : (ب) Bi^{+371} : (ج) Ge^{+372} : (د) Ra^{+373} : (ه) Mn^{+374} : (ب) Fe^{+375} : (ج) Ti^{+376} : (د) Nb^{+377} : (ه) Ta^{+378} : (ب) W^{+379} : (ج) Hf^{+380} : (د) Os^{+381} : (ه) Pt^{+382} : (ب) Bi^{+383} : (ج) Ge^{+384} : (د) Ra^{+385} : (ه) Mn^{+386} : (ب) Fe^{+387} : (ج) Ti^{+388} : (د) Nb^{+389} : (ه) Ta^{+390} : (ب) W^{+391} : (ج) Hf^{+392} : (د) Os^{+393} : (ه) Pt^{+394} : (ب) Bi^{+395} : (ج) Ge^{+396} : (د) Ra^{+397} : (ه) Mn^{+398} : (ب) Fe^{+399} : (ج) Ti^{+400} : (د) Nb^{+401} : (ه) Ta^{+402} : (ب) W^{+403} : (ج) Hf^{+404} : (د) Os^{+405} : (ه) Pt^{+406} : (ب) Bi^{+407} : (ج) Ge^{+408} : (د) Ra^{+409} : (ه) Mn^{+410} : (ب) Fe^{+411} : (ج) Ti^{+412} : (د) Nb^{+413} : (ه) Ta^{+414} : (ب) W^{+415} : (ج) Hf^{+416} : (د) Os^{+417} : (ه) Pt^{+418} : (ب) Bi^{+419} : (ج) Ge^{+420} : (د) Ra^{+421} : (ه) Mn^{+422} : (ب) Fe^{+423} : (ج) Ti^{+424} : (د) Nb^{+425} : (ه) Ta^{+426} : (ب) W^{+427} : (ج) Hf^{+428} : (د) Os^{+429} : (ه) Pt^{+430} : (ب) Bi^{+431} : (ج) Ge^{+432} : (د) Ra^{+433} : (ه) Mn^{+434} : (ب) Fe^{+435} : (ج) Ti^{+436} : (د) Nb^{+437} : (ه) Ta^{+438} : (ب) W^{+439} : (ج) Hf^{+440} : (د) Os^{+441} : (ه) Pt^{+442} : (ب) Bi^{+443} : (ج) Ge^{+444} : (د) Ra^{+445} : (ه) Mn^{+446} : (ب) Fe^{+447} : (ج) Ti^{+448} : (د) Nb^{+449} : (ه) Ta^{+450} : (ب) W^{+451} : (ج) Hf^{+452} : (د) Os^{+453} : (ه) Pt^{+454} : (ب) Bi^{+455} : (ج) Ge^{+456} : (د) Ra^{+457} : (ه) Mn^{+458} : (ب) Fe^{+459} : (ج) Ti^{+460} : (د) Nb^{+461} : (ه) Ta^{+462} : (ب) W^{+463} : (ج) Hf^{+464} : (د) Os^{+465} : (ه) Pt^{+466} : (ب) Bi^{+467} : (ج) Ge^{+468} : (د) Ra^{+469} : (ه) Mn^{+470} : (ب) Fe^{+471} : (ج) Ti^{+472} : (د) Nb^{+473} : (ه) Ta^{+474} : (ب) W^{+475} : (ج) Hf^{+476} : (د) Os^{+477} : (ه) Pt^{+478} : (ب) Bi^{+479} : (ج) Ge^{+480} : (د) Ra^{+481} : (ه) Mn^{+482} : (ب) Fe^{+483} : (ج) Ti^{+484} : (د) Nb^{+485} : (ه) Ta^{+486} : (ب) W^{+487} : (ج) Hf^{+488} : (د) Os^{+489} : (ه) Pt^{+490} : (ب) Bi^{+491} : (ج) Ge^{+492} : (د) Ra^{+493} : (ه) Mn^{+494} : (ب) Fe^{+495} : (ج) Ti^{+496} : (د) Nb^{+497} : (ه) Ta^{+498} : (ب) W^{+499} : (ج) Hf^{+500} : (د) Os^{+501} : (ه) Pt^{+502} : (ب) Bi^{+503} : (ج) Ge^{+504} : (د) Ra^{+505} : (ه) Mn^{+506} : (ب) Fe^{+507} : (ج) Ti^{+508} : (د) Nb^{+509} : (ه) Ta^{+510} : (ب) W^{+511} : (ج) Hf^{+512} : (د) Os^{+513} : (ه) Pt^{+514} : (ب) Bi^{+515} : (ج) Ge^{+516} : (د) Ra^{+517} : (ه) Mn^{+518} : (ب) Fe^{+519} : (ج) Ti^{+520} : (د) Nb^{+521} : (ه) Ta^{+522} : (ب) W^{+523} : (ج) Hf^{+524} : (د) Os^{+525} : (ه) Pt^{+526} : (ب) Bi^{+527} : (ج) Ge^{+528} : (د) Ra^{+529} : (ه) Mn^{+530} : (ب) Fe^{+531} : (ج) Ti^{+532} : (د) Nb^{+533} : (ه) Ta^{+534} : (ب) W^{+535} : (ج) Hf^{+536} : (د) Os^{+537} : (ه) Pt^{+538} : (ب) Bi^{+539} : (ج) Ge^{+540} : (د) Ra^{+541} : (ه) Mn^{+542} : (ب) Fe^{+543} : (ج) Ti^{+544} : (د) Nb^{+545} : (ه) Ta^{+546} : (ب) W^{+547} : (ج) Hf^{+548} : (د) Os^{+549} : (ه) Pt^{+550} : (ب) Bi^{+551} : (ج) Ge^{+552} : (د) Ra^{+553} : (ه) Mn^{+554} : (ب) $\$

پیوند کووالانسی

استوار است که هر دو الکترون به اشتراک گذاشته شده در پایداری آرایش هر یک از اتم‌های هیدروژن سهمیم‌اند. به سخن دیگر، الکترون‌های پیوند دوبار به حساب می‌ایند – برای هر یک از اتم‌های تشکیل‌دهنده پیوند یکی باز.

فرمول هیدروژن شامل مجموعه‌ای از این مولکول‌هاست. در ترکیبات یونی، مولکول مشخصی وجود ندارد. فرمول سادیم NaCl کلرید (۱) به (۱) می‌باشد. فرمول‌هایی مانند Na_2Cl_2 یا درست Na_3Cl_2 نیستند، زیرا چنین مولکول‌هایی در سیدم کلرید بلوری وجود ندارند و این فرمول‌ها ساده‌ترین نسبت یون‌ها را به دست نمی‌دهند. اما برای ترکیبات کووالانسی فرمولی H_2O می‌تواند درست باشد. این فرمول یا یک مولکول همکر از دو اتم هیدروژن و دو اتم اکسیزن است. ساختارهای مولکولی را اغلب با استفاده از تمام عناصر همراه با نقطه‌ها برای نمایش الکترون‌های ظرفیتی (شکل ۷ - ۵ را ببینید)، نمایش می‌دهند. این فرمول‌ها را ساختارهای پیوند ظرفیتی یا ساختارهای لوویس^۱ به اختصار گلیرت. ن. لوویس^۲ که نظریه پیوند کووالانسی را در ۱۹۱۶ پیشنهاد کرد، تامند. (نظریه‌های هیدریدت پیوند کووالانسی را در فصل ۹ بررسی خواهیم کرد). نظریه لوویس بر رسیدن اتم‌ها به آرایش الکترونی گاز نجیب در مولکول‌های کووالانسی تأثیر دارد. برای اغلب اتم‌ها، این امر به معنی رسیدن به هشایران است. اما برای هیدروژن آرایش در الکترونی تبلیغ پایدار است.

مولکول هیدروژن دو اتمی است (سامول و اتم). عناصر دیگری نیز به صورت مولکول‌های دو اتمی وجود دارند (جدول ۳ - ۱ را ببینید). اتم هر یک از هالوژن‌ها (عنصر گروه VIIA) دارای هفت الکترون ظرفیتی است، با تشکیل یک پیوند کووالانسی ساده بین این اتم‌ها، هر اتم به آرایش الکترونی هشت‌تایی و یوّه یک گاز نجیب می‌رسد. مثلاً در مورد طلور،



فقط زوج الکترون‌های بین دو اتم به اشتراک گذاشته شده‌اند و بخشی از

در فصل پیش، تشکیل و برخی از خواص ترکیبات یونی را مورد بحث قرار دادیم. در این فصل با پیوند کووالانسی (که در آن الکترون‌ها بین اتم‌های تشکیل‌دهنده پیوند به اشتراک گذاشته می‌شوند) آشنا می‌شویم. مجذبن پیوندهای با خصالت حد واسطه بین پیوندهای یونی خالص و کووالانسی خالص را نیز در نظر می‌گیریم.

۱-۸ تشكيل پيوند کووالانسي

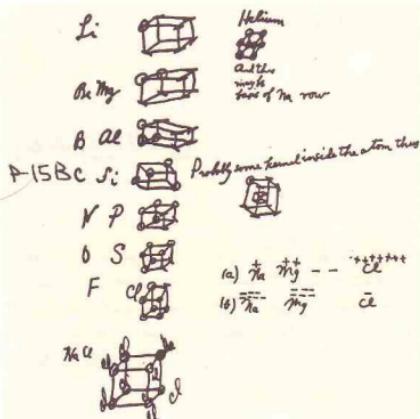
در واکنش‌های فلزات با نافلزات، اتم فلز میل به از دست دادن الکترون دارد و اتم نافلز میل به گرفتن الکترون در نتیجه، مطابق با واکنش‌های الکترون متنقل می‌شود و ترکیبات یونی به وجود می‌آیند.

و فی اتم‌های نافلزات بر هم اثر می‌کنند، چون این اتم‌ها جاذبه مشابه (یا جاذبه) یکسان، هنگامی که دو اتم از یک عنصر را در نظر بگیریم، برای الکترون‌ها دارند، انتقال الکترون از یک اتم به اتم دیگر صورت نمی‌گردد. به جای انتقال الکترون از نیز در نظر می‌گیریم. الکترون‌ها به اشتراک گذاشته می‌شوند و مولکول تشکیل می‌شود.

اتم‌های یک مولکول، به وسیله پیوند کووالانسی که در آن زوج الکترون‌ها در بین اتم‌ها به اشتراک گذاشته شده، به یکدیگر متصل شده‌اند. یک پیوند کووالانسی ساده، شامل یک زوج الکترون (یا اسپین‌های مخالف) است که اوربیتال‌های هر دو اتم در گیر در تشکیل پیوند را شغال کرده‌اند.

مثالاً پیوند بین دو اتم هیدروژن را در نظر بگیرید. یک اتم هیدروژن اوربیتال ۱s توزیع شده است. وقتی دو اتم هیدروژن یک پیوند کووالانسی تشکیل می‌دهند، اوربیتال‌های اتمی جنان هم‌موشانی می‌کنند ایر الکترونی آنها در ناحیه بین هسته‌ها، یکدیگر را تقویت می‌کنند، به این ترتیب، احتمال پیدا کردن الکترون در این ناحیه افزایش می‌باید. پراسان اصل طرد باولی، اسپین‌و پیوند باید مخالف یکدیگر باشند. قدرت پیوند ناشی از جاذبه هسته میثب برای ایر متنی پیوند است (شکل ۱ - ۸ را ببینید).

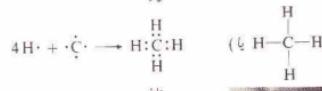
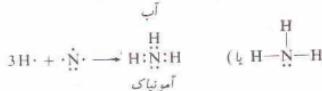
مولکول هیدروژن را بیان می‌نماییم: H-H. می‌توان نمایش داد. در ساختار اول، نقطه‌ها برای یکانگ زوج الکترون مشترک‌اند: در ساختار دوم، خط تبره نمایشگر زوج الکترون پیوند است. گرچه الکترون‌ها به کل مولکول تعلق دارند، هر اتم هیدروژن را می‌توان دارای آرایش گاز نجیب هلیم دانست (دو الکترون در تراز ۱ = ۲). این ملاحظات بر این فرض



شکل ۱-۸ نمایش توزیع الکترون در یک مولکول هیدروژن

پیوند کووالانسی به شمار می‌رودند. توجه کنید در محاسبه هشتگانی مربوط به هر اتم، الکترون‌های پیوند را دوبار به حساب می‌آوریم - یک بار برای هر اتم.

شمایر پیوندهای دو الکترونی تشكیل شده، به وسیله یک اتم در هر مولکول را می‌توان از تعداد الکترون‌های لازم برای پر کردن تراز طرفیتی آن اتم پیش‌بینی کرد. چون در ناظرات، تعداد الکترون‌های طرفیتی برای با شماره گروه است، می‌توان پیش‌بینی کرد که عناصر گروه VIIA، مانند Cl (با هفت الکترون طرفیتی)، برای رسیدن به هشتگانی پایدار، یک پیوند کووالانسی تشكیل دهند؛ عناصر VIA، مانند S و P (با پنج الکترون طرفیتی)، دو پیوند کووالانسی؛ و عنصرهای مانند C (با چهار الکترون طرفیتی)، چهار پیوند کووالانسی. این پیش‌بینی‌ها در مورد بسیاری از ترکیبات درست است. هیدریدهای زیر را در نظر بگیرید:

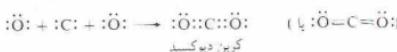


پاداکت‌های اولیه لوویس در مورد ساختار الکترونی اتم‌ها، برای نمایش هیلم (اشتایم)، مفتوحه شون بود، از مکعب (که دارای هشت گوشش است) با گوشهای پُر (یک هشتگانی) استفاده کرد. لوویس نوشت: «... و این می‌تواند اساس رذیف باشد» بر مبنای این مقدمات، قاعده هشتگانی را برای پیوندهای کووالانسی بیان کرد.

توجه کنید که در این مولکول‌ها، هر اتم هیدروژن را می‌توان دارای لایه $n=1$ کامل و سایر اتم‌ها را دارای هشتگانی گاز تعییب دانست. دو اتم، ممکن است پیش از یک زوج الکترون به اشتراک بگذارند. در این موارد، گفته می‌شود که اتم‌ها به وسیله پیوندهای چندگانه به یکدیگر متصل شده‌اند. پیوند دوگانه، شامل چهار الکترون شترک و پیوند سه‌گانه شامل شش الکترون مشترک است. برای مثال، مولکول N_2 را در نظر بگیرید. نیتروژن در گروه VIA قرار دارد و یک نیتروژن دارای پنج الکترون طرفیتی است. تشكیل مولکول N_2 را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:



این زوج الکترون‌ها به وسیله هدوایم که گفته می‌شود با یک پیوندese کانه به یکدیگر متصل شده‌اند، به اشتراک گذاشته شده‌اند. توجه کنید که در نتیجه این فرمول بندی، هر اتم نیتروژن دارای هشتگانی الکترونی شده است. مثال‌های دیگری که دارای پیوندهای دوگانه و سه‌گانه هستند عبارتند از:





پیوند کووالانسی تغییب



پیوند یونی



پیوند کووالانسی



یون و ایجاده

شکل ۸ - ۲ حالت‌های گذار بین پیوند یونی و کووالانسی

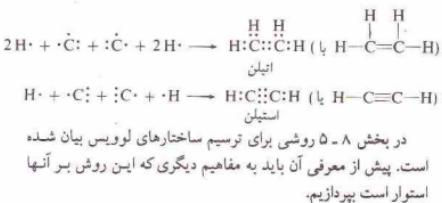
پیوندهای با خصلت کووالانسی بالاتر دارد. تمام ترکیبات بریلم (BeO^{2+})، کوچکترین کاتیون گروه IIA است. خصلت کووالانسی قابل توجهی دارد. یون K^{+} کوچکترین عنصر گروه IIIA است. فقط ترکیبات کووالانسی تشکیل می‌کنند. یون فریز B^{3+} باید دارای بار ای و اندازه بسیار کوچک باشد که موجب ایجاده شدید آئیون و تشکیل پیوند کووالانسی خواهد شد.

کلریدهای حاصل از چهار فاز اول تناوب چهارم، «کاتیون‌های» هم الکترون با Ar^{+} دارند. در این سری که شامل ScCl_4^- ، CaCl_4^- ، KCl ، $\text{Sc}_2\text{O}_7^{2-}$ است، با افزایش بار و کاهش اندازه «کاتیون»، خصلت کووالانسی افزایش می‌یابد. KCl ، شدیداً یونی است، و TiCl_4^- مایع با خصلت کووالانسی است. ترکیبات یونی محض که کاتیون‌هایی با بار +۲ یا +۳ با الاتر داشته باشند، نادرستند. ترکیبات مانند SbCl_5^- ، PbCl_5^- ، SnCl_5^- ، BiF_6^- کووالانسی‌اند.

روغن دیگر برای مطالعه پیوندهای دارای خصلت بینایی، در نظر گرفتن قطبش پیوندهای کووالانسی^۲ است. یک پیوند کووالانسی محض، فقط زمانی به وجود می‌آید که دو اتم یکسان به یکدیگر متصل شوند.

در صورتی که دو اتم متفاوت به وسیله یک پیوند کووالانسی به یکدیگر متصل شوند، چگالی الکترون پیوند به طور متعارن در پیامون دو هسته توزیع خواهد شد. صرف نظر از یوانشیتات این عنصر به یکدیگر، توانایی آنها برای جذب الکترون‌ها متفاوت خواهد بود.

کلر توانایی بیشتری برای جذب الکترون‌ها دارد تا برم. در مولکول BrCl ، الکترون‌های پیوند کووالانسی، بیشتر به وسیله اتم کلر جذب می‌شوند. در نتیجه ابر الکترونی در پیامون اتم کلر، چگالی تر است و سر کل در پیوند، بار منفی جزئی دارد. چون مولکول BrCl به طور کلی خشن



در بخش ۵-۵ روشی برای ترسیم ساختارهای لوریس بیان شده است. پیش از معروفی آن باید به مفاهیم دیگری که این روش بر آنها استوار است پیردازیم.

۸-۲ حالت‌های گذار بین پیوندهای کووالانسی و یونی

پیوند شیمیایی در بیشتر ترکیبات، از نظر خصلت، حد و اسط بین پیوند کووالانسی خالص و پیوند یونی خالص است.

بهترین مثال پیوند یونی در ترکیبات مشاهده می‌شود که از یک فلز با انرژی یونش بسیار پایین (ملا) Cs و یک نافلز با میل شدید برای گرفتن الکترون (ملا) F تشکیل شده باشند. در ترکیب CsF پیوند یونی به صورت واحدهای دیگانهای در بلور قرار دارد.

پیوند کووالانسی خالص را در مولکول‌های تشکیل شده از دو اتم یکسان، مانند Cl_2 می‌توان مشاهده کرد. توانایی جذب الکترون به وسیله یک اتم کار مکمالاً برابر با اتم کلر دیگر است. ابر الکترونی پیوند به صورت متعارن پیامون دو هسته توزیع شده است. به سخن دیگر، دو اتم یکسان، به طور مساوی در الکترون‌های پیوندی سهمیان.

حالت پیوند در اغلب ترکیبات شیمیایی، بین این دو حالت حدیق دارد. یکی از روش‌های مطالعه این پیوندهای دارای خصلت بینایی، بر واپیچه یون^۱ استوار است. خصلت پیوند در ترکیب مرکب از یک فلز و یک نافلز را می‌توان براساس برهمنکش بین یون‌ها تفسیر کرد. این باور وجود دارد که بین دارایی بار مثبت، ابر الکترونی آئیون را به طرف خود جذب می‌کند و باعث واپیچش آن می‌شود. بار الکترونی بون منفی به سوی کایتون کشیده می‌شود. در موارد حدیق، واپیچش آئیون ممکن است به ترکیبات منجر شود که بیشتر خصلت کووالانسی مارند تا یونی (ترتیب رسم شده در شکل ۸-۲ را ببینید). میزان خصلت کووالانسی یک ترکیب، به میزان راپیچجیدگی آئیون مربوط به آن استگی دارد.

۱- آئیون‌ها. سهولت واپیچه یک آئیون را و بار آن استگی دارد. یک آئیون بزرگ، که الکترون‌های خارجی آن آز هسته دور می‌ستند، به آسانی واپیچه شود. بیون ییدی (۳)، شعاع یونی 216 pm آسان تر از یون پولیورورید (F^- ، شعاع یونی 136 pm) واپیچه می‌شود. هر چه بار منفی آئیون بیشتر باشد، واپیچش آن آسان تر است. در آئیونی که دارای بار منفی زیاد باشد، شمار الکترون‌ها از بیون‌ها بیشتر است. در نتیجه ابر الکترونی چینین آئیونی به آسانی واپیچه می‌شود. واپیچش یون S^{2-} آسان‌تر از یون Cl^- است.

۲- کاتیون‌ها. توانایی یک کاتیون برای واپیچش ابر الکترونی یک آئیون مجاور نیز به اندازه و بار استگی دارد. کاتیون کوچکی با بار مثبت زیاد، اثر بیشتری برای واپیچش آئیون دارد. چگالی بار مثبت در چنین کاتیونی بالاست.

در هرگوشه از فلزات جدول تناوبی، فلزی که کوچکترین کاتیون را به وجود می‌آورد (مثلاً Li در گروه IIA)، میل بیشتری برای تشکیل

$$\text{گشتاور یا گشتاور} = \frac{M}{l \times e} = \frac{C = M}{\frac{31 + 35 + 17}{3 \times 3 \times 4 \times 1}} = D$$

$$\begin{aligned} \text{(نافصله) (بار)} &= \text{گشتاور} \text{ دو نظری} \\ &= (1.60 \times 10^{-19} \text{ C}) (1.27 \times 10^{-10} \text{ m}) \\ &= 2.03 \times 10^{-29} \text{ C.m} = 6.08 \text{ D} \end{aligned}$$

واحد دبی D , برابر با $\text{C.m} = 10^{-34} \times 10^{-30}$ است.

گشتاور دو قطبی تجربی HCl برابر $D = 10^{-3}$ است. اگر گشتاور تجربی را با گشتاور محاسبه شده برای $\text{H}^+ \text{Cl}^-$ مقایسه کنیم، داریم:

$$1.03 \text{ D}/6.08 \text{ D} = 0.169$$

معنی، پیوند HCl , حدود 16.9% خصلت یونی دارد.

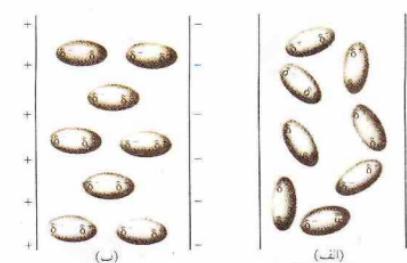
۳-۸. الکترونگاتیوی

الکترونگاتیوی Cl^- میزان توانایی نسبی یک اتم برای جذب الکترون در یک مولکول است. قیمتی پیوند HCl می تواند تاثیر از تفاوت بین الکترونگاتیوی اتم Cl و اتم H باشد. چون اتم Cl , الکترونگاتیویتر از اتم H است، آن سر مولکول که به Cl متنه می شود، سر منفی دو قطبی است، و بار منفی چزنی، -8 ، دارد (سر منفی به H , دارای بار مثبت چزنی، $+5$ ، می باشد).

مفهوم الکترونگاتیوی که در حقیقت نیست اما مفید است. مقداری الکترونگاتیوی بر مبنای یک مقیاس اختیاری بین می شود و مقداری نسبی اند و فقط برای مقایسه کافی بین همان مقدارها درست نیست، اما چندین روش برای محاسبه آن پیشنهاد شده است.

مقیاس الکترونگاتیوی نسبی لیتوس پاویلینگ، بر انرژی پیوندهای شیمیایی استوار است. پیوند تشکیل شده در بین دو اتم با الکترونگاتیوی متفاوت، پیوندی قطبی است. یک پیوند کرووالانسی قطبی، همیشه قریت از پیوندی است که بر مبنای سهم مساوی اتم ها از الکترون های مشترک تصور شود. این تفاوت بیانگر مقدار انرژی لازم برای غلبه بر بارهای چزنی، $+8$ ، -8 ، پیوند قطبی است که تیجه شناسی انساواهی کلکtron هاست. برای این ترتیب اندازه این تفاوت انرژی پیوند به انساواهی کلکtron هاست. این تفاوت کلکtron های شکل دهنده پیوند مرویط می شود. این مقیاس با گامداران مقدار اختیاری R^+ به اتم فلوروئر (یعنی الکترونگاتیویترین اتم) برابر شد.

برخی مقایر الکترونگاتیوی نسبی عناصر در جدول ۱-۸ آمده است. به طور کلی الکترونگاتیوی در یک تابع، از چپ به راست (با افزایش شمار الکترون های ظرفیتی) و در یک گروه از پایین به بالا (با کاهش اندازه اتم) افزایش می یابد. الکترونگاتیویترین عناصر را در گروههای اساسی راست جدول تابعی (با صرف نظر از گازهای نجیب) می توان پیدا کرد. عناصر دارای کچکترین مقادیر الکترونگاتیوی بین در گوشة پایین سمت چپ قرار دارند.



شکل ۳-۸ اثر میدان الکترواستاتیک بر جهتگیری مولکول های باردار (الف) در مجاورت صفحه های بدون بار، (ب) در مجاورت صفحه های باردار

است، اثر سرم باشد از این میث مساوی با بار منفی اتم کلر باشد. چنین پیوندی، با قطب های مثبت و منفی، پیوند کرووالانسی قطبی نامیده می شود. بار چزنی پیوند با نامهای $+5$ و -8 ، برای تمايز ساختن آنها بار یونی کامل، مشخص می شود. هر قدر اختلاف توانایی جذب الکترون به وسیله اتم هایی که با پیوند کرووالانسی به یکدیگر متصلب شده اند، بیشتر باشد، پیوند قطبی تر و قادر مطلقاً بارهای چزنی پیشتر خواهد بود. اگر توزیع نایابر اس الکترون های به حد نهایی بررسی، یکی از اتم ها تمام الکترون های پیوندی را خواهد داشت، که تیجه آن تشکیل یون های جداگانه است (شکل ۳-۸). را از پایین به بالا ببینید.

جهتگیری یک مولکول کرووالانسی قطبی در یک میدان الکترونگاتیوی بین صفحه های یک خازن به گونه ای است که سر منفی آن به سوی صفحه مثبت و سر مثبت آن به سوی صفحه منفی قرار می گیرد (شکل ۳-۸). مولکول های قطبی که بر این ترتیب قرار می گیرند، در مقدار بار الکترونگاتیوی که دو صفحه باردار می توانند تغییر دارند، این می گذرانند. در نتیجه، اندازه گیری هایی می توان انجام داد که محاسبه کمیتی به نام گشتاور دو قطبی را میان یون های سازد. اگر دو بار مساوی با علاوه مختلف در فاصله معینی از یکدیگر قرار داشته باشند، گشتاور دو قطبی به صورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$(۱-۸) \quad \text{(نافصله) (بار)} = \text{گشتاور} \text{ دو نظری}$$

گشتاور دو قطبی مولکول های غیر قطبی، مانند P_4 , Cl_2 , Br_2 , I_2 , S_8 , ClO_4^- , BrO_3^- , I_3^- , ClO_3^- , BrO_4^- و I_4^- ، صفر است. گشتاور دو قطبی مولکول های دو اتمی قطبی، با افزایش قطبیت لیتوس پاویلینگ R^+ ، گشتاور دو قطبی را برای محاسبه خصلت یونی چزنی A^- یک پیوند کرووالانسی به کار برد. اگر HCl به طور کامل یونی H^+ و Cl^- باشد، طول پیوند HCl نایابر با $(10^{-10} \text{ m})^{1/2} = 1.77 \text{ pm}$ است. گشتاور دو قطبی $\text{H}^+ \text{Cl}^-$ فرضی، چنین خواهد بود:

جدول ۲-۸ ۲ برخی خواص هیدروژن هالیدها

		هیدروژن هالید	تفاوت الکترونگاتیوی بین هیدروژن و هالید	گشتواره و قطبی (kJ/mol)	الکترونگاتیوی هالوزن	پیوند کووالانسی
۱-۸	F = ۲	۵۶۵	۱۹۱	-	HF	
۱-۹	Cl = ۳-۲	۴۳۱	۱۰۳	-	HCl	
۱-۸	Br = ۳-۱	۳۶۴	۷۷۸	-	HBr	
۱-۹	I = ۲-۷	۲۹۷	۳۸	-	HI	

باشد پیوند بین آن دو اتم قطبی تر خواهد بود. در شکل ۲-۸، درصد

تفاوت یونی یک پیوند بر حسب تفاوت الکترونگاتیوی دو اتم تشکیل دهنده آن پیوند رسم چیزی بپیوند به حدود ۷۵٪ خواهد رسید.

براساس منحنی شکل ۲-۸ تفاوت ۵ تا ۷٪ برای NaCl، نشانه دهنده

تفاوت یونی چیزی ۷۲٪ و تفاوت ۲۳٪ برای MgO باشد. میانگر خصلت

یونی چیزی ۷۳٪ است. هر سه ترکیب داده شده اعتمادتاً بیونی هستند.

تفاوت الکترونگاتیوی بین دو ناپل، اغلب جهان زیاد نیست. در این

موارد پیوند هامدتاً کووالانسی است و تفاوت الکترونگاتیوی عناصر

میان کووالانسی بودن پیوندین آنها را به دست می دهد. اگر تفاوت

الکترونگاتیوی صفر با سیار کوچک باشد (مثلاً در پیوندین S و Cl)،

پیوند را غیرقطبی می توان در نظر گرفت. هرچه تفاوت الکترونگاتیوی

بیشتر باشد پیوند کووالانس قطبی تر خواهد بود. اتم دارای بار چیزی

منفی در یک پیوند قطبی اتم الکترونگاتیو است. با استفاده از

الکترونگاتیوی می توان تیجه گرفت که HF قطبی ترین هیدروژن هالید

با بالاترین اثرزی پیوند است (جدول ۲-۸ را ببینید). خصلت یونی چیزی

پیوند H—F حدود ۴۵٪ است. گرچه براساس تفاوت الکترونگاتیوی

W و F (معنی ۱-۸) می توان مقدار پیشتری پیش بینی کرد.

مفهوم الکترونگاتیوی تاریق است. زیرا این خاصیت نه فقط به

ساختار اتم موردنظر بلکه به تعداد و ماهیت اتم های تصلع به آن نیز

بستگی دارد. در تیجه الکترونگاتیوی که اتم مقدار تابی نیست. برای

مثال الکترونگاتیوی فسفر در PCl₅ با الکترونگاتیوی آن در HF

تفاوت دارد. به این ترتیب مقادیر الکترونگاتیوی، تغییری اند و تفاوت

الکترونگاتیوی را نمی توان کاملاً دقیق به حساب آورد.

جدول ۲-۸۱ الکترونگاتیوی نسبی

H	He
Li 1.0	Be 1.6
Na 0.9	Mg 1.3
K 0.8	Ca 1.0
Rb 0.8	Sr 0.9
Cs 0.8	Ba 0.9

فلزات عناصری با کمترین جاذبه برای الکترون های ظرفیتی اند (الکترونگاتیوی پایین). ناپلزات بجز گازهای تعجب پیشترین جاذبه را

دارند (الکترونگاتیوی بالا). در نتیجه الکترونگاتیوی را می توان برای

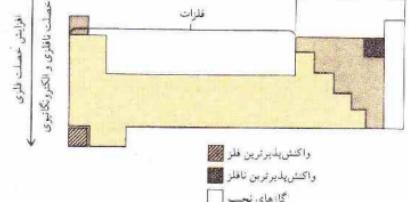
سندها واکنش پذیری فلزات و ناپلزات به کار گرفت. موقعیت آنها در

جدول تناوبی کمک شایانی به پیش بینی واکنش پذیری شیمیایی می کند (شکل ۲-۸ را ببینید).

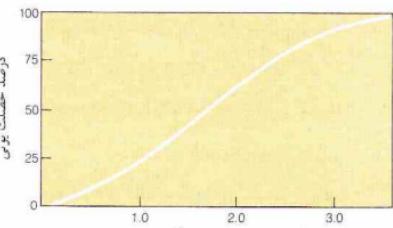
الکترونگاتیوی را می توان برای پیش بینی ماهیت پیوند شیمیایی در

ترکیبات نیز به کار برد. هر چه تفاوت بین الکترونگاتیوی دو اتم پیشتر

از این خصلت ناپلری و الکترونگاتیوی



شکل ۲-۸ رابطه بین موقعیت در طبقه بندی تناوبی و واکنش پذیری فلزی با ناپلزی عناصر



شکل ۲-۹ نمودار درصد یونی خصلت یک پیوند بر حسب تفاوت

الکترونگاتیوی دو اتم تشکیل دهنده آن

الکترون‌های ظرفیت آن اتم در حالتی که از لحاظ الکتریکی خشی بوده است، می‌توان به دست آورد.

اتم N در NH_4^+ دارای چهار الکترون ظرفیت است – یک الکترون از تقسیم هر یک از چهار پیوند کوالوالانسی، چون تعداد الکترون‌های یک اتم N خشی پنج است، اتم N در NH_4^+ دارای پیاردادی ۱+ می‌باشد. تعداد الکترون‌های هر یک از اتم‌های H در NH_4^+ پیار برای تعداد الکترون‌ها در یک اتم خشی است و به این ترتیب پارقاردادی ندارند.

برای محاسبه پارقاردادی می‌توان فرمول زیر را ارائه داد، اگر تمام الکترون‌های ظرفیتی از اتم جدا شوند (برای عناصر خالواده، تعداد این الکترون‌های برابر با شماره گروه است)، یون حاصل دارای پارمشیت برابر با:

$$(\text{تعداد}-\text{های ظرفیتی}) +$$

خواهد بود. اگر الکترون ظرفیتی داشته است، این رقم برابر با پار اتحمی می‌شود. اما در یک مولکول هر اتم دارای الکترون‌های ظرفیتی مربوط به خود است که صورت پیوند کوالوالانسی به اشتراک گذاشته شده‌اند و با به صورت آزاد یا مانده‌اند. اگر الکترون‌های پیوند کوالوالانسی به طور مساوی بین دو اتم تقسیم شده باشند اتم مورد نظر ما فقط یک الکترون از زوج الکترون هر پیوند را خواهد داشت (بار ۱- به ازای هر سر زوج الکترون مشترک). همچنین اتم مورد بحث ما به ازای هر الکترون نایپوندی که در مولکول دارد بار ۱- خواهد داشت. کل پار منفی مربوط به این موارد برابر است با:

$$(\text{تعداد}-\text{های نایپوندی}) + (\text{تعداد}-\text{های مشترک}) \frac{1}{2}$$

بنابراین، پارقاردادی اتم شرکت‌کننده در پیوند از فرمول زیر به دست خواهد آمد:

$$(۴-۸) .$$

$$\text{تعداد}-\text{های مشترک} - \frac{1}{2} - (\text{تعداد}-\text{های ظرفیتی}) = \text{پارقاردادی}$$

$$(\text{تعداد}-\text{های نایپوندی}) -$$

چون اتم (از گروه VA) در چهار زوج الکترون سهیم است و الکترون نایپوندی هم ندارد پارقاردادی آن به شرح زیر خواهد بود:

$$+ 5 - 4 - 0 = + 1 +$$

پارقاردادی هر اتم H در NH_4^+ ، صفر است:

$$+ 1 - 0 = 0 = \text{پارقاردادی}$$

پارقاردادی اتم N در NH_4^+ به صورت زیر مشخص می‌شود:



پیوند O-C، قطبی تر است. در هر دو مورد اتم اکسیژن دارای پار-۵ است.

از جدول تابعی نیز می‌توان همین نتیجه را به دست آورد. در یک تابوت الکترون‌نگاتیوی از چهار به راست افزایش می‌یابد. ترتیب مقادیر الکترون‌نگاتیوی عناسر به صورت $\text{O} > \text{N} > \text{C}$ است. در پیوند C-O-C است. اتم دارای کسترنین الکترون‌نگاتیوی (C) به اتم دارای پیشترین الکترون‌نگاتیوی (O) به همدیگر مستصل شده‌اند، در نتیجه پیوند قطبی تر است.

(ب) ثابتوت الکترون‌نگاتیوی عناصر به قرار زیر است:

$\text{S} = \text{Zr} - 2$ = الکترون‌نگاتیوی S - الکترون‌نگاتیوی Zr: برای پیوند S-F

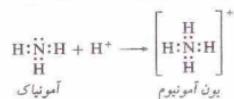
$\text{O} = \text{Zr} - 3$ = الکترون‌نگاتیوی O - الکترون‌نگاتیوی Zr: برای پیوند O-F

پیوند S-F قطبی تر است. در هر دو پیوند اتم دارای پار-۳ است.

اتم F الکترون‌نگاتیوی اتم در هر دو پیوند است، زیرا تردیکترین اتم با گشایالاً سمت‌چپ جدول تابعی می‌باشد. چون S در گروه VIA در زیر O فرار دارد، S الکترون‌نگاتیوی کسترنی سمتی به O داراست. در ترتیب پیوند S-F قطبی تر است، زیرا اتم دارای کسترنین الکترون‌نگاتیوی (S) را به اتم دارای پیشترین الکترون‌نگاتیوی (F) متصل می‌کند.

۳-۸ پارقاردادی

در برخی از پیوندهای کوالوالانسی هر دو الکترون به اشتراک گذاشته شده، به یکی از اتم‌ها تعلق دارند. برای مثال در واکنش آمونیاک با یک پروتون (اتم هیدروژن فاقد الکترون)، زوج الکترون نایپوندی اتم نیتروژن در NH_3 برای تشکیل پیوند کوالوالانسی جدید به کار می‌رود:



پیوندی که به این طریق تشکیل می‌شود نام پیوند «کوئرور-دیتائنسی» کووالانسی می‌تواند به معنی متفاوت بین آن با سایر پیوندهای الکترون‌ها سرهنگ نظر از منبع آنها یکسانند. تمام پیوندهای نایپوندی این پیکاساند. شخصی آنها از یکدیگر امکان‌پذیر نیست.

اما توجه کنید که تعداد پیوندهای ذوق الکترونی اتم N در NH_4^+ با تعداد پیش‌بینی شده سازگار نیست، چون یک اتم نیتروژن دارای پنج الکترون ظرفیتی است (ن در گروه VA قرار دارد)، با اشتراک گذاشتن سه الکترون می‌توانست به هشتاین الکترون برسد. این پیش‌بینی در مورد NH_4^+ مصدق است اما در مورد NH_3 چنین نیست.

این مشاهدات را می‌توان با محاسبه پارقاردادی اتم‌ها در NH_4^+ تبیین کرد. پارقاردادی را با تقسیم الکترون‌های پیوندی در بین اتم‌های تشکیل دهنده پیوند (یک الکترون به ازای هر پیوند کوالوالانسی) و سپس مقایسه تعداد الکترون‌های داده شده به هر اتم با

بار قراردادی هر اتم : Cl :

$$\text{Cl} = + 7 - 6 = + 1 - 6 = \text{بار قراردادی}$$

در نتیجه، ساختار مولکول به صورت زیر است:



توجه کنید که مجموع بارهای قراردادی در ساختار POCl_3 برابر صفر است. جمع جزئی بارهای قراردادی تمام های یک بون برابر با بار آن بون است. جمیع جزئی بارهای قراردادی اتم های دیگر بون برابر با بار آن بون است.

در یک ساختار لوویس، اتم هایی که تعداد پیوندهای آنها برابر با شماره گروه آنها باشد، بار قراردادی ندارند. در صورت این امکان باید ساختار لوویس را پنچ نوشت که تمام بیونهای هر اتم برابر با شماره گروه آن باشد. اما در پیشتر موارد چنین کاری عملی نیست.

علامت بار قراردادی دو اتم که در ساختاری به یکدیگر متصل شده اند نباید یکسان باشد، زیرا داغه بین این دو اتم های بسب شکستن پیوند خواهد شد. یک ساختار لوویس که در آن قاعده بار مجاور^۱ تقض شده باشد، معمولاً نمایش صحیحی از آن مولکول یا بون خواهد بود (مثال ۴ - ۸ در پیش ۵ - ۸ را ببینید).

۵ - ۸ ساختارهای لوویس

مثال های زیر نمایشگر ترسیم ساختارهای لوویس اند. مراحل این روش، در مثال ۱ - ۸ آمده است.

۶ - ۸ مثال

ساختار لوویس یون کلرات، ClO_4^- ، را رسم کنید. در این بون اتم Cl، اتم مرکزی است که سه اتم اکسیژن به آن متصل شده اند.

حل

۱ - تعداد کل الکترون های ظرفیتی تمام های موجود در ساختار را پیدا کنید. تعداد این الکترون ها برای عنصر خانواده ۸ برابر با شماره گروه آن عنصر است. برای یک بار منفی بار بون را به این عدد اضافه کنید. برای یک بون منیت بار بون را از این عدد کم کنید. تعداد کل الکترون های ظرفیتی در ClO_4^- برابر است با:

$$(از اتم کل) 7$$

$$(از سه اتم اکسیژن) 18$$

$$(از بار بون) 1$$

۲۶

اکتون می توانیم تفاوت بین تعداد پیش بینی شده و تعداد واقعی پیوندهای N در NH_4^+ تبیین کنیم. یک N⁺ فرضی می تواند چهار الکترون ظرفیتی داشته باشد و چهار پیوند کووالانسی تشکیل دهد. از سوی دیگر یک اتم N بدون بار دارای پنج الکترون ظرفیتی است و فقط می تواند سه پیوند کووالانسی به وجود آورد.

بار قراردادی همان طور که از نام آن برگزیده فقط یک مفهوم قراردادی است. در تعیین بار قراردادی فرض بر این است که زوج الکترون هر پیوند کووالانسی به طور مساوی در بین اتم های تشکیل دهنده پیوند تقسیم شده اند. چنین فرضی در اغلب موارد درست نیست. در نتیجه بار قراردادی را باید با اختیاط تفسیر کرد. چگالی الکترونی اتم N در NH_4^+ ، کمتر از اتم N در NH_3 است، اما بار واقعی یک بار مبتنی نیست، زیرا الکترون های پیوندی به طور مساوی در بین اتم های تقسیم نشده اند. برای مثال دیگر از حساسیه بار قراردادی، به ساختار مولکول PCl_5 در رو به:



بار قراردادی اتم اکسیژن (O) برابر است با:

$$(\text{تعداد }-\text{های مشترک}) - \frac{1}{3} = (\text{تعداد }-\text{های ظرفیتی}) + = \text{بار قراردادی}$$

$$(\text{تعداد }-\text{های نایوندی}) -$$

$$= + 6 - 1 - 6 = 1 -$$

بار قراردادی اتم P:

$$+ = + 5 - 4 - 0 = 1 +$$

بار قراردادی

۱ - بار قراردادی یک اتم در یک ساختار لوویس را می توان

با استفاده از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$(\text{تعداد }-\text{های مشترک}) - \frac{1}{3} = (\text{تعداد }-\text{های ظرفیتی}) + = \text{بار قراردادی}$$

$$(\text{تعداد }-\text{های نایوندی}) -$$

۲ - در یک مولکول مجموع بارهای قراردادی صفر است. بار قراردادی یک بون برابر با بار آن بون است.

۳ - تعداد پیوندهای آن در یک ساختار لوویس برای

با تعداد پیش بینی شده بر مبنای شماره گروه آن باشد، بار قراردادی ندارد. در صورت این امکان باید ساختار لوویس را چنان

نوشت که تعداد پیوندهای هر اتم برابر با شماره گروه آن باشد.

۴ - علامت بار قراردادی اتم هایی که در یک ساختار به

یکدیگر متصل شده اند، باید یکسان باشد. آن دسته از ساختارهای

لوویس که در آنها قاعده بار مجاور رعایت نشده باشد، نمایش

صحیحی از آن مولکول یا بون به دست نمی دهند.

بار قراردادی هر اتم O برابر است با:
 $- = + 6 - 1 - 6 = 1$ = بار قراردادی

ساختار نهایی به صورت زیر است:



تجویه داشته باشید که جمع جبری بارهای قراردادی برابر باز یون، یعنی
 $1 -$ است.

مثال ۳-۸
 ساختار لووس مولکول SO_3 را رسم کنید. این مولکول خمیده است و
 دو اتم O به اتم مرکزی S متصلند.

حل

۱- تعداد کل الکترون‌های طرفینی در این مولکول:

$$\begin{array}{r} \text{(از اتم S)} \\ 6 \\ \hline \text{(از دو اتم O)} \\ 12 \\ \hline 18 \end{array}$$

$$2 - \text{(تعداد سایر اتمها)} + 1 = \text{(تعداد اتمها)} 2(H) = \text{تعداد} -\text{برای هر اتم}$$

$$= 2 + 1 = 24$$

$$3 - \text{(تعداد کل} - 6) - \text{(تعداد} -\text{برای هر اتم)} = \text{تعداد} -\text{پیوندی}$$

$$= 24 - 18 = 6$$

$$4 - \frac{\text{(تعداد} -\text{های پیوندی)}}{\text{(تعداد} -\text{های پیوندی)}} = \frac{6}{2} = 3$$

$$5 -$$



$$6 - \text{(تعداد} -\text{های ناپیوندی)} - \text{(تعداد کل} - 6) = \text{تعداد} -\text{های ناپیوندی}$$

$$= 18 - 6 = 12$$



$$7 - \text{(تعداد} -\text{های طرفینی)} = \text{بار قراردادی}$$

$$\text{(تعداد} -\text{های ناپیوندی)} - \text{(تعداد} -\text{های مشترک)} = \frac{1}{3}$$

$$\text{برای اتم S}$$

$$+ = + 6 - 3 - 2 = 1+$$

$$\text{برای اتم O سمت چپ،}$$

$$+ = + 6 - 2 - 4 = 0$$

$$= \text{بار قراردادی}$$

۲- تعداد الکترون‌های لازم برای آنکه به هر اتم H دو الکترون و به هر یک از اتم‌های دیگر هشت الکترون برسد را پیدا کنید. چون یون مورد بحث ما، یعنی ClO_3^- اتم H ندارد،

$$\begin{aligned} \text{(تعداد اتم‌های} - 8) + 8 &= \text{تعداد} -\text{های برای هر یک از اتمها} \\ &= 2(+) + 8(?) = 32 \end{aligned}$$

۳- تعداد به دست آمده در مرحله ۲ منهاجی تعداد به دست آمده در مرحله ۱ برابر با تعداد الکترون‌هایی است که باید در ساختار نهایی به اشتراک گذاشته شوند:

$$\begin{aligned} \text{(تعداد کل} - 6) - \text{(تعداد} -\text{برای هر اتم)} &= -\text{پیوندی} \\ &= 32 - 26 = 6 \end{aligned}$$

۴- نصف الکترون‌های پیوندی (از مرحله ۳) برابر با تعداد زوج الکترون‌های به کار گرفتشده در تشکیل پیوندهای موجود در ساختار نهایی است:

$$\begin{aligned} 2 - \text{(تعداد الکترون‌های پیوندی)} &= \text{تعداد پیوندهای دو الکترونی} \\ &= 6/2 = 3 \end{aligned}$$

۵- تعداد اتم‌های موجود در ساختار آنپیوندی و آنها را به گونه‌ای که در ساختار مولکولی قرار دارند، سازمان دهی. زوج الکترون هر یک پیوندی‌های کووالانسی را یک خط تیره که درین نمادها قرار می‌دهید، مشخص کنید. بین هر دو نماد، یک زوج الکترون قرار دهد و سپس تعداد باقیمانده از مقدار محاسبه شده در مرحله ۴ را برای تشکیل پیوندهای دوگانه به کار ببرید (تجویه کنید که در صورت وجود اتم‌های H در ساختار هر اتم H محدود بدیک پیوند است):



۶- تعداد کل الکترون‌ها (مرحله ۱) منهاجی تعداد الکترون‌های پیوندی (مرحله ۳) برابر با تعداد الکترون‌های ناپیوندی است. هشتمانی الکترونی هر یک از اتم‌ها (بجز اتم‌های H) وا با افزون نقطه‌هایی که نمایشگر الکترون‌های ناپیوندی هستند کامل کنید:

$$\begin{aligned} \text{(تعداد} -\text{های ناپیوندی)} - \text{(تعداد کل} - 6) &= \text{تعداد} -\text{های ناپیوندی} \\ &= 26 - 6 = 20 \end{aligned}$$



۷- بار قراردادی اتم‌ها را تنشاند. بار قراردادی اتم‌کلر برابر است با:
 $\frac{1}{3} - \text{(تعداد} -\text{های مشترک)} = \text{بار قراردادی اتم‌های طرفینی} = \text{بار قراردادی}$

$$- \text{(تعداد} -\text{های ناپیوندی)} =$$

$$+ = 7 - 3 - 2 + 2 = 2 +$$

شیوه نوشتن ساختارهای لوویس

۱ - تعداد کل الکترون‌های ظرفیتی تمام اتم‌ها را در ساختار پیدا کنید. تعداد الکترون‌های هر عنصر خانواده A برابر با شماره گروه آن عنصر است:

الف - برای یک پون منفی بار یون را به این عدد اضافه کنید.

ب - برای یک پون مثبت بار یون را از این عدد کم کنید.

۲ - تعداد الکترون‌های لازم برای آنکه به هر اتم H دو الکترون

و به سایر اتم‌ها هر یک هشت الکترون برسد را پیدا کنید:

(تعداد سایر اتم‌ها) + ۸ = (تعداد اتم‌های H) = ۲ = تعداد های هر اتم

۳ - عدد به دست آمده در مرحله ۲ منهاز عدد به دست آمده در مرحله ۱ برابر است با تعداد الکترون‌هایی که باید در ساختار نهایی به اشتراک گذاشته شوند:

(تعداد الکترون‌ها) - (تعداد های هر اتم) = تعداد های پیوندی

۴ - نصف الکترون‌های پیوندی (مرحله ۳) برابر با تعداد پیوندهای کووالانسی در ساختار نهایی است:

۲ / (تعداد الکترون‌های پیوندی) = تعداد های دو الکترون

برای اتم O سمت راست،

$$= ۶ - ۱ - ۱ = ۴ = \text{بار قراردادی}$$

ساختار نهایی به صورت زیر است:



- ۲ = (تعداد سایر اتم‌ها) + ۸ = (تعداد H) = ۲ = تعداد الکترون‌های هر اتم

$$= ۲(۱) + ۸ = ۱۰$$

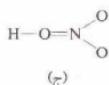
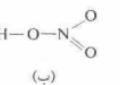
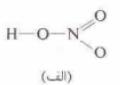
- ۳ = (تعداد کل الکترون‌ها) - (تعداد های هر اتم) = تعداد های پیوندی

$$= ۱۰ - ۱۰ = ۰$$

- ۴ = (تعداد های های پیوندی) = تعداد زوج الکترون‌ها

$$= ۰/۲ = ۰$$

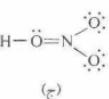
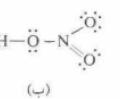
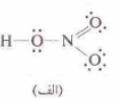
۵ - این مولکول دایر پیوند است. اگر درین هر دو اتم یک پیوند قرار دهیم، چهار پیوند ازین پیوند مصرف خواهد شد و یک پیوند باقیمانده را باید برای تشکیل پیوند دوگانه به کار ببریم. سه امکان وجود دارد که آنها را با نشانه‌های (الف)، (ب) و (ج) مشخص می‌کنیم.



چون اتم H فقط یک پیوند می‌تواند داشته باشد، ساختاری با پیوند دوگانه درین H و O امکان‌پذیر نیست.

- ۶ = (تعداد های های پیوندی) - (تعداد کل های پیوندی) = تعداد های ناپیوندی

$$= ۱۰ - ۱۰ = ۰$$



مثال ۸

ساختار لوویس نتیریک اسید، HNO_3 ، را رسم کنید. اتم N در مرکز قرار دارد و سه اتم O به آن متصل‌اند. اتم H به یکی از اتم‌های O وصل شده است.

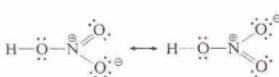
حل

۱ - تعداد کل الکترون‌های ظرفیتی در این مولکول:

۱	(از اتم H)
۵	(از اتم N)
۱۸	(از سه اتم O)

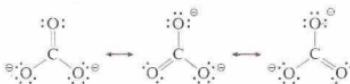
۲۴

دو ساختار لوویس هماز برای مولکول نیتریک اسید که در مثال ۴-۸ به دست آمدند، فرم‌های رزونانسی این مولکول اند:



ساختار واقعی مولکول حد واسطه بین این دو فرم است. دو پیوند N-O سمت راست طول یکسان (۱۲۱ pm) دارند و هر یک از این پیوندها در یک ساختار به صورت ساده و در ساختار دیگر به صورت دوگانه نمایش داد شده است. پیوند N-O به سمت چپ (که به صورت پیوند نمایش داده شد) داده است (پیوند داده شده است) پلنت از دو پیوند دیگر است (۱۴۱ pm).

نا مستقر شدن بار در یک پیوند را با رزونانس یون کریات، CO_3^{2-} ، می‌توان نمایش داد. این یون مسطوح است و تمام پیوندهای آن هم از زند (بین پیوندهای ساده و دوگانه)، و تمام اتم‌های اکسیژن به مقدار مساوی منفی هستند. بار قراردادی اتمها با یکدیگر جمع شده است:



همانطور که با رزونانس نشان داده است، بار تأثیرگذار شده؛ یعنی مشخص کردن مکان دقیق دو اتم کربرون «اضافی» که بار منفی به یون پخشیده‌اند غیرممکن است.

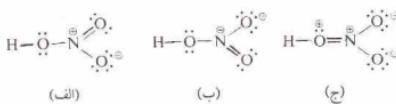
برای هر یک از اجزای مولکولی یاد شده، یعنی SO_4^{2-} ، CO_3^{2-} ، تمام فرم‌های رزونانسی هم از زند. در این گونه موارد هم تمام فرم‌ها در همیزید رزونانسی برپا است. به این دلیل هر پیوند C-O در یون CO_3^{2-} ، با دو پیوند دیگر هم از ز است و آن را می‌توان $\frac{1}{3}$ بروند به حساب آورد. اما در برخی از همیزیدهای رزونانسی، تمام فرم‌ها هم از نیستند. برخی از فرم‌ها ممکن است اثری کمتری نسبت به فرم‌های دیگر داشته باشند و سهم اصلی در همیزید رزونانسی را به خود اختصاص دهند. از روی فرم‌های دیگر ممکن است چنان بالا باشد که سهم اندکی در همیزید رزونانسی پیدا کنند. در نتیجه برای مشخص کردن مهم‌ترین فرم رزونانسی باید همه آنها را ارزیابی کنیم. ملاحظات زیر به فرم‌های رزونانسی مربوط است:

۱- آرایش هسته‌ها در تمام فرم‌های رزونانسی یک مولکول را بون باشد. تفاوت فرم‌های رزونانسی بک جزء، فقط به آرایش الکترون‌ها مربوط است نه به آرایش هسته‌ها.

مثالاً، آرایش صحیح اتمها در بون سیانات به صورت OCN^- است. ساختاری که در آن آرایش اتمها به CNO^- یا CNO^- باشد فرم رزونانسی بون سیانات نیست.

۲- دو اتم متصال به یکدیگر تباید بار قراردادی همنام داشته باشند.

۷- با افزودن بارهای قراردادی به سه ساختار، داریم،



ساختار (ج) به دلیل دارا بودن بارهای همنام بر روی اتم‌های مجاور باید کنار گذاشته شود. دو ساختار (الف) و (ب) که هم از زند، دارای ساختار لوویس معین‌ترند، در بخش بعدی می‌بینیم که ماهیت پیوندهای نیتریک اسید چگونه بر هر دو ساختار اخیر استوار است.

۶-۸ رزونانس

در برخی موارد خواص یک مولکول یا یون را نمی‌توان با یک ساختار لوویس نمایش داد. برای مثال ساختار SO_4^{2-} که در مثال ۴-۸ به دست آمد را در نظر بگیرید:



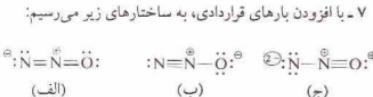
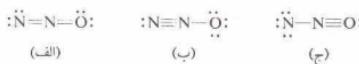
این ساختار از دو نظر قابل قبول نیست. براساس این ساختار اتم S یکی از اکسیژن‌ها دارای پیوند ساده و با اکسیژن دیگر دارای پیوند دوگانه است. پیوندهای دوگانه کوئاتر از پیوندهای ساده هستند، حال آنکه شواهد تجربی نشان می‌دهد که پیوندهای بین گوگرد و هر دو اکسیژن پیکانت. این ساختار همچنین یکی از اتم‌های اکسیژن را منفی تر از اتم دیگر نشان می‌دهد. در صورتی که هر دو اتم اکسیژن از این لحاظ پیکانتند. در این گونه موارد برای نمایش مولکول می‌توان از دو یا چند ساختار پیوند ظرفی استفاده کرد. این مولکول را همیزید رزونانسی ۱-۱ نام داریم، می‌توان از این ساختارها که فرم‌های رزونانسی ۲-۲ نام دارند، بر حساب آورد. برای SO_4^{2-} :



ساختار واقعی این مولکول به هیچ کدام از فرم‌های رزونانسی به تنها یکی مربوط نیست. بلکه ساختار واقعی بین این دو فرم است. هر یک از پیوندهای S-O، نه ساده است و نه دوگانه. بلکه حد واسطه آن دو است. در نتیجه هر دو پیوند یکسانند. هر اتم O دارای بار قراردادی ۱-۱ است، زیرا در یک فرم دارای بار قراردادی -۱ و در فرم دیگر دارای بار قراردادی سفارست. در نتیجه اتم‌های اکسیژن به یک‌اندازه منفی هستند. فقط یک نوع مولکول SO_4^{2-} و فقط یک ساختار برای آن وجود دارد. الکترون‌های مولکول چنان رفت و برگشت ندارند که مولکول لحظه‌ای به یک فرم و لحظه بعد به فرم دیگر باند. ساختار مولکول همیشه یکسان است. مشکل می‌باشد محدودیت نظریه لوویس است نه غیری عادی بودن مولکول SO_4^{2-} .

جدول ۳-۸ پیشوندهای یونانی مورد استفاده در نامگذاری ترکیبات کروالاسی دوتایی

ارزش	پیشوند
۱	مونو-
۲	دی-
۳	تری-
۴	تترا-
۵	پenta-
۶	هگزا-
۷	هبتا-
۸	اکتا-
۹	نونا-
۱۰	دکا-



ساخтар (ج) را باید کار گذاشت، زیرا قاعده بار مجاور را نقض می کند (نم N مرکزی و اتم O، هر دو بار قراردادی مثبت دارند). فرم های رزونانس مولکول N₂O به قرار زیر هستند:



۷-۸ نامگذاری ترکیبات کرووالاسی دوتایی

ترکیب تشکیل شده از دو عنصر را ترکیب دوتایی ¹ گویند. در بخش ۷-۸ با نامگذاری ترکیبات یونانی دوتایی آشنا شدیم. ترکیبات کرووالاسی دوتایی، از در ناقلل به وجود می آیند. اغلب ترکیبات کرووالاسی دوتایی کربن را به عنوان ترکیبات آگی طبقه بندی می کنیم و نامگذاری آنها را در فصل ۲۸ خواهیم دید.

نام یک ترکیب معدهنی کرووالاسی دوتایی را از نام عناصر تشکیل دهنده مولکول، با قرار دادن نام عنصر را در انتونیکترونگاتیو کمتر در استدنا، به دست می آوریم. نام عنصر انتونیکترونگاتیو را در آخر می آوریم و پسوند (ide) را به جای پیشوند معمولی نام عنصر قرار می دیم، از پیشوندهای یونانی (جدول ۳-۸ را ببینید)، برای مشخص کردن تعداد اتمهای هر یک از عناصر تشکیل دهنده مولکول استفاده می کنیم. پیشوند مونو- را معمولاً ذکر نمی کنند. برای مثال به نامگذاری اکسیدهای نیتروژن پشتیکشید:



ترکیبات دوتایی معنی نام غیر میستحثاتیک دارند که منحصر با آن نام شناخته می شوند. این ترکیبات شامل آب (H₂O)، آمونیاک (NH₃), هیدروژن (H₂), فسفین (P₃H₈) هستند. توجه کنید که فرمول سه ترکیب اخیر را معمولاً به صورت اواروه می نویسند. براساس قواعد نامگذاری این فرمولها ابتدا باید تمام H ذکر شود، زیرا در تابع این موارد اتم هیدروژن کمترین الکترونگاتیوی را داراست.

خلاصت کرووالاسی قابل توجه به دست دهد. میزان واپیچیدگی آنها افزایش می پاید.

روش درم سراسی مطالعه پیووندهای دارای خصلت پیتابیش، بر قطع شیوه پیووندهای کرووالاسی استوار است. پیووند کرووالاسی تشکیل شده بین دو اتم مقادیر پیشتری ایجاد کردن اتفاق ندارد، اما بنشانید، این که جاذبه پیشتری برای الکترونها دارد، منفی تر از اتم دیگر است. اگر شناسrat نوایان دو اتم برای جذب الکترونها زیاد باشد، پیووندی عمدتاً پیونی به وجود خواهد آمد با انداده گیری کشتنارو در قطبی و طبل پیووند در یک مولکول دو اتنی می توان خصلت پیونی جزوی پیووند را در آن مولکول محاسبه کرد. الکترونگاتیوی، میزان نوایان نسبی یک اتم در یک مولکول برای جاذب الکترون به خود است. این مقادیر را می توان برای مقایسه و اکتشاف پذیری فرازات و افزایش پیشین ماهیت پیووند در ترکیبات شیمیایی به کار گرفت.

چکیده مطالب

از بر همکش اتم های افزایش، مولکول های تشکیل می شوند که به وسیله پیشوندهای کرووالاسی گنجانده شوند. در یک پیووند کرووالاسی ساده، یک زوج الکترون در دین دوامی به اشتراک گذاشته شده اند، در یک پیووند کرووالاسی دوگانه، زوج الکترون به اشتراک گذاشته شده اند، و یک پیووند کرووالاسی سه گانه، شامل سه زوج الکترون مشترک است. اتم های اغلب اذاین با تشکیل پیووندهای کرووالاسی، می تشکیل مولکول ها و پیوندهای آزادی کرووالاسی را که جذب (ide) و الکترون در لایه طرفی برای هیدروژن، هشت الکترون را برای سایر افزایشات. عقیده بر این است. ضمن شناسرش الکترون های اینها در یک ساختار کرووالاسی، الکترون های اینها در اشتراک گذاشته شده را دیواری به حساب آورند. یک بار برای هر یک از دو اتم تشکیل دهنده پیووند

پیووندهای شیمیایی در اغلب ترکیبات، حد واسطه خاص و کرووالاسی خاص است. یکی از راه های مطالعه پیووندهای اگلر خصلت پیتابیش، بر واپیچیدگی یکی یون استوار است. عقیده بر این است که کایتون های مثبت، اگلکترونی منفی آنها را جذب می کند و شکل آن را تعییر می دهد. این واپیچیدگی می بینیم با تقویت خصلت کرووالاسی من شود و در حالت های جدی می تواند ترکیباتی با

خوبی با یک ساختار لوگو نمایش داد، در این گونه موارد دو یا چند ساختار پیوپون - ظرفیت که فرم‌های روزنامه‌نگاری می‌شوند، برای نمایش مولکول که بسیاری از فرم‌های روزنامه‌نگاری می‌شوند، برای اعداد ترسیم فرم‌های روزنامه‌نگاری می‌شوند. این کتاب آمده است: این بحث عمدتاً به تعریف مطلوب و مطبوع اطلاعاتی ارائه شده است.

روش برای ترسیم ساختارهای لوئیس اجزای موکاپلی کروآنسی بیان شده است. زراین ساختارهای های میانی الکترونی از قطب استادمه من شود و هر اثر مربوط به ساختار میانی می توان دارای مشابهی الکترونی داشت (جیمز هدیوون که فقط در الکترون (دارد). پیریند کروآنسی با یک جفت هدیه به توزیع بار قدردادی خطی است. از این توزیع بار قدردادی این روشن بستگی دارد که به صورت اختیاری با فرض قسم الکترون های پیریندی به طور مساوی در بین اتهامات متعلق به یکدیگر، به آنها بستگی دارد.

مفاهیم کلیدی

لوروپس اتم‌های متصلب به یکدیگر، تباید بار فواردادی هستم داشته باشند.
لوویس اتم‌های بار مجاور (بخش ۸-۵). در یک ساختار
ترکیب دوتایی Binary compound
دو یکسانه باشند.

Covalent bond کویند کووالانسی (بخش ۱-۸)، پیوندی که با اشتراک گذاشتن الکترون در بین دو اتم تشکیل شود. پیوندهای کووالانسی دوگانه و سهگانه را پیوندهای همچنانگان نامند. در یک پیوند دوگانه دو زوج الکترون به اشتراک گذاشته شده‌اند، و در یک پیوند سه‌گانه، سه زوج الکترون به اشتراک گذاشته شده‌اند.

Dipole moment گفتاری و قطبی (بخش ۲-۸) حاصل ضرب فاصله
من بار مساوی ولی دارای علامت مختلف در قدر مطلق بار.
Electronegativity الکترونگاتیوی (بخش ۲-۸) میزان توانایی نسبی
یک اتم در یک مولکول برای جذب الکترون را به خود.
Formal charge برآرگاهی (بخش ۲-۸) برآرگاهی نسبت داده شده.
به یک اتم در یک ساختار کوئی کوئی که از تقسیم الکترون های پوندی به طور
امید است، نسبت داده هستند که بدین معنی است: باها دنفسه خواه.

卷一百一

حالات، گذاشتن سوئندگان، کو والانس و یعنی

- ۱-۸ تمام نام انصار غیر غازی را که به صورت مولکولیک دو اتمی وجود دارد نام ببرید.

۲-۸ فرمول P_2Br_9 صیغه امافرمول Br_9P_2 باشیم. صحیح نیست. چرا؟

۳-۸ ترتیل ساختارهای $NaCl$ و HCl در چیست؟

۴-۸ پیوندهای کوتا-الانس چندگانه گونه پیوندهای هستند؟ مثالهای از این نوع پیوند بفرمود.

۵-۸ براساس وایپش آنون، پیشنهاد کرد در هر یک از زوایهای زیر کدام جزو خصلت کوتا-الانس پیشتر دارد؟ (الف) FeO با HgF_2 (ب) $BiBr_3$ با $SbBr_3$ (ج) CdS با CuI (د) MgO با MgS (ه) KCl با BeO (ر) Be با CaS (ز) $NaCl$ با CaS (ع) Na با BeS (ط) Br_2 با Cl_2 (ف) Al_2O_3 با Na_3N (ک).

۶-۸ براساس وایپش آنون، پیشنهاد کرد در هر یک از زوایهای زیر کدام جزو خصلت کوتا-الانس پیشتر دارد؟ (الف) BeO با Tl_2O (ب) Tl_2O با $NaCl$ (ج) $NaCl$ با CaS (ه) Na با BeS (ز) Na با Br_2 (ع) Na با Cl_2 (ط) Al_2O_3 با HBr (ک).

۷-۸ طول پیوند در مولکول HBr از 143 pm دقتیکن μ است درصد خصلت یونی چربی پیوند $H-$ Br را محاسبه کنید. واحد μ است.

۸-۸ $AAD = 1^{\circ} - 18^{\circ}C + 1^{\circ} \times 10^{-2} \times 10^3$ میلیمتر Hg در 10^3 کیلوگرم Hg است. مقدار AAD از 1° تا 34° میلیمتر است.

۲۴-۸ ساختارهای لوویس را برای عنوانهای زیر رسم کنید (شامل بارهای قراردادی): (الف) CH_3COO^- ; (ب) PO_4^{3-} ; (ج) SO_4^{2-} ; (د) H_2PO_4^- .
نهانگام که بزیرنویس به یکی از نامهای فرمول اضافه می شود، اتمهای درون دفتر نمایند.

۲۵-۸ ساختارهای لوویس را برای مولکولهای زیر رسم کنید (شامل بارهای قراردادی): (الف) F_3NNF^- ; (ب) HNNH^+ ; (ج) HCOOH ; (د) $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{COOH}$.
نهانگام که بزیرنویس به یکی از نامهای فرمول اضافه می شود، اتمهای درون دفتر نمایند و به طور جداگانه به اتمهای های قبل و بعد از خود در فرمول مفصل آنند.

۲۶-۸ ساختارهای لوویس را برای مولکولهای زیر رسم کنید (شامل بارهای قراردادی): (الف) PPI_4^- ; (ب) H_3CCH_2^+ ; (ج) PF_3^- ; (د) H_3O^+ . هنگامی که یک زیرلوویس به یکی از نمادهای فرمول اضافه می‌شود، اتمهای ماء، دنط، مستقیماً به طبقاً گذشته اند، قیام، عدا، خود، د، قمه، می، متصاً اند.

رزو ناس

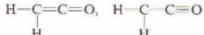
۲۷-۸ با ازدرون تقطه های برای نمایش الکترون های ریز پوتندی ظرفیتی و مشخص کردن بار های قراردادی ساختار های لوویس زیر را برای یون هیپوبنتریت، O_2^- , N_3^- , کامل کنید. اهمیت هر یکی از این ساختارها را به عنوان یک ساختار سهیم در هیرید روتوانی ارزیابی کنید.



۲۸-۸ با افزون نفعهای برای نمایش الکترون های غیر پیوندی ظرفیتی و مشخص کردن بارهای فرازداری ساختارهای لوویس زیر را برای مولکول N_4F_4 ، کامل کنید. اهمیت هر یک از این ساختارها را به عنوان یک ساختار سه‌م در هبیرید رزوتانس ارزیابی کنید.



۲۹-۸ از این‌روز تقطه‌هایی برای نمایش الکترون‌های ریز پوپوندی طرفینی و مشخص کردن بارهای قراردادی ساختارهای لوتوس زیر را برای مولکول کن،
H₂C=CH-، کامل کنید. اهمیت هر یک از این ساختارها را به عنوان یک ساختار سه‌بعدی زوپانسم، ارزیابی کنید.



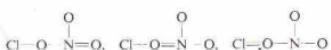
۳۰-۸ با افزودن نقطه هایی برای نمایش الگورن های چرخ پوندی رله فوتی
و مشخص کردن بارهای قراردادی ساختارهای لوویس زیر را برای ملکول
HONS، کامل کنید. اهمیت هر یک از این ساختارها را به عنوان یک ساختار
سمومی در هست بدیهی تأثیر اذیات کنید.



۳۱-۸ با افزودن نقطه هایی برای نمایش الگورونه های غیر پرونده طبقه و مشخص کردن بارهای قراردادی، ساختارهای لوویس زیر را برای مولکول CICN، کامل کنید. اهمیت هر یک این ساختارها را به عنوان یک ساختار سه بعدی ریزوتانسی ارزیابی کنید.



۳۲- با افزودن نقطه هایی برای نمایش الکترون های غیر پویندی ظرفیت و مخصوص کردن بارهای فراز ارادی ساختارهای لوپس زیر را برای سولکول CIONO₂, کامل کنید. اهمیت هر یک از این ساختارها را به عنوان یک ساختار سه بعدی رزونانس ارزیابی کنید.



قطبیت پیوند (تفاوت)، در واقع غیر قطبی؛ ۵۰ - ار، قطبیت کم؛ ۵۱ - عر، قطبیت متوسط؛ عر ۱ - ار، قطبیت بالا را ت محیمن بزیند.

(الف) B_2 : (ب) Br_2 ; (ج) Cl_2 ; (د) $Br_2 + Cl_2 \rightarrow BrCl + HCl$
 (ج) $Br_2 + H_2O \rightarrow HBr + HBrO$; (هـ) $Br_2 + 2NaOH \rightarrow NaBr + NaBrO + H_2O$

١٤- با استفاده از تفاوت الکترونکتیویتی پیشوند کنید آیا پیوندهای تشکیل شده همچو عناصر زیر میتوانند ترقیاً، ترقیات اول را با پیشتر (با کووالانسی است. در صورت عدم کووالانسی بودن (ترقیاً تفاوت کمتر از اراد) قطبیت پیوند (تفاوت در رابط غیر قطبی: در = اراد، قطبیت کم = اراد - غیره). قطبیت متوسط: عزرا = اراد - قطبیت بالا را تعبین نمایند.

(الف) $\text{Cl}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{ClO}$ (g)
 (ج) $\text{Cl}_2 + 2\text{Na} \rightarrow 2\text{NaCl}$
 (د) $\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2 \rightarrow 2\text{HCl}$
 (ب) $\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{S} \rightarrow 2\text{HCl} + \text{S}_2$

۵-۸ ۱- استفاده از تکنیک نگارنگی، پویانهای فوهرسته در هر بخش
 را بر حسب افزایش خصلتی معرفی کنید. (الف)
 $\text{Ca} - \text{O}$, $\text{Cs} - \text{O}$, $\text{Cs} - \text{H}$ (پ)
 $\text{Cl} - \text{I}$, $\text{C} - \text{I}$, $\text{Ca} - \text{I}$, $\text{Cs} - \text{I}$, $\text{Cl} - \text{O}$, $\text{C} - \text{O}$, $\text{Cs} - \text{H}$ (پ)

۱۷- در هر یک از زوچهای زیر، با استفاده از الکترونگارانژیوی تعبین کنید
کدام پوند قطبی تر است. در هر مورد تعیین کنید کدام سر پیوند دارای بار جزئی
منفی است. (الف) $N - N$; (ب) $P - H$; (ج) $P - O$; (د) $N - Cl$; (ه) $N - F$
۱۸- در هر یک از زوچهای زیر، با استفاده از الکترونگارانژیوی تعبین کنید
کدام پوند قطبی تر است. در هر مورد تعیین کنید کدام سر پیوند دارای بار جزئی
منفی است. (الف) $C - O$; (ب) $H - Si$; (ج) $H - C$; (د) $S - O$; (ه) $C - S$
 $H - Te$; (ز) $S - Cl$; (س) $O - Cl$; (ا) $S - Se$
۱۹- در هر یک از زوچهای زیر، با استفاده از الکترونگارانژیوی تعبین کنید
کدام پوند قطبی تر است. در هر مورد تعیین کنید کدام سر پیوند دارای بار جزئی
منفی است. (الف) $I - Se$; (ب) $Te - I$; (ج) $H - Se$

ساختارهای لغزش

۱۹-۸ ساختارهای لویسی را برای مولکولهای زیر درست کنید (شامل بازهای قراردادی): (الف) PH_4^+ ; (ب) BH_4^- ; (ج) CH_4 ; (د) SiH_4 ; (ه) SCS . هنگامی که یک زیرترنس (اندیس) به یکی از شماهی‌های فرمول اضافه می‌شود، اینها مورد نظر مستقیماً به طور جداگانه به اتم‌های قبل و پس از آن اشاره خواهند کرد.

یک مولکول نوویس را برای مولکولهای زیر رسم کنید
 ۲-۸ ساختارهای ترازه دادی: (الف) HCl ; (ب) H_3COH ; (ج) SeO_4^{2-} ; (د) CO_2 ; (ه) HCN . هنگامی که یک زیرنویس (اندیس) به یک از نمادهای فرمول اضافه می شود، آنها مورد نظر مستقیماً و طور جدگاههای به اتم های قابل پیدا کردن می شوند.

جزءی از فرمون مکمل شدن.
۲-۸ اسماهاریان را برای مولکولهای زیر رسم کنید (شامل
برآوردهای تراوادی): (الف) SO_4^{2-} ; (ب) OCCl_3 ; (ج) OPCl_3 ; (د) CISCCI_3
هنگامی که یک ژن توپویس به یکی از نامهای فرمول اضافه شود، انتها مورث
نظر مستقیماً و به طور جداگانه از انتهاهای قبل و بعد از خود در فرمول متصفح اند

۲۱-۸ سازمان اسناد و کتابخانه ملی ایران روزنامه‌ای که در این سازمان منتشر می‌گردید (سامانه اسناد و کتابخانه ملی ایران) (۱۹۷۰-۱۳۵۰)

قرمزارادی (آنلاین)، (انلاین)، (CIOCI)، (CIO)، (CN)، (SO)، (SSO)، (NCCN)، (NOH)، (ج) (۱۳۵۰-۱۳۴۰)

نهنگامی که یک روزنوس به یکی از سعادت‌آمیز فرمول افسوس اینها می‌شود، آنها می‌توانند مورد نظر مستقیم او طور حداکثری اینها را بقیل و بعد از خود در فرمول مفصل اند

۲۲-۸ ساختارهایی که روی این روزنوس بسته باشند زیر نیز کدیت (سامانه اسناد و کتابخانه ملی ایران) (۱۹۷۰-۱۳۵۰)

قرمزارادی (آنلاین)، (انلاین)، (CIO)، (CN)، (SO)، (SSO)، (NCCN)، (NOH)، (ج) (۱۳۵۰-۱۳۴۰)

که روزنوس به یکی از سعادت‌آمیز فرمول افسوس اینها می‌شود، آنها می‌توانند مستقیماً و طور حداکثری به اتهاماتی قابل و بعد از خود در فرمول مفصل اند

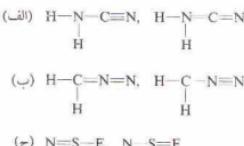
(الف) ساخته راهی لوپس هر یک این اجزاء را همراه با سارهای تماراده ادی رسم کنید. (ب) هر یک از این چهار جزء با اسم های فلزی پا کابینت های فلزی ترکیب شده که مکان های تشکیل می دهد. در نهیه این کمکها میتوان چنین ضرور کرد که بزرگترین از این چهار جزء شما اشغال کمک اولیه خود را کسب کنند. یک پیوند کروال ایمن تشکیل می دهد. برای هر یک از اجزای ناجور هستند، یک گویید کدام است به دلیل متعارف شده است.

۵۱-۸ مفهوم روزناتس چه موقع کاربرد دارد؟ چه فناوری‌تین بنی وازه‌های همپریدز روزناتس و فرم روزناتس روزناتس و مفهوم H- \equiv N: H-C- \equiv C-N: H-C- \equiv C-N: فرم‌های روزناتس یک مولکول تنسیتند؟ معیارهای مورد استفاده در ارزیابی اهمیت یک روزناتس معین در مشاکرت در یک همپریدز روزناتس را به طور خلاصه پیان کنید.

۵۲-۸ ساختارهای لوتوس را برای اجزای زیر رسم کنید. اگر این اجزاء همیزی روشنایی داشتند، تمام فرمایه‌های زوتسانی هم آن را برسی کنید.

(آ) ONF , (ب) ONP , (ج) NP , (د) NP^* , (ه) NP° , (ز) NP^{**} .

۵۳-۱ با افزونی قطعه‌هایی را برای میانی انتکنون‌های غیر پیرنده طبقی و مشخص کردن پارهای قراردادی ساختارهای لوتوس زیر را کامل کنید. احتمیت هر یک از این ساختارها را به عنوان یک ساختار سه‌میگ در همیزی و زوتسانی ارزیند.



۵۴-۸ با افزودن تقطه های برای نمایش الکترون های غیر پویاندی ظرفیتی و مخصوص کردن بارهای قراردادی ساخته راه ای لویس زیر را کامل کنید. اهمیت هر یک از این ساخته راه را به عنوان یک ساختار سهیم در هیبرید ژوئن اسی ارزیاب کنید.

(الف) برای FCN : $\text{F}-\text{C}\equiv\text{N}$, $\text{F}-\text{C}=\text{N}$, $\text{F}\equiv\text{C}-\text{N}$
 (ب) برای N_2 : $\text{N}-\text{N}\equiv\text{N}$, $\text{N}=\text{N}=\text{N}$, $\text{N}=\text{N}-\text{N}$
 (ج) برای SCN^- : $\text{S}-\text{C}\equiv\text{N}$, $\text{S}=\text{C}=\text{N}$, $\text{S}\equiv\text{C}-\text{N}$
 (د) برای CN_2^+ : $\text{N}-\text{C}\equiv\text{N}$, $\text{N}=\text{C}=\text{N}$, $\text{N}=\text{C}-\text{N}$

۳۳- طول پیوند N به O را در یون NO_3^- با یون O^+ مقایسه کنید.

۳۴- طول پیوند C به O را در مولکول H_3CO با یون CO_3^{2-} مقایسه کنید. در هر دو ترکیب H_3CO و CO_3^{2-} اتم C اتم مرکزی است. که تمام تنهای، دیگر به آن متصل شده‌اند.

۳۵-۸ فرم‌های رزونانسی مولکول HNSO را رسم کنید.
 ۳۶-۸ فرم‌های رزونانسی مولکول HNPN را رسم کنید.
 ۳۷-۸ فرم‌های رزونانسی مولکول FNNN را رسم کنید.

۳۸-۸ فرم های روزنامی مولکول OPN را رسم کنید.

۳۹-۸ فرم های روزنامی مولکول استامید، HC(O)NH_2 را رسم کنید.

۱۰- فرم های روزناتیس مولکول نیترامید، H_4NNO را رسم کنید.

۱۱- فرم های روزناتیس مولکول $\text{E}-\text{NNO}$ را رسم کنید.

۴۲-۸ چهار اتم موجود در مولکول S_4N_4 به صورت یک در میان در یک حلقه قرار گرفته‌اند. فرم‌های رزونانسی مولکول S_4N_4 را رسم کنید.

- * ۴۳-۸ فرم‌های روزنامه‌ی یون اگرالات، CCO_p را رسم کنید.
- * ۴۴-۸ فرم‌های روزنامه‌ی مولکول ONNO_p را رسم کنید.

نامگذاری ترکیبات دوتایی کووالانسی

نامگذاری تکسات دوتایی کو والانس

۴۵-۸ فرمول ترکیبات زیر را به دست اورید: (الف) دی پنتوکسید
 (ب) دی کلر هگزوزکسید؛ (ج) دی سولفور دی نترید؛ (د) تترافسفر اکتو کسید

(ه) سولفور تراکلرید: (و) گزونن تری اکسید.
 ۴۶ - ۸ فرمول ترکیبات زیر را به دست آورید: (الف) تتراسولفو

شزانیتربد: (ب) ترا فسفر پیتابولید: (ج) ید هپتوکسید: (د) دی سلب
دی برمید: (ه) اکسیژن دی فلورید: (و) آرسنیک پتا فلورید.

۴۷-۸ ترکیبات ریز را ساده‌واری کنید. (الف) Fe_2O_3 ; (ب) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{XeF}_5$; (ج) $\text{SeBr}_4 \cdot \text{NF}_3$; (د) IF_5 .

۴۸-۸ ترکیبات زیر را نامگذاری کنید: (الف) N_xF_y ; (ب) P_xCl_y .

$$\text{XeF}_6 \text{ (g)} : \text{ClF}_3 \text{ (s)} : \text{S}_2\text{F}_{11} \text{ (s)} : \text{P}_4\text{S}_3 \text{ (c)}$$

۴۹-۸ تفاوت الکترونگاتیوی بین I و Cl برابر ۵^۰ است که به خصلت مسائل طبقه‌بندی نشده

مسائی طبقہ بندی نشده

۴۹-۸ تفاوت الکترونگاتیوی بین I و Cl برابر ۵^ه است که به خصلت پیونی جزئی حدود ۶۰٪ در پیوند Cl—I مربوط می‌شود. طول پیوند Cl—

برابر 222 pm است. پیش‌بینی می‌کنید که گشتاور دوقطبی مولکول $\text{C}_19\text{H}_{16}\text{O}_4$ برابر باشد؟ واحد بار، e ، برابر 10^4 و $D = 1.40$ را برآورد کنید.

۸- اجزای زیر هم الکترون هستند: CO , NO^+ , CN^- و γ

شکل هندسی مولکول، اوربیتال مولکولی

در تیجده، تعداد پیوندهای کرووالانسی مربوط به اتمهای این عناصر، حداقل به چهار پیوند می‌رسد. اما عناصر تناوب سوم و تناوب‌های بعدی اوربیتال‌های پیشتری در لایه الکترونی خارجی خود دارند. این عناصر در بعضی ترکیبات چهار، پنج، شش، یا (الته بمندرت) تعداد پیشتری پیوند کرووالانسی تشکیل می‌دهند. بستایر این در ساختارهای پیوند-ظرفیتی تو شده براي ترکیبات مرکب از عناصر تناوب سوم و تناوب‌های بعدی، قاعده هشتگانی اغلب نقض می‌شود. ظاهرآ معیار تشکیل پیوند کرووالانسی باید بر زوج الکترون استوار باشد نه بر دستیابی به هشتگانی الکترونی.

نظریه ساده پیوند کرووالانسی که در فصل پیش بیان شد، کاسته‌های دارد. براي پیوند مولکول‌ها براي برشی بونهای چند اتمی دارای پیوندهای کرووالانسی، نمی‌توان ساختارهای لوویس را برمبنای قاعدة هشتگانی تو شت. این نظریه، همچنین در بیان جنبه مهم دیگری از این موضوع، یعنی شکل (یا وضعیت مولکولی) اجزای کرووالانسی، ناکام می‌ماند. در این فصل بحث پیوند کرووالانسی راگسترش می‌دهیم و با نظریه اوربیتال‌های مولکولی (اوربیتال‌های پیوندی که تمامی مولکول را فرمگیرند) نیز آشنا خواهیم شد.

۱-۹ استثناهای قاعدة هشتگانی

۲-۹ دافعه زوج الکترونی و شکل هندسی مولکول

آریش هندسی اتم‌ها در یک مولکول یا بون را می‌توان براساس نظریه دافعه زوج الکترون لایه ظرفیتی (VSEPR)^۱ پیش‌بینی کرد:

۱ - در بحث بعد به سراغ مولکول‌ها و بون‌هایی می‌رویم که اتم مرکزی آنها به دو یا چند اتم متصل است.

۲ - به غلت دافعه بین زوج الکترون‌ها زوج الکترون‌های لایه ظرفیتی اتم مرکزی، دورترین مکانهای ممکن را نسبت به هم‌دیگر اشغال می‌کنند. شکل مولکول یا بون نتیجه دافعه‌های این زوج الکترون‌هاست.

۳ - تمام زوج الکترون‌های لایه ظرفیتی اتم مرکزی، اهم از زوج الکترون‌هایی که پیوند کرووالانسی تشکیل داده‌اند (زوج‌های پیوندی) و زوج الکترون‌های دست نخورده (زوج‌های ناتایپوندی) با زوج‌های ازاد، به حساب می‌ایند.

۴ - زوج الکترون‌های ناتایپوندی، به تعیین موقعیت اتم‌ها در مولکول یا بون کمک می‌کنند. اما شکل مولکول یا بون بر مبنای مکان هسته‌ها، نه براساس مکان زوج الکترون‌ها توصیف می‌شود.

با آوردن مطالعهایی می‌توان این نکته‌ها را روشن کرد. در نمودارهای بعدی فقط زوج الکترون‌های موجود در لایه ظرفیتی اتم مرکزی نمایش داده شده‌اند. زوج الکترون‌ها پیوندی به وسیله خط تبره و زوج الکترون‌های ناتایپوندی به وسیله نقطه مشخص شده‌اند. در بسیاری از این مثال‌ها اتم مرکزی از قاعده هشتگانی پیری نمی‌کند.

۱ - دو زوج الکترون، لایه ظرفیتی اتم جیوه، شامل دو الکترون (۲^۲) است. هر یک از این الکترون‌ها بوسیله تشکیل یک پیوند

فرد دیدیم که بون‌های معینی نمی‌توانند آریش الکترونی گاز کرووالانسی پیدا کنند، ولی برشی از بون‌ها نسبتاً پایدارند. آریش الکترونی برشی اتم‌ها نزیر با آنچه که از اصل هشتگانی پیروی آید، مقاوم است.

شمار الکترون‌هایی که برشی مولکول‌ها (مانند NO و NO_2) فرد است. مولکول ۱۱ NO الکترون ظرفیتی (۵ تا از اتم N و ۶ تا از اتم O) و مولکول ۱۷ NO_2 الکترون ظرفیتی (۵ تا از اتم N و ۱۲ تا از اتم O) دارد. تقسیم این تعداد الکترون به گونه‌ای که هر یک از اتم‌های مولکول آریش هشت الکترونی پیدا کنند، غیرممکن است.

تعداد مولکول‌هایی که شمار الکترون‌های آنها فرد باش، زیاد نیست. اجزای مولکولی با الکترون‌های فرد معمولاً سیار واکنش پذیر و در تیجده کوتاه عمرند.

مولکول‌هایی که تعداد الکترون‌های ظرفیتی آنها زوج باشد مستاوی‌ترند، اما شامل اتم‌هایی با لایه‌های ظرفیتی کمتر، با پیش از هشت الکترون‌اند. در مولکول BF_3 ، اتم B دارای شش الکترون

ظرفیتی است:

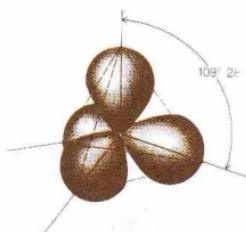


در مولکول PCl_3 ، اتم P به پنج اتم Cl متصل است، و بین ترتیب، لایه ظرفیتی اتم P شامل ۱۰ الکترون است. اتم S در SF_6 ، الکترون ظرفیتی در پیامون خود دارد، حال آنکه اتم S به هر یک از اتم‌های ششگانه F، پیوند کرووالانسی ساده تشکیل می‌دهد.

عناصر تناوب سوم فقط چهار اوربیتال پیوندی (۲s و ۲p^۳) دارند.

^۱ VSEPR، مخفف Valence-shell electron-pair repulsion است.

کووالانسی با یک اتم کلر در مولکول HgCl_3 به کار می رود. این مولکول، خطی است:



شکل ۹ - آرایش چهار وجهی چهار زوج الکترون

(حدود ۹۵°) است. زوج الکترون ناپیوندی که فقط تحت تأثیر یک مرکز مثبت قرار دارد، حجم بیشتری نسبت به یک زوج پیوندی که تحت تأثیر مثبت آرایش ایجاد شده است، اشغال می کند. درنتیجه دو پیوند مولکول SnCl_4 پیش از میزان پیش بینی شده سر بر مبنای آرایش سه گوشه ای مسطح، به همدمیگردد و یک شده اند. دافعه بین زوج های ناپیوندی و پیوندی پیش از دافعه بین زوج های پیوندی است.

۳- چهار زوج الکترون در لایه ظرفیتی اتم کربن در مولکول متان، CH_4 ، چهار زوج الکترون پیوندی وجود دارد. ساختار لوویس این مولکول چنین است:



مسوچی که پیوندها به سوی گوشه های یک چهاروجهی مستنظم چهتگیری کرده باشند، دافعه بین زوج الکترون های پیوندی به حداقل می رسد (شکل های ۲ - ۹ و ۳ - ۴ را ببینید)، درین آرایش فاصله تمام پیوندها از یکدیگر برابرند و تمام زاویه های پیوندی $\text{H}-\text{C}-\text{H}$ برابر با ۱۰۹° ۲۸' است. آرایش چهار وجهی، یکی از پیوندی های مهم و متداول است. سیاری از مولکول ها و یون ها (برای مثال ClO_4^-)، SO_4^{2-} ، PO_4^{3-} چهار وجهی اند. ساختار آمونیاک، NH_3



نیز چهار وجهی است (شکل ۹ - ۳). لایه ظرفیتی اتم N دارای سه زوج الکترون پیوندی و یک زوج ناپیوندی است. این چهار زوج آرایش چهاروجهی می باندند که منجر به تشکیل پیوندی هرم مثلث الکترون برای اتم ها می شود. اتم N در رأس این هرم قرار دارد. زوج الکترون ناپیوندی مولکول، باعث فشرگی زوج های پیوندی و کاهش زاویه های پیوندی $\text{H}-\text{N}-\text{H}$ از ۱۰۹° ۲۸' در آرایش چهاروجهی کامل، به

مولکول HgCl_4 ، شکلی اختیار می کند که در آن دو پیوند زوج الکترونی، حد اکثر فاصله را داشته باشند. مولکول هایی که اتم مرکزی آنها دارای دو زوج الکترون پیوندی (و فاقد زوج الکترون ناپیوندی) در لایه ظرفیتی داشته باشند، همیشه خطی اند. بریلم، روی، کادمیم، و جیوه، چنین مولکول هایی تشکیل می دهند.

۲- سه زوج الکترون. اتم بور (B) عضو گروه III A است (دارای سه الکترون در لایه ظرفیتی است. در مولکول BF_3 ، هر اتم فلور (F) در یک الکترون برازی تشکیل پیوند ساده با اتم B به کار می گیرد. مولکول بور تری فلورورید، سه گوشه ای (مثلثی) و مسطح است:



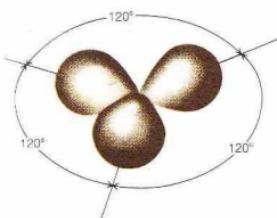
زاویه بین پیوندها در این مولکول (زاویه پیوندی $\text{F}-\text{B}-\text{F}$) برابر با ۱۲۰° است. این آرایش بیشترین فاصله ممکن را بین سه زوج الکترون موجود می آورد (شکل ۹ - ۱ را ببینید).

بخار قلع (II) کلرید، SnCl_2 ، مركب از مولکول های خمیده است:



لایه ظرفیتی اتم قلع، دارای چهار الکترون است (Sn به گروه IV A تعلق دارد) و هر اتم کلریک الکترون برازی تشکیل پیوند به کار می گیرد. این شش الکترون شامل سه زوج الکترون است (دو زوج پیوندی و یک زوج ناپیوندی). این سه زوج الکترون ها به علت دافعه زوج الکترونی آرایش سه گوشه ای مسطح اختصار می کنند، اما شکل مولکول بوساس مکان اتمها توصیف می شود، نه مکان الکترون های آن. درنتیجه مولکول های قلع (II) کلرید، سه گوشه ای هستند. اما زاویه پیوندی هاستند.

اما زاویه پیوندی $\text{Cl}-\text{Sn}-\text{Cl}$ در 120° ، کوچکتر از 120° .



شکل ۹ - آرایش سه گوشه ای مسطح برای سه زوج الکترون

مکان‌هایی که به صورت «استوایی» قرار دارند (شماره‌های ۲، ۴، و ۵ در شکل) به موقعیت‌های استوایی مشهورند. مکان‌هایی که در «قطب شمال» و «قطب جنوب» واقع شده‌اند (شماره‌های ۱ و ۳ در شکل)، موقعیت‌های محوری آنام دارند. اتم‌های استوایی در یک صفحه قرار دارند. زاویه‌های پیوندی تشکیل شده از دو اتم استوایی و اتم مرکزی ۱۲۰° است. اتم‌های محوری بر روی خطی قرار دارند که بر صفحه اتم‌های استوایی عمود است. زاویه پیوندی مشکل از یک اتم محوری، اتم مرکزی، و یک اتم استوایی برابر ۹۰° است. به علاوه طول پیوند P—Cl محوری (۲۲۹ pm)، اندکی بیشتر از طول پیوند استوایی (۲۰۴ pm) است.

در صورت وجود یک یا چند زوج الکترون پیوندی در مولکول، زوج‌های ناپیوندی در مکان‌های استوایی قرار می‌گیرند. مکان استوایی جایی فراخ تری به زوج الکترون‌ها می‌دهد تا مکان محوری، بیای مولکول سولفورتترا فلورویرید را در نظر بگیرد. در SF_4 چهار الکترون از شش الکترون ظرفیتی گوگرد (S) به گروه VI A (به ترتیب، اتم‌های SF_4 پیوندی به کار رفته‌اند) و دو الکترون باقیمانده نیز به صورت یک زوج ناپیوندی باقی مانده‌اند:



پسین زوج الکترون پیامون اتم گوگرد، آرایش تقریبی دو هرمی مثلث‌القاعده پیدا کرده‌اند و زوج الکترون ناپیوندی یک مکان استوایی را اشغال کرده است (شکل ۹ - آ). بهاین ترتیب، اتم‌های SF_4 چهار چهار وجهی نامنظم \ddagger تشکیل می‌دهند.

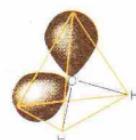
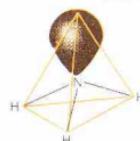
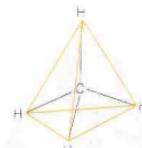
زوج الکترون ناپیوندی، براندازه زاویه‌های پیوندی در مولکول SF_4 نیز اثر می‌گذارد. چنین به نظر می‌رسد که زوج الکترون‌های پیوندی از زوج الکترون ناپیوندی فاصله گرفته‌اند و اندمازه زاویه پیوندی بین آنها، کوچکتر از زوایای مشاهده شده در مولکول PCl_5 است. زاویه بین دو پیوند محوری (173°) (به جای 180°)، و زاویه بین پیوندهای استوایی نیز اثر می‌گذارد (به جای 120°).

در مولکول کار تری‌فلورویرید، ClIF_3 ، سه الکترون از هفت الکترون ظرفیتی کلر (عنصری از گروه VII A) برای تشکیل زوج الکترون‌های پیوندی به کار رفته‌اند، و چهار الکترون باقیمانده نیز دو زوج ناپیوندی تشکیل داده‌اند:



1. Trigonal bipyramide
2. Equatorial positions
3. Axial positions

2. Equatorial positions
4. Irregular tetrahedron



شکل ۹ - ۲. شکل هندسی مولکول‌های متان (CH_4)، آمونیاک (NH_3)، و آب (H_2O). (زوج‌های پیوندی به صورت خط تایپی داده شده‌اند).

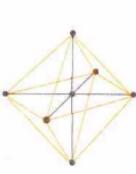
در لایه ظرفیتی اتم O در مولکول آب، دو زوج پیوندی و دو زوج ناپیوندی وجود دارد:



آرایش این چهار زوج الکترون تقریباً چهار وجهی است (شکل ۹ - آ) و اتم‌ها درای پیکربندی زاویه‌دار (V) آن. به علت وجود دو زوج ناپیوندی در مولکول، زوج‌های پیوندی بین آنچه که در دیدم NH_3 به یکدیگر نزدیک شده‌اند، در ترتیب زاویه پیوندی H_2O در H_2O در (105°) کمتر از زاویه پیوندی $\text{H}-\text{N}-\text{H}$ در آمونیاک (107°) است. ۴ - پنج زوج الکترون، در مولکول PCl_5 ، پنج الکترون ظرفیتی اتم فسفر (P عضو گروه VII A است)، پنج زوج پیوندی با اتم‌های پیچگانه کل تشکیل می‌دهند:



شکلی که دافعه زوج الکترون‌ها را کاهش دهد، دو هرمی مثلث القاعده ۱ است (شکل ۹ - ب). اما هر پنج پیوند این ساختار، هم‌ارز نیستند.



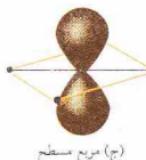
(الف) هشت وجهی



(الف) دو هرمی مثلث القاعده



(ب) هرم مربع القاعده



(ج) مربع مسطح

شکل ۹ - ۵ شکل هندسی مولکول را بین های که اتم سرکری آنها دارای پنج زوج الکترون است. (زوج های پیوندی به صورت خط نمایش داده شده‌اند)

در مولکول سولفور هگزاfluوئورید، SF_6 ، دارای شش زوج الکترون پیوندی است:



ساختری که دافعه زوج الکترون را به کمترین مقدار می‌رساند، هشت وجهی منظم است (شکل ۹ - ۵، الف). تمام مکان‌های این ساختار، هم‌ازنده، طول تمام پیوندهای یکسان است، و زوایای پیوندی بین پیوندهای مجاور نیز 90° هستند.

لایه ظرفیتی اتم برم در مولکول برم پentafluوئورید، BrF_5 ، دارای پنج زوج الکترون پیوندی و یک زوج تاپیوندی است:



(ب) چهار وجهی نامنظم



(ج) T-شکل

شکل ۹ - ۶ شکل هندسی مولکول‌هایی که اتم سرکری آنها دارای پنج زوج الکترون است. (زوج های پیوندی با خط نمایش داده شده‌اند)

با قراردادن دو زوج تاپیوندی در مکان‌های استوایی، یک مولکول شکل بسیار مسی آید (شکل ۹ - ۴، ب). واپسیگلگی ناشی از زوج الکترون‌های تاپیوندی، منجر به کاهش زاویه پیوندی $\text{F}-\text{Cl}-\text{F}$ تشکیل شده در بین یک پیوند محوری و یک پیوند استوایی، $87^\circ 30'$ (به جای 90°) می‌شود.

اتم گزئنون در مولکول گزئنون دی‌فلوئورید، XeF_2 ، دارای سه زوج الکترون تاپیوندی و دو زوج الکترون پیوندی در لایه ظرفیتی است، زیرا شش الکترون از هشت الکترون ظرفیتی Xe (گروه 0)، پس از تشکیل دو پیوند، به صورت تاپیوندی باقی می‌مانند:



هر سه زوج الکترون تاپیوندی، موقعیت‌های استوایی را اشغال می‌کنند، درنتیجه، گزئنون دی‌فلوئورید، یک مولکول خطی است (شکل‌های ۹ - ۱۱ و ۹ - ۲۴ را مقایسه کنید).

۵ - شش زوج الکترون، لایه ظرفیتی اتم گوگرد (گروه VIA)

جدول ۹ - ۱ رابطه تعداد زوج الکترون‌های لایه ظرفیتی اتم مرکزی با شکل مولکول‌ها و یون‌ها

مثال	شکل مولکول یا یون	تعداد زوج الکترون	تایپوندی	پیوندی	کل
۲	HgCl _۲	۰	خطی	C _۱ Cl _۲	۲
۳	BF _۳	۰	BF _۳	HgCl _۲	۳
۴	SnCl _۴	۱	زایردار	NO _۲	۳
۴	CH _۴	۰	چهار وجهی	BF _۳	۴
۴	NH _۴	۱	هرس مثُل القاعده	PF _۳	۳
۴	H _۲ O	۲	زایردار	ICl _۳	۲
۵	PCl _۵	۰	دی‌هرس مثُل القاعده	SnCl _۴	۵
۵	TeCl _۴	۱	چهار وجهی نامتسلط	IF _۴ ⁺	۴
۵	TCl _۴	۲	شکل	BrF _۳	۳
۶	XeF _۶	۰	خطی	ICl _۳	۲
۶	SF _۶	۰	هشت وجهی	PF _۳	۶
۶	IF _۶ ⁻	۱	هرس مربع القاعده	XeF _۶	۵
۶	BrF _۳	۲	مربع مسطح	XeF _۶	۴

اتم برم دارای هفت الکترون ظرفیتی است (گروه VII A). از این تعداد پنج الکترون در تشکیل پنج پیوند با پنج اتم فلور درگیرند، و دو الکترون دیگر نیز یک زوج نایپوندی به وجود آورند. زوج الکترون‌های به سوی گوشه‌های یک هشت وجهی گردیده است (شکل ۹ - ۵ ب.).

زوج الکترون نایپوندی، واپیچیدگی‌هایی در مولکول H_۲BrF_۳ به وجود می‌آورد. چهار پیوند که اتم‌های واقع در قاعده هرم را به اتم مرکزی متصل می‌کنند، از زوج الکترون نایپوندی دور شده‌اند و به سمت عقب رفته‌اند. در نتیجه زاویه بین اتم F واقع در رأس هرم، آتم برم، و یکی از اتم‌های F واقع در قاعده هرم (شکل ۹ - ۵ را ببینید)، به جای ۹۰° به ۸۵° رسیده است.

لایه ظرفیتی اتم بیدر بون IF_۴⁻ دارای چهار زوج الکترون پیوندی و دو زوج نایپوندی است:



برای توضیح بار این بون، می‌توان تصور کرد که اتم مرکزی I با گرفتن یک الکترون به صورت بون ۱ - با هشت الکترون ظرفیتی در آمد است. از این تعداد، چهار الکترون در تشکیل چهار پیوندی به کار رفته‌اند و چهار الکترون باقیمانده نیز در زوج نایپوندی را به وجود آورده‌اند. این بون، با داشتن شش زوج الکترون، ساختار هشت وجهی دارد. زوج الکترون‌های نایپوندی، موقعیت‌های مقابل یکدیگر را اشغال می‌کنند تا دفعه زوج الکترون‌ها به حداقل برسد (شکل ۹ - ۵ ج). در نتیجه، بون IF_۴⁻، ساختار مربع مسطح دارد. رابطه بین شکل مولکولی و تعداد زوج الکترون‌های پیوندی، در جدول ۹ - ۱ تعییش داده شده است.

مفهوم دفعه زوج الکترون را می‌توان به مولکول‌ها و یون‌های دارای پیوندهای چندگانه نیز تعمیم داد. در اینجا، یک پیوند چندگانه را به صورت یک واحد به حساب می‌آوریم. برای مثال، کریون دی‌بوکسید (CO₂) و هیدروژن سیاپاید (HCN)، مانند آن دسته از اجزای مولکولی که اتم مرکزی آنها دارای دو زوج الکترون پیوندی باشد، خطی‌اند:



مولکول کربونیل کلرید، OCCl , ساختار سه‌گوشی مسطح ۳، مشابه ساختار BF_3 ، دارد:



البته، یک پیوند دوگانه، بیشتر از یک پیوند ساده، فضا را اشغال می‌کند. در مولکول OCCl , پیوند دوگانه باعث نزدیک شدن پیوندهای C-Cl به یکدیگر می‌شود. در نتیجه، زاویه بین پیوندی $\text{Cl}-\text{C}-\text{Cl}$ ، به جای

در این بون، تمام زوایای پیوندی $\text{O}-\text{N}-\text{O}$ ۱۲۰° هستند. زیرا هیچ گونه واپیچیدگی ناشی از زوج الکترون‌های نایپوندی و پیوند دوگانه وجود ندارد. فرمای رزونانسی این بون، بسانگ یکسان‌بودن تمام پیوندهای $\text{N}-\text{O}$ هستند.

- Square pyramid
- Triangular planar

- Square planar

مثال ۱-۹

پیش‌بینی‌های ممکن بر نظریه VSEPR، بجز چند استثناء، درست از آب درآمده‌اند. برای مثال، براساس این نظریه، مولکول متان (CH_4) چهار جهجه است زیرا لایهٔ طرفیتی اتم مرکزی C چهار زوج الکترون پیوندی دارد (شکل‌های ۲-۹ و ۳-۳ را ببینید). شواهد جزئی بسیاری، این پیش‌بینی را تأیید کرده است. چهار پیوند CH_4 ، از نظر طول و قدرت، همان‌گونه تعداد زوایای پیوندی زیز زاویه چهار جهجه، هستند.

۲۸۰، ۱۵۹

براساس نظریه پیوند طرفیتی، یک پیوند کرووالانسی شامل یک زوج الکترون (یا سهین‌های جفت شده) مشترک بین دو اتم است. تشکیل یک پیوند کرووالانسی (شکل ۹-۶) را می‌توان توجه مهوبشانی بین اوریتال یک اتم (شامل یک الکترون جفت شده) با اوریتال اتم دیگر (شامل یک الکترون جفت شده) دانست. در چارچوب این نظریه، چگونه می‌توان چهار جهجه پیوند CH_4 را تبیین کرد؟

آرایش الکترونی حالت ایله کرین (CH_4 ۲^۰ ۲^۰ ۲^۰ ۲^۰)، بینانگر دوالکترون جفت شده است. این تصور نادرست ممکن است پیش آید که اتم کرین قطب دو پیوند کرووالانسی با اتم‌های H تشکیل معد. اما در صورت برانگیخته شدن یکی از الکترون‌های ۲s به اوریتال خالی ۲p حالت برانگیخته کرین (CH_4 ۲^۰ ۲^۰ ۲^۱ ۲^۰) چهار الکترون لازم برای تشکیل پیوند دارد. راستی، چگونه می‌توان الگوی پیوندهای CH_4 را براساس این حالت برانگیخته اکرم کریں توضیح داد؟

فرض می‌کنیم که هر یک از اوریتال‌های پیوندی مولکول، نتیجهٔ همبوشانی یکی از اوریتال‌های اتمی کرین با اوریتال ۱s یک اتم هیدروژن باشد. به علت هم ارز بودن چهار گانگونی کرین باشد و معمور آنها با زاویه ۹۰° ۲۰' از یکدیگر فوارگیرند. اما، یک اوریتال ۲s و یک اوریتال ۲p کرین هم ارز نیستند و به شیوه گفته شده نیز جهت‌گیری تکرده‌اند (شکل‌های ۶-۶ و ۶-۷ را ببینید). درنتیجه، نتیجهٔ توان چنین تصریبی از تشکیل پیوندها بدست داد.

این مسئله را معمولاً با استفاده از آرایش دیگری برای اتم کرین برانگیخته توضیح داده‌اند. فرض کنید که توزیع الکترونی کل لایهٔ طرفیتی اتم C برانگیخته - شامل یک الکترون جفت شده در اوریتال



شکل ۶-۶ همبوشانی اوریتال‌های ۱s در اتم هیدروژن

- ۱. یکدیگرden یکی از الکترون‌های ۲s و برانگیختن آن اتریزی می‌خواهد. اما، انرژی لازم برای این فرایند فرسی از تشکیل چهار پیوند کرووالانسی مولکول CH_4 نامن می‌شود. شکستن یک پیوند کرووالانسی تا آن انرژی آزاد دارد (یعنی ۵-۵، فرایند مکوسن، یعنی تشکیل یک پیوند کرووالانسی، انرژی آزاد می‌گذارد). گزجه تشکیل CH_4 تا زیار اتریزی مربوط به برانگیختن الکترون شاره ندارد، اسزدی حاصل از تشکیل در پیوند کرووالانسی، کمتر از انرژی آزاد شده در اثر تشکیل چهار پیوند است. به این ترتیب، تشکیل CH_4 ارجح خواهد بود.

با استفاده از نظریه VSEPR، شکل بین‌های زیر را پیش‌بینی کنید. تمام پیوندهای موجود در این ساختارها، پیوندهای ساده‌اند. هر اتم هالوژن فقط یک الکترون با لایهٔ طرفیتی اتم مرکزی به اشتراک می‌گذارد: (الف) ClF_3^+ ، (ب) AsF_5^+ ، (ج) IBr_2^- ، (د) SnCl_4^- ، (ه) CO_3^{2-} ، (م) SO_4^{2-} .

حل

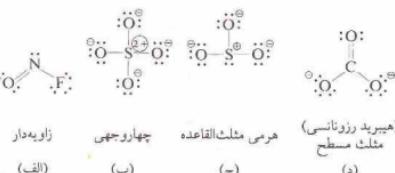
مجموع تعداد الکترون‌های طرفیتی اتم مرکزی (A)، به اضافه یک الکترون از هر اتم هالوژن (X) (متحصل به آن، و موازنه بار بین (ch)؛ تعداد اکل الکترون‌های لایهٔ طرفیتی اتم مرکزی را بدست خواهد داد. نصف این تعداد، برابر با کل زوج الکترون‌هاست. چون هر اتم هالوژن با یک زوج الکترون به اتم مرکزی متحصل شده است، تعداد اتم‌های هالوژن برابر با تعداد زوج‌های پیوندی است. تعداد زوج الکترون‌های ناپیوندی نیز با کم کردن تعداد زوج الکترون‌های پیوندی از کل الکترون‌ها به دست می‌آید:

ناتای پیوندی	ناتای پیوندی	تعداد زوج الکترون‌ها		
		A + X + chg	کل	خط
(الف) TiCl_4^+	۳ + ۲ - ۱ = ۴	۲	۲	خط
(ب) AsF_5^+	۵ + ۲ - ۱ = ۶	۱	۳	زاویه دار
(ج) IBr_2^-	۷ + ۲ + ۱ = ۱۰	۵	۲	خط
(د) SnCl_4^-	۴ + ۳ + ۱ = ۸	۴	۳	هر میان
مثلث القاعدۀ				
(ه) ClF_3^+	۷ + ۴ + ۱ = ۱۲	۶	۴	مربع مسطوح

مثال ۲-۹

ساختارهای لوویس و شکل مولکولی (الف) ONF_3 ، (ب) SO_4^{2-} ، (ج) CO_3^{2-} ، (د) SO_3^{2-} را بنویسید.

حل



جدول ۹ - اوربیتال‌های هیبریدی

اوربیتال انتی ساده	نوع هیبرید	شکل هندسی	مثال
	خط	خط	HgCl_4
	sp^1	سه گوش‌های مسطح	BF_3
	sp^2	چهار و چهی	CH_4
	dsp^2	مربع مسطح	PtCl_4
	dsp^2 یا sp^2d	دو گرمی مثقل القاعده	PF_5
	d^2sp^3 یا sp^3d^2	هشت و چهی	SF_6

۲۵ به اضافه سه الکترون جفت‌نشده در سه اوربیتال ۲p به صورت چهار بخش مساوی و هم شکل با ارایش چهار وجهی درآمده باشد. چون کل توزیع الکترونی شامل چهار الکترون است، چگالی الکترون هر یکاز چهار بخش مساوی به یک الکترون مربوط خواهد بود. می‌توان گفت که هر بخش نمایشگر یک الکترون در نوع جدیدی از اوربیتال انتی - یعنی یک اوربیتال هیبریدی sp^3 است.

توابع موجی بیانگر اوربیتال‌های ۲s و ۲p را می‌توان به شکل ریاضی جمع زد و توابع موجی چهار اوربیتال هیبریدی sp^3 را بدست آورد. نماد d^5 نشانده‌نده تعداد و نوع اوربیتال‌های به کار رفته در این ترکیب ریاضی است. بالا نوشت‌های این نماد بیانگر تعداد الکترون‌ها نیستند.

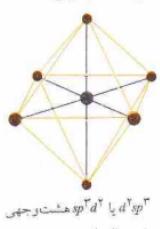
هر اوربیتال هیبریدی sp^3 دارای یک چهارم خصلت σ و سه چهارم خصلت π است.

توصیف لایه طرفیتی اتم C برای گیگخته براساس چهار الکترون که به طور جداگانه در یک اوربیتال ۲s و سه اوربیتال ۲p باشند، یا بزمیانی چهار الکترون که در چهار اوربیتال هیبریدی sp^3 هم‌ارز مستقر شده باشند، نیز معتبر است. توزیع الکترونی کل بزمیانی هر دو توصیف یکسان است. هر یک از روش‌ها، واحد قابل قبولی برای معادله شرودینگر به دست آمد. بدین ترتیب، تشکیل پیوند در CH_4 را می‌توان براساس مهموشاوی اوربیتال‌های ۱s مربوط به چهار اتم H با اوربیتال‌های هیبریدی sp^3 اتم C توضیح داد.

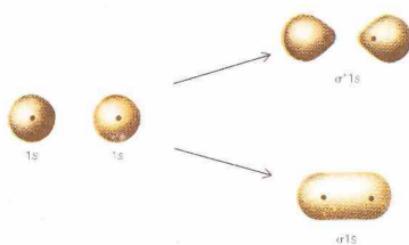
برای توصیف تحریر تشکیل پیوند در مولکول‌های دیگر از اوربیتال‌های هیبریدی دیگر استفاده می‌شود. در این مجموعه‌ها، نیازی به درگیر شدن تمام اوربیتال‌های انتی لایه طرفیتی اتم مرکزی وجود ندارد. برای مثال، توابع موجی سه اوربیتال هیبریدی هم‌ارز sp^2 را می‌توان از جمع ریاضی توابع موجی یک اوربیتال ۲s و دو اوربیتال ۲p بدست آورد. یکن از سه اوربیتال ۲p در این نمودار وارد نشده است. محورهای سه اوربیتال هیبریدی sp^2 در یک صفحه قرار دارند و با زاویه 120° از یکدیگر فاصله گرفته‌اند. این مجموعه را برای توصیف پیوندهای یک مولکول سه گوش‌های مسطح که در آن اتم مرکزی دارای سه زوج الکترون پیوندی باشد (مانند BF_3) می‌توان به کار برد.

مجموعه‌ای از اوربیتال‌های هیبریدی sp^3d^2 (حاصل از یک اوربیتال ۲s و یک اوربیتال ۲p اتم مرکزی) را برای توصیف چگونگی تشکیل پیوند در مولکول‌های خطی که در آنها، اتم مرکزی دارای دو زوج الکترون پیوندی باشد (مانند HgCl_4 یا BeCl_4) می‌توان به کار گرفت. توجه کنید که تعداد اوربیتال‌های هیبریدی در هر یک از مجموعه‌های یاد شده برابر با تعداد اوربیتال‌های انتی ساده به کار رفته برای بدست آوردن آنهاست (مانند d^5 در sp^3 سه اوربیتال درگیرند).

در جدول ۹ - ۲، اوربیتال‌های هیبریدی معمولی آورده شده‌اند و چهت‌گیری آنها نیز در شکل ۷-۹ نمایش داده است. در دو مجموعه از اوربیتال‌های d^5 معنی انتقاد مذهداست (جدول ۹-۲ و شکل ۹-۶) یا پیونید. اوربیتال‌های d^5 به کار رفته در هر مجموعه، مسکن است از لایه برونی اتم مرکزی یا از لایه مقابل آخر باشند. مثلاً اوربیتال‌های



شکل ۹ - ۷. چهت‌گیری اوربیتال‌های هیبریدی

شکل ۹-۹ تشكیل اوربیتال‌های مولکولی σ و σ^* از اوربیتال‌های اتمی $1s$

۵ دو اتم هیدروژن دانست (شکل ۹-۶). این همبوشانی، منجر به تقویت (جمع) موج خواهد شد و چگالی الکترون در ناحیه بین هسته‌ها بالا خواهد رفت. جاذبه هسته‌ها نسبت به این بار الکترونی اضافی، باعث باقی ماندن اتم‌ها در کار یکدیگر می‌شود. این اوربیتال مولکولی را اوربیتال پیوندی سیگما[#] نامند و با نامد σ نمایش می‌دهند (شکل ۹-۹).

در فرازندی بالا، در اوربیتال اتمی به کار گرفته شدند، درستیجه، دو اوربیتال مولکولی باید تشکیل شوند. اوربیتال مولکولی دیگر، تیججه ترکیب امواج ناهمفاز (تفرقی) است. چگالی الکترون در ناحیه بین هسته‌ها، پایین است. در این مرور، هسته‌ها همگیر را دفع می‌کنند، زیرا چگالی الکترونی تاچیر بین هسته‌ها کمک چندانی به کاهش این دفعه نمی‌کند. این اوربیتال را اوربیتال ضد پیوندی سیگما[#] (با نامد σ^*) نامند، زیرا الکترکلی آن مُحتمل است پیوند است (شکل ۹-۹). اوربیتال‌های سیگما[#] و σ^* ، حول محور بین دو هسته، تقارن استوانه‌ای دارند. چرخش مولکول در حول این محور، تغیر قابل مشاهده‌ای در شکل اوربیتال به وجود نمی‌آورد.

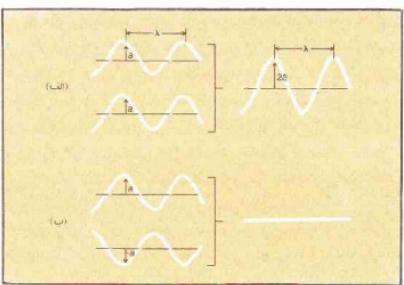
نمودار ترازهای انرژی برای تشکیل اوربیتال‌های مولکولی $1s$ و $1s^*$ از اوربیتال‌های اتمی دو اتم در شکل ۹-۹ نشان داده شده است. انرژی اوربیتال پیوندی سیگما[#] باین تراز از هر دو اوربیتال اتنمی به وجود آور نسده آن است، حال آنکه انرژی اوربیتال‌های ضد پیوندی سیگما[#] بالاتر است. اوربیتال مولکولی پیوندی حاصل از ترکیب دو اوربیتال اتمی، نشان‌دهنده کاهش انرژی و اوربیتال مولکولی ضد پیوندی، بانگر افزایش انرژی است.

در هر اوربیتال (اتمی یا مولکولی)، دو الکترون را اسپین‌های مخالف قرار می‌گیرند. در مولکول هیدروژن، دو الکترون، دو الکترون (یا اسپین‌های چفت شده)، اوربیتال $1s$ ، یعنی اوربیتال مولکولی دارای کمترین انرژی را شغال می‌کنند. اوربیتال $1s^*$ ، خالی می‌ماند. نصف تفاوت تعداد الکترون‌های پیوندی و الکترون‌های ضد پیوندی، برابر با تعداد

هیبریدی هشت وجهی را می‌توان $d^2sp^3d^2$ یا sp^3d^2 خواند. توجه کنید که اوربیتال‌های هیبریدی مجموعه (sp^3d^2) (یا (pp^3d) هم ارز نیستند (یعنی مربوط به مولکول هیدروژن، دو الکترون می‌شوند) از اوربیتال‌های هیبریدی $3d^2$ را بینند). مفهوم اوربیتال‌های هیبریدی را می‌توان برای به دست آوردن توصیفی تقریبی از مولکول‌های دارای یک یا چند زوج الکترون ناپیوندی در لایه ظرفیتی اتم معرفی نیز به کار برد. مثلاً، در p_{π} می‌توان فرض کرد که اتم مركبی N از اوربیتال‌های هیبریدی $3d^2p_{\pi}^2$ مستفاده می‌کند و یکی از این اوربیتال‌ها شامل یک زوج الکترون ناپیوندی است، حال آنکه سایر اوربیتال‌ها برای تشکیل پیوند با اتم‌های H به کار رفته‌اند. زاویه پیوندی $H-N-H$ در $10^{\circ}V$ ، به زاویه چهارچهار وجهی اوربیتال‌های هیبریدی sp^3 ($28^{\circ}10'$) نزدیک است. انحراف چشمی را به اثر زوج الکترون ناپیوندی می‌توان نسبت داد.

۹-۳ اوربیتال‌های مولکولی

نظرهای ساختار مولکولی که تا اینجا با آنها آشنا شده‌اند، تشکیل پیوند در مولکول را براساس اوربیتال‌های اتمی توضیح می‌دهند. روش اوربیتال‌های مولکولی، رهیافت متفاوتی است که در آن، اوربیتال‌ها به طور کلی، به مولکول مربوط می‌شوند. ساختار الکترونی یک مولکول را با قراردادن الکترون در این اوربیتال‌ها براساس ترتیب آنها می‌توان به دست آورد. اوربیتال‌های مولکولی را به حروف یونانی σ (سیگما)، π (پی)، و غیره مشخص می‌کنند (مانند نمایش اوربیتال‌های آنها با حروف δ ، $\delta\pi$ و غیره) اگر دو موج با طول موج (λ) و دامنه (a) یکسان و به صورت همبال ترکیب شوند، همگیرا تقویت خواهند کرد (شکل ۹-۹، الف). طول موج مربوط به موج حاصل تغیر خواهد کرد، اما دامنه موج برابر $a + a = 2a$ خواهد شد. اما دو موج کاملاً ناهمفاز، همگیر را حذف خواهند کرد (شکل ۹-۹، ب). «دامنه» موج برابر با $+ (-a)$ است، از $a + a - (-a) = 0$ خواهد بود. ترکیب امواج ممکن به صورت جمع یا تفرقی آنها صورت می‌گیرد. اوربیتال‌های مولکولی π را می‌توان نتیجه همبوشانی اوربیتال‌های

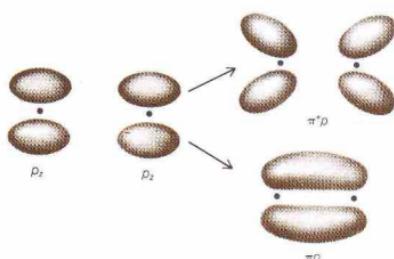
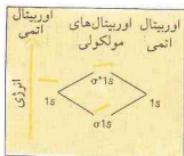
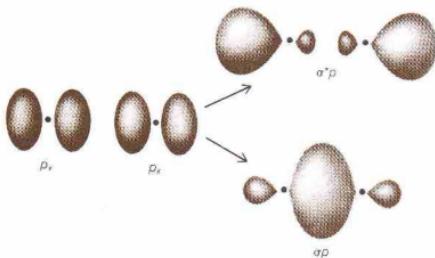


شکل ۹-۸ (الف) تقویت امواج ناهمفاز (ب) حذف امواج ناهمفاز

1. Method of molecular orbitals

2. Sigma bonding orbital

3. Sigma antibonding orbital



شکل ۱۰ - تشکیل اوربیتال‌های مولکولی از اوربیتال‌های اتنی

پی (نماد π) و یک اوربیتال مولکولی ضدپیوندی پی (نماد π^*) وجود می‌آردن. اوربیتال‌های پی، حول محور بین هسته‌ای، تقارن استوانه‌ای ندارند. بلکه همپوشانی پهلوی به پهلوی اوربیتال‌های پی موجب شکل یک اوربیتال π شامل دو ناحیه چگالی بار می‌شود که در بالا و پائین محور بین هسته‌ای قرار دارند (شکل ۱۰ - ۱ را ببینید). اما اگر کلی اوربیتال π نگاه داشتن اجزای سوکلر است. اوربیتال π ، جگالی الکترونی کمتری در ناحیه بین هسته‌ها دارد (شکل ۱۰ - ۲ را ببینید). درنتیجه، اثر اوربیتال π ، پیکرتین پیوند است.

اوربیتال‌های پی که در شکل ۱۰ - ۱ نمایش داده شده‌اند نزدیک از پهلوی یکدیگر نزدیک می‌شوند. این اوربیتال‌ها، مجموعه دیگری از اوربیتال‌های π و π^* را به وجود می‌آورند که بر دسته اول عومند. دو اوربیتال π ، هم انرژی‌اند و همچنین دو اوربیتال π^* نیز انرژی یکسان دارند. به این ترتیب، شش اوربیتال مولکولی از دو مجموعه اوربیتال‌های π و π^* تشکیل می‌شود – یک σ ، دو π و π^* (شکل ۱۰ - ۲) و دو اوربیتال‌های اتنی π (شکل ۱۰ - ۱)، این شش اوربیتال همراه با دو اوربیتال مولکولی مربوط به اوربیتال‌های اتنی $= 2$ دو اتم را به دست می‌دهند.

برای تماش فرازیند آقیا در مورد این اوربیتال‌های مولکولی، مولکول‌های دو اتنی جور هسته عناصر تنابو دوم (مولکولی مربوط به

پیوندها در مولکول است (درجہ پیوند):

$$[(\text{تعداد } \sigma \text{-های ضدپیوندی}) - (\text{تعداد } \sigma \text{-های پیوندی})] \frac{1}{4} = \text{درجہ پیوند}$$

برای مولکول He_2

$$\frac{1}{4} = \text{درجہ پیوند}$$

اگر بخواهیم دو اتم هلیم را به صورت مولکول He_2 در آوربیتال σ دو اکترون را در دو اوربیتال مولکولی قرار دهیم، چون اوربیتال σ دو اکترون پر می‌شود، دو اکترون دیگر را باید در اوربیتال σ جای دهیم. در این صورت درجه پیوند در He_2 برابر است با:

$$\frac{1}{4} = \text{درجہ پیوند}$$

مولکول He_2 تمحی تواند وجود داشته باشد، اثر شکننده الکترون‌های ضدپیوندی، اثر پیوندی اکترون‌های ظرفیتی را خنثی خواهد کرد. شواهدی درباره موجودیت یون مولکول هیدروژن، H_3^+ ، و یون مولکول هیدروژن، He_3^+ ، در شرایط مناسب در دست است. یون مولکول هیدروژن شامل دو پروتون (هسته‌های H) و یک اکترون در اوربیتال σ است. درنتیجه، درجه پیوند در H_3^+ ، برابر با $\frac{1}{4} (1 - 0) = \frac{1}{4}$ می‌باشد. یون مولکول هیدروژن شامل دو هسته هلیم و سه اکترون است که دو تای آنها در اوربیتال σ و الکترون دیگر در اوربیتال σ قرار دارد، به این ترتیب، درجه پیوند در H_3^+ ، برابر با $\frac{1}{4} (1 - 1) = \frac{1}{4}$ خواهد بود.

از ترکیب دو اوربیتال σ ، اوربیتال‌های مولکولی σ و σ^* مانند آنچه که از اوربیتال‌های ۱۵ تشکیل شد، به وجود خواهد آمد. اما اوربیتال‌های مولکولی حاصل از اوربیتال‌های اتنی σ ، اندکی پیچیده‌ترند. اگر اوربیتال σ یک اتم در جهت مختصات x، y و z قرار گرفته‌اند، اگر فرض کنیم که تشکیل یک مولکول دو اتنی، مستلزم نزدیکشدن اوربیتال‌های اتنی در طول محور z باشد، در آن صورت، نتیجه همپوشانی آنها تشکیل اوربیتال‌های مولکولی پیوندی σ و ضدپیوندی σ^* (شکل ۱۰ - ۱) خواهد بود. تمام اوربیتال‌های سیگما، حول محور بین هسته‌ای، کاملاً متفاوت هستند.

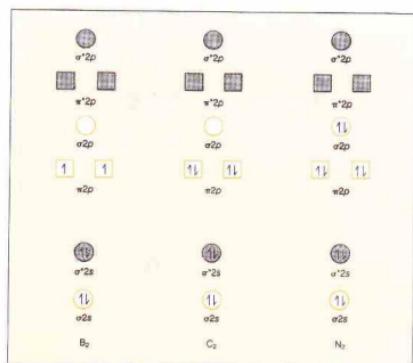
در تشکیل یک مولکول دو اتنی (شکل ۱۰ - ۱)، اوربیتال‌های اتنی σ از پهلوی یکدیگر نزدیک می‌شوند و یک اوربیتال مولکولی پیوندی

است که اوریتال های مولکولی σ و π حاصل از اوریتال های پایدار می شوند (اتریز پایین تر)، و اوریتال های مولکولی σ و π حاصل از اوریتال های σ ناپایدار می گردند (اتریز بالاتر). این اثر موجب پیدا شدن ترتیب امکانی نشان داده شده در شکل ۱۲-۹ است. شفاوت مقمین شکل های σ و π ب در آن است که (الف)، اوریتال σ از اوریتال پایین تر از دو اوریتال هم اتریز 2σ به بالای این دو اوریتال جایده شده است. ترتیب نشان داده شده در (الف)، در مورد مکمل ها، از σ تا π صادق است.

لیتیم به گروه IIA تعلق دارد و هر اتم Li دارای یک الکترون ظرفیتی است. در نتیجه، مولکول Li₂ دارای دو الکترون با امینیتی های مخالف در یکیان ترین اوربیتان، یعنی اوربیتان ۵ است. درجه پیوند در Li₂ برابر $\frac{1}{2}$ است.

اگر بخواهیم مولکول B_2 تشكیل دهیم، چهار کترون را باید در نظر بگیریم؛ زیرا هر اتم B دارای ۶ کترون است. او بین ۴-۶ باشد و کترون پر می‌شود. و دو کترون دیگر در او بین ۶-۷ قرار می‌گیرند. اثر کاتیون دو کترون پیوندی و دو کترون ضد پیوندی عدم تشكیل پیوند است. درجه پیوند باید با $= (2-2)/2 = 0$ باشد و مولکول B_2 ندارد.

نمودارهای تراز ارزی اوربیتال مولکولی برای مولکولهای B_2 , C_2 , N_2 , D_2 و E_2 نمایش داده است. اوربیتال‌ها، از پایین به بالا و براساس ترتیب آلفای (الف) رسم شده‌اند. هر نمودار با قراردادن تعداد صحیح الکترون، یکی پس از دیگری در پایین ترین اوربیتال مولکولی در دسترس، به دست آمده است. ضمن پرکرد اوربیتال‌ها، قاعده هوند وعایت شده است. دو اوربیتال 2π ، دارای ارزی بیکساند، و پیش از زوچ کردن الکترون‌ها، یک الکترون در هر اوربیتال



شکل ۹-۱۳ نسبت دارهای تراز اندیکاتور اورستال مولکولی برای B_7 , C_7 , D_7 , E_7 , F_7 و G_7

The diagram illustrates the formation of molecular orbitals from two atomic orbitals (AOs) per atom. The left column represents the atomic orbitals of the first atom, and the right column represents those of the second. The top row shows the $\sigma^* 2p$ AOs, which combine to form a bonding $\sigma 2p$ MO (filled circle) and two antibonding $\pi^* 2p$ MOs (half-filled circles). The middle row shows the $\sigma 2p$ AOs, which combine to form a bonding $\sigma 2p$ MO (filled circle) and two antibonding $\pi 2p$ MOs (empty circles). The bottom row shows the $\sigma^* 2s$ AOs, which combine to form a bonding $\sigma 2s$ MO (filled circle) and one antibonding $\sigma 2s$ MO (empty circle). The p and $2s$ labels indicate the type of atomic orbitals involved.

شکل ۹-۱۲ ترتیب آفیا برای مولکول‌های دو اتمی جور هستهٔ عناصر تناوب دوم. (الف) Li_2 , (ب) O_2 , (ج) F_2

مشکل از دو اتم یکسان از انصار تناب دوم) را دنتری می‌گیریم.
دو ترتیب آقای براوی این مولکول‌ها وجود دارد (شکل ۹-۱۲). ترتیب
اول (الف) به مولکول‌های Li_7N_3 مربوط است؛ ترتیب دوم (ب) به

در ترتیب دوم (ب) آسان تر است. در این روش، ترتیب آفیا بر اثری اورپیالها استوار است. اثری کی اوپریال مولکولی به اثری اورپیالهای ائمی به کار رفته در تشکیل آنها و به میزان و نوع همپوشانی بین این اورپیالهای ائمی مستگی دارد. چون اثری اورپیالهای ۲۴ کمتر از اورپیالهای ۲۵ است، اثری اورپیالهای مولکولی حاصل از اورپیالهای ۲۵ کمتر از اورپیالهای مولکولی حاصل از اورپیالهای ۲۶ خواهد بود. چون میزان همپوشانی اورپیالهای ۲۵ پیشتر از همپوشانی اورپیالهای ۲۶ در تشکیل اورپیال ۲۷ می باشد، اثری اورپیال ۲۷ پایین تر اورپیالهای مولکولی هم اثری ۲۷ است. اورپیالهای ضد پیوندی اورپیال، یعنی افزایش اثری به میزان پایابی با کاهش اثری مربوط به اورپیالهای همان نوع است. این ترتیب آفیا در مردم ۰۷ و F_۳ نتیجه است.

در تکون ترتیب شان داده شده در (ب)، فرض بر این است که اوربیتال‌های $2s$ فقط با پدیگیر همپوشانی می‌کنند و اوربیتال‌های $2p$ به کار رفته برای تشکیل اوربیتال‌های $5s$ و $5p$ فقط مجبور به همپوشانی با پدیگیرند. این تقریب در صورتی معتبر است که انرژی اوربیتال‌های $2s$ و $2p$ بسیار مغایط است (همان طور که در O و F استندا). اگر انرژی اوربیتال‌های $2s$ و $2p$ به همدیگر نزدیک باشند، همکنتر اضافی

جدول ۹-۳ خواص مولکول‌های دو اتمی مشتمل از عناصر تناوب دوم

مولکول	مولوپون (kJ/mol)	درجه حریق جذب شده (pm)	$\sigma^* \pi^* \pi^* \pi^*$				
N_2	۱۰۶	۲۶۷	۱	۲	۲	۲	۲
Be_2	-	-	-	۲	۲	۲	۲
B_2	۲۸۹	۱۵۹	۱	۲	۲	۲	۲
C_2	۶۲۷	۱۳۱	۲	۴	۲	۲	۲
Ne_2	۹۲۱	۱۱۰	۳	۲	۲	۲	۲
الف) فقط در حالت بخار و در دمای بالا وجود دارد.							
(ب) وجود ندارد.							

تناوب دوم در جدول ۹-۳ آمده است. با افزایش تعداد پیوندها، طول پیوندها کوتاه‌تر و قدرت آنها بیشتر می‌شود. قوی ترین پیوندها به N_2 تعلق دارند که اتم‌های N یک پیوند سه‌گانه به یکدیگر وصل شده‌اند. مولکول‌هایی که درجه پیوند آنها براساس این روش، برابر با صفر پیش‌بینی شود (Ne_2 و Be_2) وجود ندارند.

برای یون‌های دو اتمی نیز می‌توان نمودارهای اوریتال مولکولی رسم کرد. نمودارهای مربوط به کاتيون‌های N^+ و O^+ را با حدف یک الکترون، به ترتیب، از نمودارهای N_2 و O_2 می‌توان بدست آورد. نمودار آنیون‌های O^- (سوپراکسید) و O_2^- (پراکسید) را، به ترتیب با افزودن یک و دو الکترون به نمودار O_2 می‌توان رسم کرد. نمودار یون استیلید، C_2^- ، توجه افزایش دو الکترون به نمودار C_2 است.

برای مولکول‌های میاند CO ، NO نیز همین‌گونه اوریتال‌های مولکولی، گرهچه اندکی و پیچیده، می‌توان تشکیل داد. اغلب موارد، هر دو روش آنها را با تابعی کیفی یکسان می‌توان به کار گرفت. اما، ترتیب واقعی ناشخص است.

چون CO با N_2 الکترون است (هر مولکول دارای دو الکترون ظرفیتی)، تراز انرژی اوریتال مولکولی CO مشابه با نمودار N_2 است (شکل ۹-۱۳). درنتیجه، درجه پیوند در مولکول کربن مونوکسید برابر ۳ است. انرژی تفکیک مولکول CO تقریباً برابر با انرژی تفکیک N_2 است.

گفته‌بودیم که ترسیم نمودار ساختار لوویس برای مولکولی که تعداد الکترون‌های ظرفیتی آن قرده باشد امکان‌پذیر نیست. نیتروژن اکسید، NO ، چنین مولکولی است. چون تعداد الکترون‌های ظرفیتی N و O ، به ترتیب پنج و شش می‌باشد، کل الکترون‌های ظرفیتی NO برابر بازده است. تعداد تراز انرژی اوریتال مولکولی NO در شکل ۹-۱۵ داده شده است. چون تعداد الکترون‌های پیوندی برابر با هشت و تعداد الکترون‌های ضدپیوندی برابر با سه می‌باشد، درجه پیوند برابر با $\frac{1}{3}$ است. درنتیجه، نیتروژن اکسید، پارامغناطیسی است.

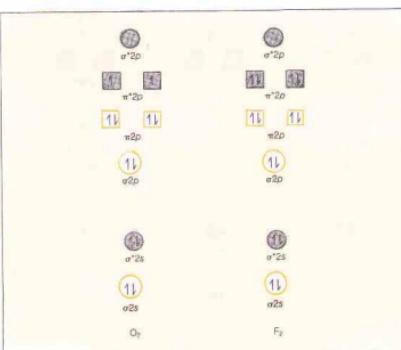
درمورد B_2 ، مولکول دارای شش الکترون است (سه الکترون از هو اتم B ، زیرا در گروه III A قرار دارد). دو الکترون بعدی در اوریتال σ قرار داده می‌شوند و دو الکترون بعدی در اوریتال π ، اخرين زوج الکترون در اوریتال‌های جداگانه π جای دارند. درنتیجه، مولکول B_2 دارای دو الکترون یجفت نشده و پارامغناطیسی است. پارامغناطیسی بودن مولکول B_2 ، ترتیب آنلای (الف) را تأیید می‌کند. درصورت تبیعت از شیوه آنلای (ب)، دو الکترون آخر، با اسینهای زوج شده باید در اوریتال π قرار می‌گرفتند و مولکول دیامغناطیسی می‌شد. درجه پیوند در مولکول B_2 برابر با $= 1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$ است.

نمودارهای C_2 و N_2 را به ترتیب با افزودن هشت و ده الکترون می‌توان بدست آورد. توجه کنید که درجه پیوند برای C_2 برابر با 2 است، هیچ کدام از این مولکول‌ها الکترون یجفت نشده ندارد. نمودارهای اوریتال مولکولی برای O_2 و F_2 در شکل ۹-۱۶ داده شده‌اند. ترتیب آنلای (ب) به کار گرفته شده است. نمودار O_2 را با قراردادن دوازده داروهای الکترون (شش الکترون از هو اتم) در اوریتال‌های مولکولی بدست آورده‌ایم. دو الکترون آخری به طور جداگانه، در اوریتال‌های π قرار می‌گیرند. به این ترتیب، مولکول O_2 دارای دو الکترون یجفت نشده و پارامغناطیسی است. درجه پیوند O_2 برابر با $= 1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$ است. ساختار لوویس برای O_2 ،

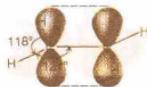
$$\ddot{\text{O}} = \ddot{\text{O}}$$

قابل قبول نیست. گرچه این ساختار پیوند دوگانه مولکول O_2 را نشان می‌دهد، اما دو الکترون یجفت نشده را شخصنمی‌کند. در نمودار F_2 ، چهارده الکترون به کار گرفته شده است (از هر اتم T تعداد هفت الکترون). درجه پیوند در مولکول F_2 برابر با 1 است.

斛لاصهای از مولکول‌های دو اتمی جور هسته مشتمل از عناصر



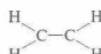
شکل ۹-۱۴ نمودارهای تراز انرژی اوریتال مولکولی برای O_2 و F_2



شکل ۹ - ۱۷ آرایش هندسی اتیلن (شکل اوربیتال‌های p که از همپوشانی آنها یک پیوند π تشکیل می‌شود، ساده شده است؛ پیوندهای σ به صورت خط نمایش داده شده‌اند).

بین هسته‌ای، مقارن هستند، چرخش حول پیوند امکان‌پذیر است. چرخش حول پیوند $C-C$ باعث تغییر آرایش اتم‌ها می‌شود (شکل ۹-۱۶).

الگوی تشکیل پیوند در مولکولی که دارای دو یا چند پیوند مضاعف باشد تیز از اسکلت پیوندهای سیگمای مولکول (چارچوبی از اتم‌ها که با پیوندهای ساده به یکدیگر مصلح شده‌اند) بعدست می‌آید. اسکلت پیوندهای σ در مولکول اتیلن به صورت زیر است:



مولکول اتیلن، مستطیح است و پیوندهای سیگمای پیرامون اتم C به صورت سه‌گوش‌های مستطیح (الگوی پیش‌بینی شده به وسیله نظریه VSEPR) قرار گرفته‌اند. زوایای پیوندی $H-C-H$ برابر با 118° و زوایای پیوندی $C-C$ برابر با 121° هستند. این مقادیر، به زوایای ساختار سه‌گوش‌ای مستطیع، یعنی 120° ، نزدیک‌اند (شکل ۹-۱۷).

شکل هندسی این مولکول را با فرض به کارگیری اوربیتال‌های هیبریدی p^3 اتم C برای تشکیل اسکلت پیوندی σ می‌توان تبیین کرد. یکی از اتم‌های اوربیتال $2p$ مریوط به هر اتم کربن، در تشکیل اوربیتال‌های هیبریدی p^3 شرک نشده است. این اوربیتال‌های $2p$ به صفحه مولکول عمودی و از همپوشانی آنها، اوربیتال پیوندی π تشکیل می‌شود (شکل ۹-۱۷). چگالی الکترونی پیوند π در بالا و پایین صفحه مولکول شکل قراردارد. چرخش آزاد حول اتصال $C-C$ بدون تشکیل این پیوند π امکان‌پذیر نیست.

اسکلت پیوندهای سیگمای استیلن به صورت زیر است:



این مولکول خطی است (نظریه VSEPR) بیز خطی پیوند آن را پیش‌بینی می‌کند. هر یک از اتم‌های C با استفاده از اوربیتال‌های هیبریدی p^3 (خطی)، دو پیوند σ تشکیل می‌دهند. دو اوربیتال از اتم C در تشکیل اوربیتال‌های هیبریدی p^3 شرک نمی‌کنند. از همپوشانی این اوربیتال‌های $2p$ ، دو اوربیتال مولکولی که پیوندی π تشکیل می‌شوند

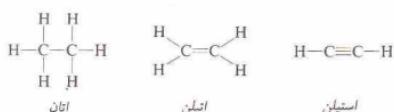


شکل ۹ - ۱۵ نمودار تراز انرژی اوربیتال مولکولی برای NO

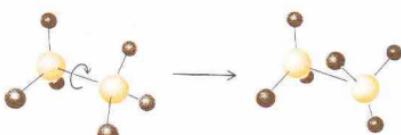
مولکول NO دارای یک الکترون جفت‌نشده در یک اوربیتال $2p$ π است.

۹-۵ اوربیتال‌های مولکولی در اجزای جند اتفاقی

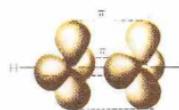
برای مولکول‌هایی که پیش از دام داشته باشند، مانند O_2 و H_2 تیز می‌توان اوربیتال‌های مولکولی را بددست آورد. در مرور، تعداد اوربیتال‌های مولکولی بددست آمده برابر با تعداد اوربیتال‌های اتمی به کار گرفته شده است و اوربیتال‌های مولکولی، تمام مولکول را شامل می‌شوند. اما در اغلب موارد، فقط کافی است که اوربیتال‌های مولکولی مستقرین دو اتم‌جاور را درنظر گیریم. مولکول‌های زیر را ملاحظه کنید.



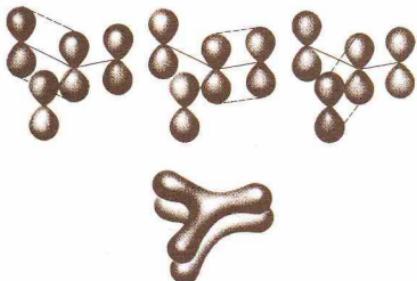
هر یک از اتم‌های C در اتان، با استفاده از اوربیتال‌های هیبریدی p^3 ، با اتم کربن دیگر و همچنین با سیاه H ، تعداد چهار پیوند σ تشکیل می‌دهد (شکل ۹-۱۶). درنتیجه، تمام زوایای پیوندی برابر با $109^\circ 28'$ یعنی زاویه چهار وجهی است. چون اوربیتال‌های پیوندی σ در حول محور



شکل ۹ - ۱۶ چرخش حول پیوند σ در اتان

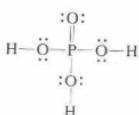


شکل ۹ - ۱۸ - ۹ شکل پیوندهای π -اسیلان. (شکل اوربیتال‌ها ساده شده است؛ پیوندهای π به صورت خط نمایش داده شده‌اند).



شکل ۹ - ۱۹ - سیتم پیوند π -چند مولکولی در پیوند کربنات و رابطه آن با ساختارهای رزوتانسی

با قرار دادن یک پیوند دوگانه در ساختار



قاعده هشتاین در مورد اتم P نقش خواهد شد (زیرا اتم P دارای پنج پیوند شده است)، و بارهای قراردادی نیز حذف می‌شوند. در مثال‌های قبلی، پیوند π ، نتیجه همپوشانی در اوربیتال p ، در اینجا، پیوند π از همپوشانی یک اوربیتال $2p$ پر شده اتم اکسیژن یا یک اوربیتال $2d$ خالی اتم سفتر تشکیل می‌شود. به این ترتیب، نمودهای از پیوند $d-p$ - π است.

شواهدی برای تأیید پیوند دوگانه در این ساختار در دست است. طول پیوند O-P که در ساختار به صورت پیوند دوگانه نشان داده شده، 152 pm می‌باشد که کوتاه‌تر از سایر پیوندهای O-P (پیوندهای ساده به طول 175 pm) است.

اما، طول محاسبه شده برای پیوند ساده O-P بر اساس شعاع اتمی، 176 pm است، در نتیجه، حقیقت پیوندهایی که در ساختار این مولکول به صورت ساده نوشته شده‌اند، کوتاه‌تر از میزان پیش‌بینی شده‌اند. کوتاه‌تر شدن این پیوندها را می‌توان با توجه به برهمکنش پیوندهای $p\pi-d\pi$ ، مشهور به تشکیل پیوند برگشتی^۱، تبیین کرد که در تمام پیوندهای O-P (به میزان کمتر از ۱ درجه پیوند) رخ می‌دهد. یون

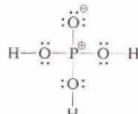
(شکل ۹ - ۱۸). توجه کنید که پیوند π دارای دو مرکز چگالی بار است که در دو طرف محور اسکلت پیوندی σ قرار دارند.

پیوندهای دوگانه اینین و اسیلان در بین دو هسته کربن مستقرند. در برخی از مولکول‌ها و یون‌ها، پیوندهای چند مولکولی (یا نامتر) وجود دارند که در آنها برقی از الکترون‌های پیوندی با بیش از دو اتم پیوند دارند. توصیف این اجزا با روشن نظریه پیوند طرفی می‌تواند استفاده از ساختارهای رزوتانسی است.

بون کربنات (شکل ۹ - ۱۹)، نمونه خوبی از پیوندهای ناسفتر را دارد. در دست مدد، این بون، سه گونه‌ای سطحی است و هر یازده پیوندی σ -C-O برای رساندن $O-C=O$ می‌باشد. اتم کربن با اسقاطه از اوربیتال‌های هیبریدی sp^3 ، اسکلت پیوندی σ را تشکیل می‌داند. یکی از اوربیتال‌های هیبریدی $2p$ در مجموعه هیبریدی sp^3 به کار گرفته شده است. این اوربیتال $2p$ بر صفحه بون عمود است و با اوربیتال‌های $2p$ مشابه مربوط به اتم‌های همپوشانی می‌کند (شکل ۹ - ۹). با در نظر گرفتن همپوشانی بین اوربیتال $2p$ کربن با یکی از اوربیتال‌های $2p$ هر یک از سه اتم اکسیژن، می‌توان ساختارهای رزوتانسی این بون را به دست آورد. البته، اوربیتال $2p$ اتم C به طور همزن می‌تواند با اوربیتال $2p$ هر سه اتم O همپوشانی باید. نتیجه این همپوشانی، سیستمی از اوربیتال‌های مولکول π است که تمام اتم‌های بون CO_3^{2-} را فرا می‌گیرد. ساختار سولفور ترکی اکسید، SO_4^{2-} ، و بون نیترات، NO_3^- ، نیز مشابه ساختار CO_3^{2-} است.

۹-۶-۱ پیوند $d\pi-d\pi$

ساختار لوویس برای فسفریک اسید (H_3PO_4) به صورت زیر است:



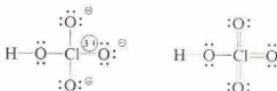
قاعده هشتاین، در مورد تمام اتم‌های این ساختار رعایت شده است. اما، در بسیاری از ترکیبات فسفردار، اتم P بیش از چهار پیوند کوالیانسی تشکیل می‌دهد (بسای مولکول، PF_5 ، لایه طرفی اتم P دارای اوربیتال‌های $3d$ در دسترس است و محدودیت تشکیل چهار پیوند کوالیانسی (قاعده هشتاین) در مورد P صادق نیست.

شده است.



تمام پیوندهای $-O-S-$ هم ارزند و طول آنها، 149 pm ، بینانگر وجود خصوصیات $pxt-dxt$ در آنهاست.

ساختار لوروس و ساختار پیوند دو گانه پرکلریک اسید، HClO_4 به قرار ذی است،



طول سه پیوند $\text{Cl}-\text{O}-\text{Cl}$ بیرونی که به صورت دوگانه نمایش داده شده‌اند، پاییر ۱۴۱ pm است؛ طول پیوند $\text{Cl}-\text{O}$ ساده ۱۶۴ pm می‌باشد. طول پیوند $\text{Cl}-\text{O}$ در پیوند پلکارات (ClO_2^-) پاییر با ۱۶۹ pm است. چون طول پیوند $\text{Cl}-\text{O}-\text{Cl}$ ساده ۱۶۰ pm است، تمام پیوندهای اسید-باز از این طول کوتاه‌تر هستند.

برای توصیف ساختار هر یک از این اسیدهای سوی از ساختار لووپین یا پیوند دگانه استفاده کرد، در مورد ساختار لووپین، کوتاه بودن پیوندی که در شیوه پیوند دگانه به صورت پیوند دگانه نمایش داد شده است را می توان به جایه بین باهای بیش و منفی نسبت داد. در هر دو روش، باید بر همکنش *par*-*att* توضیح کرد که تأثیر بین سه زنایه، سه زندهای، ساده، و کارگی فت.

اور پیشانی های همپریدی نیز امکان پذیر است. در این روش تابع موجود اور پیشانی های انتصاف مربوط به آن مرکزی به صورت ریاضی جمع (با همپرید) می شوند تا تابع مرجع مجموعه ای از اور پیشانی های همپریدی به دست آید. با استفاده از این اور پیشانی های همپریدی، تابع پیوند و شبکه هندسی این اجزاء را

بررسی مفهومی و تئوریتیکی برای ارزش اولویت‌های مولکولی
تشکیل پیوند در این روش اولویت‌های مولکولی را درسته را با روش اولویت‌های مولکولی نیز می‌توان توصیف کرد. در این روش، تشکیل پیوند در مولکولها بر مبنای اولویت‌های مولکولی است. مثلاً این اولویت‌ها می‌توانند ساختار ترمیم داده شوند. اولویت‌های مولکولی را به شام مولکولی خوانید. ساختار کلکترونی مولکول را فشار دادن کلکترونها در اولویت‌های مولکولی و با رعایت ترتیب افقی می‌توان به دست آورد. اولویت‌های مولکولی، متوجه سنتز (اولویت‌های سگما-پی-پی توضیح داده شدند) و برای نفع اولویت‌های مولکولی اولویت‌های مولکولی را درسته می‌دانند و شده‌پذیری و حموده دارند. پس پیوندیک مولکول در این روش باید با تصفیت تعداد کلکترون‌های بودنی مهار نصف تعداد کلکترون‌های خود پیوندی باشد.

پیوندی است. در ترکیبات مربوط به عناصر تنابز سوم و تنابزهای بالاتر، اتم‌های این عناصر ممکن است در پیوند $p\pi - d\pi$ درگیر شوند. پیوند $p\pi$ ، حاصل همپوشانی یک اتم p با یک اتم π می‌شود. مطالعه این پیوند را می‌توان با کمترین مشکل درست نمود.

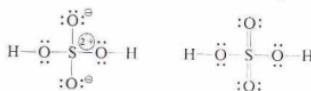
فیضات اغلب به صورت زیر نمایش داده می‌شود:



خطهای نقطه‌چین، نشان‌دهنده بر همکنش‌های $d\pi - d\pi$ هستند. طول تمام سنتزها، ای: ساختا، ۱۵۴ pm است.

ترکیباتی که در آنها یک عصر نافر تاوب سوم (Cl, Ia, S, P, Si) به
O, F امتصال باشد، پیوند $-dr$ ، $-pr$ ، $-ar$ ، $-tr$ ، $-cr$ ، $-mr$ دارد. چون در
لایه طرفینی نافرازهای تاوب در میکرو قارگاه فرم شده، پیوند $-dr$ وجود ندارد، اگر
عصری از این تاوب در میکرو قارگاه فرم شده، پیوند $-pr$ ، $-tr$ ، $-cr$ ، $-mr$ تشکیل
نموده باشد. چنین ترکیباتی (متلاط، $HONO_2$) می توانست پیوندهای
دوگانه داشته باشند، اما این پیوندها با استفاده از اوربیتال های s یا p به
وجود نمایند.

ساختار لوپین و ساختار پیوند دوگانه سولفوریک اسید، H_2SO_4 به صورت زیر است:



طول پیوندهای $S-O$ در این مولکول 1054 pm (برای پیوند های که به صورت ساده تماشی داده شدند)، 1142 pm (برای پیوند های که به صورت دوگانه نشان داده شدند) است. اما، طول محاسبه شده برای پیوند ساده $S-O$ ، پیشتر از هر دو طول پیوند اندازه گیری شده است، بر همکنتر $-ptr$ - $-drt$ - $-pdt$ تمام پیوندها $S-O$ پیشنهاد شده است.

حکیمہ مطالب

مولکول‌هایی وجود دارند که آرایش الکترونی آنها با آنچه که براساس اصل هشتگانی پیش‌بینی شود، تفاوت دارد. تعداد الکترون‌های طرفی در بrix از مولکول‌ها فرق است؛ در تئوری، یکن ام‌ها برای الکtron کوتاه شده باشد. لایه طرفی مولکول‌های بزرگ، پیشتر یا کمتر از هشت الکترون دارد. در نتیجه، ساختارهایی مانند طرفی این مولکول‌ها از اصل هشتگانی لوپس بهتری نمی‌کنند.

آرایش هندسی اتمها در مولکول‌ها و پروندها را با استفاده از نظریه دافعه زوج الکترون لایه طرفی که می‌توان پیش‌بینی کرد، در اجزای کوتو انس که دارای یک اتم مرکزی هستند، زوچ الکترون‌های لایه طرفی این اتم مرکزی برای کاهش اثر دافعه بین زوچ الکترون‌ها، بیشترین فاصله از یکدیگر اختیار می‌کنند. به این ترتیب، شکل مولکول یا پرونده، توجه داده این زوچ الکترون‌هاست. در تعیین آرایش هندسی یک مولکول یا پرونده، زوچ الکترون‌های پیوندی و ضد پیوندی اتم مرکزی را در نظر می‌گیریم. این روش می‌توان برای مولکول‌های چندجذبی و چندجذبی‌های رسانس از کار برید.

شکل مولکول ها و پیوند های کووالانسی را براساس نظریه دافعه زوچ
الکترونی های لایه ظرفیتی می توان توضیح داد. توصیف این شکل ها براساس
شکل اوربیتال های اتمی و نظریه پیوند ظرفیتی، دشوار است. تبیین شکل

پیروی نمی‌کند. اما، ساختار دارای پیوند $p\pi$ - $d\pi$ - $d\pi$ ، بار قراردادی ندارد. در تبیهه، از لحظه اینرژی، مناسب‌تر از ساختار لووین است که در آن بار قراردادی وجود دارد.

مفاهیم کلیدی

Antibonding molecular orbital اوریتال مولکولی ضد پیوندی (بخش ۹ - ۴). یک اوریتال مولکولی که در آن، چگالی الکترون در ناحیه بین هسته‌ای کم است. با افزایش مقدار موجود در یک اوریتال مولکولی ضد پیوندی، بالاتر از اثر اتری اینها در اوریتال‌های اعیانی به کار رفته برای تشکیل اوریتال‌های مولکولی، پیوندی و پیوندی ندارند.

Bonding molecular orbital اوریتال مولکولی پیوندی (BMO) یک ارتباط مولکولی که در آن، چگالی الکترون در ناحیه بین هسته‌های زیاد است، با این‌که الکترون موجود در یک اوریتال مولکولی پیوندی، باین‌تر از آنها در اوریتال‌های اتمی به کار رفته باشد تا شکل اوریتال‌های مولکولی پیوندی و ضعیف‌پیوندی است.

زوج الکترون پیوندی (Bonding pair of electrons) یک مولکول دو اتمی، نصف تعداد الکترون‌های به کار رفته برای تشکیل پیوند کو-الائنسی است.

Bond order عداد الکترون های پیوندی مولکول دو اتمی، نصف عداد الکترون های مشترک بین دو اتم است. **Hybridization** طریقی بین کار می رود و در آن تابع موجی اوربیتال های اتمی مربوط به آن صورت ریاضی ترکیب شوند تا نوع موجی مربوط به مجموعه جدیدی از اوربیتال های برابری بوده وارد شود. این استفاده از این اوربیتال های

166 GLO

نظریہ VSEPR: اور ستابل ہائی سسی بدی

۱-۹ پیوند، نه در NO_2 و نه در PCl_5 از قاعدة انتشار چگونه است؟

۹ - آنها N است هرگز دیده نمی شود؟

۷- پرا فرنس میرید سدن اور پیمان شای از
مولکول CH_3 از طریق همپوشانی اور بیتال های اتم

زوج الکترون با A پیوند دارد، و E نشان دهنده یک را اتم مرکزی فرمن کنید، B نماینگر

روی A است. براساس نظریه VSEPR برای مولکل پیش‌بینی می‌کنید؟ AB_2 , AB_3 , AB_4 , AB_5

۴-۹ نشان دهنده اتم مرکزی، B نمایانگر

زوج الکترون با A پیوند دارد. زوایای پیوندی در مجموعه AB_2 , AB_3 , AB_4 , AB_5 و AB_6 می‌باشد.

۵- با استفاده از نظریه VSEPR شکل هندسه پیش‌بینی کنید. تمام پوندهای ساده‌اند. فرض کنید

(الف) SnH_4 ; (ب) TeF_6^- ; (ج) ASF_5

٩- ٦ با استفاده از نظریه VSEPR شکل (ج) AsF_4^- را ترسیم کنید.

اور بیتال می توان توصیف کرد.
Aromatic orbital اور بیتال مولکولی (بخش ۹-۴). اور بیتال مربوط به یک مولکول، نه به یک اتم.
Zn bonding pair of electrons الکترون نایپریدی، زوج الکترون آزاد (بخش ۹-۲). یک زوج الکترون مربوط به یک اتم که در تشکیل پیداها در یک مولکول یا یون شرکت نمی کند.
d-d bond پیوند $d-d$ (بخش ۹-۶). نوعی پیوند که از همیاران یا گران اور بیتال d و اور بیتال d به وجود آید.
 π bond پیوند پی (بخش ۹-۷). پیوند کووالانسی که در آن، چگالی الکترون در دو ناحیه، در بالا و پایین محور اتصال درسته. قرار دارد.
sigma bond sigma (σ) پیوند سیگما (بخش ۹-۴). پیوند کووالانسی که چگالی الکترون بالی در ناحیه بین دو هسته دارد و به صورت مقارن با رامون محور انصال در هسته قرار دارد.

حق شد، فرض می‌کند.
دائمی زوچ الکترون لایه Valence-shell-electron-pair repulsion
ظرفیتی (بخش ۹-۱) نظریه‌ای که پیش‌بینی شکل یک مولکول یا بینون
کو اساسی را بر اساس دادمه بین زوچ الکترون‌های بینوندی و نایرونی موجود
در لایه ظرفیت، اتم مرکزی را ممکن نماید.

زیر را پیش‌بینی کنید. تمام پیوندهای ساده‌اند. فرض کنید که هر هالوژن برای تشکیل پیوند، یک الکترون در لایه ظرفیتی اتم موکری به اشتراک می‌گذارد.

۷-۲ با استفاده از نظریه SLEPR سحل هندسی مولکولها و پروتئین‌ها را زیر را پیش‌بینی کنید. تمام پیوندها ساده‌اند. فرض کنید که هر هالوژن از ۱۰۰٪ کاملاً انتقالگذاری کند.

برای تشکیل پیوند، یک الکترون در لایه ظرفیتی اتم مرکزی به اشتراک می‌گذارد.
 (الف) BeCl_2 ; (ب) BeF_4^- ; (ج) BF_4^- ; (د) SF_4 ; (ه) XeF_4 ; (و) AsH_3

۸-۹ با استفاده از نظریه VSEPR شکل هندسی مولکول ها و یون های XeF_4^- , ClF_4^- , SiF_4 , SeF_4 و TeF_4 را درست کنید.

زیر را پیش‌بینی کنید. تمام پیوندها ساده‌اند. فرض کنید که هر هالوژن برای تشکیل پیوند، یک الکترون در لایه ظرفیتی اتم مرکزی به اشتراک می‌گذارد.

(الف) AgCl_d ; (ج) GeF_d ; (د) SbCl_d ; (هـ) ICl_d
 (بـ) SeBr_d ; (ز) ClF_d ; (أـ) BrF_d ; (يـ) BiI_d

۹-۹ در هر یک از اجزای فهرست شده در مسئله ۹-۵ اتم مرکزی از چه نوع اوربیتال همیر بذی استفاده می کند؟

۹-۱۰ در هر یک از اجزای فهرست شده در مسئله ۹-۶ اتم مرکزی از چه نوع اوریتال هستند، استفاده می‌کنند؟

* مسائل مشکل را * مشخص شده‌اند. پاسخ مسائل فرد در پیوست آخر کتاب آمده است.

یک از اجزای زیر تعیین کنید: (الف) BF_3 ; (ب) CF_3 ; (ج) SIF_5^- ; (د) NH_4^+ (ه).

اوریتال‌های مولکولی، پیوند $-dx$

$\text{N}^- \cdot \text{H}_2$ ۲۹- ۴۰ روش پیوند ظرفیتی و روش اوریتال مولکولی را در مولکول N باهم مقایسه کنید.

۳۰- ۴۱ براسان توزیع الکترونی و انرژی چه تفاوتی بین اوریتال مولکولی پیوندی و ضد پیوندی وجود دارد؟

۳۱- ۴۲ ۳۰ موادار تراز انرژی اوریتال مولکولی را رسم کرده و درجه پیوند را در هر یک از اجزای زیر تعیین کنید: (الف) P_3 ; (ب) H_3^+ ; (ج) He_2^+ (د) He_2^- .

۳۲- ۴۳ اسنفاذ از نمونه از نمونه اوریتال مولکولی، پیوند مولکول‌های دو اتنی جوئر استدعا نامناظر دوم را توصیف کنید. درجه پیوند هر مولکول را تعیین کرده و بگویید آن را با مناظر اینستاکسیست است یا با مناظر اینستاکسیستی؟

۳۳- ۴۴ اثربودن کلیمی CaCl_2 ، پاید به صورت صحیح بون استabil، C_2^- ، نامنژ شد. (الف) نمونه از این اوریتال مولکولی را برای C_2 و C_2^- رسم کنید. (ب) درجه پیوند را در C_2 و C_2^- تعیین کنید. (ج) C_2 با کدام مولکول خنثی هم الکترون است؟

۳۴- ۴۵ اکسینتر ترکیبات پلیمر بون یکی از اکسینتل، O_2^+ (برای مثال (O_2PtF_6) ، بون، بون سوپرکلید، O_2^- (برای مثال (KO_2) ، و بون پرکلید، O_2^- (برای مثال (Na_2O) تشکیل می‌دهد. (الف) نمونه از این اوریتال مولکولی را برای هر چه زیر تعیین کنید. (ج) کدامکس از این چهار جزو پارامناظر اینستاکسیست N_2 در هر یک از اجزای پارامناظر اینستاکسیستی شمار نمونه از زوج شده و زعنیف است؟

۳۵- ۴۶ طول پیوند O_2^- در 119 pm ، N_2 در 121 pm ، O_2^+ در 122 pm و در O_2^+ در 124 pm . است. نمونه از این اوریتال مولکولی این چهار جزو را رسم کرده و توضیح دهد چرا طول پیوند این اجزاء باهم متفاوت است؟

۳۶- ۴۷ (الف) نمونه از این نمونه از اوریتال مولکولی را برای CO ، NO ، CO_2 ، CO^+ ، CO^- ، NO^+ و NO^- تعیین کنید. (ج) کدامکس از این اجزاء پارامناظر اینستاکسیست اند. شمار الکترون‌های زوج شده را در هر یک از اجزای پارامناظر اینستاکسیست تعیین کنید.

۳۷- ۴۸ طول پیوند SiO_4^- در 109 pm ، SiO_4^+ در 110 pm ، SiO_4 در 111 pm و در SiO_4^- در 112 pm . است. طول پیوند $\text{O}-\text{O}$ بیش از 163 pm محسوس شده است. این تفاوت را تبیین کنید.

۳۸- ۴۹ شمع اتمی H در 110 pm ، F در 111 pm ، P در 112 pm و Cl در 113 pm است. طول پیوند $\text{P}-\text{F}$ و $\text{P}-\text{Cl}$ را در 155 pm برای $\text{P}-\text{F}$ و 160 pm برای $\text{P}-\text{Cl}$ تعیین کنید. برای این تفاوت چه علتی می‌توانید بیان کنید؟

مسائل طبقه‌بندی نشده

۵۰- ۵۱ با استفاده از نظریه VSEPR شکل هندسی مولکول‌ها و بون‌های زیر را پیش‌بینی کنید. شمات پیوندی ساده‌ان. (الف) IF_3^- ; (ب) IF_3^+ ; (ج) ClIF_3^- ; (د) ClIF_3^+ ; (ه).

۵۲- ۵۳ ۴۰- ۴۱ هر یک از اجزای فهرست شده در مسئله ۹-۴۰ اوریتال‌های هیبریدی اتم مرکزی از چه نوع است؟

۵۴- ۵۵ ۴۱- ۴۲ ساختارهای زیر مولکول‌ها و بون‌های زیر را رسم کرده و شکل هندسی آنها را پیش‌بینی کنید: (الف) H_3CCH_3 ; (ب) H_3NNH_3 ; (ج) HCCN ; (د) NCCN ; (ه) ClO_4^- ; (د) ClO_4^+ ; (ط) FClO_4^+ ; (ح) XeF_4 .

۵۶- ۵۷ ۴۲- ۴۳ ساختار NO_2^- را براساس زوئاتس و براساس پیوند غیرمتفر بررسی کنید.

۱۱- ۱۲ در هر یک از اجزای فهرست شده در مسئله ۹-۷ اتم مرکزی از چه نوع اوریتال هیبریدی استفاده می‌کند؟

۱۲- ۱۳ در هر یک از اجزای فهرست شده در مسئله ۹-۸-۹ اتم مرکزی از چه نوع اوریتال هیبریدی استفاده می‌کند؟

۱۴- ۱۵ ساختار لوبیس هر یک از مولکول‌های زیر را رسم کرده و با استفاده از نظریه VSEPR شکل هندسی آنها را پیش‌بینی کنید: (الف) ClOCl ; (ب) ClO_3^- ; (د) ClO_3^+ ; (ه).

۱۶- ۱۷ ساختار لوبیس هر یک از اجزای زیر را رسم کرده و با استفاده از نظریه VSEPR شکل هندسی آنها را پیش‌بینی کنید: (الف) OSCl_2 ; (ب) SeO_3^- ; (د) SeO_3^+ ; (ه).

۱۸- ۱۹ ساختار لوبیس هر یک از اجزای زیر را رسم کرده و با استفاده از نظریه VSEPR شکل هندسی آنها را پیش‌بینی کنید: (الف) ONCl ; (ب) ONCl_2 ; (د) ONCl_3 ; (ه).

۲۰- ۲۱ ساختار لوبیس هر یک از اجزای زیر را رسم کرده و با استفاده از نظریه VSEPR شکل هندسی آنها را پیش‌بینی کنید: (الف) NO_3^- ; (ب) NO_3^+ ; (د) NO_3^+ ; (ه).

۲۲- ۲۳ ساختار لوبیس هر یک از اجزای زیر را رسم کرده و با استفاده از نظریه VSEPR شکل هندسی آنها را پیش‌بینی کنید: (الف) H_{12}CNN ; (ب) H_{12}CNO ; (د) $\text{H}_{12}\text{CNO}_2$; (ه).

۲۴- ۲۵ ساختار لوبیس هر یک از اجزای زیر را رسم کرده و با استفاده از نظریه VSEPR شکل هندسی آنها را پیش‌بینی کنید: (الف) $\text{H}_{12}\text{CNO}_2$; (ب) $\text{H}_{12}\text{CNO}_3$; (د) $\text{H}_{12}\text{CNO}_4$; (ه).

۲۶- ۲۷ قاعده هشتانی تبیین می‌کند که Ge سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی کنید: (الف) $\text{Cl}_{10}\text{IO}_5$; (ب) O_2ClO_2 ; (د) O_2ClO_2^- ; (ه).

۲۸- ۲۹ ساختار تقطیعه مولکول‌ها و بون‌های سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی از قاعده هشتانی تبیین می‌کند (گرچه سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی کنید: (الف) O_2ClO_2 ; (ب) O_2ClO_2^- ; (د) O_2ClO_2^+ ; (ه).

۳۰- ۳۱ ۲۱- ۲۲ ساختار تقطیعه مولکول‌ها و بون‌های سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی از قاعده هشتانی تبیین می‌کند (گرچه سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی کنید: (الف) O_2ClO_2 ; (ب) O_2ClO_2^- ; (د) O_2ClO_2^+ ; (ه).

۳۲- ۳۳ ۲۳- ۲۴ ساختار تقطیعه مولکول‌ها و بون‌های سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی از قاعده هشتانی تبیین می‌کند (گرچه سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی کنید: (الف) O_2ClO_2 ; (ب) O_2ClO_2^- ; (د) O_2ClO_2^+ ; (ه).

۳۴- ۳۵ ۲۵- ۲۶ شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی که Ge سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی از قاعده هشتانی تبیین می‌کند (گرچه سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی کنید: (الف) O_2ClO_2 ; (ب) O_2ClO_2^- ; (د) O_2ClO_2^+ ; (ه).

۳۶- ۳۷ ۲۷- ۲۸ شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی که Ge سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی از قاعده هشتانی تبیین می‌کند (گرچه سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی کنید: (الف) O_2ClO_2 ; (ب) O_2ClO_2^- ; (د) O_2ClO_2^+ ; (ه).

۳۸- ۳۹ ۲۹- ۳۰ شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی که Ge سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی از قاعده هشتانی تبیین می‌کند (گرچه سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی کنید: (الف) O_2ClO_2 ; (ب) O_2ClO_2^- ; (د) O_2ClO_2^+ ; (ه).

۴۰- ۴۱ ۳۱- ۳۲ شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی که Ge سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی از قاعده هشتانی تبیین می‌کند (گرچه سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی کنید: (الف) O_2ClO_2 ; (ب) O_2ClO_2^- ; (د) O_2ClO_2^+ ; (ه).

۴۲- ۴۳ ۳۳- ۴۴ شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی که Ge سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی از قاعده هشتانی تبیین می‌کند (گرچه سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی کنید: (الف) O_2ClO_2 ; (ب) O_2ClO_2^- ; (د) O_2ClO_2^+ ; (ه).

۴۴- ۴۵ ۳۵- ۴۶ شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی که Ge سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی از قاعده هشتانی تبیین می‌کند (گرچه سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی کنید: (الف) O_2ClO_2 ; (ب) O_2ClO_2^- ; (د) O_2ClO_2^+ ; (ه).

۴۶- ۴۷ ۳۷- ۴۸ شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی که Ge سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی از قاعده هشتانی تبیین می‌کند (گرچه سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی کنید: (الف) O_2ClO_2 ; (ب) O_2ClO_2^- ; (د) O_2ClO_2^+ ; (ه).

۴۸- ۴۹ ۳۹- ۵۰ شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی که Ge سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی از قاعده هشتانی تبیین می‌کند (گرچه سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی کنید: (الف) O_2ClO_2 ; (ب) O_2ClO_2^- ; (د) O_2ClO_2^+ ; (ه).

۵۰- ۵۱ ۴۰- ۵۲ شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی که Ge سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی از قاعده هشتانی تبیین می‌کند (گرچه سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی کنید: (الف) O_2ClO_2 ; (ب) O_2ClO_2^- ; (د) O_2ClO_2^+ ; (ه).

۵۲- ۵۳ ۴۱- ۵۴ شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی که Ge سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی از قاعده هشتانی تبیین می‌کند (گرچه سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی کنید: (الف) O_2ClO_2 ; (ب) O_2ClO_2^- ; (د) O_2ClO_2^+ ; (ه).

۵۴- ۵۵ ۴۲- ۵۵ شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی که Ge سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی از قاعده هشتانی تبیین می‌کند (گرچه سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی کنید: (الف) O_2ClO_2 ; (ب) O_2ClO_2^- ; (د) O_2ClO_2^+ ; (ه).

۵۶- ۵۷ ۴۳- ۵۶ شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی که Ge سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی از قاعده هشتانی تبیین می‌کند (گرچه سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی کنید: (الف) O_2ClO_2 ; (ب) O_2ClO_2^- ; (د) O_2ClO_2^+ ; (ه).

۵۸- ۵۹ ۴۴- ۵۷ شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی که Ge سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی از قاعده هشتانی تبیین می‌کند (گرچه سایر اتمها ثابت را که در آنها اتم مرکزی شکل هندسی سر یک را پیش‌بینی کنید: (الف) O_2ClO_2 ; (ب) O_2ClO_2^- ; (د) O_2ClO_2^+ ; (ه).

۹ - ۴۸ pm است. توضیح دهد.

۹ - ۴۴ با توجه به جدول ۳ - ۳ به موارد زیر باسخ دهد: (الف) درجه پیوند هر یک از مولکولهای موجود در این جدول؛ (ب) درجه پیوند هر جزئی که یک الکترون از آن حذف شده باشد؛ و (ج) درجه پیوند هر جزئی که یک الکترون به آن اضافه شده باشد (صرف نظر از N_{a}).

۹ - ۴۳ فرمهای روزنائس را برای مولکول اوزون، O_3 ، و مولکول گوگرد دی اکسید، SO_2 ، رسم کنید. طول پیوند $O-O$ در O_3 است که حد فاصل طول پیوند ساده $O-O$ و طول پیوند دوگانه آن، 110 pm، باشد. از سوی دیگر، طول پیوند $S-O$ در SO_2 است که کوتاه‌تر از طول پیوند ساده $O-S$ باشد، 170 pm، با طول پیوند دوگانه آن،

گازها

$$\left(\frac{V}{T}\right)_P = \text{ثابت}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{PV}{T} = \text{ثابت} = nR$$

$$1\text{mol} = M \frac{\text{kg}}{\text{mol}} = 7,122 \times 1,03 = 7,282 \text{lit}$$

$$R = 0,083 \frac{\text{lit} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \Rightarrow R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

گاز، مجموعه‌ای از مولکول‌های بسیار دور از یکدیگرند که در حرکت سریع هستند. دو یا چند نوع گاز را با هنر نسبتی می‌توان آشیخت و مخلوط پیکواخت به دست آورده؛ در مورد مایعات، نمی‌توان چنین تعیینی را مطرح ساخت. چون فاصله بین مولکول‌های یک گاز، نسبتاً زیاد است، قرار گرفتن مولکول‌های یک گاز در بین مولکول‌های گاز دیگر، امری آسان و بدینه به نظر می‌رسد. این الگوی مولکولی را برای تبیین سهولت تراکم‌پذیری گازها نیز می‌توان به کار برد. عمل تراکم، نزدیک شدن مولکول‌های گاز به یکدیگر است.

گازها در هر طرفی که وارد شوند، آرا بر می‌کنند. گاز مطری که در آفاقها هوا شود، به زودی در تمام قسمت‌های آن افق قابل تشخیص است. پخش شدن گازها، با توجه به حرکت سریع و دائمی آنها، قابل توضیح است. علاوه بر این مولکول‌های گاز ضمن حرکت نامنظم خود به پیراهه طرف پرخورد می‌کنند و این پرخورد راهی بشمای پیانگر این واقعیت تجربی اند که گازها بر دیواره طرف خود فشار وارد می‌کنند.

۱-۱ فشار

فشار به صورت نیرو بر واحد سطح تعریف می‌شود. فشار یک گاز برای با نیروی بیان است که گاز بر واحد سطح دیواره خود وارد می‌کنند:

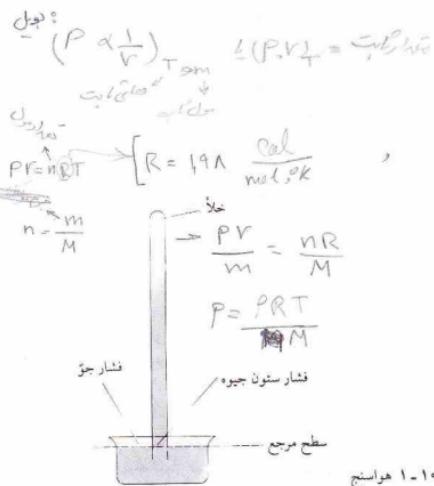
$$\text{نیرو} = \text{فشار} \times \text{ واحد سطح}$$

واحد SI برای فشار، پاسکال (به صورت Pa خلاصه می‌شود) است که به عنوان فشار یکنیتون ($N = 1 \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$) بر مترمربع تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Pa} &= \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2} \\ &= \frac{1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}{1 \text{ m}^2} = 1 \text{ kg/m.s}^2 \end{aligned}$$

ولی، شیمیدان‌ها معمول از اشارگاز را در ارتباط با فشار گیری می‌کنند.

برای اندازه‌گیری فشار جو از یک هواستن استفاده می‌شود. این دستگاه در سه هدفهای میلادی توسط اوچیلیستا تویرجهان^۱ شاگرد کالله^۲ اختراع شد. برای ساختن این دستگاه، لوله‌ای به طول تقریبی 850 mm که یک سر آن بسته است با چوبه پر می‌شود و به طور واژگون بر روی یک طرف چوبه قرار می‌گیرد (شکل ۱-۱). چوبه در لوله پایین می‌اید ولی کاملاً از خارج نمی‌شود. فشار جو بر سطح چوبه داخل بشکاب، سنتون چوبه را در داخل لوله نگه می‌دارد.



شکل ۱-۱ هواستن

فضای بالای چوبه داخل لوله، تقریباً خلا کامل است. چون در دمای اتاق، چوبه بجانان فشار نیست، فقط مقدار ناچیزی از بخار چوبه این فضای را اشغال کرده است. به این ترتیب، عمل^۳ فشاری بر روی سطح چوبه داخل سنتون وارد نمی‌شود. فشار داخل لوله در سطح مرجع در شکل ۱-۱ نتیجه وزن سنتون چوبه است. این فشار، برابر با فشار جو بیرون لوله در سطح مرجع است.

ارتفاع چوبه درون لوله، بیانگر فشار جو است. افزایش فشار جو باعث بالا رفتن چوبه درون لوله می‌شود. توجه کنید که فشار برابر با نیرو بر واحد سطح است. سطح مقطع لوله، خواه پرگ و خواه کوچک باشد، یک فشار متوسط معین، چوبه درون لوله را درین ارتفاع نگه می‌دارد. فشار جو از روزی تا روز دیگر و از محلی تا محل دیگر تغییر می‌کند. میانگین فشار در کثار دریا و در 0°C ، ارتفاع چوبه را به 760 mm می‌رساند؛ این مقدار را ۱ جو (به صورت atm خلاصه می‌شود) نامند. اما، تعریف جو استاندارد، بر حسب پاسکال بیان می‌شود:

$$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ Pa} = 101,325 \text{ kPa}$$

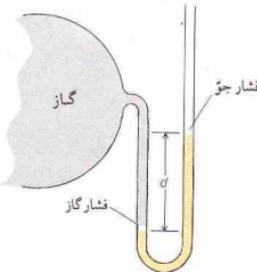
فشار همان‌جا با ارتفاع 1 mm چوبه را ۱ تور (torr) از نام توریچلی گرفته شده^۴ نامند؛ به این ترتیب،

1. Barometer
3. Galileo

2. Evangelista Torricelli

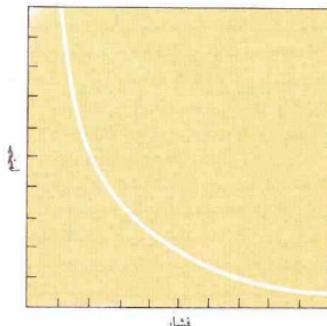


رابرت بولیل ۱۶۲۷ تا ۱۶۹۱



شکل ۱۰ - ۲. یک دستگاه فشارسنج

$1 \text{ atm} = 760 \text{ torr}$



شکل ۱۰ - ۳. محتن فشار - حجم برای یک گاز ایده‌آل (قانون بولیل)

مقدار این ثابت به اندازه تمونه و دما بستگی دارد. داده‌های فشار - حجم برای یک گاز ایده‌آل (بغضن ۱۰ - ۵ - ۰) را بیانید در شکل ۱۰ - ۳ ترسیم شده است.

حجم یک گاز، معمولاً بر حسب لیتر اندازه گیری می‌شود. لیتر به صورت یک دسی متر مکعب ($\text{dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3$) تعریف می‌شود. چون یک لیتر برابر با 1000 mL است، ۱ نیتر برابر با 1 cm^3 می‌باشد.

کمیّت بین المللی اوزان و اندازه‌ها توصیه می‌کند که از تور استفاده نشود. رابطه اخیر را برای تبدیل مقادیر تور به جوّ می‌توان به کار برد.

فشارسنج^۱، دستگاهی است که برای اندازه گیری فشار یک گاز به کار می‌رود و براساس هواستن ساخته شده است. فشارسنج نشان داده شده در شکل ۱۰ - ۲ شامل یک لوله U شکل حاوی جیوه است. یکی از بازوی‌های لوله U باز است؛ در این بازو، فشار جوّ بر جیوه وارد می‌شود. بازی دیگر به گزینه‌ای به یک ظرف گاز وصل شده است که فشار گاز را به جمود مقنبل کند.

اگر فشار گاز برابر با فشار جوّ باشد، سطح جیوه در هر دو بازوی لوله U پیکسان خواهد ماند. در آزمایش شکل ۱۰ - ۲ فشار گاز بیشتر از فشار جوّ است. تفاوت ارتفاع بین دو سطح جیوه (بر حسب mm جیوه) را باید به فشار هواستن (بر حسب mm جیوه) اضافه کنیم تا فشار گاز (بر حسب mm جیوه) یا تور به دست آید. اگر فشار گاز کمتر از فشار جوّ بود، سطح جیوه در بازوی سمت چپ فشارسنج شکل ۱۰ - ۲ بالاتر از سطح جیوه در بازوی سمت راست قرار می‌گرفت، و تفاوت ارتفاع را باید از فشار جوّ کم کرد.

۱۰ - ۲. قانون بولیل

رابطه بین فشار و حجم یک گاز در ۱۶۶۲ میلادی توسط رابرت بولیل^۲ اندازه گیری شد. بولیل متوجه شد که افزایش شار وارد شده بر یک گاز با کاهش حجم آن گاز مناسب است. اگر فشار وارد شده بر برابر شود، حجم به نصف کاهش می‌یابد. اگر فشار سه برابر شود، حجم به یک سوم مقدار اولیه‌اش می‌رسد. قانون بولیل می‌گوید که در دمای ثابت، حجم گاز با فشار رابطه معکوس دارد:

$$V \propto \frac{1}{P}$$

با استفاده از ثابت k می‌توان تابع را به تساوی تبدیل کرد:

$$V = \frac{k}{P} \quad \text{با} \quad PV = k \quad (1-10)$$

ابتدا، داده‌های مسئله را خلاصه می‌کنیم:

$$\begin{aligned} \text{مثال ۱۰ - ۱.} \quad & V_i = 360 \text{ mL} \\ \text{نمونه‌ای از یک گاز در فشار atm} & P_i = 0.750 \text{ atm} \\ \text{اگر در دمای ثابت، فشار به atm} & P_f = 1.000 \text{ atm} \end{aligned}$$

حل

قرار می‌دهیم:

$$\text{? atm} = 5.00 \text{ atm} \left(\frac{75.0 \text{ L}}{30.0 \text{ L}} \right) = 12.5 \text{ atm}$$

روش دیگری برای حل کردن این مسئله وجود دارد که در آن از معادله $1 - ۲$ استفاده می‌شود، به این ترتیب، معادله را برای فشار پایانی حل می‌کنیم:

$$P_f = P_i \left(\frac{V_i}{V_f} \right) = 5.00 \text{ atm} \left(\frac{75.0 \text{ L}}{30.0 \text{ L}} \right) = 12.5 \text{ atm}$$

۱-۳ قانون شارل

رابطه بین حجم و دمای یک گاز در 1787 توسط ژاک شارل^۱ مطابعه شد و نتایج او به طور قابل ملاحظه‌ای توسط شاگردش ژوزف گیلرساک^۲ (۱۸۰۰) گسترش یافت.

اگر در فشار ثابت به گازی گرمایش داده شود، منسخ خواهد شد. نتایج تجزیی نشان می‌دهد که اگر در فشار ثابت، دمای یک گاز یک درجه سلسیوس بالا رود، حجم آن گاز به اندازه $\frac{1}{273}$ در ${}^{\circ}\text{C}$ حجم آن در ${}^{\circ}\text{C}$ افزایش خواهد یافت. نمونه‌ای از یک گاز که در ${}^{\circ}\text{C}$ حجم آزاده دارد به ازای افزایش هر درجه سلسیوس، حجم آن به اندازه $\frac{1}{273}$ از ${}^{\circ}\text{C}$ در ${}^{\circ}\text{C}$ متناسب خواهد شد. در ${}^{\circ}\text{C}$ حجم نمونه برابر با 273 mL باشد. در ${}^{\circ}\text{C}$ 274 mL خواهد بود. در ${}^{\circ}\text{C}$ 275 mL خواهد رسید. در دمای ${}^{\circ}\text{C}$ $273 + 1 = 274$ امده است.

گرچه افزایش حجم در اثر افزایش دما به صورت منظمه مشاهده می‌شود، اما حجم با دمای سلسیوس رابطه مستقیم ندارد. برای مثال، افزایش دما از ${}^{\circ}\text{C}$ تا ${}^{\circ}\text{C}$ باعث دو برابر شدن حجم نمی‌شود بلکه فقط آن را از 274 mL به 283 mL می‌رساند. یک مقیاس مطلق دما که دما را بر حسب کلوین، و نشانه درجه نیز بر روی گزار داده شده است، دمای کلوین را برابر شده می‌شود.

دما کلوین (با T نمایش داده می‌شود) را افزودن 273 به دمای سلسیوس (با t نماده ${}^{\circ}\text{C}$ می‌توان به دست آورد.

$$T = t + 273$$

توجه کنید که دمای مطلق بر حسب کلوین (با نماد K) داده شده‌اند، نه بر حسب درجه کلوین، و نشانه درجه نیز بر روی گزار داده شده است.

دما مطلق در سنتون آخر چند جدول $1 - ۱$ آمده است.

دما کلوین (K)	دما پایانی (C)	دما شروع (C)
0	273	-273
100	$273 + 100 = 373$	100
200	$273 + 200 = 473$	200
300	$273 + 300 = 573$	300

حجم پایانی گاز را با تصحیح حجم آغازین در اثر تغییر فشار می‌توان به دست آورد. واحد حجم به دست آمده با واحد کمیت داده شده بیکسان است:

$$\text{(تصحیح فشار)} = 360 \text{ mL}$$

ضرایب تصحیح یا ضرایب تبدیل بیکسان نیستند. ضریب تصحیح هیچگاه برابر 1 نیست. ضرایب تصحیح فشار را می‌توان از داده‌های مسئله به دست آورد:

$$(1.000 \text{ atm} / 0.750 \text{ atm}) \quad (0.750 \text{ atm} / 1.000 \text{ atm})$$

راستی، کدام ضریب را باید به کار ببریم؟
چون فشار از 0.750 atm به 1.000 atm افزایش یافته است،
حجم باید کم شود. ضریب تصحیح باید کوچکتر از 1 باشد.
در نتیجه،

$$\text{? mL} = 360 \text{ mL} \left(\frac{0.750 \text{ atm}}{1.000 \text{ atm}} \right) = 270 \text{ mL}$$

این مسئله را با استفاده از معادله $1 - ۱$ نیز می‌توان حل کرد.
برای نمونه معنی از گاز در دمای ثابت، حاصل ضرب PV ثابت ماند.
در نتیجه،

$$P_f V_f = P_i V_i \quad (1 - ۱)$$

که در آن، زیر نوشت‌های اول، به ترتیب، به حالات‌های پایانی و آغازین اشاره دارند. اگر معادله را برای حجم پایانی حل کنیم، خواهیم داشت:

$$V_f = V_i \left(\frac{P_i}{P_f} \right) = 360 \text{ mL} \left(\frac{0.750 \text{ atm}}{1.000 \text{ atm}} \right) = 270 \text{ mL}$$

۲ - ۱۰ مثال

در دمای ${}^{\circ}\text{C}$ 0 و فشار 1 atm ، نمونه‌ای از یک گاز L را باغل
می‌کند. این گاز در دمای ${}^{\circ}\text{C}$ T با 3M متراکم می‌شود. فشار پایانی
گاز را به دست آورید.

$$\text{? atm} = ?$$

$$\begin{array}{lll} \text{شرط آغازین: } & V_i = 75.0 \text{ L} & P_i = 5.00 \text{ atm} \\ & V_f = 30.0 \text{ L} & P_f = ? \text{ atm} \\ & & t = 0^{\circ}\text{C} \end{array}$$

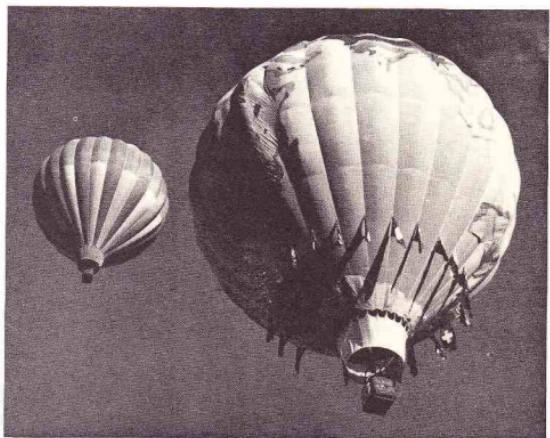
فشار آغازین باید به نسبت تغییر حجم تصحیح شود. دما ثابت است، در نتیجه، تصحیح دما لازم نیست.

$$\text{(تصحیح حجم)} = (5.00 \text{ atm})$$

حجم و فشار با یکدیگر رابطه ممکن‌دارند. چون حجم کاهش یافته است، فشار باید بالا رفته باشد. ضریب تصحیح حجم، بزرگ‌تر از 1 خواهد بود. در نتیجه، حجم بزرگ‌تر را در صورت کسر ضریب تصحیح

جدول ۱۰ - ۱- تغییر حجم نمونه‌ای از یک گاز در اثر دما

دما (K)	دما (°C)	حجم (mL)
۲۷۳	۰	۲۷۳
۲۷۴	۱	۲۷۴
۲۸۳	۱۰	۲۸۳
۵۴۶	۲۷۳	۵۴۶



گاز در اثر گرمای مناسب می‌شود. مسایقه بالانهای پرشده از هوای گرم

پیش از رسیدن به صفر مطلق به صورت جامد در می‌آیند. هیچ جسمی در نزدیکی صفر مطلق به صورت گاز نیست. خط راست دما - حجم را می‌توان تا صفر مطلق امتداد داد.

دماهای مربوط به حجم صفر، برابر با 273 K است. درجه کلوین نیز همان اندازه درجه سلسیوس را دارد فقط نقطه صفر در مقیاس کلوین به 15°C بوده شده است. تبدیل دقیق دماهای سلسیوس به دماهای کلوین را با افروزنده 15 K به دماهای سلسیوس می‌توان انجام داد:

$$T = t + 273.15 \quad (۱۰)$$

برای اغلب مسائل، این رقم را می‌توان بدون وارد کردن خطای قابل توجه، به صورت 273 K گرد کرد.

مثال ۱۰ - ۲

حجم نمونه‌ای از یک گاز در دماهای 45°C و 79.5 mL است. در صورتی که فشار ثابت بماند، حجم گاز را در 0°C به دست آورید.

حل

ابتدا داده‌های مسئله را خلاصه می‌کنیم. دماهای سلسیوس (t) به دماهای مطلق (T) تبدیل می‌شود:

$$T = t + 273 \quad (۱۱)$$

$$V_i = 79.5\text{ mL} \quad t_i = 45^\circ\text{C}$$

$$T_i = 318\text{ K}$$

$$V_f = ?\text{ mL} \quad t_f = 0^\circ\text{C}$$

$$T_f = 273\text{ K}$$

حجم تمام گازها، در فشار ثابت، با دماهای مطلق رابطه مستقیم دارد. این تعیین، به قانون شارل مشهور است؟

$$V \propto T \quad (۱۰)$$

$$V = k'T$$

مقدار عددی ثابت تناسب، یعنی k' ، به فشار و اندازه نمونه گازستگی دارد.

مقیاس دماهای مطلق، ابتدا توسط و بیلام تامسون، لرد کلوین^۱، در

اندازه گیری مطلق باید بر اساس نقطه صفری پاشد که نشانه قدران کامل

خاصیت موره اندازه گیری است. در این گونه مقیاس، مقادیر منفی غیرممکن است. طول بر حسب سانتی‌متر، یک اندازه گیری مطلق است،

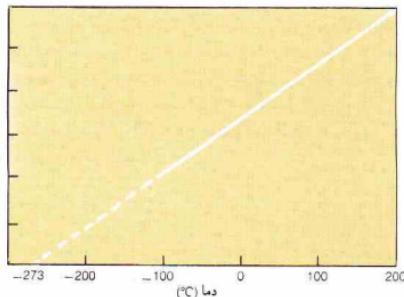
زیرا 1 cm = اندازه قدران کامل طول است. می‌توان گفت 1 cm دو برابر 5 cm است، زیرا این اندازه گیری‌ها مطلق‌اند.

دماهای مطلق نیست، نقطه صفر، 0°C ، دمای انجام آب است، نه پایین‌ترین دمای ممکن. دماهای سلسیوس منفی نیز

امکان‌پذیر هستند، و دو برابر کردن دماهای یک گاز، منجر به دو برابر شدن حجم آن نمی‌شود. از سوی دیگر، مقیاس کلوین، مطلق است: صفر

کلوین پایین‌ترین دمای ممکن است، و دماهای کلوین منفی مانند طول منفی یا حجم منفی، غیرممکن می‌باشد. در دو برابر کردن دماهای کلوین نمونه‌ای از یک گاز، حجم آن را دو برابر خواهد کرد.

اگر حجم نمونه‌ای از یک گاز را بر حسب دما رسم کنیم، خط مستقیمی به دست خواهد آمد (شکل ۱۰ - ۴ را ببینید). چون حجم با دماهای مطلق تناسب مستقیم دارد، حجم گاز در صفر مطلق، به طور نظری باید صفر باشد. گازها در اثر سرد کردن، ابتدا مایع می‌شوند و سپس



شکل ۴-۱۰ منحنی دما-حجم برای یک گاز ایده‌آل (قانون شارل)



ولیام تامسون، لرد کلین (۱۸۲۴-۱۹۰۷)

بنابراین،

$$\text{تصحیح دما} = (79.5 \text{ mL})$$

چون دما از 318 K به 273 K کاهش پیدا کرده است، حجم باید کاهش پاید. ضریب تصحیح دارای مقادیر کمتر از ۱ به کار گرفته می‌شود:

$$? \text{ mL} = 79.5 \text{ mL} \left(\frac{273 \text{ K}}{318 \text{ K}} \right) = 68.2 \text{ mL}$$

این مسئله را با استفاده از معادله ۱۰ - ۳ نیز می‌توان حل کرد. چون

$$V_f/T_i = k' \quad \text{و} \quad V_f/T_f = k' \quad \text{در نتیجه،} \quad V_f/T = k'$$

$$\frac{V_f}{T_f} = \frac{V_i}{T_i} \quad (5-10)$$

اگر معادله را برای حجم پایانی حل کنیم، خواهیم داشت:

$$V_f = V_i \left(\frac{T_f}{T_i} \right) = 79.5 \text{ mL} \left(\frac{273 \text{ K}}{318 \text{ K}} \right) = 68.2 \text{ mL}$$

۱۰-۳ قانون آمونتون

فشار گاز محبوبس در یک ظرف، با افزایش دما، افزایش می‌پاید. رابطه ریاضی بین فشار و دما به رابطه بین حجم و دما مشابه دارد. فشار یک گاز، در حجم ثابت، با دمای مطلق نسبت مستقیم دارد:

$$P \propto T \quad P = k'' T \quad (5-10)$$

در این مورد، مقدار k'' به مقدار گاز و حجم آن بستگی دارد.

این تعیین به قانون آمونتون مشهور است. در سال ۱۷۰۳ میلادی، گیوم آمونتون یک دماستخ هوایی بر این اصل که فشار یک گاز، مقایسه‌ی برای دمای آن گاز است، ساخت.

مثال ۱۰-۵

این مسئله را با استفاده از معادله ۱۰ - ۶ نیز می‌توان حل کرد. چون

$$P_f/T_f = k'' \quad \text{و} \quad P_i/T_i = k'' \quad P_f/T = k'' \quad P/T = k''$$

$$\frac{P_f}{T_f} = \frac{P_i}{T_i} \quad (7-10)$$

با حل کردن معادله ۱۰ - ۷ برای T_f ، داریم:

$$T_f = T_i \left(\frac{P_f}{P_i} \right) = 273 \text{ K} \left(\frac{2.50 \text{ atm}}{2.00 \text{ atm}} \right) = 341 \text{ K}$$

در دما و فشار ثابت، حجم یک گاز با تعداد مول‌های آن نسبت مستقیم

جو، و دما بر حسب کلوبین بیان شود. مقادیر R با سایر واحدها، در جدول ۱۰ - ۲ نشان داده شده است.

تعداد مول های یک گاز در نمونه، یعنی n ، برابر با جرم نمونه، g ، تقسیم بر وزن مولکولی گاز، M ، است:

$$n = \frac{g}{M}$$

با قراردادن $PV = nRT$ در معادله (g/M) به جای n در معادله، داریم:

$$PV = \left(\frac{g}{M}\right)RT \quad (10-10)$$

با استفاده از این فرم معادله حالت، مسائل زیادی را می توان حل کرد.

مثال ۱۰ - ۵

حجم نمونه ای از یک گاز در 35°C و 15 atm را، 15 mL نمونه وارد STP حساب کنید.

حل

$$\begin{array}{lll} V_i = 462\text{ mL} & T_i = 308\text{ K} & P_i = 1.15\text{ atm} \\ V_f = ?\text{ mL} & T_f = 273\text{ K} & P_f = 1.00\text{ atm} \end{array}$$

روش ضریب تصحیح را می توان برای حل این مسئله به کار برد:

(تصحیح شمار) (تصحیح دم)

هر یک از این تصحیحها را جداگانه در نظر می گیریم. ابتدا، کاهش دما از 273 K به 270 K منجر به کاهش حجم، با ضریب $1.15/1.00$ می شود. ثانیاً کاهش فشار از 15 atm به 1 atm ، باعث افزایش حجم با ضریب $(15/1)$ می شود، زیرا فشار و حجم رابطه معمکوس دارند:

$$? \text{ mL} = 462 \text{ mL} \left(\frac{273 \text{ K}}{308 \text{ K}} \right) \left(\frac{1.15 \text{ atm}}{1.00 \text{ atm}} \right) = 471 \text{ mL}$$

این مسئله را از معادله $PV/T = nR$ ، و در نتیجه $PV = nRT$ ، نیز می توان حل کرد. چون برای یک نمونه معین n ، مقادیر ثابتی است، و R نیز ثابت می باشد،

$$\frac{P_f V_f}{T_f} = \frac{P_i V_i}{T_i} \quad (10-11)$$

اگر معادله $10-11$ را برای حل کنیم، داریم:

$$V_f = V_i \left(\frac{P_i}{P_f} \right) \left(\frac{T_f}{T_i} \right) = 462 \text{ mL} \left(\frac{1.15 \text{ atm}}{1.00 \text{ atm}} \right) \left(\frac{273 \text{ K}}{308 \text{ K}} \right) = 471 \text{ mL}$$

مثال ۱۰ - ۶

در چه فشاری، حجم mol N_2 را از (g) در دمای 25°C در 100 g آب، خواهد رسید؟

دارد. حجم یک مول از گاز (یک گرم وزن مولکولی)، نصف حجم اشغال شده، به وسیله ۲ مول از گاز در همان دما و فشار است، لذا و بر این، حجم یک مول از یک گاز معین با حجم یک مول از هر گاز دیگری پیکسان است در صورتی که حجم آنها را در دما و فشار ثابت اندازه گیری می کنیم (اصل آووگادرو، در یخش $10-8$ آمده است). اگر n برابر با تعداد مول های گاز باشد،

$$V \propto n$$

$$V = k''n \quad (10-8)$$

مقادیر عددی ثابت تناسب، k'' ، به دما و فشار گازستگی دارد. از تتفق این رابطه با قوانین شارل و بولیل، می توان معادله ای کلی به دست آورد که بین این رابطه بین حجم، دما، فشار، و تعداد مول ها باشد. حجم با فشار این رابطه معمکوس و با دمای مطلق و تعداد مول ها رابطه مستقیم دارد:

$$V \propto \frac{1}{P} \quad V \propto T \quad V \propto n$$

بنابراین،

$$V \propto \left(\frac{1}{P} \right) (T)(n)$$

با استفاده از یک ثابت، می توان تناسب را به تساوی تبدیل کرد. در این مرور، عدد ثابت را با R مشخص می کنیم:

$$V = R \left(\frac{1}{P} \right) (T)(n)$$

با تغییر آرایش معادله بالا می توان به معادله $10-9$ رسید:

$$PV = nRT \quad (10-10)$$

در دما و فشار متعارف، اغلب گازهای از این معادله پیروی می کنند. اما، در شرایط حد (دمای پایین و فشار بالا، بخش $10-13$ انتراف) مشاهده خواهد شد. یک گاز فرضی که در تمام شرایط از معادله $9-6$ پیروی نکند، گاز ایده‌آل نامیده می شود. در نتیجه، معادله $10-9$ را مادله حالت برای یک گاز ایده‌آل نیز نامایم.

بر حسب قرارداد، دما و فشار استاندارد (STP) به صورت 0°C و 1 atm (۲۷۳.۱۵ K) است) و فشار 1 atm تعریف می شود. حجم یک mol گاز ایده‌آل در STP که با اندازه گیری‌های تجربی به دست آمده، برابر 22.4136 L است. این داده‌ها را می توان برای محاسبه ثابت گاز ایده‌آل، R ، به کار برد. حل معادله حالت برای R ، می دهد:

$$R = \frac{PV}{nT}$$

با قرار دادن داده‌ها برای حجم مولی یک گاز ایده‌آل داریم:

$$R = \frac{(1\text{ mol})(22.4136\text{ L})}{(1\text{ mol})(273.15\text{ K})} = 0.082056\text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{K} \cdot \text{mol})$$

هنگام استفاده از این مقدار R ، حجم یا بند بر حسب لیتر، فشار بر حسب

$$(2.00 \text{ atm})V = \left(\frac{10.0 \text{ g}}{44.0 \text{ g/mol}} \right) [0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{K} \cdot \text{mol})] (300. \text{ K})$$

$$V = 2.80 \text{ L}$$

مثال ۱۰ - چگالی $\text{NH}_3(g)$ در 100°C و 1.15 atm چقدر است؟

حل

آرایش معادله -10° را تغییر می‌دهیم:

$$PV = \left(\frac{g}{M} \right) RT \quad (10-1)$$

تا چگالی، یعنی g/V به دست آید:

(10-2)

وزن مولکولی NH_3 برابر با 17 g/mol است، در نتیجه:

$$\frac{g}{V} = \frac{(1.15 \text{ atm})(17.0 \text{ g/mol})}{[0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{K} \cdot \text{mol})](373 \text{ K})}$$

$$= 0.638 \text{ g/L}$$

مثال ۱۰ - (الف) گاز سیکلو پروپان به عنوان یک هوش بر (داروی بسیار هوشی) عمومی به کار می‌رود. چگالی این گاز در 50°C و 48 atm برابر 0.50 g/L است. وزن مولکولی سیکلو پروپان را بدست آورید.
(ب) فرمول تجزیی سیکلو پروپان، CH_4 است. فرمول مولکولی آن را بدست آورید.

حل

(الف) چگالی g/L 0.50 است، یعنی 0.50 g گاز در شرایط داده شده، 1 L هر را اشغال می‌کند:

$$PV = \left(\frac{g}{M} \right) RT \quad (10-1)$$

$$(0.948 \text{ atm})(1.00 \text{ L}) = \left(\frac{1.50 \text{ g}}{M} \right) [0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{K} \cdot \text{mol})] (323 \text{ K})$$

$$M = 42.0 \text{ g/mol}$$

(ب) وزن مولکولی فرمول تجزیی، CH_4 ، برابر 14 g/mol است. اگر وزن مولکولی را بر این وزن فرمولی تقسیم کنیم، خواهیم داشت $14/(4 \times 10^3) = 3.5 \times 10^{-3}$. به این ترتیب، تعداد اتم‌های سیکلو پروپان، سه برابر فرمول تجزیی آن است. فرمول مولکولی سیکلو پروپان، C_3H_6 است.

جدول ۱۰ - مقادیر ثابت گاز ایده‌آل، R ، با واحدهای مختلف

واحد	R
$\text{L} \cdot \text{atm}/(\text{K} \cdot \text{mol})$	$8.3 \times 10^{-2} \text{ J}$
$\text{L} \cdot \text{Pa}/(\text{K} \cdot \text{mol})$	$8.3 \times 10^{-2} \text{ J}$
$\text{g} \cdot \text{m}^3/(\text{s}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{mol})$	$8.3 \times 10^{-2} \text{ J}$
$\text{J}/(\text{K} \cdot \text{mol})$	$8.3 \times 10^{-2} \text{ J}$
$\text{m}^6 \cdot \text{Pa}/(\text{K} \cdot \text{mol})$	$8.3 \times 10^{-2} \text{ J}$
$\text{kg} \cdot \text{m}^3/(\text{s}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{mol})$	$8.3 \times 10^{-2} \text{ J}$

حل

$$P = ? \text{ atm} \quad V = 10.0 \text{ L} \quad n = 0.250 \text{ mol} \quad T = 373 \text{ K}$$

مسائلی که شرایط یکدست داشته باشند به آسانی با قرار دادن مقادیر در معادله حالت، حل می‌شوند:

$$PV = nRT \quad (10-1)$$

$$P(10.0 \text{ L}) = (0.250 \text{ mol})[0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{K} \cdot \text{mol})] (373 \text{ K})$$

$$P = 0.766 \text{ atm}$$

مثال ۱۰ - ۱

تعداد مول‌های CO موجود در نمونه‌ای از $\text{CO}(g)$ به حجم 500 mL در 25°C و فشار 1.00 atm جمع آوری شده است، را به دست آورید.

حل

واحدهای مربوط به مقادیری که در فرمول $PV = nRT$ قرار داده شوند، باید با واحد R سازگار باشند. در نتیجه، حجم را بر حسب لیتر و دما را بر حسب کلوین بیان می‌کنیم:

$$PV = nRT \quad (10-1)$$

$$(1.50 \text{ atm})(0.500 \text{ L}) = n[0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{K} \cdot \text{mol})] (323 \text{ K})$$

$$n = 0.0283 \text{ mol}$$

مثال ۱۰ - ۲

حجم g گاز CO_2 در 25°C و 1.00 atm را به دست آورید.

حل

با قرار دادن (g/M) به جای n در معادله حالت، می‌توان مسئله را در یک مرحله حل کرد. وزن مولکولی CO_2 برابر 44 g/mol است:

(10-1)

$$PV = \left(\frac{g}{M} \right) RT$$

۵ - واحد صورت و مخرج کسر، به علت یکسان بودن، حذف خواهند شد. پاسخ مسئله دارای همان واحد مربوط به مقدار صحیح شده است.

۶ - دما باید بر حسب کلوبین بیان شود. معادل دما بر حسب درجه سلسیوس را در پایان محاسبات می توان به دست آورد:

$$T = T_{\text{س}} - 273^{\circ}$$

ب- روش فرمولی

۳ - از معادله $PV = nRT$ ، به معادله $PV/T = nR$ می رسیم. برای نمونه معینی از یک گاز، نیز مانند R ثابت است. در نتیجه،

$$\frac{P_f V_f}{T_f} = \frac{P_i V_i}{T_i}$$

مقادیر مربوط به مراحل ۱ و ۲ را در این فرمول قرار می دهیم و کمیت مجهول را محاسبه می کنیم.

۴ - در صورتی که دما خواسته شده باشد، باید بر حسب کلوبین بدست آید. معادل هم از کلوبین بر حسب درجه سلسیوس در پایان کار محاسبه خواهد شد:

$$T = T_{\text{س}} - 273^{\circ}$$

۴ - نیروی جاذبه بین مولکول‌های گاز، ناجیز و قابل چشمپوشی است.

قوانين گازها براساس نظریه چبیشی می توان تبيين کرد. قانون بولیل را در نظر گیریم. براساس نظریه چبیشی، فشار گاز ناشی از پرسوردهای مولکولی با دیواره طرف است. اگر تعداد مولکول‌ها در واحد حجم (غلظت مولکولی) افزایش یابد، فشار نیز به علت افزایش تعداد پرسوره‌های در حجم افزایش دارد. از این نظر، کاهش حجم یک گاز باعث تجمع مولکول‌های در فضای کوچکتری خواهد شد؛ غلظت مولکولی افزایش خواهد یافت و فشار نیز مناسب با آن بالا خواهد رفت.

قانون شارل و قانون آمونتون، خواص گازها را به تغییرات دما مربوط می سازد. انرژی چبیشی میانگین مولکول‌های یک گاز با دمای مطلق مناسب است. در صفر مطلق، انرژی چبیشی مولکول‌ها، به طور نظری، صفر است؛ مولکول‌ها بی حرکت‌اند. چون حجم مولکول‌های یک گاز ایده‌آل اقابل صرف‌نظر کردن است، حجم یک گاز ایده‌آل در دمای مطلق نیز، به طور نظری، صفر است.

از این‌باش، حرکت سریع مولکول‌ها را سبب می شود. پرسورهای مولکول‌های گاز با دیواره طرف، شدیدتر و پیشتر می شود. در نتیجه، فشار به شیوه‌ای که قانون آمونتون پیش‌بینی می کند، بالا می رود.

1. Daniel Bernoulli

3. Clausius

5. Boltzmann

2. Krönig

4. Maxwell

6. Postulates

روش حل کردن مسائلی که شامل تغییر حالت یک گاز معین هستند ۱ - داده‌های مسئله را به طور خلاصه پسنویسیم. شرایط آغازین (V_i, P_i, T_i) و شرایط پایانی (V_f, P_f, T_f) را مشخص کنید.

۲ - ارقام مربوط به دما را از درجه سلسیوس (T) به کلوین (T) تبدیل کنید. $T = t + 273^{\circ}$. برای حل اغلب مسائل، 273° قابل قبول است.

الف- روش ضریب تبدیل

۳ - حل مسئله شامل پیدا کردن مقدار نهایی (پایانی) یکی از سه متغیر (V ، P ، T) با تصحیح مقدار آغازین آن متغیر است. مقدار آغازین را در ضرایب تصحیح ضرب کنید تا تغییر مربوط به دیگر نیز تصحیح شود.

۴ - هر یک از ضرایب تصحیح را به صورت جداگانه به کاربرید. ضریب تصحیح، شامل کسر حاصل از تقسیم مقادیر آغازین و پایانی یکی از متغیرهاست (V ، P ، T). یکی از این مقادیر در صورت ضریب دیگری در مخرج قرار داده شود. بهاین ترتیب، دو کسر به دست خواهد آمد که یکی بزرگتر از ۱ و دیگری کوچکتر از ۱ است. باید بینیند آیا تغییر موجب افزایش مقادیر تصحیح شده خواهد شد یا سبب کاهش آن، بر این اساس، کسر مناسب برای تصحیح را انتخاب کنید.

۱۰- نظریه چبیشی گازها

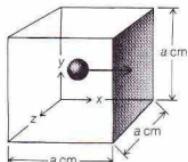
نظریه چبیشی گازها، الگویی برای تبیین نظم و ترتیب مشاهده شده در رفتار تمام گازها به دست می دهد. در 1738° میلادی، دانیل بولنول^۱ قانون بولیل را با این فرض که فشار گاز نتیجه بخورد مولکول‌های گاز با دیواره طرف است، تبیین کرد. توضیح بولنول، اولین و ساده‌ترین تفسیر چنین‌های کلیدی نظریه چبیشی است. این نظریه در اواسط سده نوزدهم توسط سیاری از دانشمندان، به ویژه کرونیگ^۲، کلزیوس^۳، ماکسل^۴ و بولتزمان^۵ مورد توجه فراگرفت و گشته شده است.

نظریه چبیشی گازها، شامل پذیرهای^۶ زیر است:

۱ - گاز از مولکول‌هایی که در فضای اتماً از هم‌دیگر جدا هستند، تشکیل یافته‌اند. حجم واقعی هر یک از مولکول‌ها در مقایسه با حجم کل گاز، ناجیز است. واژه مولکول در اینجا برای منشخنگ کردن کوچکترین ذره هر گاز به کار می رود؛ برخی از گازها (مثلاً گازهای نجیب) شامل اتمهای ترکیب شده‌اند.

۲ - مولکول‌های گاز در حرکت مستقیمه الخط، سریع، و مداوم هستند؛ با یکدیگر و با دیواره طرف بخورد می کنند. گرچه در این پرسوردها ممکن است انرژی از یک مولکول به مولکول دیگر منتقل شود، ولی انرژی چبیشی (انرژی حرکت) از میان نمی رود.

۳ - انرژی چبیشی میانگین مولکول‌های یک گاز به دما بستگی دارد؛ با افزایش دما، زیاد می شود. در یک ماده معین، مولکول‌های تمام گازها دارای انرژی چبیشی میانگین یکسان هستند.



شکل ۱۰ - ۵ به دست آوردن فاصلون گاز ایده‌آل

در این عبارت، $\frac{N}{a^3}$ میانگین مجدد نمای سرعت‌های مولکولی است. فشار، عبارت است از تیرو برش سطح، مساحت دیواره سایه‌دار برای $a^2 \text{ cm}^2$ است. بنابراین فشار وارد شده بر دیواره مسورد نظر برابر است با:

$$\frac{\text{نیرو}}{\text{مساحت}} = \text{فشار}$$

$$P = \frac{Nm u^2}{\frac{3a}{a^2}} = \frac{Nm u^2}{3a^3}$$

چون حجم مکعب برابر است با $a^3 \text{ cm}^3$ و $V = a^3$ ، و:

$$P = \frac{Nm u^2}{3V} \quad (13-10) \quad \text{با} \quad PV = \frac{1}{3} N m u^2$$

معادله را به صورت زیر می‌توان نوشت:

$$PV = (\frac{2}{3}) N (\frac{1}{2} m u^2) \quad (14-10)$$

انرژی جنبشی هر جسم برابر با نصف حاصل ضرب جرم آن در مجدد تندی حرکت آن است. درنتیجه، میانگین انرژی جنبشی مولکولی برابر است با:

$$KE = \frac{1}{2} m u^2 \quad (15-10)$$

با قرار دادن معادله ۱۰ - ۱۵ در معادله ۱۰ - ۱۴:

$$PV = \frac{2}{3} N KE \quad (16-10)$$

میانگین انرژی جنبشی مولکولی، KE ، با دمای مطلق، T ، نسبت مستقیم دارد و $KE \propto T$. عده مولکول‌ها نیز با عده مول‌ها، n ، نسبت مستقیم دارد، در نتیجه $n KE \propto nT$ و داریم:

$$N(KE) \propto nT$$

قرار دادن این عبارت در معادله ۱۰ - ۱۴، متناسب وارد کردن یک ثابت است، زیرا این عبارت بیانگر تناسب است، نه تساوی. ثابت لازم را می‌توان $2/3$ (که آن هم ثابت است)، جمع کرد. ثابت حاصل برابر است با ثابت گازها، یعنی R ، در نتیجه،

$$PV = nRT \quad (9-10)$$

فشار گازی که گرمابه آن داده می‌شود، در صورتی ثابت می‌ماند که حجم آن افزایش یابد. افزایش حجم، سبب کاهش تعداد برخوردهای مولکول‌ها با دیواره طرف در واحد زمان می‌شود و به این ترتیب فشار را ثابت نگه می‌دارد، به این ترتیب، کاهش تعداد برخوردهای بالغایش شدت برخوردهای چیزی می‌شود. قانون شارل بیانگر این وضعیت است.

۱۰ - ۷ به دست آوردن قانون گاز ایده‌آل از نظریه جنبشی

معادله حالت برای یک گاز ایده‌آل را به صورت زیر می‌توان به دست آورد. نمونه‌ای از یک گاز ایده‌آل N مولکول، هر یک با جرم m را در نظر بگیرید. اگر این نمونه در مکعبی با یال $a \text{ cm}$ قرار گیرد، حجم گاز برابر خواهد شد با:

$$V = a^3 \text{ cm}^3$$

گرچه مولکول‌ها در تمام جهت‌های ممکن حرکت می‌کنند، می‌توان با این فرض که یک سوم مولکول‌ها ($1/3N$) در چهت محور z ، یک سوم در چهت محور x ، و یک سوم در چهت محور y حرکت می‌کنند، مسئله را ساده کرد. سرعت را می‌توان با مولکول را می‌توان با u_x ، u_y و u_z تقسیم کرد. برای دادن اندازه از مولکول‌ها، میانگین این مؤلفه‌ها برابر است. بنابراین، نتیجه با صورت یک سوم مولکول‌ها در یکی از چهت‌های x ، y و z هم ارز است.

فشار گاز از دیواره، ناشی از برخورد مولکول‌ها بر آن دیوار است. نتیجه برخورد را می‌توان از تغییر اندازه حرکت در واحد زمان محاسبه کرد. دیواره سایه خود را در شکل ۱۰ - ۵ در نظر بگیرید و فقط مولکول‌های در این چهت حرکت در چهت محور z را به حساب آورید. مولکولی که در این چهت حرکت می‌کند در هر $2 \times a \text{ cm}$ مسیر خود به این دیواره برخورد می‌کند، زیرا پس از هر برخورد با این دیواره باید به طرف دیواره مقابل بیرون (فاصله‌ای به اندازه $a \text{ cm}$) و بعد از برخورد با این دیواره، باز گردد (فاصله‌ای برابر با $a \text{ cm}$). اگر سرعت مولکول برابر با $u \text{ cm/s}$ باشد، در یک ثانیه فاصله $u \text{ cm}$ را طی کرده و $u/2a$ دفعه با دیواره مورد نظر برخورد خواهد کرد.

اندازه حرکت، حاصل ضرب جرم در سرعت است. اندازه حرکت مولکول پیش از هر برخورد $= \frac{mu}{2a}$ ؛ پس از هر برخورد، $-mu$ (علامت به علت تغییر چهت، تغییر کرده است - سرعت، هم تندی و هم چهت دارد). بنابراین، تغییر اندازه حرکت در هر برخورد برابر با $2mu$ است. یک مولکول در هر ثانیه $u/2a$ برخورد انجام خواهد داد، و تغییر اندازه حرکت آن در هر برخورد $2mu$ است. به این ترتیب، تغییر کل اندازه حرکت هر مولکول در هر ثانیه برابر است با:

$$\left(\frac{u}{2a}\right) 2mu = \frac{mu^2}{a}$$

تغییر کل اندازه حرکت (نیرو) برای تمام مولکول‌هایی که در یک ثانیه با این دیواره برخورد می‌کنند، عبارت است از:

$$\frac{N}{3} \times \frac{mu^2}{a}$$



آmedeo آvogadro، ۱۷۷۶ تا ۱۸۵۶



ژوزف گیلوساک، ۱۷۷۸ تا ۱۸۵۰

با مقایسه این دو عبارت متوجه می شویم که یک «حجم» از هر گاز حاوی تعداد یکسانی مولکول است.

مثال ۱۱-۱۰
 (الف) براساس معادله زیر، برای سوختن کامل L مرatan، $C_2H_6(g)$ ، چه حجمی از اکسیژن لازم است، در صورتی که تمام گازها در دما و فشار یکسان اندازه گیری شده باشند:



(ب) حجم گاز کریں دیوکسید تولید شده، چقدر است؟

حل

(الف) رابطه بین حجم $C_2H_6(g)$ و $O_2(g)$ با ضرایب معادله شیمیایی داده شده است.

$$2L C_2H_6 \approx 7L O_2$$

این رابطه را برای به دست آوردن ضریب تبدیل به کار می بردیم:

$$?L O_2 = 15.0 L C_2H_6 \left(\frac{7 L O_2}{2 L C_2H_6} \right) = 52.5 L O_2$$

(ب) در این مورد، رابطه زیر را داریم:

$$2L C_2H_6 \approx 4L CO_2$$

بنابراین،

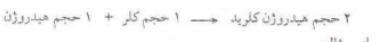
$$?L CO_2 = 15.0 L C_2H_6 \left(\frac{4 L CO_2}{2 L C_2H_6} \right) = 30.0 L CO_2$$

1. Gay - Lussac's law of combining volumes
2. Amedeo Avogadro

۱۰- آنون ترکیب حجمی گیلوساک و اصل آزوگازدو

در سال ۱۸۰۸ آژوژ گیلوساک نتایج آزمایش های خود درباره گازهای واکنش پذیر را منتشر ساخت. حجم گازهای به کار رفته یا تولید شده در یک واکنش شیمیایی در دما و فشار ثابت را می تواند به صورت نسبت های عددی ساده ای بیان کرد. این عبارت به قانون ترکیب حجمی گیلوساک ^۱ مشهور است.

پکی از واکنش های موردنظر مطالعه گیلوساک، واکنشی بود که در آن گاز هیدروژن کلرید از گاز هیدروژن و گاز کلر تولید می شد. اگر حجم تمام گازها را در دما و فشار یکسان اندازه گیری کنیم،



گیلوساک فرمول این اجسام را نمی دانست و به همین دلیل، واکنش شیمیایی را نتوشت. اما نسبت حجم گازها برابر است با ضرایب آنها در معادله شیمیایی:

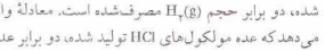


این قانون فقط در مورد گازها صادق است. حجم جامدات و مایعات را نمی تواند به این صورت برسی کرد.

تبیین قانون ترکیب حجمی گیلوساک، در ۱۸۱۱ توسط آدمیو آوگاردر ^۲ پیشنهاد شد. اصل آوگاردر می گویند: تعداد مول های موجود در حجم معینی از تمام گازها در دما و فشار یکسان، برابر است.

داده های گیلوساک نشان می داد که حجم های مساوی از H_2 و Cl_2 ، ^۳ واکنش می دهند. به علت مساوی بودن تعداد مولکول های H_2 و Cl_2 ، شرکت کننده در واکنش، در حجم معینی از هر گاز باید تعداد مولکول های برابر باشدند. براساس قانون گیلوساک، حجم $HCl(g)$ تولید شده، دو برابر حجم $H_2(g)$ مصرف شده است. معادله واکشن نیز نشان می دهد که عده مولکول های HCl تولید شده، دو برابر عده مولکول های H_2 مصرف شده است. نتیجه می گیریم که عده مولکول های در یک HCl «حجم» برابر با عده مولکول های H_2 «حجم» است. همین مقایسه را بین مولکول های HCl و H_2 می توان انجام داد.

حجم کل گازهای واکنش پذیر لازم نیست که با حجم گازهای تولید شده برابر باشد. این واقعیت تجربی، به وسیله یکی دیگر از مثال های با گیلوساک نمایش داده شده است:



نسبت حجمی این واکنش برابر است با:



تعداد نسبی مولکول های در گیر این واکنش با معادله شیمیایی مشخص می شود. اگر عده مولکول های CO را بگیریم، در آن صورت: $CO(\text{g}) + O_2(\text{g}) \longrightarrow 2CO_2(\text{g})$

۱۰-۹ استوکیومتری و حجم گازات

مسائل استوکیومتری را می‌توان بر مبنای حجم گازهای درگیر در یک واکنش شیمیایی حل کرد. قانون ترکیب حجمی گیلولوساک برای حل مسائل مربوط به حجم دو گاز (بخش ۱۰-۸ را بینید) به کار برد شد. برخی از مسائل، به رابطه بین حجم یک گاز و جرم جسم دیگر مربوط می‌شوند، نمونه‌هایی از این مسائل در ذیور آمده است. سرتاسر برای حل آنها، مانند همیشه، مول است.

مثال ۱۰-۱۰

یک نمونه ۵ g گرمی سدیم آزید، NaN_3 ، در آنرگوماتیزیه می‌شود:



حجم (g) N_2 حاصل در دمای ۲۵°C و فشار atm ۹۸ ml را حساب کنید.

حل

عدد مول‌های NaN_3 را در نمونه پیدا می‌کنیم. چون $1\text{ mol NaN}_3 = 65.0\text{ g NaN}_3$

$$\text{? mol NaN}_3 = 0.400\text{ g NaN}_3 \left(\frac{1\text{ mol NaN}_3}{65.0\text{ g NaN}_3} \right)$$

$$= 0.00615\text{ mol NaN}_3$$

از معادله شیمیایی بالا، می‌توان نتیجه گرفت



بنابراین،

$$\text{? mol N}_2 = 0.00615\text{ mol NaN}_3 \left(\frac{3\text{ mol N}_2}{2\text{ mol NaN}_3} \right)$$

$$= 0.00923\text{ mol N}_2$$

حجم (g) N_2 از معادله حالت به دست می‌آوریم:

$$PV = nRT$$

$$(0.980\text{ atm})V = (0.00923\text{ mol})[0.0821\text{ L}\cdot\text{atm}/(\text{K}\cdot\text{mol})](298\text{ K})$$

$$V = 0.230\text{ L}$$

مثال ۱۰-۱۱

چند لیتر CO(g) در STP ، برای کاهش 1 g $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$ از لازم است؟ واکنش شیمیایی به قرار ذیر است:



حل

ابتدا عدد مول‌های Fe_2O_3 را در 1 g Fe_2O_3 پیدا می‌کنیم. چون:

پرساسان اصل آورگادر، حجم‌های معینی از دو گاز، در دما و فشار یکسان، حاوی تعداد یکسان مولکول می‌باشند. به عبارت دیگر، تعداد مساوی از مولکول‌های دو گاز در شرایط یکسان دما و فشار، حجم‌های برای خواهد داشت. یک مول از هر ماده شامل ۶.۰۲×۱۰^{۲۳} مولکول (عدد آورگادر) است. بنابراین، یک مول از هر گاز باید حجمی کنند. این حجم در STP ، به حجم مولی گاز در STP مشهور است و برابر با ۲۲.۴ L می‌باشد. در نتیجه، وزن مولکولی یک گاز، برابر با جرم پرسنگ گرم، $\text{L}^{-۱}$ از آن گاز در STP است. برای اغلب گازها، انحراف از این حالت ایده‌آل، کمتر از ۱% است.

حجم مولی STP یک گاز را می‌توان برای حل برخی از مسائل به کار بردن، اما، تمام این محاسبات را با استفاده از معادله حالت، $PV = nRT$ نیز می‌توان انجام داد.

مثال ۱۰-۱۲

چگالی گاز فلورور، $\text{F}_2(\text{g})$ ، در STP چقدر است؟

حل

وزن مولکولی F_2 برابر با ۱۶ g/mol ۳۸ g است:

$$1\text{ mol F}_2 = 38.0\text{ g F}_2$$

در STP ، حجم یک مول از هر گاز، 22.4 L است:

$$1\text{ mol F}_2 = 22.4\text{ L F}_2$$

بنابراین،

$$\text{? g F}_2 = 1\text{ L F}_2 \left(\frac{1\text{ mol F}_2}{22.4\text{ L F}_2} \right) \left(\frac{38.0\text{ g F}_2}{1\text{ mol F}_2} \right) = 1.70\text{ g F}_2$$

چگالی F_2 برابر با 1.70 g/L است.

مثال ۱۰-۱۳

وزن مولکولی با چگالی ۱۳.۴ g/L در STP چقدر است؟

حل

$$\text{? g} = 1\text{ mol} \left(\frac{22.4\text{ L}}{1\text{ mol}} \right) \left(\frac{1.34\text{ g}}{1\text{ L}} \right) = 30.0\text{ g}$$

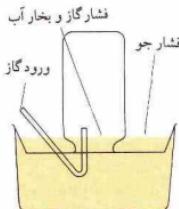
وزن مولکولی این گاز 30 g/mol است.

جدول ۳-۱۰ فشار بخار آب

فشار		فشار	
(atm)	(torr)	(atm)	(torr)
۰	۰	۰	۰
۰.۰۶۱۳	۲۳۰۸	۰.۰۷۵	۴۶
۰.۰۳۲۲	۲۵۰۲	۰.۰۷۶	۴۹
۰.۰۳۲۵	۲۶۰۷	۰.۰۷۷	۵۳
۰.۰۳۷۳	۲۸۰۳	۰.۰۷۵	۵۷
۰.۰۳۹۵	۳۰	۰.۰۸۰	۶۱
۰.۰۴۱۹	۳۱۰۸	۰.۰۸۶	۶۵
۰.۰۴۴۳	۳۳۰۷	۰.۰۹۲	۷۰
۰.۰۴۷۰	۳۵۰۷	۰.۰۹۹	۷۵
۰.۰۴۹۶	۳۷۰۷	۰.۱۰۶	۸۰
۰.۰۵۲۵	۳۹۰۹	۰.۱۱۳	۸۶
۰.۰۵۵۰	۴۱۰۷	۰.۱۱۹	۹۰
۰.۰۷۲۸	۵۵۰۳	۰.۱۳۰	۹۸
۰.۰۹۲۶	۷۱۰۹	۰.۱۳۸	۱۰۵
۰.۱۲۲۲	۹۲۰۵	۰.۱۴۸	۱۱۲
۰.۱۵۰۵	۱۱۸۰۵	۰.۱۵۸	۱۲۰
۰.۱۹۷۹	۱۴۹۰۴	۰.۱۶۸	۱۲۸
۰.۲۷۴۷	۱۷۷۰۵	۰.۱۷۹	۱۳۶
۰.۳۰۸۰	۲۲۳۰۷	۰.۱۹۱	۱۴۵
۰.۳۸۰۰	۲۸۹۰۱	۰.۲۰۴	۱۵۵
۰.۴۶۷۶	۳۵۵۰۱	۰.۲۱۷	۱۶۵
۰.۵۷۱۰	۴۲۳۰۶	۰.۲۲۱	۱۷۵
۰.۶۹۲۴	۵۲۵۰۸	۰.۲۴۵	۱۸۷
۰.۸۳۴۲	۶۳۳۰۹	۰.۲۶۱	۱۹۸
۱.۰۰۰۰	۷۶۰۰۰	۰.۲۷۷	۲۱۰
۱.۱۹۲۰	۹۰۰۰۰	۰.۲۹۴	۲۲۴

عدة کل مولهای برابر با پیچ، و کسر مولی A برابر با یک-پیچم، و کسر مولی B برابر با چهار پیچم خواهد بود. به این ترتیب فشار جزئی A برابر یک پیچم فشار کل، و فشار جزئی B برابر با چهار پیچم فشار کل است.

گاز تولید شده در یک تجربه آزمایشگاهی، در صورتی که در آب انحلال نذیر نباشد، سهل تر آن است که روی آب جمع اوری شود. در این آزمایش ها، گاز زده داخل یک بطری پر آب که در ظرف آب اواروته شده، هدایت می شود. گاز جای آب را می گیرد و گاز جمع اوری شده با بخار آب مخلوط می شود. فشار کل مخلوط برابر با مجموع فشار جزئی گاز و فشار جزئی بخار آب است. در شکل ۳-۶، فشار کل برابر با فشاری است که هواستنج نشان می دهد، زیرا سطح آب در داخل و خارج بطری یکسان است. فشار گاز خشک را با کم کردن فشار بخار آب در دمای آزمایش (جدول ۳-۱۰) از فشاری که هواستنج نشان می دهد، می توان بدست آورد.



شکل ۳-۶ شبکه جمع آوری گاز بر روی آب

فرض کنید L از گاز A در فشار atm و M از گاز B در فشار atm مخلوط شوند. اگر حجم پائیز برابر باشد، و دما نیز ثابت بماند، فشار مخلوط atm عرضه خواهد بود.

براساس نظریه جنبشی، مولکولهای گاز و مولکولهای گاز Dارای انرژی جنبشی میانگین یکسان مستقر، زیرا دمای دو گاز سایر است. علاوه بر این، نظریه جنبشی می گوید که بین مولکولهای گازی که در ترکیب شیمیایی وارد نمی شوند، نیروی جاذبه ای وجود ندارد. به این ترتیب، بر اثر اختلاط دو یا چند گاز تغییری در انرژی جنبشی میانگین هر یک از گازها ایجاد نمی شود و هر گاز فشاری را وارد می کند که اگر به تنها در آن ظرف بود، وارد می کرد.

اگر n_A مول از گاز A و n_B مول از گاز B مخلوط شوند، عدد کل مولهای گاز در مخلوط برابر با $(n_A + n_B)$ خواهد بود. تسبیت عدد کل مولهای X_A به عنده کل مولهای موجود را کسر مولی X_A نامند:

$$X_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} = \frac{n_A}{n_{\text{total}}} \quad (3-10)$$

بخشی از فشار کل که به گاز A مربوط می شود، با کسر مولی A بینان می شود. بنابراین فشار جزئی A برابر است با:

$$p_A = \left(\frac{n_A}{n_A + n_B} \right) P_{\text{total}} = X_A P_{\text{total}} \quad (3-11)$$

فشار جزئی B برابر با کسر مولی B ضرب در فشار کل است:

$$p_B = \left(\frac{n_B}{n_A + n_B} \right) P_{\text{total}} = X_B P_{\text{total}} \quad (3-12)$$

توجه داشته باشید که مجموع کسرهای مولی برابر ۱ است:

$$X_A + X_B = 1$$

$$\frac{n_A}{n_{\text{total}}} + \frac{n_B}{n_{\text{total}}} = \frac{n_A + n_B}{n_A + n_B} = 1$$

فرض کنید مخلوطی شامل ۱ mol A و ۴ mol B باشد. در توجه

۱۱-۱۰ سرعت‌های مولکولی

در بخش ۱۰-۷، معادله زیر را به دست آوردیم:

$$PV = \frac{1}{3} Nmu^2 \quad (۱۲-۱۰)$$

برای یک مول گاز، تعداد مولکول‌ها، یعنی N ، برابر با عدد آوگادرو است؛ و PV در جرم یک مولکول، یعنی m ، وزن مولکولی، M ، را به دست می‌دهد:

$$PV = \frac{1}{3} Mu^2 \quad (۱۲-۱۰)$$

همچنین برای یک مول، $PV = RT$ ؛ در نتیجه

$$RT = \frac{1}{3} Mu^2 \quad (۱۲-۱۰)$$

با تغییر آرایش معادله و حل کردن برای سرعت مولکولی، داریم:

$$u = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (۱۲-۱۰)$$

درین معادله، مانند معادله‌های پیش، سرعت، u ، همان جذرینگین مجدلور سرعت است، جذر میانگین مجدلور سرعت مولکولی است که دارای میانگین ارزی چنینی در مجموعه‌ای از مولکول‌ها در دمای موردنظر باشد. ارزی چنینی یک مولکول، برابر است با:

$$KE = \frac{1}{2} mu^2$$

که در آن، جرم مولکول، و m سرعت آن است. ارزی چنینی میانگین (یا ارزی چنینی متوسط) مجموعه‌ای از مولکول‌ها را میانگین‌گیری مقدار $\frac{1}{2} mu^2$ برای آن مولکول‌ها می‌توان به دست آورد. برای پیدا کردن مقدار u ، با اختیار کردن این ارزی چنینی میانگین (که برابر با u^2 است)، و حل کردن معادله برای u ، و پس گرفتن جذر از آن، می‌توان عمل کرد. مقدار u به دست آمده با این روش را جذر میانگین مجدلور سرعت تامین، زیرا با گرفتن جذر از یک مقدار u^2 که از متوسط عبارت‌های حاوی مربع سرعت هاست، به مشترک استفاده از این معادله برای جذر میانگین مجدلور سرعت، یعنی معادله $R = \frac{1}{2} m u^2$ را بینید. اگر u بایستی بر حسب $m/6$ و M بروز حسب به دست آید، مقدار متناسب R همان $(\frac{8}{3}) \cdot K \cdot mol^{-1} \cdot g \cdot m^{-2}$ است.

۱۹-۱۰ مثال

جذر میانگین مجدلور سرعت یک مولکول H_2 را به سه رقم با معنی، (الف) در ${}^{\circ}C$ و (ب) در ${}^{\circ}C$ حساب کنید.

حل
(الف)

$$u = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

مثال ۱۰-۱۰
نمودنی از اکسیژن به حجم 370 mL در دمای $23^{\circ}C$ و فشار 992 atm بر روی آب جمع آوری شده است. حجم اشغال شده به وسیله این نمودنی در حالت خشک و در STP چقدر است؟

حل

فشار بخار آب در دمای $23^{\circ}C$ برابر با 277 atm و $0^{\circ}C$ است. در ترتیبه، فشار آغازین اکسیژن عبارت خواهد بود از:

$$0.992 \text{ atm} - 0.028 \text{ atm} = 0.964 \text{ atm}$$

بنابراین،

$$\begin{aligned} V_i &= 370 \text{ mL} & p_i &= 0.964 \text{ atm} & T_i &= 296 \text{ K} \\ V_f &=? \text{ mL} & p_f &= ? \text{ atm} & T_f &= 273 \text{ K} \end{aligned}$$

$$? \text{ mL} = 370. \text{ mL} \left(\frac{0.964 \text{ atm}}{1.000 \text{ atm}} \right) \left(\frac{273 \text{ K}}{296 \text{ K}} \right) = 329 \text{ mL}$$

مسئله را با استفاده از معادله ۱۰-۱۰ نیز می‌توان حل کرد:

$$V_f = V_i \left(\frac{p_i}{p_f} \right) \left(\frac{T_f}{T_i} \right) = 370. \text{ mL} \left(\frac{0.964 \text{ atm}}{1.000 \text{ atm}} \right) \left(\frac{273 \text{ K}}{296 \text{ K}} \right) = 329 \text{ mL}$$

۱۸-۱۰ مثال

فشار کل مخلوطی از g اکسیژن و g هلیم atm در $40^{\circ}C$ می‌باشد. فشار جزوی اکسیژن را پیدا کنید.

حل

وزن مولکولی O_2 برابر با 0.032 g/mol است. هلیم گازی تک اتمی است با وزن اتمی 0.04 g/mol . درنتیجه $0.032 + 0.04 = 0.072 \text{ g/mol}$ هلیم در مخلوط وجود دارد. بنابراین،

$$X_{O_2} = \frac{n_{O_2}}{n_{O_2} + n_{He}}$$

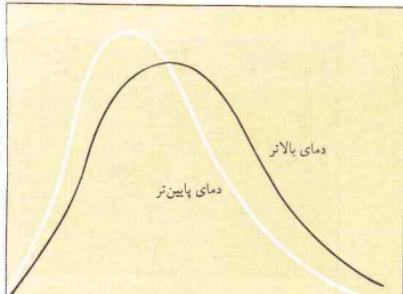
$$X_{O_2} = \frac{1.25 \text{ mol}}{(1.25 + 10.0) \text{ mol}} = \frac{1.25 \text{ mol}}{11.2 \text{ mol}} = 0.112$$

فشار جزوی O_2 برابر است با

$$\begin{aligned} P_{O_2} &= X_{O_2} P_{total} \\ &= (0.112)(0.900 \text{ atm}) \\ &= 0.101 \text{ atm} \end{aligned}$$

فشار جزوی هلیم نیز برابر است با:

$$\begin{aligned} P_{He} &= P_{total} - P_{O_2} \\ &= 0.900 \text{ atm} - 0.101 \text{ atm} = 0.799 \text{ atm} \end{aligned}$$



شکل ۱۰-۷ توزیع سرعت‌های مولکولی

برای یک مول گاز، $RT = PV$ و N عدد آزادگار است:

$$KE = \frac{3RT}{2N} \quad (۲۴-۱۰)$$

میانگین انرژی جنبشی یک مولکول را با استفاده از این معادله می‌توان به دست آورده، مقادیر متناسب برای این کاره $R/(K\cdot mol) = ۸۳۱۴۳$ است.

مثال ۱۰-۲۰

میانگین انرژی جنبشی یک مولکول H_2 در $0^\circ C$ را بایه رقم بامعنی محاسبه کنید.

$$KE = \frac{3RT}{2N} \quad (۲۴-۱۰)$$

$$= \frac{3[8.314 J/(K\cdot mol)](273 K)}{2(6.022 \times 10^{23})/mol}$$

$$= 5.65 \times 10^{-21} \text{ Joule}$$

توجه کنید که وزن مولکولی گاز در محاسبات وارد نمی‌شود، و باخست میانگین انرژی جنبشی برای هر مولکول گاز در $0^\circ C$ است.

در شکل ۱۰-۸ نمونه‌ای از متحنن توزیع انرژی‌های مولکولی شان داده شده است، این گونه متحنن‌های توزیع را برای مایعات و چمادات و همچنین گازها می‌توان رسم کرد.

۱۰-۱۲ قانون فنود مولکولی گواهان

فرض می‌کنیم دو گاز A و B در دو ظرف همانند، جدا از هم در دما و فشار یکسان محبوس شده باشند. براساس نظریه جنبشی گازها، گازهایی که دارای دمای یکسان باشند، انرژی جنبشی میانگین یکسان خواهند داشت. بنابراین انرژی جنبشی میانگین مولکول‌های گاز A

$$= \sqrt{\frac{3[8.314 \times 10^3 \text{ g}\cdot\text{m}^2/(\text{s}^2\cdot\text{K}\cdot\text{mol})]}{2.016 \text{ g/mol}}}(273 \text{ K})$$

$$= 1.84 \times 10^3 \text{ m/s} \quad (۲۴-۱۰)$$

$$= \sqrt{\frac{3[8.314 \times 10^3 \text{ g}\cdot\text{m}^2/(\text{s}^2\cdot\text{K}\cdot\text{mol})]}{2.016 \text{ g/mol}}}(373 \text{ K})$$

$$= 2.15 \times 10^3 \text{ m/s}$$

این جذرها میانگین مجدور سرعت مولکول هیدروژن، بزرگ‌ترین h هستند $h = ۴۱۲ \times 10^{-5} \text{ mile/hr}$ در $0^\circ C$ و $۴۸۱ \times 10^{-5} \text{ mile/hr}$ در $100^\circ C$. اما، نفوذ یک گاز در یک گاز دیگر، با این سرعت رخ نمی‌دد. گچه یک مولکول با سرعت زیاد حرکت می‌کند، در اثر برخورددهای که با سایر مولکول‌ها پیدا می‌کند، مسیر آن دائم تغییر می‌پذیرد. در فشار ۱ atm و دمای $0^\circ C$ یک مولکول هیدروژن، به طور متوسط $1.84 \times 10^3 \text{ m/s}$ برخورد، حدود $1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ است؛ این مقدار را پویش آزاد متوسط هیدروژن نامند.

البته، مولکول‌های تمام گازها انرژی جنبشی یکسان ندارند و با سرعت مولکول های تمام گازها انرژی جنبشی یکسان ندارند و با می‌شود، سرعت و همچنین، چهت حرکت یک مولکول به طور مستمر تغییر می‌کند. ولی، در هو نمونه‌ای از یک گاز، تعداد سیار زیادی مولکول هاست، در نتیجه سرعت‌های مولکولی به واسطه شخصی بین شمار زیادی از مولکول‌ها توزیع شده است.

توزیع سرعت‌های مولکولی یک گاز که به توزیع ماکسکول-پولتزمان مشهور است، در دمای داده در شکل ۱۰-۷ نمایش داده شده است. بخشی از عده کل مولکول‌ها که سرعت مشخصی دارند بر حسب سرعت مولکولی ترسیم شده است. هر یک از منحنی‌ها دارای بیشترهای است و سرعت مریبوط به این بیشتره، متحمل ترین سرعت برای آن توزیع می‌پذیرد. به عبارت دیگر، تعداد بیشتری از مولکول‌ها بر این سرعت حرکت می‌کنند تا با هر سرعت دیگری، عده نسبتاً کمی از مولکول‌ها دارای سرعت سیار زیاد یا سیار کم هستند.

وقعی دمای یک گاز بالا می‌رود، و در نتیجه پنهان می‌شود و به سوی سرعت‌های بالاتر میل می‌کند. علاوه‌کمتری از مولکول‌ها با سرعت‌های پایین، و عده بیشتری با سرعت‌های بالا حرکت خواهند کرد. افزایش گرما، به طور متوسط، حرکت سریع تر مولکول‌ها را بایث می‌شود. سرعت یک مولکول هیدروژن را به خاطر پیاوید که در $0^\circ C$ برای $1 \times 10^3 \text{ m/s}$ و در $100^\circ C$ برای $1.84 \times 10^3 \text{ m/s}$ بود.

براساس معادله ۱۰-۱۰:

$$PV = \frac{3}{2}N(KE) \quad (۲۴-۱۰)$$

$$KE = \frac{3PV}{2N}$$

در نتیجه،



تامس گراهام، ۱۸۰۵ تا ۱۸۶۹

منفذ خواهند کرد؛ این فرایند را نفوذ مولکولی^۱ گویند. سرعت نفوذ مولکولی، r ، سرعت پرسخورد مولکولها با منفذ برابر است که آن هم متناسب با سرعت مولکولی، u ، می‌باشد. مولکول‌هایی که با سرعت زیاد در حرکت باشند، سریع‌تر از مولکول‌هایی که با سرعت آهسته‌تر حرکت می‌کنند، نفوذ خواهند کرد. بنابراین نسبت $r_A/r_B = u_A/u_B$ با نسبت سرعت‌های نفوذ مولکولی، r_A/r_B برابر است:

$$\frac{r_A}{r_B} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}} \quad (25-10)$$

این معادله بیانگر قانون نفوذ مولکولی گراهام است که تامس گراهام^۲ آن را در سال‌های ۱۸۲۸ تا ۱۸۳۳ به دست آورد.

این رابطه را بر حسب چگالی گازها نیز می‌توان بیان کرد. چون چگالی یک گاز، d ، با وزن مولکولی آن، M ، متناسب است، قانون گراهام را به صورت زیر می‌توان نوشت:

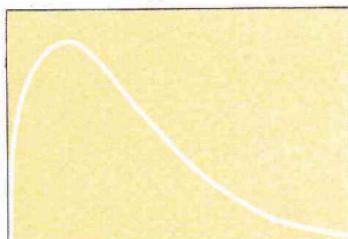
$$\frac{r_A}{r_B} = \sqrt{\frac{d_B}{d_A}} \quad (26-10)$$

چای تعجب نیست از دو مولکول دارای انرژی جنبشی یکسان، آنکه سبک‌تر است سریع‌تر از آنکه سخت‌گیرن‌تر است حرکت کند (به رابطه معکوس توجه کنید). وزن مولکولی O_2 برابر ۳۲ و وزن مولکولی H_2 ، ۲ است. پس خواهیم داشت،

$$\frac{r_{H_2}}{r_{O_2}} = \sqrt{\frac{M_{O_2}}{M_{H_2}}}$$

$$\frac{r_{H_2}}{r_{O_2}} = \sqrt{\frac{32}{2}} = \sqrt{16} = 4$$

سرعت نفوذ هیدروژن، چهار برابر سرعت نفوذ اکسیژن است. از این اصل برای جاذب‌سازی ایزوتوپ‌ها استفاده شده است. اورانیم طبیعی شامل ۹۹٪ ^{238}U و ۰٪ ^{235}U و ۰٪ ^{234}U است. از این دو ایزوتوپ، فقط ^{235}U می‌تواند دست خوش شکاف هسته‌ای شود.



انرژی‌های مولکولی

شکل ۱۰-۸ - توزیع انرژی‌های مولکولی

(KE_A) با انرژی جنبشی میانگین مولکول‌های گاز B (KE_B) یکسان خواهد بود:

$$KE_A = KE_B$$

انرژی جنبشی جسمی به جرم m که با سرعت u در حرکت باشد:

$$KE = \frac{1}{2}mu^2$$

بنابراین،

$$KE_A = \frac{1}{2}m_Au_A^2 \quad \text{و} \quad KE_B = \frac{1}{2}m_Bu_B^2$$

تمام مولکول‌های گاز A (یا گاز B ، با سرعت یکسان حرکت نخواهند کرد. نماد u_A (و همچنین، u_B) میانگین سرعت مولکولی با انرژی جنبشی میانگین است. پس خواهیم داشت:

$$KE_A = KE_B$$

$$\frac{1}{2}m_Au_A^2 = \frac{1}{2}m_Bu_B^2$$

با

$$m_Au_A^2 = m_Bu_B^2$$

با تغییر آرایش معادله، داریم.

$$\frac{u_A^2}{u_B^2} = \frac{m_B}{m_A}$$

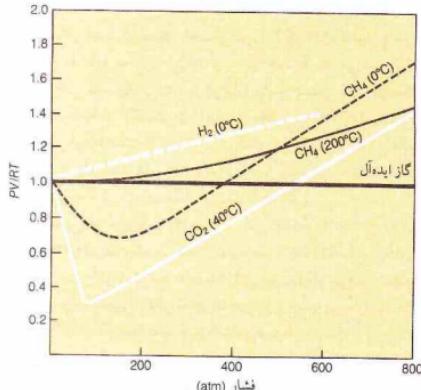
اگر از دو طرف معادله جذر بگیریم، خواهیم داشت،

$$\frac{u_A}{u_B} = \sqrt{\frac{m_B}{m_A}}$$

نسبت جرم‌های مولکولی دو گاز، m_B/m_A ، با نسبت وزن‌های مولکولی آنها، M_B/M_A ، برابر است. در نتیجه،

$$\frac{u_A}{u_B} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}}$$

اگر در هر ظرف، منفذ بسیار کوچک یکسان ایجاد شود، مولکول‌ها از آن



شکل ۱-۹ نمودار PV/RT بر حسب فشار برای برخی از گازها در دماهای مشخص شده.

یک گاز ایده‌آل (یک خط مستقیم در $PV/RT = 1$) تفاوت دارد. دو دلیل برای این اختلاف می‌تران بیان کرد.

۱- نیروهای جاذبی بین مولکولی. در نظریه جنبشی فریض بر این است که بین مولکول‌های گاز جاذبیت وجود ندارد. این فرض، به دلیل اینکه تمام گازها را می‌توان مایع کرد، نادرست است. در حالت مایع، جاذبه‌های بین مولکولی، مولکول‌ها را در کنار همدیگر نگه می‌دارند. اگر فرض کنیم که P در عبارت PV/RT ، فشار اعمال شده باشد، انحراف حجم اندازه‌گیری شده (V) از حالت ایده‌آل آشکار خواهد بود. نیروهای جاذبی بین مولکولی، با کشیدن مولکول‌های گاز به سوی یکدیگر، حجم را کاهش می‌دهند. به این ترتیب، به افزایش فشار کمک خواهد کرد. علاوه بر این، هر چه فشار اعمال شده پیشتر باشد، اثر جاذبه بین مولکولی بیشتر و وجود خواهد داشت، زیرا مولکول‌های گاز در فشار بالاتر به یکدیگر نزدیک‌ترند. این عامل باعث می‌شود تا مقدار PV/RT کمک کرکنند.

۲- حجم مولکولی. در نظریه جنبشی، مولکول‌های گاز به صورت نقاطی در فضای فراگونه که حجم واقعی آنها تاپیز است. در دمای صفر مطلق، دمایی که در آن، حرکت مولکولی متوقف می‌شود، حجم یک گاز ایده‌آل به صفر می‌رسد. البته، حجم مولکولی گازهای حقیقی صفر نیست. با افزایش فشار اعمال شده، فضای بین مولکول‌ها کاهش می‌یابد، اما خود مولکول‌ها را نمی‌توان متراکم کرد. بنابراین می‌شود که حجم اندازه‌گیری شده، بزرگ‌تر از حجم محاسبه شده برای یک گاز ایده‌آل است که در آن از حجم مولکولی صرف‌نظر شده است. در اینجا نیز اسحراف در فشارهای بالاتر بیشتر است. در فشارهای بالاتر، مولکول‌ها بیشتر به یکدیگر نزدیک‌شوند و حجم مولکولی کسر بزرگ‌تری

برای ساخت بمب اتمی، جداسازی U^{235} از U^{238} لازم آمد. کار جداسازی ایزوتوپ‌ها، با تبدیل اورانیم طبیعی به اورانیم هیگزافلوئورید، که در دمای 55°C می‌جوش، صورت گرفت. اورانیم هیگزافلوئورید، در واقع مخلوطی از UF_6 و UF_{10} است. اگر این مخلوط را به دمایی بالاتر از دمای جوش آن پرسانیم و در فشار کم از یک مانع پر منفذ (متخلخل) عبور دهیم، UF_6 در گازی که از مانع عبور کرده است، پیشتر خواهد بود. این کار باید هزاران بار تکرار شود تا عمل جداسازی به طور قابل ملاحظه‌ای صورت گیرد.

مثال ۱-۱۰ اگر نفوذ گاز X ، 876 g/m^2 بار سریع‌تر از N_2 باشد، وزن مولکولی آن را پیدا کنید.

حل

نسبت سرعت نفوذ گاز X به سرعت نفوذ (g) برابر است با

$$\frac{r_X}{r_{N_2}} = 0.876$$

وزن مولکولی N_2 ، 28 g/mol است. در نتیجه،

$$\sqrt{\frac{M_{N_2}}{M_X}} = \frac{r_X}{r_{N_2}}$$

$$\sqrt{\frac{28.0}{M_X}} = 0.876$$

دو طرف معادله را به توان دو می‌رسانیم و برای M_X حل می‌کنیم:

$$\frac{28.0}{M_X} = 0.767$$

$$M_X = \frac{28.0}{0.767} = 36.5$$

۱-۱۳ گازهای ایده‌آل

قوانين گازهای ایده‌آل رفتار یک گاز ایده‌آل یا گاز کامل است. یعنی گازی که با نظریه جنبشی تعریف می‌شود، در شرایطی که دما و فشار عادی است، گازهای حقیقی، به طور نسبتاً کامل از قوانین گازهای ایده‌آل پیروی می‌کنند. ولی در دمای‌های پایین و در فشارهای بالا چنین نیست.

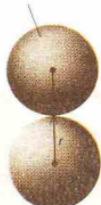
برای یک گاز ایده‌آل، $PV = nRT$ ، و در نتیجه:

$$\frac{PV}{RT} = n \quad (2-10)$$

اگر یک مول از گاز ایده‌آل را در نظر بگیریم، در آن صورت $n = 1$ ، $PV/RT = 1$ خواهد بود. در شکل ۱-۹، PV/RT بر اصطلاح ضرب تراکم پیووندی (پ) بر حسب فشار، در دمای ثابت، برای تعدادی از گازها رسم شده است. منحنی‌های مریبوط به گازهای حقیقی با خط مریبوط به

جدول ۱۰ - ثابت‌های واندر والس

<i>b</i> (L/mol)	<i>a</i> (L ² atm/mol ²)	مولکول
۰،۲۶	۰،۲۴	H _۲
۰،۲۷	۰،۳۴	He
۰،۳۹	۱،۳۹	N _۲
۰،۳۸	۱،۳۶	O _۲
۰،۵۶	۴،۴۹	Cl _۲
۰،۳۷	۴،۱۷	NH _۳
۰،۳۹	۱،۴۹	CO
۰،۲۷	۳،۵۹	CO _۲

حجم مولکولی $\frac{4}{3} \pi r^3$ حجم مسئنی برای دو مولکول $\frac{8}{3} \pi r^3$ شکل ۱۰ - تصحیح واندر والس، *b*، برای حجم مسئنی

بین هر مولکول با مولکول دیگر است، زیرا تمی تواند با خودش بخورد کند. این ضربی در مورد تمام مولکول‌ها صادق است: در نتیجه، در مجموع $(-x) + 1/2x = 1/2x$ برهمکش ممکن برای کل مجموعه مولکول‌ها وجود دارد. کسر $1/2$ به این دلیل افزوده شده که یک برهمکش، دو بار بر سراساب نیاید - هر بار برای یکی از مولکول‌های درگیر در آن، اگر عده مولکول‌ها بسیار زیاد باشد، $(-x)$ تقرباً برابر $x/2$ بوده و ضربی فوق با تقریب خوبی برابر با $1/2x$ خواهد شد. به این ترتیب، تعداد برهمکش‌های بین مولکول‌های گاز متناسب با مقدور غلظت است. ثابت واندر والس a را می‌توان به صورت ثابت ناتیپ (که $1/2$ نیز جزء آن است) در نظر گرفت و عبارت تصویح $a/2$ است.

حاصل ضرب $a/2$ مقداری است که باید از حجم کل گاز کسر شود تا تصویح ضربی به آن بخش از حجم که به علت حجم ذاتی مولکول‌های گاز، تراکم پذیر نیست، به عمل آید. یک مولکول گاز نمی‌تواند در تمام حجم ظرف حرکت کند، زیرا سایر مولکول‌ها نیز در

از حجم کلی است. این عامل باعث می‌شود تا PV/RT بزرگ‌تر از ۱ شود. این دو عامل به طور همزمان و بر علیه همدیگر کار می‌شون. اینکه کدام عامل غلبه پیدامی کند، به شرایط آزمایش بستگی دارد. در شکل ۱۰، آن بخش از منحنی که پایین‌تر از خط $PV/RT = 1$ قرار دارد به شرایطی مربوط است که در آن، اثر نیروهای جاذبی بین مولکولی غالب می‌باشد. برای بخش‌هایی که در بالای این خط قرار دارند، حجم مولکولی به صورت یک عامل عدمه در آمده است.

منحنی‌های مربوط به H_۲ (در ۰°C)، CH_۴ (در ۰°C)، و CO_۲ (در ۴۰°C) را در نظر بگیرید. منحنی مربوط به CO_۲ پایین‌تر از قرار می‌گیرد. نتیجه می‌گیریم که جاذبی بین مولکول‌های CO_۲ بیشتر از جاذبی بین مولکول‌های سایرگاه است. در واقع، چون منحنی مربوط به H_۲ کاملاً در بالای این خط قرار گیریم، نیروهای جاذبی بین مولکول‌های H_۲ باید ضعیف باشند و میزان انحراف از حالت ایده‌آل در دمای ۰°C ناچیز است.

منحنی مربوط به CH_۴ در ۰°C را متحضر عمان گاز در ۲۰۰°C مقایسه کنید. در نتیجه جاذبی بین مولکولی، بخشی از منحنی CH_۴ در ۰°C پایین‌تر از خط $PV/RT = 1$ خواهد بود. منحنی این گاز در دمای بالاتر، کاملاً در بالای این خط قرار گرفته است. در دمای بالای این درجه، جاذبی مولکول‌های گاز زیاد است و با چنان سرعانی حرکت می‌کنند که نیروهای جاذبی بین مولکول‌ها اثر تأثیرگذاری خواهند داشت. اما، در دمای‌های پایین‌تر، مولکول‌ها احتمالاً حرکت می‌کنند. نیروهای جاذبی، چنان مولکول‌ها را به سوی یکدیگر می‌کشانند که حجم مشاهده شده کمتر از حجم پیش‌بینی شده به وسیله قانون گازهای است.

بعنوان ترتیب، منحنی‌های شکل ۱۰ نشان می‌دهند که رفتار گازهای حقیقی در فشار پایین و در دمای بالا بر فرق تاریخی گازهای ایده‌آل نزدیک است.

یوهانس وان در والس در ۱۸۷۳ میلادی، برای به حساب آوردن این دو اثر، معادله حالت گاز ایده‌آل را اصلاح کرد. معادله وان در والس چنین است:

$$\left(P + \frac{n^2 a}{V^2} \right) (V - nb) = nRT \quad (۲۸)$$

مقدار عددی ثابت‌های a و b برای هر گاز به طور تجزیی تعیین می‌شود. نمونه‌های از این مقدار در جدول ۱۰ آمده است.

عبارت a/V^2 به فشار اندازه‌گیری شده، یعنی P ، افزوده می‌شود تا نیروهای جاذبی بین مولکولی را تصویح کند. فضای بخورد مولکول‌های گاز با دیواره طرف است. اثر بخورد در صورتی بزرگ‌تر خواهد بود که مولکول‌ها در اثر جاذبی سایر مولکول‌ها به قبضه کشیده شوند. در نتیجه، فشار انداده‌گیری شده کمتر از فشار در غیاب این نیروهای جاذبی است. عبارت a/V^2 به P افزوده می‌شود و $(P + n^2 a/V^2)$ (پانگر فشار یک گاز ایده‌آل، یعنی گاز فاقد نیروهای مولکولی است).

عبارت n/V (پیانگر غلظت mol/L) است. اگر ۱ مولکول در یک لیتر وجود داشته باشد، در آن صورت $(-x)$ راه برای بخورد با همکنش

جدول ۱۰ - ۵ فشار لازم برای مایع شدن گربن دیوکسید. (فشار بخار CO_2 مایع)

فشار (atm)	دما (°C)
۶۷	-۵۰
۱۴	-۳۰
۲۶	-۱۰
۴۴	۱۰
۵۶	۲۰
۷۱	۳۰
۷۲	۳۱

جدول ۱۰ - ۶ داده‌های تقطیر بخاری

فشار بخاری (atm)	دما بخاری (K)	گاز
۲۶	۵۰	He
۱۲	۳۳	H ₂
۲۲	۱۶	N ₂
۳۵	۱۴	CO
۴۹	۱۰۲	O ₂
۲۵	۱۹	CH ₄
۷۲	۳۰۴۲	CO ₂
۱۱۱	۴۰	NH ₃
۲۱۷	۶۴۷۲	H ₂ O

مولکولی آن گاز به دست می‌دهد. ماده‌ای که نیروهای جاذبه ضعیف دارد، دمای بخاری پایینتر خواهد داشت: بالاتر از این دمای، حرکت مولکولی شدیدتر از آن است که اجازه دهد نیروهای نسبتاً ضعیف پتوانند مولکول را در حالت مایع نگهداشته باشد. مواد آورده در جدول ۱۰ - ۶، بر حسب آن دمای بخاری فهرست شده‌اند: نیز گزینه‌های بخاری جاذبه بین مولکولی (مربوط به در جدول ۱۰ - ۶) نیز با همین ترتیب افزایش می‌افزایند. همین که نیروی جاذبه ضعیفی دارد، فقط در دمای پایین‌تر از 5°K می‌تواند به صورت مایع در آید؛ اما آب که دارای نیروهای جاذبه قوی است، می‌تواند تا دمای 6472°K به مایع تبدیل شود. از ثابت‌های بخاری برای ارزیابی ثابت‌های مورد اثبات شده است.

داده‌های جدول ۱۰ - ۶ نشان می‌دهد که برای مایع کردن بسیاری از گازها لازم است آنها را تا پایین‌تر از دمای معمولی (حدود 294°K) سرد کنند. در مایع کردن گازها به روش صنعتی از اثر ژول - تامسون^۲ برای سردکردن آنها استفاده می‌شود. هرگاه گاز مستراکم شده‌ای بین

همان ظرف هستند، حجمی را که مولکول‌ها می‌توانند در آن حرکت کنند می‌توان با کم کردن مقدار موسوم به حجم مستثنی^۱ از حجم کل بدست آورد.

اگر مولکول‌ها به صورت کروی دارای شعاع r باشند، حجمی که برای هر مولکول مستثنی شود فقط حجم خود مولکول برابر $\frac{4}{3}\pi r^3$ است. زیست تزدیک‌ترین فاصله بین دو مولکول برابر $2r$ است (شکل ۱۰ - ۱)، حجمی که باید برای دو مولکول کسر شود $\frac{4}{3}\pi (2r)^3 = \frac{32}{3}\pi r^3$ است. در نتیجه، این حجم برای یک مولکول $(4/3\pi r^3)$ یا چهار برابر حجم مولکولی است، از این رو، برای یک مول از مولکول‌ها، یعنی N مولکول، خواهیم داشت:

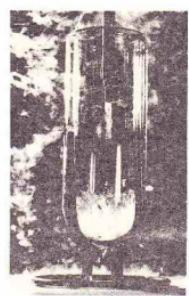
$$b = 4N(\frac{4}{3}\pi r^3) \quad (۲۹ - ۱۰)$$

۱۰ - ۱۳ مایع شدن گازها

مایع شدن یک گاز در شرایطی صورت می‌گیرد که نیروهای جاذبه بین مولکولی بتواند سبب پیوستن مولکول‌های گاز به یکدیگر شود و آن را به صورت مایع درآورد. اگر فشار بالا باشد، مولکول‌ها به یکدیگر تزدیک و اثر نیروهای جاذبه قابل توجه خواهد بود. نیروهای جاذبه همواره در تعارض با حرکت مولکول‌های گاز است؛ در نتیجه، مایع شدن گاز در دمای پایین که انرژی جذبیتی سیانوگین مولکول‌ها کم است، آسان‌تر صورت می‌گیرد. با پایین‌تر رفتن دما و افزایش فشار، رفتار گاز از حالت ابدآل، پیشتر و پیشتر می‌شود و در نهایت این شرایط، گاز به صورت مایع در می‌آید.

هرچه دمای گاز بالاتر باشد، مایع شدن آن مشکل‌تر و باید فشار زیادتری اعمال شود (جدول ۱۰ - ۵). برای هر گاز، دمای وجود دارد که بالاتر از آن دما، هرچند ممکن است، این دمای بخاری که فشار را زیاد کنیم، مایع شدن آن گاز غیرممکن است. این دمای بخاری ۵ m^3/kg مرود نظر می‌نماید. فشار بخاری^۳ کم‌ترین فشار لازم برای مایع کردن یک گاز در دمای بخاری آن گاز است. ثابت‌های بخاری پرخی گازها در جدول ۱۰ - ۶ آمده است.

دمای بخاری از گاز نشانه‌ای از قدرت نیروهای جاذبه بین



هدروژن مایع جوشان

1. Excluded volume

2. Critical temperature

3. Critical pressure

4. Joule - Thomson effect

می گیرد که نخست هوای سرد متراکم شده را مناسب‌ترین دمای هوا به سطح پایین تری بررسی. این هوای سرد شده را بایز سرد کردن هوای متراکم شده‌ای که وارد شود، مورد استفاده قرار می‌دهد، و این‌سپاس این هوای متراکم شده، امکان رسیدن به دمایهای پایین تری را فراهم می‌کند.

هوای سرد مناسب‌شده بار دیگر به اتفاق تراکم باز گردانده می‌شود و سرانجام با سرد کردن و تراکم پر، دری، هوای مایل تولید می‌شود.

نگاره‌گاریم منطبق شود تا به فشار پایین تری بررسد، سرد خواهد شد. هنگام نسبت‌گذاری میان تبر و های جاذبیت بین مولکولی، کار صورت می‌گیرد. معرفشده برای اینجام این کار باید از اثری زیستی خود مولکول‌ها کار گرفته شود؛ در نتیجه، دمای گاز کاهش خواهد یافت. بنابراین اثر طی مصال‌های ۱۸۵۲ تا ۱۸۶۲ توسط چیمز ژول و ویلیام ناسمن (لرد کلوبن) مطالعه شد. مایع شدن هوا باید ترتیب صورت

حکیمہ مطالب

قانون ساده گاز-آزاد، رابطه بین دمغیر از چهار مغایر را در مواردی که در تغییر دیگر یا بشنید، بیان می‌کند. براساس قانون بولیوی، $P \propto T^{\frac{1}{n}}$ و ثابت، با T و P این رابطه معمولی است. قانون شارل می‌گوید، در n پارتیکل، $P \propto V^{\frac{1}{n}}$ و این رابطه استقامت برقرار است. قانون آمویتنون می‌گوید $P = nRT$ و n پارتیکل، $P \propto V$ و $P \propto T$ را به این معنی دارد.

همچنان که در قرارداد، $PV = nRT$ ، پیشگاه رابطه این قانون است. مطالعه حالت یکپارچه ایدئال این چهار مغایر است. ثابت این معادله، بعنی R ، به ثابتگاهی‌بازی‌آل منتهی است. با قرارداد $G/M = R$ در آن جهود نمونه گاز و وزن موکولکی گاز است به مساحت آن مطالعه گاز ایدئال، سورت مفیدی از این مطالعه به دست می‌آید. با استفاده از این مطالعه مسائل معمولی مربوط به چگالی گازها (ρ) و مسائل مربوط به زنن موکولکی گازها را می‌توان حل کرد.

برای اولین بار از شیمیای مربوط به کاپرها، قانون گاز ایده آن را می‌توان برای حل مسائل استوکو متیری که در آن حجم گاز داده شده با خواسته شده باشد به کار برد. قانون ترکیب حجمی گیلوباسک بیانگر رابطه من جم حجم دو گاز در گیرگ در اولکش شیمیایی است، و اصل آنگاه در تبیین برای قانون گیلوباسک به دست

معاهد علمی

قانون آمونتون (**Amontons' law**) معرفه ایز کیک با درای مطلق و اعلیه سنتروم دارد.
اتموسfera, **atm**, **جیو**, **Atmosphere, atm** واحدی برای فشار که برایر با 10^5 Pa است. $1 \text{ atm} = 101225 \text{ Pa}$.
اصل آوگادرو (**Avogadro's principle**) عدد مولکول ها در حجم های ساری از نشان گازها در دما و فشار یکسان برابر است.
بارومتر (**Barometer**) هوای استخین (**air**). ایزیری برای افزایش گذیری فشار اتمالدهد به بارومتر پولیت بر سطح زمین.
قانون بویل (**Boyl's law**) $PV = k$. در دمای ثابت، حجم یک گاز با شمار آن برابر معمکن دارد.
کارلز (**Charles' law**) قانون شارل (**law of Charles**) در فشار ثابت، حجم یک گاز درای مطلق و اعلیه سنتروم دارد.
ضریب تراکم پیزی (**Compressibility factor**) $Z = PV / RT$. که زدن P شتابدار V بین جسم گاز را R بات کار گردیده و T دمای مطلق است. ضرسی پیزی کارکرد پیزی برپیک می گزیند اینه که همینه برابر ۱ است.
پرسی (**Critical pressure**) P_c .
سافت (**Soft**) $P_c < P < 10P_c$.
شراحت (**Shrinking**) $P_c > P > 10P_c$.

مایع کردن یک گاز در میان بیناری آن Critical temperature دمایی بحرانی (بخش ۱۰-۱۴) است که بالاتر از آن مایع کردن گاز مرده نظر در شرایط غیر معمولی ممکن است. Dalton's law of partial pressures (بخش ۱۰-۱۵) اشاره کار مخلوط از گازها که با یکدیگر و اکتشش شیمیایی نمی‌دهند، برای است با مجموع فشارهای چیزی تمام گازهای موجود در نمونه. Gay - Lussac's law of combining volumes (بخش ۱۰-۱۶) در فشار و میان ثابت، بین حجم گازهای مصرف شده با نویشندگان در یک واکنش شیمیایی، نسبتی که معرفت است. Graham's law of effusion (بخش ۱۰-۱۷) سرعت نفوذ یک گاز با چند چگالی آن با چند وزن مولکولی آن نسبت معکوس دارد.

رسیله جزئی از مخلوط گازها در صورتی که حجم مورد نظر فقط به وسیله آن جزء اشغال شده بود.

Pascal پاسکال (بخش ۱۰ - ۱)، واحد SI برای فشار، برابر با نیوی یک نیوون که برابر با 1 kg/m^2 است) برای مترباری است.

Pressure فشار (بخش ۱۰ - ۱)، بیرون واحد سطح Root-mean square speed جذر میانگین مجدول سرعت (بخش ۱۰ - ۱۱)، جذر میانگین مجدول سرعت های مولکولی.

Standard temperature and pressure, STP دما و فشار استاندارد (بخش ۱۰ - ۵)، دمای 0°C (که 273 K است) و فشار 1 atm .

STP mol volume حجم مولی STP (بخش ۱۰ - ۸)، حجم یک مول از گاز در دما و فشار استاندارد برابر با 22412 L است.

حجم یک مول از گاز که برابر است با فشاری که ستونی از جویه به ارتفاع 1 mm را نگاه می کند، 1 torr است.

vander Waals equation معادله van der Waals مسادله وان در وال (بخش ۱۲ - ۱۳)،

مسعادله ای برای بیان حالت گازها، فرم اصلی این معادله $p = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V^2}$ که در آن a جاذبه های بین مولکولی و b حجم سوکولکی سولونکول های آن گاز به حساب آمدیده است.

برای سایر مقادیر R بینید. **Ideal gas law** و حجم، V ، نمونه ای از گاز برابر است با عده مول های گاز، یعنی n . ضرب در بابت گاز ایده آل، R ، ضرب در دمای مطلق، T ، $PV = nRT$.

Kelvin temperature میزان دمای گلوبن (بخش ۱۰ - ۳)، مقایس دمای مطلق که در آن از راه درجه سلسیوس با 5°C جمیع می شوند.

Maxwell distribution توزیع ماسکول - بولتزمان (بخش ۱۰ - ۱)، شکوه توزیع ارزی جنسیت با سرعت های مولکولی در میان مولکول های یک گاز.

Mean free path پویش آزاد متوسط (بخش ۱۰ - ۱)، فاصله میانگین که یک مولکول در فاصله زمانی بین در برخورد با سایر مولکول ها طی می کند.

Mole fraction, X کسر مولی، مولی چیزی که نسبت عدد مول های یک جزو در یک مخلوط به عده کل مول ها در مخلوط.

Partial pressure فشار جزئی (بخش ۱۰ - ۱)، فشار اعمال شده به

مسائل

منشود؟ (ب) در چه دمایی (بر حسب ${}^\circ\text{C}$) فشار به 1 atm می رسید؟ (ج)

در چه دمایی (بر حسب ${}^\circ\text{C}$) فشار 46 kPa خواهد شد؟

۱۰ - ۴ - یک دمایست کاری حاوی 25°C گاز در دمای 0°C و فشار 1 atm است. در صورتی که فشار در 1 atm باقی بماند در ازای هر درجه سلسیوس افزایش مقدار دارد. مقدار میانی بین 0°C و 25°C تابعی از

فشار است. فشاری که برای اندامزه گیری شماره ای بین نهایت که به گاز می رسد، فرض کنید نمونه ای با حجم 250 mL از یک گاز از

یک سیستم کم فشار به داخل فشار این مکانو تا حجم 525 mL در 35°C مترکشیده و فشار نمونه ای با 355 atm رسیده است. فشار گاز در این سیستم چقدر است؟

قانون گاز ایده آل

۱۱ - ۱ جدول زیر را که به نمونه های از یک گاز ایده آل مربوط است کامل کنید.

دما	مول	حجم	فشار
T	n	V	P
100°C	۱۵۰ mol	-	2 atm
100°K	-	1 L	2 atm
-	1 mol	50 mL	240 atm
75°C	2 mol	125 L	-

۱۲ - جدول زیر را که به نمونه های از یک گاز ایده آل مربوط است کامل کنید.

دما	مول	حجم	فشار
T	n	V	P
120°C	* mol	-	40 atm
6°C	-	325 mL	1.5 atm
2°C	3.5 mol	40 L	-
-	2.5 mol	242 L	26 atm

۱۳ - مسئله کلی تر با علامت * مشخص شده است. پاسخ مسائل فرد در پیوست آخر کتاب آمده است.

قوانين گازهای ساده
۱۰ - ۱ قوانین ذیر را تعریف کنید: (الف) قانون بولیل؛ (ب) قانون شارل؛ (ج) قانون آمونتون.

۱۰ - ۲ در هر چیز از زیوج متفهرهای زیر، کدامیک از اندازه گیری های یک گاز ایده آل مربوط می شود؟ (الف) نمودار تقریبی چونوگی تغییر یکی از

این مقاییر را با مقدار دیگر نشان دهد؛ (الف) P نسبت به V در دمای ثابت؛ (ب) T نسبت به V در فشار ثابت؛ (ج) P نسبت به T در حجم ثابت؛ (د) PV نسبت به V در دمای ثابت.

۱۰ - ۳ چه مقدار یک نمونه گاز در فشار 1 atm غرق 500 mL برابر با 1 atm می شود؟ (الف) حجم این نمونه در فشار 1 atm چقدر است؟ (ب) فشار نمونه ای با حجم 500 mL چقدر است؟

۱۰ - ۴ - چه مقدار یک نمونه گاز در فشار 1 atm غرق 1 L برابر با 1 atm است. فرض کنید دما ثابت باشد. (الف) حجم این نمونه در فشار 1 atm چقدر است؟ (ب) فشار نمونه ای با حجم 1 L چقدر است؟

۱۰ - ۵ - چه مقدار یک نمونه گاز در 20°C در 2 L برابر با 1 atm است. فرض کنید فشار ثابت باشد. (الف) حجم این گاز در 0°C چقدر است؟ (ب) در چه دمایی (بر حسب ${}^\circ\text{C}$) حجم این گاز خواهد شد؟ (ج) درجه دمایی (بر حسب ${}^\circ\text{C}$) حجم این گاز خواهد شد؟

۱۰ - ۶ - چه حجم نمونه گاز در 136 mL در 25°C است. فرض کنید فشار ثابت باشد. (الف) حجم این گاز در 0°C چقدر است؟ (ب) در چه دمایی (بر حسب ${}^\circ\text{C}$) حجم گاز خواهد شد؟ (ج) در چه دمایی (بر حسب ${}^\circ\text{C}$) حجم این گاز خواهد شد؟

۱۰ - ۷ - فشری فشار 1 atm در 20°C با یک گاز پر شده است. (الف)

در صورتی که این طرف سرسته را تا دمای 25°C گرم کنیم فشار آن چقدر می شود؟ (د) در چه دمایی (بر حسب ${}^\circ\text{C}$) فشار 1 atm در 20°C می رسد؟ (ج) در

چه دمایی (بر حسب ${}^\circ\text{C}$) فشار 1 atm در 20°C با یک گاز پر شده است. (الف)

در صورتی که این طرف سرسته را تا دمای 20°C گرم کنیم فشار آن چقدر در



در صورتی که حجم تمام گازها در شرایط پیکاسن دما و فشار اندازه‌گیری شده باشد، حجم تمام مواد موجود در پایان واکنش را نتویسید.
 ۱۰ - از واکنش $\text{N}_2\text{O}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow \text{NO}(\text{g}) + \text{NO}_2(\text{g})$ در مجاورت کاتالیزور می‌باشد، حجم تمام گازها در شرایط دما و فشار پیکاسن اندازه‌گیری شده باشد، حجم تمام مواد موجود در پایان واکنش را نتویسید.

اگر حجم تمام گازها در شرایط دما و فشار پیکاسن اندازه‌گیری شده باشد، حجم تمام مواد موجود در پایان واکنش را نتویسید.
 ۱۱ - از واکنش $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{F}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{NF}_3(\text{g})$ به دست می‌آید. (الف) معادله شیمیایی این واکنش را نتویسید:
 (ب) برای تهیه 50 mL $\text{NO}_2(\text{g})$ چند میلی‌لیتر $\text{NH}_3(\text{g})$ و $\text{F}_2(\text{g})$ مورد نیاز است. در صورتی که پارالاند واکنش 50% پاشد، فرض کنید تمام گازها در شرایط دما و فشار پیکاسن اندازه‌گیری شده‌اند.
 ۱۲ - از واکنش $\text{SF}_6(\text{g}) + \text{SO}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{SO}_3\text{F}_5(\text{g})$ در 0°C و 1 atm تولید می‌شود. (الف) معادله شیمیایی این واکنش را نتویسید؛ (ب) برای تهیه 50 mL $\text{SO}_3\text{F}_5(\text{g})$ چند میلی‌لیتر $\text{SF}_6(\text{g})$ و $\text{SO}_2(\text{g})$ مورد نیاز است، در صورتی که پارالاند واکنش 40% پاشد، فرض کنید تمام گازها در شرایط دما و فشار پیکاسن اندازه‌گیری شده‌اند.

۱۳ - با استفاده از اصل اوپگارو زن مولکولی گازی را که چگالی آن در 10°C و 1 atm است تعریف کنید.
 ۱۴ - با استفاده از اصل اوپگارو زن مولکولی گازی در 20°C و 1 atm در 10°C و 1 atm است تعیین کنید.
 ۱۵ - با استفاده از اصل اوپگارو زن چگالی $\text{SF}_6(\text{g})$ را در 20°C و 1 atm در 10°C و 1 atm است تعیین کنید.
 ۱۶ - با استفاده از اصل اوپگارو زن مولکولی گازی را که چگالی آن در 10°C و 1 atm است تعیین کنید.

۱۷ - با استفاده از اصل اوپگارو زن مولکولی گازی را که چگالی آن در 10°C و 1 atm است تعیین کنید.
 ۱۸ - براساس استاندارهای بین‌المللی، مقدار جیاز (g) $\text{SO}_2(\text{g})$ در هوا $8\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ است. یک متر مکعب برایر $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$ است. (الف) این مقدار $\text{SO}_2(\text{g})$ معادل چند گرم است؟ (ب) مند مول $\text{SO}_2(\text{g})$ است چند گرم؟ (ج) شناس جزوی $\text{SO}_2(\text{g})$ در 20°C در 1 atm برای 50 mL $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ فرض کنید حجم تمام گازها در شرایط دما و فشار پیکاسن هستند؟
 درصد شمارک مولکول‌های هوای مولکول‌های H_2O هستند؟
 ۱۹ - با استاندارهای بین‌المللی، مقدار جیاز (g) $\text{CO}(\text{g})$ در هوا $100\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ است. یک متر مکعب برایر $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$ است. (الف) با توجه به این استاندارهای کوکس شناس شمار جزوی $\text{CO}(\text{g})$ در هوا در 20°C و 1 atm است. (ب) در $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$ از هوا چند مولکول CO وجود خواهد داشت؟ (ج) چند درصد شمارک مولکول‌های هوای مولکول‌های CO هستند؟

استوکیومتری و مقادیر حجمی گازها

۱۰ - از واکنش کلسیم هیدرید و $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ تولید می‌شود. (الف) معادله شیمیایی این واکنش را نتویسید.
 (ب) برای تهیه 1 mol $\text{Ca}(\text{OH})_2$ در 20°C و 1 atm چند گرم $\text{Ca}(\text{OH})_2$ مورد نیاز است؟
 ۱۱ - از واکنش $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow \text{Ca}(\text{OH})_3$ (الف) معادله شیمیایی این واکنش را نتویسید؛ (ب) برای تهیه 1 mol $\text{Ca}(\text{OH})_3$ در 20°C و 1 atm چند گرم $\text{Ca}(\text{OH})_2$ مورد نیاز است؟
 ۱۲ - مقایسه کنید.

۱۳ - از واکنش آلومنیم کاربید، $\text{Al}_3\text{C}_2(\text{s})$ با آب، گاز مانان، $\text{CH}_4(\text{g})$ و $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ تولید می‌شود. (الف) معادله شیمیایی این واکنش را نتویسید.
 (ب) از واکنش $2\text{ Al}(\text{OH})_3 + 6\text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow 2\text{ Al}_3\text{O}(\text{g}) + 3\text{ H}_2\text{O}(\text{l})$ در 20°C و 1 atm حجم تمام گازها در شرایط پیکاسن اندازه‌گیری شده است.
 ۱۴ - از واکنش $2\text{ Al}(\text{OH})_3 + 6\text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow 2\text{ Al}_3\text{O}(\text{g}) + 3\text{ H}_2\text{O}(\text{l})$ در 20°C و 1 atm حجم تمام گازها در شرایط دما و فشار پیکاسن اندازه‌گیری شده است. این مواد بر اساس واکنش زیر یا هم ترکیب می‌شوند:

۱۵ - $\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow 4\text{ NO}(\text{g}) + 4\text{ H}_2\text{O}(\text{l})$ در 20°C و 1 atm حجم تمام گازها در شرایط پیکاسن اندازه‌گیری شده است. این مواد بر اساس واکنش زیر یا هم ترکیب می‌شوند:

۱۶ - $\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow 4\text{ NO}(\text{g}) + 4\text{ H}_2\text{O}(\text{l})$ در 20°C و 1 atm حجم تمام گازها در شرایط پیکاسن اندازه‌گیری شده است. در چه دمای ابر حسب 20°C این نمونه تحت فشار آن در 20°C و 1 atm را شفال خواهد کرد؟

۱۷ - $\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow 4\text{ NO}(\text{g}) + 4\text{ H}_2\text{O}(\text{l})$ در 20°C و 1 atm حجم تمام گازها در شرایط پیکاسن اندازه‌گیری شده است. در صورتی که حجم این گاز در 20°C و 1 atm باشد فشار آن در 20°C چقدر است؟

۱۸ - $\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow 4\text{ NO}(\text{g}) + 4\text{ H}_2\text{O}(\text{l})$ در 20°C و 1 atm چه حجم را شفال خواهد کرد؟

۱۹ - $\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow 4\text{ NO}(\text{g}) + 4\text{ H}_2\text{O}(\text{l})$ در 20°C و 1 atm چه حجم را شفال خواهد کرد؟

۲۰ - $\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow 4\text{ NO}(\text{g}) + 4\text{ H}_2\text{O}(\text{l})$ در 20°C و 1 atm چه حجم را شفال خواهد کرد؟

۲۱ - $\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow 4\text{ NO}(\text{g}) + 4\text{ H}_2\text{O}(\text{l})$ در 20°C و 1 atm چقدر است؟

۲۲ - $\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow 4\text{ NO}(\text{g}) + 4\text{ H}_2\text{O}(\text{l})$ در 20°C و 1 atm چقدر است؟

۲۳ - $\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow 4\text{ NO}(\text{g}) + 4\text{ H}_2\text{O}(\text{l})$ در 20°C و 1 atm چقدر است؟

۲۴ - $\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow 4\text{ NO}(\text{g}) + 4\text{ H}_2\text{O}(\text{l})$ در 20°C و 1 atm چقدر است؟

۲۵ - $\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow 4\text{ NO}(\text{g}) + 4\text{ H}_2\text{O}(\text{l})$ در 20°C و 1 atm چقدر است؟

۲۶ - $\text{N}_2(\text{g}) + 6\text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow 4\text{ NO}(\text{g}) + 4\text{ H}_2\text{O}(\text{l})$ در 20°C و 1 atm چقدر است؟

۲۷ - $2\text{ CH}_4(\text{g}) + 2\text{ NO}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{ HCN}(\text{g}) + 6\text{ H}_2\text{O}(\text{g})$ در 20°C و 1 atm برای تهیه 1 mol $\text{HCN}(\text{g})$ از 2 mol $\text{CH}_4(\text{g})$ و 2 mol $\text{NO}_2(\text{g})$ است. در مطری بگیرید، اگر را 20°C و 1 atm باشد شود؟

۲۸ - $2\text{ CH}_4(\text{g}) + 2\text{ NO}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{ HCN}(\text{g}) + 6\text{ H}_2\text{O}(\text{g})$ در 20°C و 1 atm برای تهیه 1 mol $\text{HCN}(\text{g})$ از 2 mol $\text{CH}_4(\text{g})$ و 2 mol $\text{NO}_2(\text{g})$ است. چگالی $\text{CH}_4(\text{g})$ از 20°C و 1 atm باشد شود؟ فرض کنید حجم تمام گازها در شرایط دما و فشار پیکاسن اندازه‌گیری شده است.

۲۹ - $2\text{ NH}_3(\text{g}) + \text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow \text{ NH}_4\text{OH}(\text{g})$ در 20°C و 1 atm برای تهیه 1 mol $\text{NH}_4\text{OH}(\text{g})$ از 2 mol $\text{NH}_3(\text{g})$ است. (الف) معادله شیمیایی این واکنش را نتویسید؛ (ب) از 2 mol $\text{NH}_3(\text{g})$ در 20°C و 1 atm چند گرم $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ مورد نیاز است. (ج) شناس جزوی $\text{NH}_4\text{OH}(\text{g})$ از 20°C و 1 atm چقدر است؟

۳۰ - $2\text{ NH}_3(\text{g}) + \text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow \text{ NH}_4\text{OH}(\text{g})$ در 20°C و 1 atm برای تهیه 1 mol $\text{NH}_4\text{OH}(\text{g})$ از 2 mol $\text{NH}_3(\text{g})$ است. (الف) معادله شیمیایی این واکنش را نتویسید؛ (ب) از 2 mol $\text{NH}_3(\text{g})$ در 20°C و 1 atm چند گرم $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ مورد نیاز است. (ج) شناس جزوی $\text{NH}_4\text{OH}(\text{g})$ از 20°C و 1 atm چقدر است؟

۳۱ - $2\text{ NH}_3(\text{g}) + \text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow \text{ NH}_4\text{OH}(\text{g})$ در 20°C و 1 atm برای تهیه 1 mol $\text{NH}_4\text{OH}(\text{g})$ از 2 mol $\text{NH}_3(\text{g})$ است. (الف) معادله شیمیایی این واکنش را نتویسید؛ (ب) از 2 mol $\text{NH}_3(\text{g})$ در 20°C و 1 atm چند گرم $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ مورد نیاز است. (ج) شناس جزوی $\text{NH}_4\text{OH}(\text{g})$ از 20°C و 1 atm چقدر است؟

۳۲ - $2\text{ NH}_3(\text{g}) + \text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow \text{ NH}_4\text{OH}(\text{g})$ در 20°C و 1 atm برای تهیه 1 mol $\text{NH}_4\text{OH}(\text{g})$ از 2 mol $\text{NH}_3(\text{g})$ است. (الف) معادله شیمیایی این واکنش را نتویسید؛ (ب) از 2 mol $\text{NH}_3(\text{g})$ در 20°C و 1 atm چند گرم $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ مورد نیاز است. (ج) شناس جزوی $\text{NH}_4\text{OH}(\text{g})$ از 20°C و 1 atm چقدر است؟

۳۳ - $2\text{ NH}_3(\text{g}) + \text{ H}_2\text{O}(\text{g}) \longrightarrow \text{ NH}_4\text{OH}(\text{g})$ در 20°C و 1 atm برای تهیه 1 mol $\text{NH}_4\text{OH}(\text{g})$ از 2 mol $\text{NH}_3(\text{g})$ است. (الف) معادله شیمیایی این واکنش را نتویسید؛ (ب) از 2 mol $\text{NH}_3(\text{g})$ در 20°C و 1 atm چند گرم $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ مورد نیاز است. (ج) شناس جزوی $\text{NH}_4\text{OH}(\text{g})$ از 20°C و 1 atm چقدر است؟

- گرم از هر یک از گازها وجود دارد؟
۱۰ فشار جزئی (g) و Ne(g) در مخلوطی از این دو گاز به ترتیب، 220 atm و 75 atm است. (الف) کسر مولی یک از این گازها در مخلوط چقدر است؟ (ب) اگر این مخلوط در ${}^{\circ}\text{C}$ حجم 1 L را اشغال کند شمارکل مولهای گاز در این مخلوط چقدر است؟ (ج) در این مخلوط چند گرم از هر یک از گازها وجود دارد؟
- ۱۰ نمونه ای از یک گاز در ${}^{\circ}\text{C}$ بر روی آن جمع آوری شده و فشار آن 1 atm است. اگر این گاز در 100 C و فشار 1 atm خشک شود چه جرم را اشغال خواهد کرد؟
- ۱۰ نمونه ای از یک گاز در ${}^{\circ}\text{C}$ بر روی آن جمع آوری شده و فشار آن 983 atm است. اگر این گاز را خشک کرده و در یک ظرف 27 C در 75 mL جای دهم، فشار آن چقدر خواهد شد؟
- ۱۰ 5 g نمونه ای از یک گاز در ${}^{\circ}\text{C}$ بر روی آب جمع آوری شده حجم 100 mL را اشغال می کند. فشار این مطروب 1 atm است. هنگامی که این نمونه گاز در 21 C خشک شود حجم 56 mL را اشغال کرده و فشار آن 1 atm است. فشار بخار آب در 5°C چقدر است؟
- ۱۰ 58 g نمونه ای از یک گاز در ${}^{\circ}\text{C}$ بر روی آب جمع آوری شده سه برابر 15 g نمونه ای از یک گاز در 21 C خشک شود. فشار مولکولی آن 125 K در 1 atm است. فشار بخار آب در 75°C چقدر است؟
- نظیری چیستی گازها، قانون گرامام**
- ۱۰ 5 g چند میانگین مجدول سرعت برای مولکول (g)_p در ${}^{\circ}\text{K}$ و 500 K چقدر است؟
- ۱۰ 6 g چند میانگین مجدول سرعت برای مولکول (g)_p در 125 K و 50 K چقدر است؟
- ۱۰ 61 g در چه میانی چند میانگین مجدول سرعت مولکول (g)_p مساوی چند میانگین مجدول سرعت مولکول (g)_p در 21 C است؟
- ۱۰ 62 g در چه میانی چند میانگین مجدول سرعت مولکول (g)_p مساوی چند میانگین مجدول سرعت مولکول (g)_p در 400 K است؟
- ۱۰ 63 g سرعت نفوذ مولکولی (g) را با $N_{\text{A}}\text{ O(g)}$ مقایسه کنید.
- ۱۰ 64 g سرعت نفوذ مولکولی (g) را با $\text{Cl}_{\text{p}}(\text{g})$ در شرایط یکسان مقایسه کنید.
- ۱۰ 65 g سرعت نفوذ مولکولی (g) را با $\text{Cl}_{\text{p}}(\text{g})$ در شرایط یکسان مقایسه کنید.
- ۱۰ 65 g سرعت نفوذ مولکولی (g) را با $\text{Cl}_{\text{p}}(\text{g})$ در 25 C و 1 atm برای $27\text{ g}/\text{l}$ است. سرعت نفوذ مولکولی (g) را با $\text{Cl}_{\text{p}}(\text{g})$ در 25 C و 1 atm برای $1\text{ g}/\text{l}$ است. (الف) چگالی $N_{\text{A}}\text{ O(g)}$ از یک گاز که سرعت نفوذ مولکولی آن از همان مانع در همان شرایط $8\text{ g}/\text{atm}$ است چقدر است؟ (ب) وزن مولکولی این گاز چقدر است؟
- ۱۰ 68 g چگالی X در 25 C و 1 atm برای $1\text{ g}/\text{l}$ است.
- ۱۰ 69 g از یک مانع عبور می کند. سرعت نفوذ مولکولی گاز Y از همان مانع در همان شرایط $2\text{ g}/\text{atm}$ است. (الف) چگالی X را در شرایط یکسانگاهی حسابی کنید. (ب) وزن مولکولی گاز X چقدر است؟
- ۱۰ 70 g در سرعت که حجم معین از یک گاز در 20°C و 1 atm باشد، عبور می کند و همان حجم اکسیژن، در همان دما و نثار در 34°C دفعه ای از مانع پگرده چگالی گاز مردود نظر چقدر است؟
- ۱۰ 71 g اگر حجم معین از یک گاز در ${}^{\circ}\text{C}$ در همان دما و نثار در 219 K از مانع بگذرد، با استفاده از قانون گرامام وزن مولکولی این گاز را حسابی کنید.
- تولید می شود. (الف) معادله شیمیایی این واکنش را پیوندیسد: (ب) از واکنش $\text{g} + \text{NH}_3(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ در 20°C در 5 atm به دست خواهد آمد؟
- ۱۰ 72 g از واکنش (g) و $\text{F}_2(\text{g})$ در مجاورات اندازه گیری شده $\text{NF}_3(\text{g})$ و $\text{HF}(\text{g})$ و $\text{NO}(\text{g})$ (ب) بازده نظری $\text{NF}_3(\text{g})$ در واکنش $\text{H}_2\text{O(g)}$ که mL تام گازها در STP تولید می شود: (ب) بازده نظری $\text{NF}_3(\text{g})$ به کار می رود چقدر است؟ فرض کنید تمام گازها در STP تولید می شوند.
- ۱۰ 73 g اگر قابل اشتغال $\text{C}_2\text{N}_2(\text{g})$ با $\text{NO}(\text{g})$ و $\text{HCN}(\text{g})$ به دست خواهد آمد. این گاز را مواد ایمن از $\text{NO}(\text{g})$ و $\text{HCN}(\text{g})$ به تهیه کرد. فراوردهای این و واکنش کاتالیز شده تراکاگازی بین $(\text{H}_2\text{O(g)})$ و $\text{NO}_2(\text{g})$ (الف) مساده شیمیایی این و واکنش را پیوندیسد: (ب) بازده نظری $\text{C}_2\text{N}_2(\text{g})$ (بر حسب گرم) در $\text{NO}(\text{g})$ و $\text{HCN}(\text{g})$ و $\text{CO}_2(\text{g})$ و $\text{H}_2\text{O(g)}$ به کار می رود چقدر است؟ فرض کنید تمام گازها در STP تولید می شوند.
- ۱۰ 74 g برای سوختن 12 mL از یک ترکیب گازی که فقط شامل C و $\text{H}_2\text{O(g)}$ است، سودره سیاست $\text{O}_2(\text{g})$ و 900 mL است. تمام اندازه گیری های گازی در STP صورت گرفته است. (الف) شامارمولهای را که از مواد دریگیر در این و واکنش را محاسبه کنید، (ب) با استفاده از پاسخ های خود در قسمت (الف) ضرایب عددی مساده شیمیایی این و واکنش را تعیین کنید؟ (ج) فرمول این هیدروکربن را تعیین کرده و مسادله و واکنش را پیوندیسد.
- ۱۰ 75 g برای سوختن 125 mL از یک ترکیب گازی که فقط شامل C و $\text{H}_2\text{O(g)}$ است، سودره سیاست $\text{O}_2(\text{g})$ و 75 mL است. تمام اندازه گیری های گازی در STP صورت گرفته است. (الف) شامارمولهای را که از مواد دریگیر در این و واکنش را محاسبه کنید، (ب) با استفاده از پاسخ های خود در قسمت (الف) ضرایب عددی مساده شیمیایی این و واکنش را تعیین کنید؟ (ج) فرمول این هیدروکربن را تعیین کرده و مسادله و واکنش را پیوندیسد.
- ۱۰ 76 g متزیزیم Al و MgO به محلول اسیدها ترکیب شده و گاز هیدروژن بدست می گیرد. به دست می گیرد:
- $$\text{Mg(s)} + 2\text{ H}^{+}(\text{aq}) \longrightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{Mg}^{2+}(\text{aq})$$
- $$2\text{ Al(s)} + 6\text{ H}^{+}(\text{aq}) \longrightarrow 3\text{ H}_2(\text{g}) + 2\text{ Al}^{3+}(\text{aq})$$
- از واکنش 6 g نمونه ای از یک آبیاز Mg و Al با یک اسید 12 g گاز H_2 تولید شده است. چند درصد این آبیاز Al است؟
- ۱۰ 5 g روی Al ایونیم با محلول اسیدها ترکیب شده و گاز هیدروژن به دست می گیرد:
- $$\text{Zn(s)} + 2\text{ H}^{+}(\text{aq}) \longrightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$$
- $$2\text{ Al(s)} + 6\text{ H}^{+}(\text{aq}) \longrightarrow 3\text{ H}_2(\text{g}) + 2\text{ Al}^{3+}(\text{aq})$$
- از واکنش 6 g نمونه ای از یک آبیاز Zn و Al با یک اسید 12 g گاز H_2 تولید شده است. چند درصد این آبیاز Zn است؟
- قانون فشار جزئی دالتون**
- ۱۰ 51 g مخلوطی از $\text{O}_2(\text{g})$ و $\text{N}_2(\text{g})$ و $g\text{ g}$ $\text{O}_3(\text{g})$ دارای نثار $\text{N}_2\text{O(g)}$ است. فشار جزئی هر یک از این گازها چقدر است؟
- ۱۰ 52 g مخلوطی از NO(g) و 56 g $\text{O}_2(\text{g})$ دارای نثار NO(g) است. فشار جزئی هر یک از این گازها چقدر است؟
- ۱۰ 53 g $\text{CH}_4(\text{g})$ و $\text{CH}_3\text{Cl(g)}$ دارای نثار $\text{CH}_3\text{Cl(g)}$ است. (الف) کسر مولی یک از این گازها به ترتیب، 0.25 atm و 0.5 atm است. (الف) کسر مولی یک از این گازها در مخلوط چقدر است؟ (ب) اگر این مخلوط در 20°C حجم 77 mL را اشغال کند شمارکل مولهای گاز در این مخلوط چقدر است؟ (ج) در این مخلوط چند

گازهای حقیقی

- ۱۰ - در دمای بالاتر از 5°C NO_2 (g) تجزیه شده نیتروزن اکسید، (g) N_2O_4 (g) و نیتروزن دی اکسید، (g) NO_3 (g) سولید می‌کند.
- (الف) معادله شیمیایی این واکنش را بنویسید: (ب) در مجموع چه حجم گاز از NO_2 (g) 15 mol در 20°C 15 atm به دست می‌آید؟ فرض کنید که تمام گازها در شرایط انداره‌گیری شده‌اند: (ج) فشار جزوی (N_2O_4) و NO_3 (g) در این محلول گازی چقدر است؟
- ۱۱ - از سوختن کامل اکتان، کربن دی‌کسید و آب به دست می‌آید:
- $$2 \text{C}_8\text{H}_{18}(\text{g}) + 25 \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 16 \text{CO}_2(\text{g}) + 18 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$$
- از سوختن کامل 50 g اکتان، C_8H_{18} (g) در دمای 45°C در فشار 1 atm چه حجم گاز از بر دست می‌آید؟
- ۱۲ - پک گاز در 100°C 10 mol H_2O (g) فقط شامل C است. 100 mL CO_2 (g) انداره‌گیری شده در H_2O (g) 10 atm به دست 50°C در 5 mol NH_3 (g) محبوس شده در فرومول آمونیاک در 5 atm به دست 156 mL H_2 (g) را می‌خواهد. در یک مدل انتقالی کار انداره‌گیری شده است:
- $$\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \longrightarrow 2 \text{NO}_2(\text{g})$$
- مخالوط حاصل از این تناکیک NO_2 (g) N_2O_4 (g) در فشار کل 1 atm در 95°C را اشغال می‌کند. (الف) با استفاده از معادله حالت شمار کل مول‌های گازی موجود را پیدا کنید: (ب) شمار مول‌های N_2O_4 (g) تناکیک شده را بروزراز NO_2 (g) به دست آوردید: (ج) شمار مول‌های N_2O_4 (g) NO_3 (g) را به دست آورید: (د) کسر مولی N_2O_4 (g) این محلول چقدر است؟
- ۱۳ - نمودارهای تقریبی زیر را برای مجموعه‌ای از مولکول‌ها رسم کنید: (الف) توزیع سرعت مولکولی در دمای متفاوت؛ (ب) توزیع ابرویی مولکولی.
- ۱۴ - (الف) فرض‌های مربوط به نظریه جنیس گازهای را بنویسید. (ب) علت انحراف رفتار گازهای حقیقی نسبت به گازهای ایده‌آل چیست؟
- ۱۵ - (الف) CO (g) را در دمای 25°C در نظر بگیرید. در فشار 1 atm 75 mol CO (g) 75 L حجم این مونته 24 L است. در 1 atm 8 mol CO (g) را در دمای 53°C در نظر بگیرید. در این دو فشار چقدر است؟
- ۱۶ - انتقال دارد کدامیک از گازهای ذهنست شده در مدول ۱۰ - ۴ -
- (الف) دارای پیشترین دمای بحرانی باشد؟ (ب) پیشتر از قانون گاز ایده‌آل پیروی کنند؟ (ج) دارای کمترین دمای بحرانی باشد؟ (د) پیشترین حجم مولکولی را داشته باشد؟
- ۱۷ - پیشترین نیتروزهای این مولکولی را داشته باشد؟
- ۱۸ - پیشترین پیش‌بینی‌های خود دلیل بیاورید.
- ۱۹ - شمار اعمال شده به وسیله 1 mol O_2 (g) محبوس شده در 1 atm در 100°C (الف) با قانون گاز ایده‌آل: (ب) با معادله واندروالس به دست آورید: (ج) تابیخ را محاسبه کنید.
- ۲۰ - 1 mol CO_2 (g) 1 atm در دمای 100°C را (الف) با قانون گاز ایده‌آل: (ب) با معادله واندروالس به دست آورید: (ج) تابیخ را مقایسه کنید.
- ۲۱ - 1 mol O_2 (g) 1 atm در دمای 100°C را (الف) با قانون گاز ایده‌آل: (ب) با معادله واندروالس به دست آورید: (ج) تابیخ را بکار گیر و با تابیخ مسئله ۲۳ - مقایسه کنید.
- ۲۲ - 1 mol O_2 (g) 1 atm در دمای 100°C را (الف) با قانون گاز ایده‌آل: (ب) با معادله واندروالس به دست آورید: (ج) تابیخ را بکار گیر و با تابیخ مسئله ۲۳ - مقایسه کنید.
- ۲۳ - 1 mol O_2 (g) 1 atm در دمای 100°C را (الف) با قانون گاز ایده‌آل: (ب) با معادله واندروالس به دست آورید: (ج) تابیخ را بکار گیر و با تابیخ مسئله ۲۳ - مقایسه کنید.
- ۲۴ - (الف) با استفاده از ثابت واندروالس، b ، برای CO_2 (g) 427 L/mol حجم مولکول CO_2 (g) (بر حسب لیتر) را محاسبه کنید: (ب) در 1 atm ، پیشترین حجم کل CO_2 (g) را حجم مولکولی تشکیل می‌دهند؟
- ۲۵ - 1 mol مقدار ثابت واندروالس، b ، برای $\text{Kr}(g)$ 398 L/mol است. با استفاده از این مقدار شاعع اتم کریپتون را محاسبه کنید.
- مسئلۀ طبقه‌بندی نشده
- ۷۹ - یک مغزون 1 mol لیتری با هلیم پر شده و فشار آن به 15 atm رسیده است. با هلیم موجود در این مغزون چند بال اسیاب بازی 1 L لیتری را در فشار 1 atm 1 mol توان پر کرد. فرض کنید دما تغییر نکند. توجه داشته باشید که فشار مغزون را نمی‌توان پایین‌تر از 1 atm افزایش داد.

مایعات و جامدات

انرژی چنیشی مولکول‌های گاز با پایین آمدن دما کاهش می‌یابد. درنتیجه، اگر گاز به قدر کافی سرد شود، نیروهای چاذهه بین مولکولی سبب می‌شود که مولکول‌ها متراکم شده و به مایع تبدیل شوند. در مایع مولکول‌ها به هم‌دیگر نزدیک‌ترند و نیروی چاذهه بین آنها پیشرفت از حالت گاز است. به این ترتیب حرکت مولکولی در حالت مایع محدودتر از حالت گازی است.

سردکردن پیشرفت از چنیشی مولکول‌ها را در پی دارد و سرواجام منجمد می‌شود. در یک جامد پلوری، مولکول‌ها در مکان‌هایی از یک شبکه بلور قرار می‌گیرند و حرکات آنها به نوسان در پی رامون این نقطه‌های ثابت محدود می‌شود.

انرژی چنیشی مولکول‌های یک گاز به اندازه‌ای زیاد است که می‌توان در تکوین نظریه بلبل قبولی برای گازهای، نقش نیروهای چاذهه بین مولکولی را حاصل در نظر گرفت. انرژی چنیشی مولکول‌ها (با یونها) در بلور، به اندازه‌ای ضعیف است که نیروهای چاذهه به آسانی غالب می‌شوند و ساختارهای سیپارا منظم بلوری که با فتون پراش به خوبی شناسایی شده‌اند، به وجود می‌آورند. دانسته‌های ما از حالت مایع که حد واسطه‌یین گاز و جامد است، به اندازه‌ی دو حالت دیگر کامل نیست.

۱-۱ نیروهای چاذهه بین مولکولی

آنها به وسیله پیوندهای کواوائنسی در مولکول‌ها نگهدارشته شده‌اند، اما چه نیروی در حالت‌های جامد و مایع سبب جذب مولکول‌ها به یکدیگر می‌شود؟ چند نوع نیروی چاذهه مولکول‌ها را در کار یکدیگر نگمه‌یاره مجموعه این نیروهای چاذهه بین مولکولی نامند. در این بخش به دو نوع از این نیروها می‌پردازم، و در پیش بعدي با سومین نوع آشنا می‌شومن.

نیروهای چاذهه بین مولکول‌های قطبی وجود دارند. این نوع مولکول‌ها دارای دوقطب هستند و در یک میدان الکتریکی



شکل ۱-۱ چهت‌گیری مولکول‌های قطبی در یک بلور

چهت‌گیری می‌کنند (بخش ۲-۸ را ببینید). نیروهای دوقطبی - دوقطبی، در اثر چاذهه بین قطب‌های مثبت و منفی مولکول‌ها به وجود می‌آیند. شیوه استقرار مولکول‌ها در بلور حاصل از مولکول‌های قطبی یک ماده، بازتاب نیروهای دوقطبی - دوقطبی است (شکل ۱-۱).

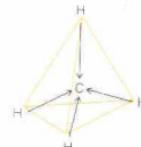
با استفاده از تفاوت الکترونگاتیوی بین اتم‌ها می‌توان درجه قطبیت یک مولکول دو اتمی و همچنین موقعیت قطب‌های مثبت و منفی را پیش‌بینی کرد. پیش‌بینی قطبیت مولکولی که پیش از دو اتم دارد، باید مبتنی بر اطلاعات ساختاری آن مولکول، قطبیت پیوندها، و آرایش زوج الکترون‌های ناپیوندی باشد.

سه مولکول (CH_4 , NH_3 , H_2O) نمایش داده شده در شکل ۱-۱ را در نظر بگیرید. گشاشور دوقطبی یک مولکول نتیجه دوقطبی‌های پیوندی جاذگ‌انه و زوج الکترون‌های ناپیوندی مولکول است. در هر یک از مولکول‌های مرده بحث، اتم مرکزی الکترونگاتیوی از اتم‌های H متصال به آن است. درنتیجه سر منفی دو قطبی هر پیوند به سوی اتم مرکزی قرار دارد، در CH_4 ، آرایش چهار وجهی پیوند قطبی C-H، مولکولی غیرقطبی پیدا ورداده است، پـ CH_3 ، گشاشور دوقطبی ندارد. مرکز بار مثبت مولکول (پـ N توجه به هر چهار پیوند)، در مرکز اتم قرار دارد و بر مرکز بار منفی مولکول منطبق است.

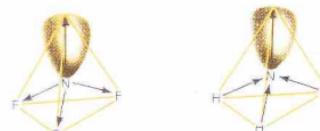
از سوی دیگر، مولکول هرمی می‌شود مثلاً NH_3 ، قطبی است (گشاشور دو قطبی آن 49.9 D است). سه پیوند قطبی و زوج الکترون ناپیوندی چنان آرایش پیدا کرده‌اند که مولکول دارای گشاشوری دوقطبی است که سر منفی آن به سوی رأس هرم مثبت القاعده و سر مثبت آن به سوی قاعده هرم باشد. همین طور مولکول را ویده دار H_3O^+ نیز قطبی است (گشاشور دو قطبی 5.5 D). پیوندهای قطبی و زوج الکترون‌های ناپیوندی، گشاشوری به وجود آورده‌اند که سر منفی آن به سوی اتم اکسیژن و سر مثبت آن بر روی محور نیمساز دو اتم هیدروژن قرار دارد. اثر زوج الکترون ناپیوندی بر گشاشور دو قطبی یک مولکول را در می‌توان دید. ساختار مولکول NF_3 را در ساختار آمونیاک (NH_3) می‌شوند، اما بهجهت قطبیت پیوندها عکس چهت‌گیری پیوندها در NF_3 است. شیوه استقرار F الکترونگاتیوی N -F نزدیک نیز 24 D است که با توجه به قطبیت بالای پیوندهای F-N، کوچک به نظر می‌رسد. نتیجه گشاشور پیوندهای F-N، گشاشوری به مولکول می‌بخشد که سر منفی آن در چهت قاعده هرم قرار دارد، اما گشاشور مربوط به الکترون‌های ناپیوندی



شکل ۴-۱۱ دوقطبی‌های لحظه‌ای



شکل ۱۱-۲- تحلیل قطبیت مولکول‌های متان (CH_4)، آمونیاک (NH_3)، و آب (H_2O). (پیکان‌ها به سوی سرفمنی هر یک از دوقطبی‌های پیدا‌ورزندگشتوار دوقطبی مولکول چهتگیری کرده‌اند.)



شکل ۱۱-۳- مقایسه قطبیت آمونیاک (NH_3) با بتروژن‌تری فلوراید (NF_3). (پیکان‌ها به سوی سرفمنی هر یک از دوقطبی‌های تشکیل دهنده گشتوار (دوقطبی مولکول، چهتگیری کرده‌اند.)

نیتروهاز از حرکت الکترون‌ها سرجشمه می‌گیرند. در یک لحظه، این الکترونی مولکول ممکن است چنان واپسی‌جذبه شود که دوقطبی به وجود آید، یعنی بخشی از مولکول اندکی منفی تر از بقیه مولکول شود. در لحظه بعد موقعیت قطب‌های منفی و مثبت دو قطبی، به علت حرکت الکترون‌ها، متقاومت خواهد بود. در یک فاصله زمانی (فاصله زمانی بسیار کوتاه، زیرا الکترون‌ها به تندی در حرکت‌اند)، اثر این دوقطبی‌های لحظه‌ای چنان حذف می‌شود که مولکول غیرقطبی فاقد گشتوار دو قطبی و ائمی می‌گردد.

اماً دو قطبی لحظه‌ای در حال تغییر یک مولکول، دو قطبی‌هایی در مولکول‌های پیرامون پیغامون به وجود می‌آورد (یعنی دو قطبی‌هایی که مانند دوقطبی‌های داشته‌اند). حرکت الکترون‌ها در مولکول‌های همسایه، هم‌زمان شده است (شکل ۱۱-۳ - را ببینید). نیترو لندن نیتروی جاذبه بین این دو قطبی‌های لحظه‌ای است. قوی ترین نیتروهای لندن در بین مولکول‌های بزرگ و پیچیده‌ای وجود دارد که دارای ابرهای الکترونی بزرگ هستند که به آسانی واپسی‌جذبه، یا قطبیاتی مشوون.

چون تمام مولکول‌ها الکترون دارند، در بین مولکول‌های قطبی نیز نیتروهای لندن نیز وجود دارند. در صورت مولکول‌های ماد غیرقطبی، نیتروهای لندن تنها نیتروهای بین مولکولی موجود هستند. مانع این که در جدول ۱۱-۱ می‌بینید بینانگ این واقعیت است که نیتروهای اندن عمدتاً ترین نیتروهای بین مولکولی برای اغلب مواد مولکولی اند. بینند هیدروژنی، نوع ویژه‌ای از برهمکنش دوقطبی - دوقطبی که در بخش بعدی به سراغ آن می‌رومیم، سبب بزرگی انرژی دوقطبی - دوقطبی که برای O_2 و H_2O ، و (تا اندازه‌ای) HCl آورده‌اند.

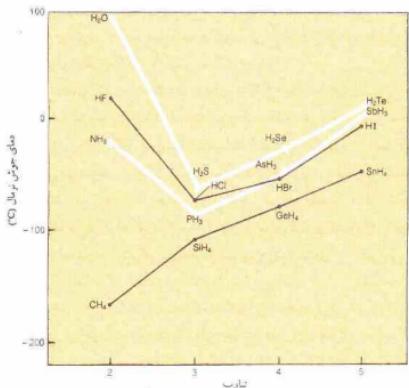
گشتوار دو قطبی مولکول‌هایی که در جدول ۱۱-۱ آمده است به ترتیب افزایش پیدا کرده است و انرژی دوقطبی - دوقطبی نیز به همان ترتیب افزایش یافته است. اماً انرژی‌های لندن به اندازه مولکول‌ها

1. London forces (dispersion forces)

۱. یوهانس وان در والس وجود نیتروهای جاذبه بین مولکول‌های گازرا در 1873° پیشنهاد کرد (بینش ۱۳ - ۱۶)، بین خاستگاه و نوع نیتروهای بین مولکولی مورد بحث ما در 1976° توسعه فریشنس (Frantz London) شد. فریتز در کاربرد مبارزه‌ها، یکنواختی وجود داراد وی در روزگار سا این نیتروهای منعطف را نیتروهای لندن و نیتروهای بین مولکولی را به طور کالی، نیتروهای وان در والس می‌نامد.

3. Instantaneous dipoles

در جهت عکس عمل می‌کند و قطبیت کل مولکول را کاهش می‌دهد. راستی، کدام نیتروهای بین مولکولی سبب جذب مولکول‌های غیرقطبی در حالت مایع یا جامد می‌شوند؟ چنین مولکول‌هایی فاقد دو قطبی‌های داشته‌اند؛ اماً بهر حال می‌توان آنها را به صورت مایع در آورد. در ترتیب علاوه بر نیتروی دو قطبی - دو قطبی، نوع دیگری از نیتروی بین مولکولی پاید و وجود داشته باشد. وجود نیتروهای لندن (نیتروهای پراکنده‌یک)، پیشنهاد می‌شود. این



شکل ۱۱-۵ دمای جوش ترمالی ترکیبات هیدروژن دار عناصر گروههای A، VIIA و VIA

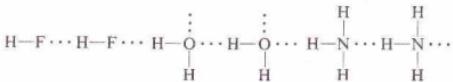
جدول ۱۱ - ارزی جاذبه بین مولکولی در برخی بلورهای مولکولی
ساده

انرژی جاذبه (kJ/mol)					
موکول	گشتاور دوقطبی (D)	لندن	دوقطبی سدی	دیاچووش	دمای ذوب (K)
CO	-12	-74	-204	-204	74
HI	-38	-79	-25	-25	222
HBr	-78	-19	-6	-6	185
HCl	-103	-18	-31*	-188	158
NH ₃	-49	-17	-35**	-240	195
H ₂ O	-84	-9	-55***	-377	273

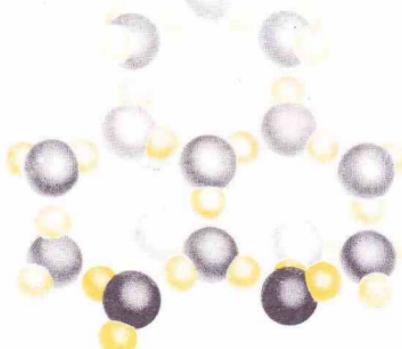
پستنگی دارد. بزرگ ترین مولوکول مذکور، HI است، و قوی ترین نیزه راهی لنزد و آنیز دارد. HCl در مقایسه با Cl، قطبی تر است؛ اما، به ترتیب، $3\frac{1}{2}$ و $2\frac{1}{2}$ است. انزوئی درقطیعی - دوقطبی HCl بیشتر از HI است. ولی انزوئی لنزد HI، بسیار بزرگتر از انزوئی لنزد HCl بوده و اثر کلی چنان است که مولوکولهای شدیدتر از مولوکولهای همدمیگر را جذب کردند. دمای جوش HI (۳۸°C) بالاتر از دمای جوش KCl (۲۸°C) است.

جاذبهای این مولکولی برخی از ترکیبات هیدروژن دار، معمولاً قوی است. این جاذبهای در ترکیباتی رخ نمی‌هند که در آنها، هیدروژن به صورت کووالانسی به عنصری الکترونگاتگاتور و یا اندازه اتمی کوچک متصل شده باشد. در این ترکیبات، اتم عنصر الکترونگاتگاتور چنان جاذبه نیز و مندی برای الکترون‌های پیوندی دارد که اتم هیدروژن بار $+5$ قابل ملاحظه‌ای بوده باشد. در واقع اتم هیدروژن به صورت یک پروتون بدون پوشش الکترونی در می‌آید.

اتم هیدروژن یکی از مولکول‌ها و زوج الکترون‌های تایپوندی اتم الکترونگاتگاتور مولکول دیگر، مقابله‌ای همیگر را جذب می‌کند و چیزی به نام پیوند هیدروژنی به وجود نمی‌آورند. این اتم هیدروژن به علت کوچک‌بودن، فقط قادر به تشکیل پیوند هیدروژنی است. تجمع مولکول‌های H_2O و NH_3 به وسیله پیوندهای هیدروژنی (یا نقطه‌ای) نمایش داده شده‌اند. اما مثانه بصورت $:N_2H_4$ داشت:



دارا بودن خواص غیرعادی، از ویژگی‌های ترکیبات اداری پیووند هیدروژنی است. در شکل ۱۱ - ۵ دسای جوش نرمال ترکیبات هیدروژن دار عناصر گروه‌های IVA، VA، VI A، VII A و رسم شده است. مسری CH_4 ، SiH_4 ، GeH_4 ، SnH_4 ، SbH_5 ، BiH_6 ، AsH_3 ، PbH_6 و NH_3 رسم شده است.



شکل ۱۱ - ۶ آرایش مولکولهای H_2O در بین به ساختار باز توجه کنید که به وسیله پیوندهای هیدروژنی تگهدانش شده است.

(شکل ۲۹ - ۳ - ۲۹ فصل ۲۹ را ببینید) و مارپیچ مضاعف DNA (شکل ۲۹ - ۶ در فصل ۲۹ را ببینید)، هر دو به وسیله پیوندهای هیدروژنی شکل گرفته‌اند. تشکیل و شکستن پیوندهای هیدروژنی در تقسیم سلولی و در سنتز پروتئین‌ها به وسیله سلول، اهمیت فراوانی دارد (بخش ۲۹ - ۴ را ببینید).

۱۱ - ۳ حالت نایاب

مولکولهای گازها به سرعت و به صورت کاملاً بی نظم در حرکت‌اند. در اغلب جامدات، مولکولها به صورت منظمی که ویره پلورهاست، آرایش پیدا کردند. حالت مایع، حد واسط بین حالت گازی و حالت چامد است.

در مایعات مولکولها چنان احتمله حرکت می‌کنند که نیتروهای جاذب‌بین مولکولی قادر به تگهدانش مولکول‌ها در یک حجم مشخص است. اما، حرکت مولکولی سریع تر از این است که نیتروهای جاذبه پتوانند مولکولها را در مکانهای مشخص در یک ساختار بلوری به طور ثابت نگهارند، به این ترتیب یک مایع می‌تواند حجم خود را حفظ کند ولی نه شکل خود را. مایعات جازی می‌شوند و شکل ظرف را به خود می‌گیرند.

تغییر شفار تقریباً بر حجم یک مایع اثر ندارد؛ زیرا فضای آزاد ناچیزی بین مولکولها وجود دارد. اما آرایش دما می‌سبب افزایش اندکی در حجم اغلب مایعات و در ترتیج کاهش چگالی آنها می‌شود. وقتی دمای یک مایع افزایش می‌باید، انرژی بینشی متوات مولکول‌ها نیز افزایش می‌باید و این افزایش حرکت مولکولی برعلیه نیتروهای جاذبه عمل خواهد کرد. اما این ایجاد سیاست کمتر از مقدار مشاهده شده برای گازهای است. زیرا از نیتروهای جاذبه در آنها قابل اخلاله نیست. دو مایع اتحادیان پذیر در یکدیگر، پس از مخلوط شدن، در همیگر نفوذ می‌کنند. اگر مایعی را بآقت تمام بر روی مایع چگال‌تری بزنیم،

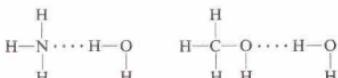
مشتث بر روی اتم هیدروژن، زوج الکترون‌های مولکولی‌های دیگر را با قدرت پیشتری جذب می‌کند، و کوچکی اندازه اتم هیدروژن، به مولکول دیگر امکان نزدیک‌تر شدن را می‌دهد.

۲ - اتمی که زوج الکترون را برای تشکیل پیوند هیدروژنی می‌دد (پلی‌برونه پروتون)، باید نسبتاً کوچک باشد. در واقع، پیوندهای هیدروژنی مؤثر فقط به وسیله ترکیبات فلورور، اکسیژن، و نیتروژن تشکیل می‌شوند. ترکیبات کلردار، پیوندهای هیدروژنی ضعیفی تشکیل می‌دهند. این نکته را از جا به جایی تا سیزه مسامی جوش HCl (شکل ۱۱ - ۵) می‌توان استنباط کرد. الکترون‌گتاتیوی کلر و نیتروژن تقریباً یکسان است. اما، اتم کلر بزرگ‌تر از اتم نیتروژن است و ابر الکترونی اتم کلر پراکنده‌تر از ابر الکترونی اتم نیتروژن می‌باشد.

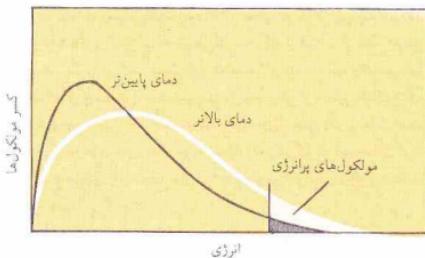
شکل ۱۱ - ۶ نشان می‌دهد که تشکیل پیوند هیدروژنی ال‌بیزگ‌تری بر دمای جوش آب دارد تا بر دمای جوش هیدروژن فلورورید. این اثر، علی‌رغم این واقعیت که قادر است $O-H \dots O$ فقط یک سوم قدرت $O-H \dots F$ است، مشاهده می‌شود. به طور میانگین، عده پیوندهای هیدروژنی به ازای هر مولکول H_2O دو برابر تعداد پیوندهای هیدروژنی به ازای هر مولکول HF است. اتم اکسیژن هر مولکول آب، دارای دو اتم هیدروژن و دو زوج الکترون ناپیوندی است. اتم فلورور در مولکول هیدروژن، دارای سه زوج الکترون آماده برای پیوند با اتم‌های هیدروژن، اما فقط یک اتم هیدروژن برای تشکیل پیوند هیدروژنی آمده است.

سایر خواص آب نیز تحدی غیرعادی، تحت تأثیر پیوند هیدروژنی است. آرایش چهارچهار و جسمی اتم‌های هیدروژن و زوج الکترون‌های ناپیوندی اکسیژن در آب سبب می‌شوند تا پیوندهای هیدروژنی بلوری بخیزی به همین روال به وجود آیند و ساختاری باز به بلورهای بخیزند (شکل ۱۱ - ۶ - ۴ را ببینید). به این ترتیب بین چهگانی نسبتاً پایین دارد، در دمای انجام‌داده، امولکول‌ها به یکدیگر نزدیک‌ترند، در توجه چهگانی آن بالا را بخیز است - چنین وضعيتی، غیرعادی است. باید پاد اکری کرد که مولکول‌های H_2O به وسیله پیوندهای هیدروژنی در حالات مایع به یکدیگر متصصل شده‌اند، اما نه به میزان، و نه به استحکام پیوندهای هیدروژنی موجود در بین.

پیوندهای هیدروژنی، اتحاد پذیری بالای برخی ترکیبات اکسیژن‌دار، نیتروژن‌دار، و فلورور در حالات ای از معنی مانند آب، رانیز توضیح می‌دهد. آمونیاک (NH_3) و متانول (CH_3OH) با تشکیل پیوندهای هیدروژنی در آب حل می‌شوند:



علاوه بر این، آرایش‌های اکسیژن‌دار معینی (مثلث، یون سولفات، SO_4^{2-} ، با تشکیل پیوندهای هیدروژنی در آب حل می‌شوند. پیوند هیدروژنی نقش مهمی در تعیین ساختار و خواص مولکول‌های موجودات زنده ایفا می‌کند. مارپیچ الگای پروتئین‌ها



شکل ۱۱-۸ توزیع اثری جنبشی در میان مولکول‌های یک مایع

پیرامون جذب می‌شود. اما مولکول‌های واقع در سطح یک مایع فقط بسوسی داخل مایع جذب می‌شوند (شکل ۱۱-۸). درنتیجه مولکول‌های سطحی بسوسی داخل کشیده می‌شوند و ساخت سطح مایع به حداقل می‌کنند. این رفتار پیانگر شکل کروی قطره‌های مایع است. کشش سطحی معیاری از این نیروی کشش است که از درون بر سطح مایع گشترش باید. کشش سطحی یک مایع با افزایش دما کاهش پیدا می‌کند، زیرا افزایش حرکت مولکولی سبب کاهش اثر نیروهای جاذبیه بین مولکولی می‌شود.

۱۱-۲ تغیر

اثری جنبشی مولکول‌های یک مایع از توزیع ماکسول - بولتزمان پیروی می‌کنند که نظریه توزیع اثری جنبشی بین مولکول‌های یکگاز است (شکل ۱۱-۸). اثری جنبشی هر یک از مولکول‌های مایع در اثر برخورد مولکول‌های با یکدیگر طور مستمر تغیر می‌کند. اما در هر لحظه برخی از مولکول‌های مجموعه مورد نظر دارای اثری های نسبتاً بالا و پرسخی دارای اثری های نسبتاً پایین هستند. مولکول‌هایی که اثری جنبشی کافی برای غلبه بر نیروهای جاذبی مولکول‌های پیرامون داشته باشند، در صورتی که نزدیک به سطح بوده و درجهت صحیح حرکت کنند، می‌توانند از فاز مایع کریخته و به فاز بخار وارد شوند. این مولکول‌ها، ضمن فرار، بخشی از اثری خود را صرف خشند کردن نیروهای جاذبی می‌کنند.

به مرور زمان، فشار عده‌ای از مولکول‌های پر اثری از فاز مایع، سبب کاهش اثری جنبشی متوسط مولکول‌های درحال حرکت در مایع شده، و به همان نسبت مایع آن کاهش می‌باشد. وقتی که مایعات از یک ظرف سریعاً تبخیر شوند، گرمای از محیط پیرامون به درون مسئول می‌شود تا مایع ثابت بماند و تبخیر ادامه باید. به این ترتیب ذخیره مولکول‌های پر اثری تأمین می‌شود و فرایند تا تبخیر تمام مایع ادامه می‌باید. مقدار کل گرمای لازم برای تبخیر یک مول از مایع در دمای مشخص را آلتیپلی تبخیر مولی آن مایع نامند. مثلاً در 25°C



کوهیج در خلیج گلاسبر، آلاسکا. بیچ شناور من ماند، زیرا سبکتر از آب مایع است.

مرز بین دو مایع به خوبی قابل مشاهده است. این مرز به تدریج بهم می‌ریزد و پس از مدتی در اثر نفوذ دو مایع در یکدیگر تابیده شود. نفوذ مایعات فرایند بسیار آهسته‌تری نسبت به نفوذ گازهایست؛ زیرا مولکول‌های مایع نسبت به یکدیگر نزدیک ترند، یک مولکول طی مدت کوتاهی دچار برخورد های بسیار زیادی می‌شود. فاصله متوسط طی شده بین دو برخورد و پویش آزاد متوجه سریع سریع شده است. کوتاه‌تر از مولکول‌های گاز است. درنتیجه گازها بسیار سریع تر از مایعات نفوذ می‌کنند.

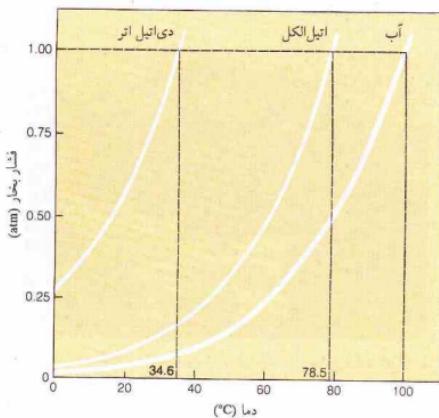
تمام مایعات در مقابل جاری شدن از خود مقاومت نشان می‌دهند، این خاصیت گرانزوی (ویسکوزیته) نام دارد. یکی از راههای تعیین گرانزوی یک مایع، اندازه گیری زمان لازم برای عبور مقدار معین از مایع از لوله باریکی در فشار مشخص است. مقاومت در مقابل جاری شدن عمدتاً مربوط به جاذبه‌های بین مولکول‌هاست و اندازه گیری گرانزوی یک مایع، تخمین ساده‌ای از قدرت این جاذبه‌ها را بدست می‌دهد. به طور کلی با افزایش دمای یک مایع، نیروهای پیوستگی تووانایی کمتری برای مقابله با حرکت فرایندۀ مولکولی دارند، و گرانزوی کاهش خواهد یافت. از سوی دیگر افزایش فشار عموماً باعث افزایش گرانزوی یک مایع می‌شود.

یک دیگر از خواص مایعات که از نیروهای جاذبی بین مولکولی سرچشمۀ می‌گیرد، کشش سطحی است. مولکولی که در مرکز یک مایع قرار دارد، در تمام جهت‌ها و به طور یکنواخت به وسیله مولکول‌های



شکل ۱۱-۷ نموداری از نمایش نیروهای بین مولکولی نامتعادل بر مولکول‌های سطحی یک مایع در مقایسه با نیروهای بین مولکولی نامتعادل بر مولکول‌های ذره‌نی





شکل ۱۱-۹ منحنی‌های فشار بخار برای دی اتیل اتر، اتیل الکل، و آب

فشار بحرانی برابر است و منحنی‌ها به این نقطه ختم می‌شوند. بالاتر از دمای بحرانی، فقط یک فاز می‌تواند وجود داشته باشد. فازهای گاز و مایع از یکدیگر قابل تشخیص نیستند.

بزرگی فشار بخار یک مایع ثابتة قدرت نیروهای جانبی بین مولکولی آن مایع است. ممکن است نیروهای جاذبه قوی داشته باشد، فشار بخارشان پایین خواهد بود. در 20°C ، فشار بخار آب 0.58 atm و دی اتیل اتر 0.55 atm است. نیروهای گازی در آب قوی‌ترین و در دی اتیل اثر ضعیف‌ترین هستند. فهرستی از فشار بخار آب در دمای‌های مختلف در جدول ۱-۳ آمده است.

۱۱-۶ دهای جوش

دمایی که در آن فشار بخار یک مایع با فشار جوش برابر شده باشد، دمای جوش آن مایع نامیده می‌شود. در این دما بخار تولید شده در داخل مایع سبب تشکیل جتاب و غلایان خاص جوشش می‌شود. تشکیل جتاب در دمای پایین‌تر از دمای جوش غیرممکن است، زیرا فشار جو بر سطح مایع که پیش از فشار درونی آن است، مانع از تشکیل جتاب می‌شود. دمای مایع درحال جوشش توانایی که تمام مایع بخار نند، ثابت می‌ماند. در یک ظرف سپز، فشار بخار پیشنهادی که هر مایع می‌تواند داشته باشد، فشار جوش است. این فشار بخار در دمای جوش بدست می‌آید. برای ثابت نگهداشتن دمای یک مایع درحال جوش باید به آن گرمای داده شود، زیرا در فرایند جوشش مولکول‌های پتانزی مایع را توک می‌کنند. هرچه سرعت افزایش دما می‌تواند درحال جوشش پیشتر باشد مایع سریع‌تر می‌جوشند. اماً دمای مایع ثابت خواهد ماند. دمای جوش یک مایع با تغییر فشار جوش تغییر می‌کند. برای مثال، آب در فشار 0.5 atm در 95°C می‌جوشد و در فشار 0.8 atm در 78.5°C می‌جوشد.

جذب گرمه به وسیله یک مایع درحال تبخیر، به خوبی توضیح می‌دهد که چرا شناگری که از آب خارج می‌شود، هنگام تبخیر آب از سطح بنش احسان سرما می‌کند. همین طور تنظیم مایع بدن تا حدودی بر اثر تبخیر عرق از سطح پوست صورت می‌گیرد. یکی از وسائل خنک کننده که با توجه به این اصل ساخته شده کوزه‌های سفالی بدون لاماب است که در گشوارهای خاورمیانه مورد استفاده قرار می‌گیرند. آب، سفال کوزه را اشعاع می‌کند و از سطح خارجی آن بخار می‌شود، درنتیجه آب داخل کوزه خنک می‌گردد.

با افزایش دمای مایع سرعت تبخیر افزایش می‌پاید. وقتی که دما افزایش یافته، انرژی جنبش میانگین مولکول‌ها زیاد می‌شود و عده مولکول‌هایی که انرژی کافی برای فرار به فاز مایع باز را دارند، جزء بیشتری از کل مولکول‌ها را تشکیل می‌دهند (شکل ۱۱-۸).

۱۱-۷ فشار پتانزی

اگر مایع درحال تبخیر در ظرف سرسته‌ای محبوس باشد، مولکول‌های بخار نیز توانند از نزدیکی سطح مایع دور شوند. برخی از مولکول‌های بخار، می‌توانند از نظم‌شان به فاز مایع باز می‌گردند. این فرایند را برای آب می‌توانیم با پیکان‌های دوتایی تعیین دهیم:



سرعت بازگشت مولکول‌ها از فاز بخار به فاز مایع زیاد نیست، زیرا تعداد مولکول‌ها در فاز بخار کم است. اماً تغییر مادو سبب افزایش غلظت مولکول‌ها در فاز بخار خواهد شد. به این ترتیب سرعت تراکم نیز افزایش می‌پاید. درنهایت سیستم به وضعیتی می‌رسد که در آن سرعت تراکم و تبخیر برابر می‌شود.

این حالت که در آن سرعت دو تمایل مخالف با هم برابر است، حالت تعادل نام دارد. در حالات تعادل، غلظت مولکول‌ها در حالت بخار ثابت می‌ماند، زیرا مولکول‌ها با همان سرعتی که بخار را ترک کرده و متراکم می‌شوند، از حالت مایع گردیده و به سوخت بخار در می‌آیند. همین طور مقدار مایع ثابت می‌ماند، زیرا مولکول‌ها با همان سرعتی که از آن گریزند، به آن باز می‌گردند.

پادآوری این نکته ضروری است که حالت تعادل دال بر یک وضعیت ایستا نیست. در هر سیستم عده مولکول‌های موجود در مایع و در بخار ثابت است، زیرا دو تغییر مخالف با سرعت یکسان در جریانند، نه به این دلیل که تراکم و تبخیر متوقف شده است.

چون تراکم مولکول‌های بخار در حالت تعادل ثابت است، فشار اعمال شده به وسیله بخار نیز ثابت می‌باشد. فشار بخار درحال تعادل با یک مایع در دمای مشخص را فشار بخار تعادلی آن مایع نامند. فشار بخار یک مایع با ماده تعیین می‌شود و با افزایش دما افزایش می‌پاید. محتوی‌های فشار بخار درحال تعادل می‌باشد. این منحنی‌ها شاند دهنده آب در شکل ۱۱-۹. نمایش داده شده است. این منحنی‌ها شاند دهنده افزایش فشار بخار در اثر افزایش دما هستند. منحنی هر ماده را می‌توان به دمای بحرانی آن ماده مربوط ساخت. در دمای بحرانی فشار بخار با

جدول ۱۱ - آنتالپی تبخیر مایعات در دمای جوش نرمال آنها

آنتالپی تبخیر (kJ/mol)	نمای جوش (°C)	فرمول	مایع
۴۰/۷	۱۰۰	H ₂ O	آب
۳۰/۸	۸۰/۰	C _۲ H _۶	بنزن
۳۸/۰	۷۸/۵	C _۲ H _۵ OH	انیل الکل
۳۰/۰	۷۶/۷	CCl _۴	کربن تتراکلرید
۲۴/۰	۶۱/۳	CHCl _۳	کلروفرم
۲۶/۰	۳۴/۶	(C _۲ H _۵) _۲ O	دی‌الیل اتر

معادله کلابیزوس - کلابریون
در گفایصاله دمایی نسبت‌آکوچک، آنتالپی تبخیر را می‌توان ثابت فرض کرد، در چنین شرطی، بین فشار بخار یک مایع، p (برحسب atm) و دمایی که در آن اندازه گیری شده است، T (برحسب K)، رابطه زیر برقرار است:

$$\log p = -\frac{\Delta H_v}{2.303RT} + C \quad (۱-۱)$$

که در آن، ΔH_v آنتالپی تبخیر مولی (برحسب J/mol)، R ثابت گاز اندماج [۸۰/۱۲۳ J/(K.mol)] و ثابت مولیه مایع مرده مطالعه است. نقاط مربوط به منحنی فشار بخار نشان داده شده در شکل ۱۱-۱ را می‌توان با تراویدن مقادیر متناسب در معادله ۱-۱ پدست آورد. اگر بخواهیم فشار بخار یک مایع، p_1 ، را در یک دما، T_1 ، با فشار بخار همان مایع، p_2 ، در دمای دیگری، T_2 ، مقایسه کنیم می‌توانیم معادله بسیار مفیدی را به صورت زیر به دست آوریم:

$$T_2 : \text{در} = \frac{\Delta H_v}{2.303R} \left(\frac{1}{T_2} \right) + C \quad (۲-۱)$$

$$T_1 : \text{در} = \frac{\Delta H_v}{2.303R} \left(\frac{1}{T_1} \right) + C \quad (۳-۱)$$

با کم کودن معادله ۱۱-۱ از ۱۱-۲، داریم:

$$\log p_2 - \log p_1 = -\frac{\Delta H_v}{2.303R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (۴-۱)$$

که قابل بازنویسی به صورت زیر است:

$$\log \left(\frac{p_2}{p_1} \right) = \left(\frac{\Delta H_v}{2.303R} \right) \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right) \quad (۵-۱)$$

این معادله که به معادله کلابیزوس کلابریون^۱ مشهور است در ۱۸۳۴ توسط بنو کلابریون^۲ پیشنهاد شد و بعداً با استفاده از نظریه ترمودینامیک، توسط ودولف کلابیزوس^۳ بدست آمد.

در ۱۰°C فقط در فشار ۱ atm، دمای جوش آب ۱۰۰°C است. دمای جوش نرمال یک مایع دمایی است که در آن فشار بخار مایع برابر ۱ atm می‌شود. دمایی جوش که در کتابهای مراجع آمده است، دمای جوش نرمال هستند و به کاربردن عبارت دمای جوش به معنای دمای جوش نرمال است.

دمای جوش نرمال دی ایبل آتر (۰°C)^۴، اتبل الکل (۰°C)^۵ و آب بروی منحنی فشار بخار در شکل ۱۱-۹ مخصوص شده است. دمای جوش نرمال یک مایع را می‌توان از منحنی فشار بخار آن بایضاد کردن دمایی که در آن شارخارهای خارجی با شارخوار وارد بر سطح آن برای می‌کند.

نوسانهای فشار جو در یک موقعیت غرفه‌ای، دمای جوش آب را حداکثر ۰°C تغییر می‌دهد. اما تغییر محل مسکن است تغییرهای پیشتر را سبب شود. متوجه فشاری که هواسنج در سطح دریا نشان می‌هد تقریباً ۱ atm است ولی در ارتفاعات بالاتر کمتر از این مقادیر است. مثلاً در ارتفاع ۵۲۶۰ m (برابر با ۵۰۰۰ با) بالاتر از سطح دریا، میانگین کاریکو^۶ که هواسنج نشان می‌هد ۰۶ atm است؛ در این فشار، آب در ۰°C ۹۵ m جوش دارد. در فشار ۹۵ atm (برابر با ۳۰۰۰ با) بالاتر از سطح دریاست، آب در ۰°C ۹ m جوش است.

اگر دمای جوش نرمال مایعی بالا باشد و بر اثر گرم تجزیه شود، می‌توان با کاهش فشار آن را در دمای‌های بایین تری به جوش آورد. با تنظیم فشار در ۱۲۱ atm (برابر با ۱۲۰ با) می‌توان آب را در دمای ۰°C که بایین تو از دمای معمولی است، به جوش آورد (جدول ۱۱-۱). با کاهش شار می‌توان مقدار آب ناخواسته سیاری از فواردهای غذایی را خارج کرد. در این روش دمای فوارده مودرن‌ظرف به دمایی که سبب تجزیه یا تغییر رنگ آن شود، نمی‌رسد.

۱۱-۲ آنتالپی تبخیر

مقدار گرمای لازم برای تبخیر یک مول از مایع در دمای معین را آنتالپی تبخیر مولی، ΔH_v ، نامند. آنتالپی تبخیر را معمولاً در دمای جوش نرمال و برحسب کلابریون بر مول بیان می‌کنند (جدول ۱۱-۲). بزرگی مقدار آنتالپی تبخیر مولی نشانه قدرت نیزه‌های جاذبه بین مولکولی است. آنتالپی تبخیر بالا نشانه قوی بودن این نیزوهاست. ولی آنتالپی تبخیر یک مایع شامل انرژی لازم برای غلبه بر نیزه‌های جاذبه بین مولکولی و انرژی لازم برای اتساع بخار است. حجم یک گاز بسیار بیشتر از حجم مایع است که از آن به وجود آمده است. برای امثال از تبخیر ۱ mL آب در ۱۰۰°C حدود ۱۷۰۰ mL بخار تولید می‌شود. برای عقایق دارندن شار جو و بازگردان جا برای بخار باید انرژی صرف شود. هنگامی که یک مول بخار به صورت مایع متراکم شود، انرژی آزاد می‌شود نه جذب. این تغییر آنتالپی را آنتالپی مولی تراکم نامند که دارای علامت منفی است، اما مقدار عددی آن برای آنتالپی تبخیر مولی در همان داماست.

آنتالپی تبخیر یک مایع افزایش دمای کاهش می‌باید، و در دمای بحرانی آن ماده به صفر می‌رسد.

1. Clausius - Clapeyron equation

2. Benoit Clapeyron

3. Rudolf Clausius

و $\Delta H_v = ۴۰۷ \times ۱۰^۴ \text{ J/mol}$ است. درنتیجه،

$$(5-11)$$

$$\log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) = \left(\frac{\Delta H_v}{2.303R}\right)\left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}\right)$$

$$\log\left(\frac{1.000 \text{ atm}}{0.695 \text{ atm}}\right) = \left(\frac{4.07 \times 10^4 \text{ J/mol}}{(2.303)[8.314 \text{ J/(K} \cdot \text{mol)}]\right)\left(\frac{373 \text{ K} - T_2}{(373 \text{ K})T_2}\right)$$

$$0.1580 = 2126 \left(\frac{373 \text{ K} - T_2}{(373 \text{ K})T_2}\right)$$

$$1.028 T_2 = 373 \text{ K}$$

$$T_2 = 363 \text{ K}$$

دماهی جوش آب در فشار 695 atm و 60°C برابر با ۹۰°C است.

۱۱-۱۱ دمای انجاماد

هنگامی که یک مایع سرد می‌شود، حرکت مولکول‌های آن آهسته و آهسته‌تر می‌شود. بالاخره به دماهی می‌رسیم که در آن دما، انرژی جنبشی پرخسی از مولکول‌ها کمتر از جاذبه بین مولکولی شده و نمی‌تواند مانع از استقرار آن در یک ساختار بلوری گردد. به این ترتیب جسم به تدریج تبلور می‌شود. مولکول‌های کم انرژی به ترتیب در الگوی بلوری استقرار می‌یابند. به علت چنان‌شدن مولکول‌های کم انرژی از محلول، دماهی مولکول‌های پاچمانده در محلول افزایش می‌یابد. برای ثابت نگذاشتن دما پاید مقداری از گرمای محلول گرفته شود.

دماهی انجاماد نرمال یک مایع، دماهی است که در آن، جامد و مایع

در فشار 1 atm در تعادلند. در دماهی انجاماد دمای سیستم جامد - مایع تا انجاماد تمام مایع، ثابت می‌ماند. مقدار گرمایی که برای انجاماد یک مول از جسم در دماهی انجاماد آن باید خارج شود، آنتالپی تبلور مولی نامیده می‌شود. این کمیت بینانگ تفاوت بین آنتالپی مایع و جامد است.

گاهی مولکول‌های مایع، به هنگام سردشدن حرکت هایی به نظر و خاص حالت مایع را خنی در دمایهای پایین‌تر از دماهی انجاماد از دست نمی‌دهند. چنین مایعاتی را زیر انجاماد نامند. در این موارد اگر یک ملله همزن را از درون به دیواره ظرف محتوی مایع بکشیم، یا یک دانه کوچک بلور را درون محلول بیندازیم تا تبلور در پیامون آن صورت گیرد، دماهی محلول به دماهی انجاماد باز می‌گردد و تعادل پایدار مایع - جامد برقرار می‌شود.

فرایند تبلور گرما آزاد می‌کند و دما همواره به دماهی انجاماد باز گردانده می‌شود تا اینکه تبلور کامل شود.

پرخسی از مایعات می‌توانند حالت زیر انجاماد خود را پریار مدت طولانی، یا حتی بطور دائم حفظ کنند. هنگام سرد شدن، مولکول‌های این مایعات به جای آنکه شکل منظم هندسه بلوری به خود پیگرند، با آرایش نامنظمی که خاص حالت مایع است، منجمد می‌شوند. چنین اجسامی فرم‌های پیچیده مولکولی دارند و به سختی متلاز مری می‌شوند. این مواد را اغلب جامدات یی شکل، مواد شیشه‌مانند یا شیشه‌ای نامند.

۱۱-۱۲ دمای جوش نرمال کلروفرم

دماهی جوش نرمال کلروفرم، CHCl_3 ، 334 K است. در دماهی 328 K ، فشار بخار کلروفرم به ۸۲۴ atm می‌رسد. آنتالپی تبخیر کلروفرم را برای این فاصله دماهی پیدا کنید.

حل

$$\text{اگر } T_1 = 328 \text{ K}, p_1 = ۱ \text{ atm}, T_2 = 334 \text{ K}, p_2 = ۸۲۴ \text{ atm} \text{ باشد،}$$

$$\log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) = \left(\frac{\Delta H_v}{2.303 R}\right)\left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}\right) \quad (5-11)$$

$$\log\left(\frac{1.000 \text{ atm}}{0.824 \text{ atm}}\right) = \left(\frac{\Delta H_v}{(2.303)[8.314 \text{ J/(K} \cdot \text{mol)}]\right)$$

$$\left[\frac{334 \text{ K} - 328 \text{ K}}{(328 \text{ K})(334 \text{ K})}\right]$$

$$\Delta H_v = 29,390 \text{ J/mol} \\ = 29.4 \text{ kJ/mol}$$

۱۱-۱۳ فشار بخار کربن دی سولفید

فشار بخار کربن دی سولفید، CS_2 ، در 1 K ۵۲۶ atm و در 273 K ۷۷ atm است. قشار بخار CS_2 در 273 K چقدر است؟ آنتالپی تبخیر CS_2 در این فاصله دماهی برابر با ۲۷ kJ/mol است.

حل

$$\text{اگر } T_1 = 273 \text{ K}, p_1 = ۰ \text{ atm}, T_2 = ۳۰ \text{ K}, p_2 = ۵۲۶ \text{ atm} \text{ باشد، داریم:}$$

$$\log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) = \left(\frac{\Delta H_v}{2.303 R}\right)\left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}\right) \quad (5-11)$$

$$\log\left(\frac{0.526 \text{ atm}}{p_1}\right) = \left(\frac{2.76 \times 10^4 \text{ J/mol}}{(2.303)[8.314 \text{ J/(K} \cdot \text{mol)}]\right)$$

$$\left(\frac{301 \text{ K} - 273 \text{ K}}{(273 \text{ K})(301 \text{ K})}\right)$$

$$= 0.491$$

$$\left(\frac{0.526 \text{ atm}}{p_1}\right) = 31.0$$

$$p_1 = 0.170 \text{ atm}$$

۱۱-۱۴ دمای جوش آب در فشار 695 atm

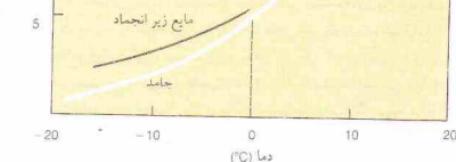
دمای جوش آب در فشار 695 atm چقدر است؟ آنتالپی تبخیر آب را ۴۰ kJ/mol می‌گیریم.

حل

در دماهی جوش نرمال آب، 373 K ، فشار بخار آب پراسیپر ۱ atm است. درنتیجه، $T_1 = 373 \text{ K}$, $p_1 = ۱ \text{ atm}$, $T_2 = ۳۷۳ \text{ K}$, $p_2 = ۶۹۵ \text{ atm}$.

جدول ۱۱ - ۳ - آنتالپی ذوب مولی جامدات در دمای ذوب آنها

جامد	فرمول	دماهی ذوب (°C)	ΔH_f° (kJ/mol)	آنتالپی ذوب
آب	H_2O	۰°C	۲۰۶	۰
بنزن	C_6H_6	۵۵	۹۸۳	۹۴
ایتل الکل	C_2H_5OH	- ۱۱۷	- ۴	-
کربن تراکلرید	CCl_4	- ۲۲۹	۲۵۱	-
کلوروفرم	$CHCl_3$	- ۶۳۵	۹۰	-
دی اتيل اتر	$(C_2H_5)_2O$	- ۱۱۶	۷۲۶	-



شکل ۱۱ - ۱۰ - منحنی های فشار بخار آب و بخ در نزدیکی دمای انجماد، (این فشارها، فشار جزوی H_2O در هوا و تحت فشار کل ۱ atm است).

$0^{\circ}C$ ۲۵۰ ره است (بخشن ۱۱ - ۱۰ و شکل ۱۱ - ۱۱ را ببینید). ولی، در مجاورت هوا و در فشار کل ۱ atm، دمای انجماد آب $0^{\circ}C$ ، یعنی همان مقدار گزارش شده است. تفاوت دمای انجماد ناشی از فشار هوای حل شده در آب است (بخشن ۱۲ - ۸). نمودار فشار بخار مربوط به شکل ۱۱ - ۱۰، به فشار جزوی H_2O در هوا و تحت فشار کل ۱ atm اشارت دارد، دمای انجماد را اغلب در مجاورت هوا تعیین می کند. به هر حال تغییر دمای انجماد یک جسم به علت حضور هوا، معمولاً بسیار کوچک است.

۱۱ - ۱۰ - نمودارهای فاز

نمودار فاز دما - فشار برای آب به شرایطی را نشان می دهد که در آن شرایط آب می تواند به صورت جامد، مایع، یا بخار وجود داشته باشد و همچنین نشان دهنده شرایطی است که موجب تغییر حالت آب می شود. شکل ۱۱ - ۱۱ نمودار طرح وارهای از سیستم آب را نشان می دهد. در این شکل قیاس های واقعی رعایت نشده است و به مطابق نشان دادن بخوبی تکمیل های مهم، در نمایش بعضی از ویژگی های آن مبالغه شده است. هر ساده ای نمودار فاز خاص خود را دارد که از مشاهدات تجربی به دست می آید.

نمودار شکل ۱۱ - ۱۱ مربوط به یک سیستم یک چیز است؛ یعنی رفتار آب خالص را در غیاب هر ماده دیگری نشان می دهد. فشار کل سیستمی که این نمودار نشان داده است، فقط مربوط به فشار

شیشه، گیر، و پرسخی پلاستیک ها، نموده هایی از این اجسام هستند. مواد جامد بی شکل، دمای ذوب یا انجماد معینی ندازند بلکه این تغییر حالت ها در گستره ای از دما مسحورت می گردند. این اجسام برخلاف جامدات باقی برداری که در طول سطوح و تحت وزن ایام می شکند، شکستگی های خمیده ای مانند سطوح صدف پیدا می کنند. وقتی یک جسم باقی برداری گردد، دمایی که در آن تعادل جامد - مایع در فشار ۱ atm برابر با دمای ذوب مشهور است، دمای ذوب یک ماده درست برای برابر با دمای انجماد آن است. مقدار گرمایی که بایند برای ذوب یک مول از ماده در دمای ذوب اضافه شود، آنتالپی ذوب مولی ΔH_f° ، نامیده می شود و از تردد عددی برای آنتالپی تبلور ولی با علامت مختلف است (جدول ۱۱ - ۳).

۱۱ - ۹ - فشار بخار یک جامد

مولکول های موجود در یک بلور، حول موقعیت خود در ساختار بلور نوسان می کنند. توزیع ارزی چشمی بین این مولکول ها مشابه توزیع ارزی چشمی در مایعات و گازهاست. در داخل بلور ارزی از یک مولکول به مولکول دیگر متصل می شود، بتاریزین ارزی هر مولکول ثابت نیست. مولکول های بتاریزی موجود در مطلع بلور می توانند با غله بر نیروهای جاذبه بلور، به قاز بخار بگیرند. اگر بلور در ظرف سرسیستمی قرار داشته باشد، تعادلی بین جامد و بخار برقرار می شود که در آن تعادل مولکول هایی که بلور را ترتیب می کنند برای برابر با تعادل مولکول هایی است که به بلور باز می گردند. فشار بخار یک ماده جامد در دمای معین، معیاری از دهجه مولکول های بخار درحال تعادل است. هر جامدی رای فشار بخار است، گرچه فشار بخار برخی جامدات بسیار کم می باشد. فشار بخار با قدرت نیروهای جاذبه نسبت معکوس دارد. در ترتیب بلورهای بتوئی، فشار بخار بسیار پاییز دارد. چون نو توانایی بر مولکول های بخاری غله بر نیروهای جاذبه ای مولکولی به ارزی چشمی آنها بستگی دارد، فشار بخار یک جامد با افزایش دما بالامی روید. مختصی رابطه بین دمای فشار بخار در شکل ۱۱ - ۱۱ نمایش داده شده است. این منحنی در دمای ذوب آب با منحنی فشار بخار آب تلاقی پیدا می کند. در دمای انجماد، فشار بخار جامد و مایع برابر است. در غیاب هوا، دمای انجماد سرمهای آب (فشار ۱ atm) برای

- است، فقط یک فاز وجود دارد—فاز مشخص شده بر روی نمودار.
 ۲—بر روی هر یک از خطها، دو فاز وجود دارد؛ این فازها در دو طرف خط مشخص شده‌اند.
- ۳—در نقطه 0°C ، سه فاز وجود دارد؛ فقط یک نقطه با این مشخصات بر روی نمودار وجود دارد—نقطه سه گانه.

شب منحنی دمای ذوب (یا دمای انجماد)، منحنی BO ، بینانگر کاهش دمای ذوب در اثر افزایش فشار است. چنین شب منحنی فقط در مورد عده کمی از اجسام، مانند گالیم، پیسموت، و آب مشاهده شده است. این شب نشان‌دهنده وضعیت غیرعادی ابسیط جسم در اثر انجماد است. در 0°C ، حجم یک مول آب 18 cm^3 و حجم یک مول بین 19 cm^3 و 23 cm^3 است. در ترتیب در اثر انجماد یک مول آب و بینانگر آن به بین، سیستم منبسط می‌شود. افزایش فشار با این انبساط و همچنین با قوانین انجماد قابلی خواهد کرد، به این ترتیب دمای انجماد آب در اثر افزایش فشار کل کاهش می‌باشد. در شکل ۱۱-۱۱، شب خط BO به صورت مبالغه‌آمیزی نمایش داده شده است.

تفیرات فاز ناشی از تغییرات دما در فشار ثابت را می‌توان با تفسیر خط افقی رسم شده در فشار مرجع (مانند خط رسم شده در 0°C و 1 atm) بدین معنی که این نقطه داده شده تلاقی این خط با منحنی BO ، بینانگر دمای ذوب نرمال (یا دمای انجماد نرمال) است و نقطه تلاقی خط 0°C و 1 atm با منحنی CO_2 را با عنوان تماش دمای جوش نرمال می‌باشد. بعد از این نقطه، فقط بخار وجود دارد.

تفیرات فاز ناشی از تغییر فشار در دمای ثابت را می‌توان با استفاده از خط عمودی رسم شده در دمای مرجع توضیح داد. مثلاً اگر دمای 25°C را در شکل ۱۱-۱۱ توضیح داد، نقطه تلاقی این خط با فشار افزایش یابد (شکل ۱۱-۱۱)، نقطه تلاقی خط عمودی با خط AO فشار مربوط به تغییر بخار به جامد را نشان می‌دهد و نقطه تلاقی خط عمودی با BO نمایشگر فشار مربوط به تغییر جامد به مایع است، بالاتر از این نقطه فقط مایع وجود دارد.

برای موادی که در اثر انجماد متغیر می‌شوند (یعنی فاز جامد چیگالاتر از فاز مایع است)، شب منحنی دمای انجماد درجه مختلف شواهد بود، و دمای انجماد با افزایش فشار، بالا خواهد رفت. اغلب اجسام دارای چنین رفتاری هستند. همان‌طور که در نمودار فاز کرین دیوکسید در شکل ۱۱-۱۲ مشاهده می‌شود، در اغلب نمودارهای فاز، شب منحنی دمای انجماد به طرف راست است.

قوایند تبدیل مستقیم جامد به بخار بدون گذشت از حالت مایع را تصعید نامند. این قوایند برگشت تابعی است. نمودار فاز کرین دیوکسید، نمونه از نمودار فاز اجتماعی است که در فشار معمولی به جای آنکه ذوب شوند و سپس به آبند، جوش می‌شوند. نقطه سه گانه سیستم کرین دیوکسید در 0°C و 56°C در فشار 1 atm قرار دارد. کرین دیوکسید مایع، فقط در فشار بالاتر از 1 atm و 56°C وجود دارد. هنگامی که کرین دیوکسید جامد (یخ خشک) در فشار 1 atm گرم شود، در دمای 5°C و 78°C مستقیماً به بخار تبدیل می‌شود. این اینطبخه در شکل ۱۱-۱۲ نمایش داده شده است. آنلاین تصعید مولی، گرمایی لازم برای تبدیل مستقیم یک مول جامد به گاز است.

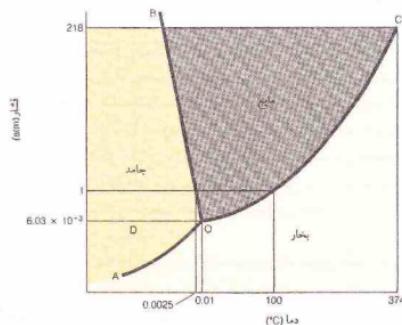
بخار آب است و فشار هیچ گاز دیگری در آن دخالت ندارد. بنابراین منحنی‌های فشار بخار رسم شده در شکل ۱۱-۱ (اندازه گیری شده در هوای در تحت فشار کار atm ، اندکی با منحنی‌های فشار بخار شکل ۱۱-۱-۱ (که در آنها فشار کل فقط مربوط به فشار بخار آب است) تفاوت دارند. ساده‌ترین راه برای تفسیر نمودار فاز آب این است که فشار باره بر سیستم را به صورت مکانیکی، مثلًا به صورت پیستونی تصور کنیم که در

در شکل ۱۱-۱، منحنی OC ، ختم می‌شود. نقاط روی این خط بینانگر مجموعه‌ای از شرایط دما و فشارند که در آنها مایع و بخار می‌توانند در تعادل باشند. خط OC ، منحنی مایع زیر انجماد است، یعنی سیستم‌های بین مایع و بخار که به وسیله نقطه‌های این خط مشخص می‌شوند، نایاب‌اند. (اصطلاح تاپاپار برای سیستم‌های به کار می‌رود که در پایدارترین حالت ممکن در دمای مشخص شده قرار نداشته باشند). منحنی AO ، منحنی فشار بخار جامد است و بینانگر مجموعه‌ای از نقاط می‌باشد که شرایط دما و فشار را برای تعادل جامد بخار عرضی می‌کنند. منحنی دمای ذوب، نمایشگر شرایط تعادل در جامد و مایع است.

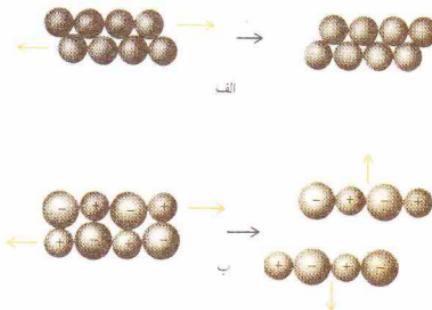
ابن سه منحنی در فضای O که به نقطه سه گانه مشهر است، تلقی می‌باشد. در شرایط مشخص شده به وسیله این نقطه، یعنی 0°C و 1 atm (و 273°K) و فشار $0.6 \times 10^6 \text{ Pa}$ (و 59.8 torr) جامد، مایع، و بخار می‌توانند در حالت تعادل باشند.

فازهایی (جامد، مایع، و بخار) که در تحت مجموعه‌ای از شرایط دما و فشار در تعادل باشند را می‌توان از نمودار فاز بدست آورد. دما و فشار نقطه‌ای را بر روی نمودار مشخص می‌کنند. فازها را از روی موقعیت این نقطه می‌توان تشخیص داد. محل قرارگرفتن نقطه موردنظر ممکن است در یکی از توافقی نیز باشد:

- ۱—در تابعه‌ای که به صورت جامد، مایع، یا بخار مشخص شده



شکل ۱۱-۱۱ نمودار فاز آب (بر مقیاس رسم نشده است.)



شکل ۱۱-۱۳ اثر واپیچش بر (الف) بلور فلزی و (ب) بلور یونی

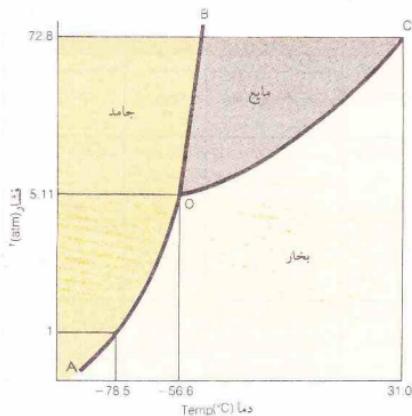
نیتروهای الکترواستاتیکی مربوط به بلورهای یونی نیست. درنتیجه بلورهای مولکولی نرم هستند و دمای ذوب پایین (معمولًاً، پایین تر از 0°C) دارند.

نیتروهای هم شکل مولکولهای غیرقطبی را در ساختار بلوری نگهدارند. در بلورهای مولکولهای غیرقطبی نیتروهای دوقطبی - دوقطبی و همچنین نیتروهای لندن وجود دارند. درنتیجه دمای ذوب ترکیبات قطبی معمولاً بالاتر از مایع ذوب ترکیبات غیرقطبی، برای مولکولهای هم شکل و همندانه است.

به طور کلی اقسام مولکولی رسانای جریان الکتریستی در حالت جامد یا مایع نیستند. برخی از ترکیبات مولکولی، مانند آب، به میزان بسیار ناجیزی تکمیک می شوند و غلظت تاجیزی را بین های مثبت و منفی وجود می اورند؛ این مایعات، رسانای ضعیفی برای جریان الکتریستی اند.

۳ - بلورهای شبکه‌ای. در این بلورها اتمها در موقعیت‌های مشخص قرار دارند و به وسیله شبکه‌ای از پیوندهای کووالانسی به یکدیگر متصل اند. تمامی بلور از می توان به صورت مولکولی عظم در نظر گرفت، المس نمونه ای از این بلورهای کووالانسی به وسیله پیوندهای کووالانسی به یکدیگر متصل شده و ساختاری سه‌بعدی بوجود آورده اند (شکل ۱۱-۱۴ را ببینید). چنین موادی دیرگذار و بسیار سخت‌اند زیرا برای شکستن و از بین بردن ساختار بلوری باید تعداد زیادی پیوند کووالانسی گشته شود. بلورهای شبکه‌ای رسانای الکتریستی نیستند.

۴ - بلورهای فلزی. الکترون‌های بیرونی اتم‌های فلزی، به علت ضعیفی پیوند جایه هستند، در ساختار بلور فلزی، آزادانه حرکت می‌کنند. بقیه اتم‌های فلز، بعضی بین‌های مثبت، موقعیت‌های باقی بردار دارند. این منفی الکترون‌های در حال حرکت که اغلب کار الکترون را در میان الکترون نامایه می شود، اجزایی بلور را به یکدیگر متصل می سازد. این نیروی سیگنگی که به بینوند فلزی مشهور است در بخش ۷-۵ ۱ به تفصیل



شکل ۱۱-۱۲ - نمودار فاز کرین دیوکسید (بر مقاس رسم نشده است).

۱۱-۱۱ الواقع جامدات بلوری

امهای بین‌ها و یا مولکول‌ها می توانند بلور تشکیل دهند. بلورها را بر حسب نوع ذرات تشکیل دهنده و نیتروهای نگهدارنده آنها به چهار دسته تقسیم می‌کنند:

۱ - بلورهای یونی، جاذبه الکترواستاتیکی، عامل نگهدارنده

برونهای مثبت و منفی در ساختار بلوری است. به علت قوی بودن این نیتروها، دمای ذوب احسام بینی بالاست. بلورهای بینی، سخت و شکنندگاند. شکل ۱۱-۱۳ - نتیجه تلاش برای واپیچش بلور بینی را نمایش می‌دهد. به علت حرکت یک سفیده از بین‌ها از روی صفحه دیگر، بین‌های دارای این اهمان در کنار یکدیگر قرار خواهند گرفت. نتیجه این کار شکستن بلور است، ترکیبات بینی، به صورت مذاب یا در محلول، رساناهای خوبی برای جریان الکتریستی اند، اما در حالت جامد که بین‌ها آزاد حرکت ندارند، تارسانا هستند.

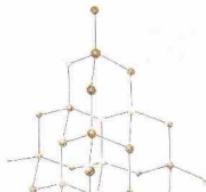
۲ - بلورهای مولکولی، مولکول‌ها، موقعیت‌های مشخصی در

بلورهای ترکیبات کووالانسی اشغال می‌کنند. قادرت نیتروهای بین مولکولی نگهدارنده این مولکول‌ها در ساختار سلی، به اندازه

بلور مولکولی، برقدانه (H_2O)بلور یونی، فلورویرت، CaF_3

جدول ۱۱ - ۴ انواع جامدات بلوری

مثال‌ها	خواص	نیروهای جاذبه	ذرات	بلور
NaCl, BaO	دمای ذوب بالا، سخت، شکنندۀ	جاذبه‌های یون‌های مثبت و منفی	یون‌های مثبت و منفی	بلور
KNO ₃	در راهات مایع رسانای خوب جزیره‌انهای کلریستیت	الکترواستاتیکی	-	بلور
H ₂ O, NH ₃ , SO ₂	دمای ذوب پایین نرم نارسایی سیار غصیف جزیره‌انهای کلریستیت	موکول‌های قطبی دوقطبی	موکول‌های قطبی دوقطبی	بلور
H ₂ C ₆ CH ₃	دمای ذوب پایین نرم جزیره‌انهای کلریستیت	-	بلور	بلور
(C ₆ H ₆) _n	دمای ذوب پس از سخت	-	-	-
AlN, SiC,	پرسانایی جزیره‌انهای کلریستیت	بین‌نهاده‌های کووالانسی	آبها	شکل‌های
SiO ₄	پرسانایی جزیره‌انهای کلریستیت	-	-	-
Ag, Cu,	دمای ذوب نسبتاً بالا، سخت	-	بین‌نهاده‌های مثبت و منفی	بلور
Na, K,	نرم، چکش، موافع مغناطیسی پرسانایی خوب‌تر از جزیره‌انهای کلریستیت	بین‌نهاده‌ای فلزی	بلور	بلور
Fe	-	الکترونهاده‌ای متخرک	فلزی	بلور



شکل ۱۱ - ۱۴ آرایش اتم‌ها در بلور الماس



بلور شبکه‌ای، کوارتز (سیلیسیم دیوکسید، SiO₂)

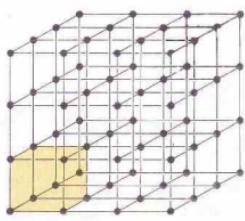


بلورهای فلزی، سطح قطعه‌ای روی که نشان‌دهنده ساختار بلوری آن است.

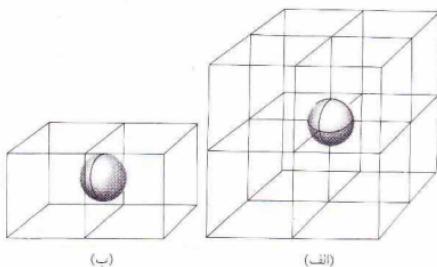
مورد بحث قرار می‌گیرد.

پیوند فلزی قوی است. دمای ذوب و چگالی اغلب فلزات بالاست و یون‌های مثبت تشکیل‌دهنده ساختار آنها در یکدیگر تنگ‌چین شده‌اند (آرایش تنگ‌چین). برخلاف بلورهای یونی موقوتی یون‌های مثبت در بلورهای فلزی را می‌توان بدون از بین بردن بلور تغییر داد، زیرا بار منفی الکترون‌های آزاد به طور یکنواختی پراکنده شده است (شکل ۱۳ - ۱۱ را ببینید). در تیجه اغلب بلورهای فلزی به آسانی تغییر شکل داده شوند و اغلب فلزات چکش خوار (شکل‌بازی) و مغناول‌بازی (قابل تبدیل به سیم مستقیم) دارند. اغلب فلزات به علت دارای بودن الکترون‌های آزاد، رسانهای شوند (شکل ۱۱ - ۱۲ را ببینید).

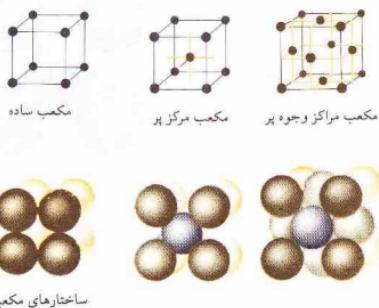
خواص چهار نوع بلور بیان شده در بالا در جدول ۱۱ - ۴ آمده است.



شکل ۱۱ - ۱۵ شبکه فضایی مکعبی ساده (یک سلول واحد به صورت رنگی نشان داده شده است).



شکل ۱۱-۱۷ در بلورها، (الف) هر اتم واقع در گوشه در هشت سلول واحد مشترک است، و (ب) هر اتم واقع در مرکز رخ در دو سلول واحد مشترک است.



شکل ۱۱-۱۶ ساختارهای مکعبی

مثال ۱۱-۱۱ چون $1\text{ pm} = 10^{-10}\text{ cm}$ ، $1\text{ pm} = 10^{-8}\text{ cm}$ ، $3,52\text{ pm} = 3 \times 10^{-8}\text{ cm}$ ، $3,52 \times 10^{-8}\text{ cm}^3$ سلول واحد $3,52 \times 10^{-8}\text{ cm}^3$ ، یا $3 \times 10^{-22}\text{ cm}^3$ است، زیرا سلول واحد مراکز وجوده پر، دارای چهار اتم می‌باشد. بنابراین،

حل

$$\begin{aligned} \text{چون } 1\text{ cm}^3 &\approx 8.94\text{ g Ni} \\ \text{سلول واحد } 3,52 \times 10^{-8}\text{ cm}^3 &= 4.36 \times 10^{-23}\text{ cm}^3 \\ \text{از چگالی بلور، دارای:} \end{aligned}$$

$$1\text{ cm}^3 \approx 8.94\text{ g Ni}$$

تعداد اتم‌ها در 58.7 g Ni برابر با عدد آلوگارو است:

$$\text{اتم} = \frac{58.7\text{ g Ni}}{8.94\text{ g Ni}} \left(\frac{\text{اتم}}{3,52 \times 10^{-23}\text{ cm}^3} \right)^{14} = 6.02 \times 10^{23}$$

مثال ۱۱-۱۲

سدیم در دستگاه مکعبی مبتلور می‌شود و هر ضلع سلول واحد 430 pm است. چگالی سدیم 0.963 g/cm^3 ، وزن اتمی سدیم 23 g/mol می‌باشد. تعداد اتم‌های سدیم موجود در یک سلول واحد را به دست آورید. نوع سلول واحد مکعبی سدیم را مشخص کنید.

حل

هر ضلع سلول واحد $430\text{ pm} \times 10^{-10}\text{ cm} = 4 \times 10^{-8}\text{ cm}$ است. بنابراین حجم سلول

واحد تقسیم کرد (شکل ۱۱-۱۵). از لحاظ نظری اگر سلول‌های واحد رادر سه بعد کنار هم بچینیم یک شبکه بلوری تولید می‌شود.

ایده سلول واحد را می‌توان در مورد ساختار بلوری نیز به کار برد. این سلول‌های واحد شامل تمام واحدهای ساختاری (شامل کاتیون‌ها و آئیون‌های یک بلور یونی) تشکیل دهنده بلورند، نه فقط نقطه‌های شبکه. توجه کنید که در سلول واحد یک ساختار بلوری تمام اجزای بلور دارای نسبت‌های درست هستند. تکرار سلول واحد یک ساختار بلوری در سه بعد، خود ساختار را به وجود خواهد آورد.

ساده‌ترین نوع سلول واحد، سلول واحد مکعبی (شکل ۱۱-۱۶) است. توجه کنید که می‌توان نقطه‌هایی در چاهای دیگری بجز گوشه‌های سلول واحد نیز داشت. در سلول واحد مکعبی مرکز پر، هر نقطه در مرکز سلول قرار دارد. در یک سلول واحد مکعبی مراکز وجوده پر، هر نقطه در مرکز یکی از رخ‌های سلول قرار دارد.

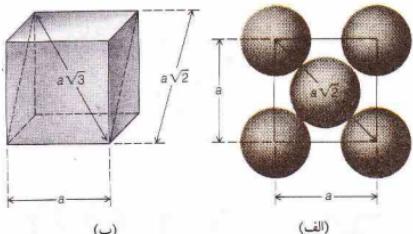
در بلور فلزات می‌توان فرض کرد که اتم‌ها در موقعیت‌های شبکه قرار گرفته باشند (هرچند که التکرون‌های خارجی اتم‌های فلز، آزادانه در تمام ساختار بلوری در حرکت‌اند). در شمارش تعداد اتم‌های هر سلول واحد باید توجه داشت که اتم‌های مستقر در یک گوشه یا رخ با سلول‌های مجاور مشترک‌اند. اتم‌های واقع در هر گوشه بین هشت سلول واحد مشترک‌اند و دو سلول واحد در یک اتم واقع در مرکز رخ مشترک‌اند (شکل ۱۱-۱۷ - را ببینید). یک اتم واقع در مرکز ساختار مکعبی فقط به یک سلول واحد تعقل دارد.

۱ - سلول واحد مکعبی ساده حاوی هم‌ارز فقط یک اتم است (هشت گوشه و در هر گوش یک هشت‌اتم).

۲ - سلول واحد مکعبی مرکز پر شامل دو اتم است (هشت گوشه و در هر گوش پیش از هشت اتم است).

۳ - سلول واحد مراکز وجوده پر شامل همان‌ارز چهار اتم است (هشت گوشه و در هر گوش یک هشت‌اتم است).

نصف هر اتم به سلول موردنظر من رسید).



شکل ۱۱-۱۸ تعیین (الف) قطر یک ربع و (ب) قطر یک مکعب

$$\begin{aligned} r &= a\sqrt{3} \\ r &= \frac{a\sqrt{3}}{4} \end{aligned} \quad (۱۰-۱)$$

مثال ۱۱-۱۱

سیدم به صورت سلول واحد مکعبی مرکز پر با طول هر یک از اضلاع برابر با ۴۳۰ pm متبادر می‌شود. شعاع اتمی Na را به دست آورید.

حل

قطری مکعب سلول واحد برابر است با:

$$\begin{aligned} a &= a\sqrt{3} \\ &= (430 \text{ pm})\sqrt{3} \\ &= 745 \text{ pm} \end{aligned}$$

این طول چهار برابر شعاع اتمی است:

$$\begin{aligned} r &= 745 \text{ pm} \\ r &= 186 \text{ pm} \end{aligned}$$

۱۱-۱۳ تعیین ساختار بلوری با پراش اشعه X

بخشندهای از شناخت ما درباره ساختار دورنی بلورها، از آزمایش‌های پراش اشعه X به دست آمد. تداخل دو موج هم‌مقاز اشعه X که دارای طول موج یکسان باشند، باعث تقویت آنها و تولید موجی قوی تر از هر یک از امواج اولیه می‌شوند. دو موج کاملاً ناهماقاز هم‌دیگر را حذف می‌کنند (شکل ۱۱-۹ را ببینید).

شکل ۱۱-۱۹ نشان دهنده چگونگی تعیین فواصل یک بلور با استفاده از اشعه X تک طول موج، A، است. این اشعه تحت زاویه θ بر صفحه‌های موادی بلور (که با فاصله d از یکدیگر قرار دارند) می‌تابد. بعضی از پرتوها از سطح بالایی، بعضی از سطح دوم و بعضی دیگر از

واحد $\text{cm}^3 = 1 \times 10^{-8} \text{ cm}^3$ (۴)، یا $7.95 \times 10^{-23} \text{ cm}^3$ می‌باشد. باید تعداد اتم‌های Na را در این حجم به دست آوریم. ضرایب تبدیل خود را از چگالی سدیم به دست می‌آوریم:

$$0.963 \text{ g Na} \approx 1 \text{ cm}^3$$

با توجه به اینکه در یک مول Na (۲۳g) تعداد اتم‌های Na برابر با عدد آکوگادو است:

$$\text{Na} \quad 6.02 \times 10^{23} = 23.0 \text{ g Na}$$

حل مسئله به صورت زیر است:

$$9 \text{ اتم Na} = 7.95 \times 10^{-23} \text{ cm}^3 \left(\frac{0.963 \text{ g Na}}{1 \text{ cm}^3} \right) \left(\frac{6.02 \times 10^{23} \text{ اتم Na}}{23.0 \text{ g Na}} \right) = 2.00 \text{ اتم Na}$$

سدیم به صورت سلول مرکز پر متیلور می‌شود، زیرا سلول واحد مکعبی مرکز پر، تنها سلول واحد مکعبی دارای دو اتم است.

دادهای مربوط به بلور رامی توان برای محاسبه شعاع اتمی به کاربرید:
۱- در یک سلول واحد مکعبی ساده، شعاع اتمی، r ، برابر با نصف طول هر یک از اضلاع سلول، یعنی a ، است (شکل ۱۱-۱۶ را ببینید):

$$r = a/2 \quad (۱۱-۱)$$

۲- در یک سلول واحد مراکز وجوده پر اتم‌های مستقر بر روی هر ضلع یا یکدیگر تماش ندارند. در این سلول‌ها، باید طول قطر رخ را محاسبه کنیم (شکل ۱۱-۱۸، الف را ببینید). براساس قسمی فیثاغورث در مورد سه گوشه‌های قائم‌الزاویه،

$$\begin{aligned} (\text{ضلع} + \text{ضلع})^2 &= (\text{وتر})^2 \\ a^2 + a^2 &= 2a^2 \\ \text{قطر رخ} &= a\sqrt{2} \end{aligned} \quad (۷-۱۱)$$

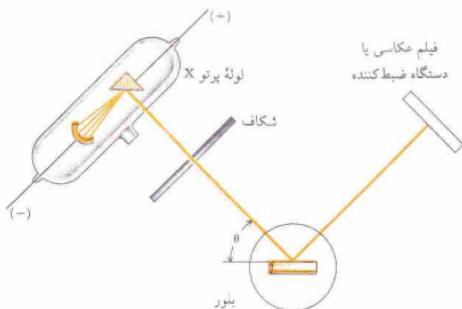
این قطر برابر با چهار شعاع است:

$$\begin{aligned} 4r &= a\sqrt{2} \\ r &= a\sqrt{2}/4 \end{aligned} \quad (۸-۱۱)$$

۳- برای پیدا کردن شعاع اتمی یک اتم که سلول واحد مکعبی مرکز پر (شکل ۱۱-۱۸ ب را ببینید) را تشکیل داده است، باید طول قطر مکعب را به دست آوریم. از شکل ۱۱-۱۸ ب می‌توان دید که قطر یک مکعب برابر با قطر مربع حاصل از ضلع مکعب، یعنی a ، و قطر یک رخ نیز برابر $a\sqrt{2}$ است. در نتیجه،

$$\begin{aligned} a^2 + (a\sqrt{2})^2 &= (\text{قطر مکعب})^2 \\ 2a^2 &= \text{قطر مکعب} \\ a\sqrt{2} &= \text{قطر مکعب} \end{aligned} \quad (۹-۱۱)$$

این قطر برابر با چهار شعاع اتمی است:



شکل ۱۱ - ۲۰ طرح دستگاه پراش پرتوهای X به رسیلر بلورها

گرفته‌اند، با زاویه‌های مختلف بازتاب می‌باشد. این بازتاب‌ها مربوط به هستند و بازتاب‌های مرتبه اول، دوم، سوم، ... نامیده می‌شوند. طبق مرتبه متواالی زاویه θ زیاد می‌شود و شدت پرتوهای بازتابیده کاهش می‌باشد.

شکل ۱۱ - ۲۱ طرحی از یک طفسنجن پرتو X را نشان می‌دهد. یک پرتو X که به رسیلر شکافی محدود شده است به بلور نسبت شده بر روی صفحه چرخانی تابیده می‌شود. یک آشکارساز (صفحه عکاسی، اتاق پوشش، یا شمارنده‌گایگر^۳) به گونه‌ای که در شکل نشان داده شده است، در محل مناسبی کار گذاشته می‌شود. همچنان که بلور می‌چرخد، هنگام گذشتن از زاویه‌هایی که در معادله برآگ صدق می‌کنند، پیام‌های قوی ظاهر می‌شود. هر دسته از سطوح شامل اتمها که منظم باشند، می‌توانند سبب بازتاب شود. این سطوح منحصرأ رخ‌های سلول‌های واحد نیستند، بلکه برابر مقدار d (الاماً برابر طول ضلع سلول واحد نیست)، گرچه بین این دو همواره یک رابطه ریاضی وجود دارد.

مثال ۱۱ - ۷

پراش بلوری از باریم با تابش X دارای طول موج ۲۲۹ pm، بازتاب مرتبه اول در 27° می‌دهد. فاصله بین صفحه‌های بلور را پیدا کنید.

حل

با قرار دادن اطلاعات داده شده در معادله برآگ، داریم

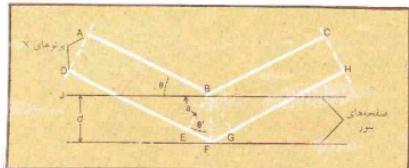
$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

$$1(229 \text{ pm}) = 2d(0.456)$$

$$d = 251 \text{ pm}$$

1. William Henry Bragg
3. Geiger Counter

2. William Lawrence Bragg



شکل ۱۱ - ۱۹ روش به دست آوردن معادله برآگ

سطح پایین تر منعکس می‌شوند. یک پرتو منعکس شده قری تنشا هنگامی حاصل می‌شود که تمام پرتوها هم‌فاز باشند. در شکل ۱۱ - ۱۹ فاصله‌ای که پرتو پایینی طی می‌کند (DFH)، به آنقدر $EF + FG$ ، دورتر از فاصله‌ای است که پرتو بالایی می‌پیماید (ABC). پرتو فقط هنگامی خواهد بود که تفاوت آنها برابر با عدد کل طول موج‌ها بشد:

$$EF + FG = n\lambda$$

که در آن، «عدد صحیح است، چون زاویه ABE ، یک زاویه قائم است»

$$\theta' + a = 90^\circ$$

زاویه JBF نیز قائم است، و

$$\theta' + a = 90^\circ$$

در نتیجه زاویه‌های θ' و θ برابرند. سینوس زاویه θ' برابر با EF/BF است. چون خط BF برابر d است،

$$\sin \theta = \frac{EF}{d}$$

یا

$$EF = d \sin \theta$$

عبارت

$$FG = d \sin \theta$$

را نیز می‌توان به همین ترتیب به دست آورد، در نتیجه،

$$EF + FG = 2d \sin \theta$$

چون $EF + FG$ برابر با $n\lambda$ است،

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

(۱۱ - ۱۱)

این معادله که در ۱۹۱۳^۴ به دست آمد، به معادله برآگ^۱ و پیرش و پیلایم لورنس برآگ^۲ برابر است. این معادله برآگ مشهور است. وقتی که پرتوهای X با طول موج معین به بلور تابیده می‌شود، این پرتوها از یک دسته سطوح معین بلور که به فاصله d از یکدیگر قرار

۱۱-۱۲ ساختار بلوری فلزات

در اغلب موارد بلورهای فلزی بر یکی از کروگوهای زیر و اینسته اند: مکعبی، مترکز پر (شکل ۱۱-۱۶)، مکعبی مراکز و جوده پر (شکل ۱۱-۱۶) و شش گوشهای فشرده (شکل ۱۱-۱۷). آرایش اتمها در بلورهای مکعبی مترکز و جوده پر و شش گوشی اثمره شدن است که هر اتم دارای عدد اتمی مترکز و جوده پر و شش گوشی اثمره شدن است که هر اتم دارای عدد اتمی مکوبیدانیسونیو ۱۲ است (هر اتم به وسیله ۱۶ اتم دیگر که با خاصهای مساوی از آن قرار گرفته اند، احاطه شده است). اگر اتمها را به صورت کره هایی در نظر بگیریم، در این دو نوع بلور کمترین مقدار اختلافی خالی (حدود ۰.۶٪) وجود دارد و هر دو شکل بلوری به ساختارهای تنگچگین یا فشرده مشهورند. آرایش مکعبی مترکز پر، ندنکی بازتر از دو آرایش فشرده است (حدود ۳٪/۳٪، اختلاف خالی)؛ هر اتم بلور، مکعبی دارای عدد که در دنیسته است.

شکا، ۱۱- ۲۲ طرح دو لایه اول در آزادی، فشرده

جدول ۱۱-۵ ساختار بلودی فلزات

وجوه پر و مکعبی مرکزپر) تقریباً بکوتاخت است. چگالی نسبتاً زیاد اغلب فلزات را می‌توان با توجه به ساختار تنگ‌چین بلورهای فلزی آنها تبیین کرد. ساختار محدودی از فلزات (برای مثال جیوه و سیگنٹ) در هیچیک از این سه نوع ساختار قوار ننمی‌گیرند و نساد این فلزات در جدول نیامده است. برخی از فلزهای دارای چند شکلی (آلوروبیون) بلوری هستند، یعنی فرم‌های گوناگون بلوری یک فلز در شرایط مختلف پایدارند. برای مثال مکلبین در شرایط مناسب می‌تواند هر یک از سه ساختار را داشته باشد. ساختار بلوری هر یک از فلزات که در جدول ۱-۱ به اشاره شده است، پایدارترین ساختار در شرایط عادی است. علاوه بر پسیاری از فلزات، گازهای نجیب نیز در شبکه مکعبی با مرماک و وجود پر مخلوط می‌شوند.

۱۱-۱۵ بلورهای یونی

ساختار بلورهای یونی پیچیده از ساختار بلورهای فلزی است.
بلورهای یونی باید چنان آرایشی را به خود بگیرند که پتواند یونهای عیاری راکه باهای مخالف و اندازه‌های متفاوتی دارد، با نسبت استوکومتری مناسب در برقی نمذ، به تحریم که نیوهای جاذبه الکترواستاتیکی بر نهاده، داده اکت و استاتیک غلبه داشته باشند.

تفاوت بین دو ساختار قشره را می توان با ملاحظه شکل ۱۱-۲۲ به دست آور. دایره های سایه ادار موجود در نمودار نمایشگر اولین لایه از کره ها هستند که تا حد ممکن نزدیک به هم قرار گرفته اند. دومن لایه کره های (دایره های توخالی شکل ۱۱-۲۲) در فضاهای خالی بین کره های مجاور در لایه اول قرار گرفته اند. دو لایه اول (۵ و ۶) در هر دو آرایش قشره (مکعبی مراکز وجوده پر و شکل گشای قشره)، یکسان هستند. تفاوت آنها در آرایش لایه سوم و لایه های بعدی نماید. در آرایش شش گوش ایستگی چین کره های لایه سوم چنان قرار گرفته اند که مستقیماً بر روی کره های لایه اول قرار دارند. ترتیب لایه های به صورت ababab... می توان نمایش داد. ولی در ساختار مراکز وجوده پر، کره های لایه سوم (۶) بر روی فضاهای خالی (در شکل ۱۱-۲۲) نشانه داشتند. تشكیل شده و با سهله آرایش لایه های اول و دوم قرار گرفته اند. کره های لایه چهارم در ساختار مکعبی مراکز وجوده پر چنان قرار گرفته اند که مستقیماً بر روی کره های اول افتاده اند.

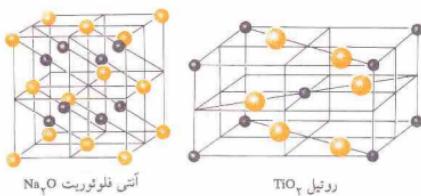
ساختهای پلوری فلزات در جدول ۱۱-۵ خلاصه شده است.



شکا ۱۱-۲۱ ساختار ششم، گوشه‌ای فشرده



شکل ۱۱-۲۴ - ساختار سیم کلرید (الف) با تماس کاتیون - آئیون و (ب) بدون تماس کاتیون - آئیون (کاتیون‌ها با کوهای رنگی نمایش داده شده‌اند).



شکل ۱۱-۲۵ - ساختار بلوری ترکیبات یونی از نوع MX_6 . (آئیون‌ها با کوهای رنگی نمایش داده شده‌اند).

در ساختار $CsCl$ ، یون Cs^+ در مرکز قرار دارد و با هر یک از یون‌های Cl^- موجود در گوشه‌های مکعب در تماس است (شکل ۱۱-۲۴). الف را ببینید). ترکیبی را در نظر بگیرید که کاتیون آن سیار کوچکتر از آئیون مربوطه باشد. کاتیون کوچک قادر به تماس با آئیون‌های بزرگ پیغامون خود نیست (شکل ۱۱-۲۴ - ۲ ب را ببینید)، زیرا دافعه الکترواستاتیکی بین آنها مانع از بههم فشرده شدن آنها می‌شود. در نتیجه اندازه جاذبه مثبت - منفی نسبتی AM می‌شود (d) بزرگ‌تر از مقدار لازم است. در چنین موردی ترکیب با عدد کوتوردیناتیسوئی پایین‌تری برای کاتیون ولی نزدیک به مقدار مجاز برای تماس نزدیک‌تر کاتیون - آئیون، مبتلور می‌شود.

دو ساختار MX_6 و M_2X برای ترکیبات یونی در شکل ۱۱-۲۵ نمایش داده شده‌اند. ساختار سوم این ساختار قفل‌نوتورت (به‌خاطر کاتیون فلوروئورت CaF_6^- ، نامگذاری شده‌است)، به ساختار آنتی‌فلوروریت نشان داده شده در شکل ۱۱-۲۵ - شباخت دارد بجز اینکه چای کاتیون و آئیون عوض شده‌است. نمونه‌هایی که از ترکیبات یونی که با ساختارهای بلوری گفته شده مبتلور می‌شوند، در جدول ۱۱-۶ آمده است.

۱۱-۶ ساختارهای ناقص

شمار اندکی از بلورها کامل‌اند؛ بسیاری از آنها نوعی از نقص شبکه‌ای دارند. جایه‌چالن، نوچ از نقص می‌روйт به نام‌آور بودن صفحه‌ای اتم‌هastas. برای مثال نوچی از جایه‌چالن در اثر جای‌گیرشدن صفحه‌ای اضافی از اتم‌ها (عمود بر یکی از رخداهای بلور) درخشی از بلور صورت می‌گیرد. در این صورت آن دسته از اتم‌های بلور که مشتمل بر این صفحه‌اند، فشرده می‌شوند.

انرژی پتانسیل (PE) بر همکنش بین دو یون با حاصل ضرب بارهای بین آنها (q_1 و q_2) نسبت مستقیم دارد و فاصله بین مراکز دو یون (d)، نسبت معکوس:

$$PE = \frac{kq_1 q_2}{d} \quad (11-12)$$

که در آن، k برابر با $10^4 J.m/C^2$ است در صورتی که 9.۶ برابر حساب کولون (C) و d برحسب متر باشد. اگر بارها نامن باشند (هر دو مشتبه یا هر دو منفی)، همیگر را دفع می‌کنند و انرژی پتانسیل دارای مقادیر مشتب است (برای نزدیک کردن یون‌ها به یکدیگر انرژی لازم است، از سوی دیگر اگر بارها نامن باشند همیگر را جذب می‌کنند و انرژی پتانسیل مثبت خواهد شد) (با نزدیک شدن یون‌ها به یکدیگر انرژی آزاد خواهد شد). سپاهرا، ایجاد این ساختار هر ترکیب ساختاری است که دارای بیشترین تعداد ممکن جاذبه کاتیون - آئیون باشد، یعنی ساختاری که نمونه‌های مشتب و منفی آن کمترین فاصله را با یکدیگر داشته باشند (چوکچک‌ترین مقادیر d).

سه نوع از متداول‌ترین این‌گونه بلور برای ترکیبات یونی دارای فرمول MX در شکل ۱۱-۲۳ - ۲۵ نمایش داده شده است. در هر نمودار تعداد کاتیون‌ها موجود در سلول واحد برابر تعداد آئیون‌هاست (از هر یون یکی در $CsCl$ ، از هر یون ۴ تا در $NaCl$ و ZnS ، با به حساب آوردن اشتراکی بین سلول‌های واحد مجاور). به این ترتیب در هر یون، نسبت استکوکیometri می‌باشد ۱ رعایت شده است.

در ساختار سیم کلرید ($CsCl$)، یون Cs^+ (یون مرکزی در ساختار نشان داده شده در شکل ۱۱-۲۳) دارای هشت یون Cl^- در نزدیکی ترین فاصله ممکن است (یون Cl^- دارای عدد کوتوردیناتیسوئی ۸ می‌باشد). در بلور سدیم کلرید ($NaCl$)، هر یون Na^+ دارای هشت یون Cl^- در نزدیک‌ترین فاصله است (عدد کوتوردیناتیسوئی ۶)، در ساختار روی سولفید طبیعی (ZnS)، هر یون Zn^{2+} دارای چهار یون S^{2-} در نزدیک‌ترین فاصله است (عدد کوتوردیناتیسوئی ۴). از حافظ پایداری حاصل از جاذبه بارهای مشتب - منفی، بلور $CsCl$ که در آن یون Cs^+ دارای عدد کوتوردیناتیسوئی ۸ می‌باشد، بهتر از بقیه است.

البته عامل دیگری نیز وجود دارد: فاصله بین کاتیون و آئیون، یعنی d ، که معیاری برای مقایسه بین اندازه کاتیون و آئیون به دست می‌دهد.



شکل ۱۱-۲۳ - ساختار بلوری ترکیبات یونی از نوع MX (کوهای رنگی نمایش محدوده کاتیون‌هاست).

جدول ۱۱ - ۶ ساختار بلوری برخی از ترکیبات یونی

ساختار	مثال
سری کلرید	CsCl, CsBr, CsI, TlCl, TlBr, Tl, NH ₄ Cl, NH ₄ Br
هالیدهای Rb ⁺ , K ⁺ , Na ⁺ , Li ⁺	هالیدهای آسیدها و سولفیدهای
سدیم کلرید	AgF ; Ni ²⁺ , Mn ²⁺ , Sr ²⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺
روی سولفید طبیعی	NH ₄ I, AgBr, AgCl
فلوروریت	CuI, Hg ²⁺ , Cd ²⁺ , Be ²⁺ , Zn ²⁺ , AgI, CuCl, CuBr
آتش فلوروریت	فلوروریت های Ca ²⁺ , Cd ²⁺ , Ba ²⁺ , Pb ²⁺ , UO ₄ , ThO ₄ , ZrO ₄ , SrCl ₆ , BaCl ₂ , K ⁺ , Na ⁺ , Li ⁺
روتبل	اکسیدها و سولفیدهای Fe ²⁺ , Zn ²⁺ , Mn ²⁺ , Ni ²⁺ , Mg ²⁺ , آنفلوروریت
	اکسیدهای Te ⁴⁺ , Sn ⁴⁺ , Mn ⁴⁺ , Ti ⁴⁺

نقص نقطه‌ای ناشی از فقدان یا در جای خود قرار نگرفتن یون‌هاست. نوعی از نقص بلور شامل حرکت یک کاتیون از مکان مناسب خود است (که نتیجه آن پیدایش جای خالی در بلور) به جایی در بنی مواضع منظم شبکه بلور است (یک محل حل درون‌حفره‌ای). گروههای دیگری از نقص نقطه‌ای ناشی از وجود یک جفت جای خالی (یک آئینو و یک کاتیون) است؛ جای این یون‌ها در شبکه بلور، کاملاً خالی است. این نوع نقص نقطه‌ای، تغییری در استوکیومتری بلور ننمی‌دهد. نقص بلورهای معینی به عمل غیر استوکیومتری بودن ترکیب آنهاست. برای مثال در نمونه‌هایی از آهن (II) اکسید، FeO، تعداد آنها اکسیون اغلب، پیشتر از تعداد اتم‌های آهن است، حال آنکه در روی اکسید، ZnO، تعداد اتم‌های Zn بیشتر است. این انحراف از

استوکیومتری معمولاً بسیار ناجیز، حدود ۱٪ است. عوامل تعدی موجب غیر استوکیومتری بودن مواد می‌شوند، ولی در هر حال، بلور از نظر الکترونی خشی می‌ماند. در بلورهای ZnO اتم‌های Zn²⁺ اضافی در مکان‌های درون‌حفره‌ایین بین یون‌های O²⁻ آزادی‌کاری شکل می‌گیرند. در بلورهای FeO، آئینون‌های O²⁻ کاملاً تشکیل می‌دهند که جاهای خالی نیز برای اشغال به وسیله کاتیون‌ها دارد، برخی از یون‌های Fe²⁺ به وسیله یون‌های Fe³⁺ جاگذیری شده‌اند که در نتیجه آن، خشی بودن الکترونی رعایت شده است. فرمول این ماده بلوری Fe_{0.95}O است. موین نفع غیر استوکیومتری در گونه‌ای از بلورهای NaCl مشاهده می‌شود. تشکیل این بلور را به صورت زیرمی‌توان جسم کرد. فرض کنید که مقدار از اتم‌های Na⁺ را می‌گیرند و به تعداد آنها نیز بون CL⁻ در بلور پوشید. اگر این اتم‌های Na⁺ بودند، تمام مواضع شبکه بلوری به وسیله یون‌های Na⁺ پر خواهد شد. الکترون‌های مرتبه‌ی طبقه‌ی سیم مربوط به پوش اتم‌های Na⁺ ممکن است جاهای خالی مربوط به یون‌های Na⁺ باشد (شکل برگشته).

اقسام غیر استوکیومتری را اغلب بر تولید نیز نامند که به اختصار کلودینیوں برتروله^۲ می‌گذرانند. برتروله برین باور بود که توکیب اجزای مواد سرامیکی مستمر در یک گستره محدود در تغییر است. یوزف پروست^۳، بایان قانون نسبت‌های معین درگیر جدالی هشت ساله (از ۱۷۹۹ تا ۱۸۰۵) با برتروله در مورد توکیب اجزای مواد شد.

وجود ناخالص‌های اغلب سبب نقص شبکه بلور می‌شود. مثلاً یک یون Mg²⁺ ممکن است جای بون Na⁺ را در شبکه بلوری NaCl بگیرد؛ برای خشی سازی الکترونی که لازماست که مواضع دیگر در بلور خالی باشد، زیرا بار بون Mg²⁺ و بار بون Na⁺ است. با افزودن ناخالصی برخی از بلورهای موادی به نام نیمه‌رسانا تهیه می‌کنند (بخش ۲-۲۵ را ببینید).

چکیده طالب

در حالت‌های تغییر احتمام (مایع و جامد)، مولکول‌ها به وسیله نیروهای جاذبه بین مولکول‌ها کنار یکدیگر نگهدارشند می‌شوند. سه نوع از این نیروها مورد بحث قرار گرفته‌اند: نیروهای امدادی در قطبی - دوقطبی که میان مولکول‌های دارای دوقطبی‌های دائمی رخ می‌دهند، ناشی از جاذبه یعنی قطب‌های ایجادهای مربوط به حرکت مولکول است. نیروهای لرزند، ناشی از دوقطبی‌های ایجادهای مربوط به حرکت الکترون‌ها در مولکول‌ها می‌شوند. پیده‌روزی این نیرو بین مولکولی قوی بین یک اتم هیدروژن (دارای بار⁺) و یک اتم انتقال به یک اتم کوچک و الکترون‌گذاری در مولکول دیگر (معمولًا N, O, F) است. خواص ایمیات و جاذبات را می‌توان براساس نظریه چنیش تبیین کرد. مولکول‌های مایع به عمل نیروهای جاذبه بین مولکولی، نزدیکتر از مولکول‌های کاز است. مولکول‌های مایع در یک حجم محدود شده که در آن فضای بین مولکول‌ها نسبتاً ناجیز است، از ازاداند در حرکت‌اند. حجم یک مایع ثابت است، اما مکان آن ثابت نیست. در جاذبات بلوری، مولکول‌ها در یک شبکه سه بعدی می‌باشند که میان قرار گیرندهای معین قرار می‌گیرند. حرکت مولکول‌ها به ارتعاش در حول این نقطه‌ای ثابت محدود می‌باشد. یک جسم جامد، شکل و حجم خود را حفظ می‌کند. مقادیر انرژی ذیپشده در اثر تبدیل یک مول از مایع به گاز در مایع می‌باشد.

را آتلانتیک تبخر مولی در آن دمایند. فشار بخار یک مایع، فشار بخار در حال تعادل با مایع در دمای مشخص است. دمایی که در آن، فشار بخار یک مایع با فشار بیرونی می‌شود، دمایی جوش آن مایع (اگر فشار بخار باشد)، (دمای جوش نرمای) نام دارد. معادله کالریوس - کلاریوس - لکلاریوس، فشار بخار یک مایع در دمای را به انتشار تبخر آن مایع می‌سازد. دمای انتشار نرمای را مایع دمایی است که در آن، جامد و مایع در تحت فشار کل ۱ atm، در تعادل‌اند. تبدیل یک مول مایع به جامد، آلتالپن تبخر مولی، آزاده می‌شود. فشار بخار جاذبات، سیاست کثر از فشار بخار مایعات است. نمودار فاز، نمایش طرح گونه نماده و نوع فازهایی است که یک سیستم شیمیایی در شرایط مایع و قیمتار می‌باشد. اینها می‌توانند وجود داشته باشند. این نمودارهای مجهزین، شناس دهنده روابط این بین این تبخر تبیین می‌کنند. جاذبات نیروهای را می‌توان بر اساس نوع ذرات تشکیل شده بلور و نیروهایی که آنها را در کنار یکدیگر نگه می‌دارند، طبقه‌بندی کرد. چهار نوع بلور وجود دارد: بونی، مولکولی، شکلکاری و فلزی. سلول و اسد یک بلور، کوکتیل‌ترین بخش از یک بلور است که با تکرار آن

1. Bertholdies

2. Claude Louis Berthollet

3. Joseph Proust

پلورهای پوئی باشد پونهای دارای بار مخالف و اندازه‌های متفاوت را با نسبت استوکیومتری مناسب، چنان در خود جای دهنده که جاذبهای الکتروستاتیک بر افکاهی‌های رساننده اینکه، بسیاری از ترکیبات پوئی با فرمول MX_3 با ساختار سدیم کلرید، سریم کلرید، یا روی سرفلاید، طبیعی متبلور می‌شوند. ترکیبات پوئی با فرمول MX_3 با MX_3 ، با ساختار آتشی فلورورت، روئیل، فلوروریت متبلور می‌شوند.

نوع نقص‌های پیش‌آمد در شبکه‌های پلوری شامل جایه‌چایی، چنان پونهای، سریع‌ای خود نبودن پونهای و باگیری تمثیلهای نظرات با اتهای ناقلات را به جای پونهای است. (این جایگیری سبب پیدا شدن مواد غیراستوکیومتری می‌شود).

در سه بعد، ساختار پلور به وجود آمده است. سلول واحد در دستگاه مکعبی (سامد، میکر پر، و مراکز و جوهر)، پیرای نشان دادن شیوه حل کردن سائل با استفاده از ایام این سلول، به کار گرفته هستند. فاصله بین صفحه‌های یک پلور را با استفاده از اتمالات متر X و رابطه برآگ می‌توان تعیین کرد. بسیاری از فلزات، با آیش شفرده، با تنگیون (شش گوشهای شده)، و مکعبی با مراکز یک مکعبی به که در آن اینها چنان به خوبی چیند شده‌اند که بیشترین علاوه آنها در می‌جنم معین جای گرفته‌اند و هر اتم دارای عدد کوئنرودیناسیونی ۱۲ است، مبتدا از فلزها با ساختار مکعبی می‌شوند که اندکی با از ازایشی‌های قشره دارد و در آن عدد کوئنرودیناسیونی هر اتم ۸ است.

مفهوم کلیدی

جامدات Amorphous solids مولکول‌های تشکیل دهنده آن به صورتی منظم با الگوی هندسی مشخص دارند بلورها آرایی‌های تیاق‌مندانه؛ این جامدات فاقد دمای ذوب یا دمای انجماد مشخص ندارند.

Bertholite

Dipole-dipole force بروزی دوقطی - دوقطی (بخش ۱۱ - ۱). نیزدیگرین مولکول‌کم که به عنل جاذبه متناظر قطب‌های ناهنام مولکول‌های قطبی همراهی به وجود آید.

Dislocation

نوع نقص اینها در یک اندام است. (بخش ۱۱ - ۱۶). تغیر آتابیلیتی Enthalpy of condensation مربوط به تراکم اندام معین بخار (معمولًا یک مول یا یک گرم) به مایع در دمای مشخص.

Dipole-dipole force

ذوب مقادار معین از حالت اندام مولکولی یک مول یا یک گرم) در دمای مشخص. انتالپی ذوب (بخش ۱۱ - ۷). انترژی لازم برای انتالپی تراکم (بخش ۱۱ - ۷). تغیر آتابیلیتی Enthalpy of fusion مربوط به تراکم اندام معین بخار (معمولًا یک مول یا یک گرم) به مایع در دمای مشخص.

Dipole-dipole force

ذوب مقادار معین از انتالپی تغییر (بخش ۱۱ - ۱۱ و ۱۱ - ۱۰). انترژی لازم برای تغییر مقادار معین از یک مایع معین (معمولًا یک مول یا یک گرم) در دمای مشخص.

Dipole-dipole force

تمعادل (بخش ۱۱ - ۵). شرایطی که در آن سرعت در فرایند Equilibrium (میل) محافل برای پاشند. انتالپی تغییر (بخش ۱۱ - ۴). فرایندی که در آن مایع به گاز تبدیل شود.

Dipole-dipole force

یک مایع به گاز تبدیل شود. سلول واحد مکعبی با مراکز وجود Face - centred cubic unit cell پرس (بخش ۱۱ - ۱۲) سلول واحد یک پلور که شامل مکعبی با ذرات تشکیل دهنده بسانک مستقر در هر گوش و در مرکز هر یک از جوجه، Freezing point می‌باشد. اندام اینجاد (بخش ۱۱ - ۷). دمایی که در آن اندام‌ها تبدیل باشند. اگر فشار بخار $1atm$ باشد، آنرا دمای اینجاد نومال کنند.

Dipole-dipole force

پیوند هیدروجنی (بخش ۱۱ - ۲). نوع جاذبه بین مولکولی که در میان یک اتم هیدروژن مربوط به یک مولکول و یک زوج الکترون متعلق به اتم در مولکول دیگر رخ می‌دهد. قطبیت مولکول که اتم هیدروژن را می‌دهد باید چنان باشد که هیدروژن دارای ۸ بالا باشد و زوج الکترون نیز باید به وسیله یک اتم الکترونگاتیو و یونک (مانند N ، O ، و F) تأسی شود.

Dipole-dipole force

تیزهای لندن (پرایگندکن). این جاذبه اندام را که به علت حرکت الکترون‌ها در مولکول به وجود آید عامل Instantaneous dipole تیزهای لندن (پرایگندکن). **Intermolecular forces** تیزهای بین مولکولی (بخش ۱۱ - ۱). تیزهای جاذبه بین مولکولها؛ این تیزهای مولکولها را در فاصله‌های متر اندام (جامد و مایع) در کنار همیداری نگیرند و مدارد. **Interstitial postion** موضع درون خود را نگرفت پونهای، با وجود اختلالی، قدردان پونهای سر جای خود قرار نگرفت پونهای، با وجود اختلالی.

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

که در آن، n ، مرتبه بازتاب (یک عدد صحیح)، λ طول موج پرتو X به کار رفته، d فاصله بین صفحه‌های بلور، و θ زاویه بازتاب پرتوهای X است. معادله کلایپرون Clausius - Clapeyron equation (بخش ۱۱ - ۷). معادله ای که فشار بخار یک مایع در دما را به یکدیگر و به آتابیلیتی تغییر مایع مربوط می‌کند:

$$\log \left(\frac{P_2}{P_1} \right) = \left(\frac{\Delta H_v}{2.303R} \right) \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right)$$

که در آن، P_1 فشار بخار T_1 بر حسب (K)، P_2 فشار بخار T_2 بر حسب (K)، ΔH_v آتابیلیتی تغییر (سر میزان حسب J/mol ، و R ثابت گاز ایده‌آل $J/K^2 mol$) است.

Closest - packed crystal (BX) (شده) (بخش ۱۱ - ۱۱ و ۱۱ - ۱۰ - ۴). ساختاری پلوری که در آن اتم‌ها چنان به خوبی چیده شده‌اند که بیشترین تعداد از آنها در یک میزان معین جای گرفته‌اند. بلورهای مکعبی با مراکز وجود پر بلورهای شش گوشهای شده از این گونه‌اند.

Closest - packed crystal

عدد کوئنرودیناسیونی در یک بلور (بخش ۱۱ - ۱۱ و ۱۱ - ۱۰ - ۱۵). عده نزدیک‌ترین همسایگان یک اتم با یک پون در یک ساختار پلوری.

Closest - packed crystal

متقارن اتم‌ها، پونهای با مولکول‌ها که با الگوی سه بعدی تکرار شده‌اند. آلوتروپ (چندشکل)‌های پلوری (بخش ۱۱ - ۱۲). دو یا چند فرم پلوری متفاوت از یک جسم که در شرایط مختلف پادارند. **Crystal defect** تقصیر (بخش ۱۱ - ۱۰ - ۱). تقصیر پلوری ناشی از جابجهای قدردان پونهای سر جای خود قرار نگرفت پونهای، با وجود اختلالی.

۱۱-۷۴ (الف) بـ بـ (III) بـ افادـ سـاختـ سـلـیـهـ کـلـیدـ مـتـلـدـ

می شود. کوانتینین فاصله بین Pb^{2+} و S^{2-} برابر 2.97 pm است. طول ضلع سلول واحد متمایز با $NaCl$ (شکل ۱۱ - ۲۳) چقدر است؟ (ب) چگالی PbS g/cm^3 چقدر است؟

١١ - ٦٨ - (الف) پانیس کاربید در ساختار سدیم کلرید متبلور می شود.
کوتاه ترین فاصله بین K^+ و Cl^- برابر 314 pm است. طول ضلع سلول واحد KCl مساوی با $(شکار ١١- ٦٨)$ مقدار است؟ (ب) $جیگال ٢٣- ٦٨$ جیگال KCl بر حسب

کوتاهترین فاصله بین Ti^+ و Cl^- برابر 333 pm است. طول صلم سلول واحد g/cm^3 چقدر است؟

۱۱ - ۷۰ کادمیوم سولفید در ساختار بلوری روی سولفید متبولور می شود.
 ۱۲ - ۳۰ تیتانیوم سولفید با TiCl_3 متشابه با CeCl_3 (شکل ۱۱-۲۳) چقدر است؟ (ب) چگالی TiCl_3 بر حسب g/cm^3 چقدر است؟

کوتاهترین فاصله بین یون Cd^{2+} و پرایر S^{2-} ۲۵۳ pm است. طول ضلع سلول واحد CdS مشابه با شکل ۱۱ - (۲۳) چقدر است؟ (ب) پگالی CdS بر حسب cm^3 چقدر است؟

۷۱-۱۱ در یک بلور معنی، فاصله بین مرکز کایون‌ها و اینون مجاورشان تقریباً برابر با مجموع شعاع پوش این دو یون است. برخی از شعاع‌های یونی عبارتند از: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Cl^- , F^- , OH^- , H_3O^+ .

نیترات نیکلیم Ni^{2+} ، بروم Br^{-} ، کلر Cl^{-} ، آگر Ag^{+} ، پتاسیم K^{+} ، سدیم Na^{+} و اسید سولفوریک H_2SO_4 را در میزان مقدار معلوم از $\text{Fe}_2(\text{O})_3$ اضافه کردند. سپس مذکورهای فصل پیش از آن را اضافه کردند. سپس مذکورهای فصل پیش از آن را اضافه کردند.

از روی سبزه (پندت مسی) ترین معدان مرتب کرد. NaBr و NIS را در ۱۱-۷۷ در یک بالور معین، فاصله بین مرکز کاتیون‌ها و آئیون مجاورشان

است، پلورهای ذیر را (که هر کدام در سیستم سدیم کلرید متبلور می‌شوند) بر حسب انرژی شکل (ایندا منفی ترین مقدار) مرتب کنید: MgO , KF , AgF , MnO , MgS , NaI

ساختارهای ناقص

۱۱- Cd^{2+} کادمیم اکسید، CdO در سیستم سدیم کلرید با چهار یون O^{2-} در هر سلول واحد متابولور می‌شود (شکل ۱۱-۲۳ را بینید).
به هر حال، این ترکیب معمولاً غیر استوکوئیمتری است و فرمول تقریبی آن

است. علیت پدیدآمدن نقص در این ساختار قرار گرفتن اتم‌های Cd^{2+} جای بینونهای Ca^{2+} است و به همین تعداد موقعیت‌های آنبوی خالی می‌ماند. (الف) چند مرتبه مواضع آنبوی خالی است؟ (ب) اگر طول سلول واحد 5.6×10^{-8} پاساژ، مگالی سلولار کمترین مقدار است؟ (ج) چگالی بیانور غیر سوتومیتی مقدار است؟ وزن اتمی Cd را 112.45 و وزن اتمی O را 16 در درجه بگرد.

۱۱- ۷۴) (الف) طول ضلع سه ول وحدت NaCl در شکل ۱۱ ۲۳- ۰ برای $5.6 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$ و پیگالکل NaCl ۲۱ است. با استفاده از این دادهای نتیجه مولکولیتاری NaCl را تا 15 cm^3 رقم باعث مساحتی مساحیه کنید. (ج) تابوت

بین انتشار مغایر مساحتی شده از روی داده های پور و وزن مولکولی واقعی NaCl (۵۸۴۲) بدین ترتیب سه شده که در آن اتم های Na^{+} چهار چشمگیر بین های Cl^{-} باشند و همین تعداد بین های Cl^{-} از مواضع پیلور حذف شده است.

براساس باخ خود در قسمت (الف)، درصد مواضع آتبیونی خالی را در پیلور مساحتی کنید.

به طول موج $\text{pm} = 71$ ، یک انعکاس مرتبه پنجم با زاویه 12° است. فاصله بین صفحات به وجود آورنده این بازتاب چقدر است؟ سینوس $12^\circ = 0.208$ است.

۱۱- مطالعه پرتو ایکس یک بولو طلا با استفاده از پرتوهای ایکس به طول موج 104 pm ، یک انعکاس مرتبه یک با زاویه 17° هستند. فاصله بین صفحات مستوی این بازتاب چقدر است؟ سینوس 17° برای 22 eV

۱۱- ۵۷ در مطالعه پرتو ایکس یک بلور، دسته‌ای از صفحات بلوری با 18° pm عامل پیدا شیش پک انکاکس مرتبه یک با زاویه 22° طول.

موج پرتو X به کار رفته چقدر است؟ سینوس π در 22° برابر 75° است.
 ۱۱ - 58° در مطالعه پرتو ایکس یک بلور، دسته‌ای از صفحات بلوری با 248 pm عامل پیدا شیان یک انعکاس مرتبه یک با زاویه 81° هستند. طول

موج پرتو X به کار رفته چقدر است؟ بیتیون $\lambda = 0.8 \text{ Å}$ برابر 428 eV است.

طموں پرتوہای ایکسی کے چینی باریں را بازویہ ۱۲۷ تک میں ہٹانے
چدار است۔ سینوس ۱۱۰ برابر ۱۹۱ و سینوس ۱۳۶ برابر ۲۴۱ ہے۔
۱۱ - ۶۰ در مطالعہ پرتوا ایکس یک بولوں پرتوہای ایکس

ب میتوان موج سه، پنجم و هشتم را با زوایه 34° به دست آمدند. طول موج پرتوهای ایکسی که چنین بازتابی را با زوایه 33° از 33° شناسان می‌دانند قادر است؟ سینوس 16° برابر 0.276 و سینوس 3° از 3° چنانچه است.

۶۱- در مطالعه دسته ای از صفحات بلوری Ca_3P_2 با استفاده از پرتوهای ایکس به طول موج 154 pm ، در هم زاویه ای یک انعکاس متریک یک مشاهده می شود؟ در هم زاویه ای یک انعکاس مرتبه دوم مشاهده می شود؟

۱۱- ۶۲ در طبقه دسته ای از صفحات پلوری با $30 \times 30 \text{ pm}$ یا استفاده از پرتوهای ایکس به طول موج $\text{pm} = 71$ ، در چه زاویه ای یک انعکاس مرتبه یک مشاهده می شود؟ در چه زاویه ای یک انعکاس مرتبه دوم مشاهده می شود؟

بلورهای یونی

۱۱- ۶۳ (الف) در سلول واحد بلور سدیم کلرید که در شکل ۱۱-۲۳ نشان داده شده است چند نوع بین از نوع وجود دارد؟ (ب) چگالی تغیر کلرید که در ساعتار بلوری سدیم کلرید متبلور می شود پراور 57.8 g/cm^3 است.

طول ضلع سلول واحد AgCl مثابه با سلول NaCl (شکل ۱۱-۲۳) چقدر است؟ (ج) با استفاده از معادلات داده شده در بخش ۱۱-۱۲ کوتاه ترین فاصله بین یون Ag^+ و یون Cl^- را تعیین کنید.

۱۱- ۶۴ (الف) در سلول واحد بلور سیدیم کلرید که در شکل ۱۱-۲۳ نشان داده شده است چندین نوع یون از هر نوع وجود دارد؟ (ب) چگالی پتانسیم فلورورید که در ساختار بلوری سیدیم کلرید متبلور می شود برای 468 cm^{-1}

است. طول ضلع سلول واحد KF مشابه با $NaCl$ (شکل ۱۱-۲۳) چقدر است؟
 (ج) با استفاده از معادلات داده شده در بخش ۱۱-۱۲ کوتاهترین فاصله بین یون K^+ و یون F^- را تعیین کنید.

شنان داده شده است چند نوع بین از نوع وجود دارد (ب) (چگالی سزیم کلرید پابر 3.99 g/cm^3 است. طول ضلع سولول واحد CsCl شنان داده شده است 22.4 nm است. (طول ضلع سولول واحد CsCl شنان داده شده است 22.4 nm است).
شنان دارای ۱۱ تا ۲۲ پلاکت است. (پلاکت اسید مولولیتیک است).

۱۲ کوتاه‌ترین فاصله بین یون Cs^+ و یون Cl^- را تعیین کنید.

۱۳ نشان داده شده است چند نوع یون از هر نوع وجود دارد؟ (ب) جگالی، مس، (د)

کلرید در ساختار پلوری میتواند می شود برایز Ag/AgCl است. طبول ضلع سلول واحد CuCl مشابه با ZnS (شکل ۱۱ - ۲۳) چقدر است؟ (ج) با استفاده از معادلات داده شده در بخش ۱۱ - ۱۲ کو تأثیرات پذیر فاصله بین یون Cu^{+2} و یون

بر حسب ۲ محاسبه کنید: (الف) طول ضلع یک سلول واحد؛ (ب) حجم یک سلول واحد؛ (ج) حجم کل اتم‌های که یک سلول واحد را تشکیل می‌دهند؟
 در صد حجم یک سلول واحد که فضای خالی است.
 ۱۱* - ۸۱ فرض کنید اتم‌های چلپ کروی به شعاع ۲، یک سلول واحد مکعبی مرکز پر تشکیل دهنده، با استفاده از معادلات پخش ۱۱-۱۲-۱۳ مقادیر زیر را بر حسب ۲ محاسبه کنید: (الف) طول ضلع یک سلول واحد؛ (ب) حجم یک سلول واحد؛ (ج) حجم کل اتم‌های که یک سلول واحد را تشکیل می‌دهند؛
 در صد حجم یک سلول واحد که فضای خالی است، پاسخ خود را باستله ۱۱-۸۰ مقایسه کنید، کدامیک از آین دو سلول واحد مرکز پر یا مرکز پر به صورت متراکم تری چیزه شده‌اند؟

۱۱ - ۸۷ - بعضی‌های باریک که سبب تغییر استوکیومتری بلور و یا عدم تغییر آن می‌شوند را نام ببرید.

۱۱* - ۸۳ - آمن (II) اکسید در ساختار NaCl با چهار کاتیون و چهار آئیون در هر سلول واحد، مبلور می‌شود (نکته ۱۱-۳۲-۳۳ را بینید)، ولی این بلورها معمولاً کمیود آمن دارند، پرنس از مواضع کاتیون خالی هستند و پرنس به جای یون‌های Fe^{2+} یون‌های Fe^{4+} دارند، اما ترکیب برخلاف چنان است که ساختار سلولی از نظر الکترونیکی خشن است، فرمول این بلور Fe_2O_5 است. (الف) نسبت پونهای Fe^{2+} به پونهای Fe^{4+} در بلور پقدار است؟ (ب) چند درصد از مواضع کاتیونی خالی هستند؟ راهنمایی: بلوری شامل $10^{\text{۰}}$ یون O^{2-} را در نظر بگیرید.

مسئل طبقه بندی نشده
 ۱۱ - ۷۵ در هر یک از زوایهای زیر کدام ماده دارای ذوب بالاتری

است؟ (الف) Li یا H_2 ؛ (ب) H_2Li یا H_2 ؛ (ج) LiH یا H_2 ؛ (د) Cl_2 یا H_2Cl یا HCl یا H_2S یا CH_4 یا C_2H_6 چهار؟

۱۱ - ۷۶ فشار بخار هیتان در 9°C برابر 775 atm است، مقادیر انتقالی تغییر مولی را محاسبه کنید، دمای جوش نرمال هیتان چقدر است؟

۱۱ - ۷۷ لیتم در سیستم مکعبی مرکز پر مبلور می‌شود و طول ضلع سلول واحد آن 350 pm است، وزن انتی لیتم 9.4 g/cm^3 چگالی آن 1.593 g/cm^3 است، با استفاده از این داده‌ها عدد آورکاگورو را محاسبه کنید.

۱۱ - ۷۸ شعاع اتمی سریلاند برابر 116 pm است و در یک سیستم مکعبی مرکز پر مبلور می‌شود، طول ضلع یک سلول واحد آن چقدر است؟ پنگالی Mo پقدار است؟

۱۱ - ۷۹ در مطالعه پرتو ایکس یک بلور با استفاده از پرتوهای ایکس به طول موج 194 pm ، یک انکسار مرتبه یک با زاویه 25.9° به دست می‌آید، فاصله d بین صفحات به وجود آورده‌این بازتاب پقدار است؟ سیوس 25.9° برابر 4368 \AA است.

۱۱* - ۸۰ فرض کنید اتم‌های چلپ کروی به شعاع ۲، یک سلول واحد مکعبی مرکز پر تشکیل دهنده، با استفاده از معادلات پخش ۱۱-۱۲ مقادیر زیر را

محلول‌ها

ماده حل شونده باقی‌مانده ممکن است جامد، مایع، یا گاز باشد. در تعادل چنین سیستمی، سرعت حل شدن ماده حل شونده مallasن با سرعت خارج شدن ماده حل شده از محلول است. در تیجه، غلظت ماده حل شده، درحال تعادل، ثابت می‌ماند. چنین محلول را محلول اشبع شده یا محلول سپر شده می‌گویند، و غلظت آن برابر با انحلال پذیری ماده حل شونده موردنظر است.

وجود چنین تعادل‌های پویا (دینامیک) از طریق آزمایش شان داده شده است. اگر بلورهای رسوب یک ماده حل شونده جامد به محلول سپر شده‌ای از همان ماده اضافه شود، ملاحظه می‌شود که اندازه و شکل بلورها تغییر می‌کند. درصورتی که طی آزمایش، غلظت محلول سپر شده تعیین نمی‌کند و مقدار اضافی ماده حل شونده نیز افزایش یا کاهش نمی‌باید.

غلظت ماده حل شده در یک محلول سپر شده کمتر از غلظت آن در یک محلول سپر شده است. از سوی دیگر می‌توان با استفاده از ماده حل شونده جامد، یک محلول فوق سیر (با فوق اشیاع) تهیه کرد که در آن غلظت ماده حل شده بالاتر از غلظت یک محلول سپر شده است. محلول فوق سیر، حالتی نیم پایدار دارد و اگر مقدار پسیار کمی از ماده حل شونده به آن افزوده شود، مقدار از ماده حل شده که بیش از مقدار لازم برای اشیاع محلول، در آن وجود دارد، رسوب می‌کند.

۲ - فرایند اخراج

تهیه نیروی بنزن مولکولی، میان مولکول‌های کرووالانس غیرقطبی، نیروهای لنzen است. از سوی دیگر، نیروهای جاذبه بین مولکولی میان مولکول‌های کرووالانس قطبی، علاوه بر نیروهای لنzen، به نیروهای دوقطبی - دوقطبی نیز مستگی دارد. در موادی که دارای پیوند هیدروژنی هستند، نیروهای بین مولکولی به طور غیرعادی قوی است.

مواد غیرقطبی و موادقطبی، عموماً در یکدیگر اتحاد نمایند. مثلاً کربن تراکلرید (یک ماده غیرقطبی) در آب (یک ماده قطبی) حل نمی‌شود. جاذبه بین یک مولکول کربن تراکلرید و یک مولکول آب است. برگردد از جاذبه بین مولکول کربن تراکلرید و یک مولکول آب است. در تیجه، مولکول‌های کربن تراکلرید (رانده می‌شوند) و این دو ماده، یک سیستم مایع دواهایی به وجود آورند.

یعنی، یک ماده غیرقطبی است و در کربن تراکلرید حل می‌شود. جاذبه بین مولکول‌های آب در پذیر جامد با جاذبه بین مولکول‌های CCl_4

محلول‌ها، محلول‌های همگن هستند. محلول‌ها را، اغلب براساس حالت فیزیکی آنها طبقه‌بندی می‌کنند؛ محلول‌های جامد، گازی، و مایع را می‌توان تهیه کرد. قانون فشارهای جزئی دالتون، رفتار محلول‌های گازی که همو متداول‌ترین آنهاست را بیان می‌کند. برخی از آلیاژها، محلول‌های جامدند؛ سکه‌های نقره محلول‌هایی از مس حل شده در نقره‌اند، و برخی محلول جامد روی در میان است. البته تمام آلیاژها، محلول جامد نیستند. بعضی از آنها محلول‌های ناهمنگن هستند، و برخی دیگر ترکیبات بین فلزی به شمار می‌روند. محلول‌های مایع متداول‌ترین محلول‌ها از دینکا شیمیدان‌ها، مهم‌ترین آنها هستند.

۱ - ماهیت محلول‌ها

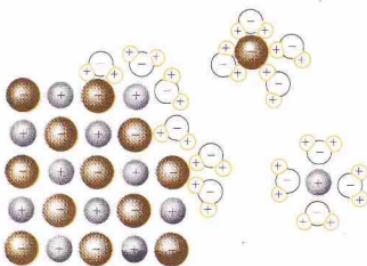
معمولاً، جزئی از یک محلول را که از لحظه مقدار بیش از اجزای دیگر است، حلال و سایر اجزاء را حل شده نامند. البته، کاربردهای ویژه‌ها اختیاری است و دقت چندانی ندارد. گاهی آسان‌تر است که جزوی از محلول را پا آنکه مقدارش کم است، حلال نیامند. در موارد دیگری، کاربرد ویژه‌های حل شونده و حلال دمورد اجزای یک محلول اهمیت چندانی ندارد (مثلًا در توصیف محلول‌های گازی).

برخی از مواد به عنوان نسبتی در یکدیگر حل می‌شوند. امتزاج پذیری کامل اجزای تمام محلول‌های گازی و برخی از محلول‌های جامد و مایع، از ویژگی‌های مهم آنهاست. ولی در موارد اغلب مواد، حدی برای مقدار ماده حل شده در یک حلال وجود دارد. انحلال پذیری یک ماده در یک حلال مخصوص و در دمای معین، بیشترین مقدار از آن ماده است که در مقدار معین از آن حلال حل می‌شود و سیستم پایداری به وجود می‌آورد.

برای یک محلول معین، مقدار ماده حل شده در مقدار مشخصی از حل شونده گویند. محلول‌هایی که غلظت ماده حل شده در آنها نسبتاً کم باشد، محلول‌هایی که غلظت ماده حل شده در آنها نسبتاً زیادی دارند، محلول‌های غلیظ گویند.

اگر به مقداری از یک حلال مایع، مقدار زیادی ماده حل شونده (بیشتر از آنچه که معمولاً حل می‌شود) اضافه کنیم، بین ماده حل شده و ماده حل شونده باقی‌مانده تعادل برقرار می‌شود:



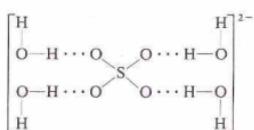


شکل ۱۲ - ۱ انحلال یک بلور پوئی در آب

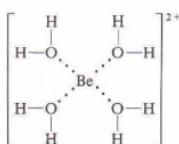
از بلور جدا شوند و در فاز مایع شناسنار گردند. پیون‌های حل شده آب پوشیده‌اند، و در حالی که بایپوششی از مولکول‌های آب محاصره شده‌اند در محلول حرکت می‌کنند. تمام پیون‌ها در محلول آبی آب پوشیده‌اند.

۳-۱۲ پیون‌های آب پوشیده

پیون‌های منفی در محلول آبی به وسیله جاذبه بین پیون و اتم‌های هیدروژن مولکول آب آب پوشیده شده‌اند. در برخی موارد (مثل در مواد سولفات)، این جاذبه‌ها ممکن است مربوط به یک یا چند پیوند هیدروژن باشد:



پیون‌های مثبت به وسیله جاذبه بین پیون و ذره الکترونی تایپوندی اتم اکسیژن مربوط به مولکول‌های آب آب پوشیده می‌شوند. این جاذبه‌ها قوی هستند، در سیاری از موارد، هر کاتیون به وسیله تعداد معینی از مولکول‌های آب پوشیده می‌شود.

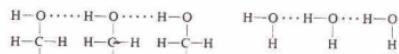


مولکول‌های دیگری از آب با این مولکول‌های پیوسته به کاتیون یا آنیون، پیوند هیدروژنی می‌دهند. ولی این لایه‌های پیون مولکول‌های آب، به طور ضعفت‌تری به یکدیگر پیوسته‌اند. راستی، چه عواملی بسبب تشکیل بر همکنش‌های قوی بین پیون و مولکول‌های آب می‌شود؟

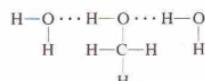
- پیون‌های دارای بالاترکتریکی زیاد، با نیروی پیشتری اتم‌های H یا O مولکول‌های H₂O را جذب می‌کنند.

در گرین تراکلرید، از لحاظ نوع و مقدار، تقریباً یکسان است. از این‌رو، به وجود آمدن جاذبه‌ای قوی بین یک و گرین تراکلرید می‌تواند به مولکول‌های ید امکان مزوج شدن با مولکول‌های CCl_4 را بدهد. محلول حاصل یک مخلوط مولکولی بی‌نظم است.

متیل الکل، CH_3OH ، مانند آب، شامل مولکول‌های قطبی است که بسیار به هم پیوسته‌اند. در هر دو مایع (اگر خالص باشند)، مولکول‌ها از طریق پیوندهای هیدروژنی به یکدیگر جذب می‌شوند:



متیل الکل و آب به هر نسبت باهم امتیاز پذیرند. در محلول متیل الکل در آب، مولکول‌های CH_3OH و H_2O با پیوند هیدروژنی به هم پیوسته‌اند:



متیل الکل در حالاتی غیرقطبی حل نمی‌شود. بر جاذبه بین مولکول‌های قوی در متیل الکل خالص نمی‌توان بجایه کرد، مگر آنکه مولکول‌های حلال بتوانند نیروهای جاذبه‌ای برابر، یا تقریباً برابر، با نیروهای جاذبه مولکول‌ها می‌توانند متیل الکل پیوسته‌اند.

به طرز کاری مواد قطبی فقط در حالاتی قطبی و مواد غیرقطبی در حالاتی غیرقطبی حل می‌شوند. نخستین قاعدة اندھال پذیری این است که «ظیر در ظیر حل می‌شود». بلورهای شبکه‌ای (مثل آلاماس)، که در آنها اتم‌های تشکیل‌دهنده بلور با پیوندهای کووالنتی کووالنسی به یکدیگر پیوسته‌اند در تمام مایعات اندھال نپذیرند. این ساختار بلوری پایدارتر از آن است که طی فرایند اندھال مکشته شود. همچوین اسیسل جاذبه‌ای بنیحل - حل شونده نمی‌تواند به قدرت پیوند کووالنتی در این نوع بلور نرسد.

مایعات قطبی (بعویه آب) می‌توانند حلحل بسیاری از ترکیبات یونی باشند. پیون‌های مواد حل شده با نیروی الکترواستاتیکی به وسیله مولکول‌های قطبی حل جذب می‌شوند، یعنی پیون‌های منفی به وسیله قطب‌های مثبت مولکول‌های حلحل و پیون‌های مثبت به وسیله قطب‌های منفی مولکول‌های حلحل کشیده می‌شوند. این جاذبه‌های پیون - دو قطبی می‌توانند نسبتاً قوی باشند.

در شکل ۱۲ - ۱، حل شدن یک بلور پوئی در آب نمایش داده شده است. پیون‌های مستقر در موزت بلور، به وسیله پیون‌های از بلور که با مخالف دارند، بطور مساوی در تمام جهت‌ها کشیده می‌شوند. ولی جاذبه الکترواستاتیکی بر پیون‌های سطحی بلور تناعتماند استند. مولکول‌های آب به سوی این پیون‌های سطحی کشیده می‌شوند، یعنی سر مثبت مولکول‌های آب به سوی آنون‌ها، و سر منفی مولکول‌های آب به سوی کاتیون‌ها جذب می‌شوند. جاذبه‌ای که به این ترتیب بین مولکول‌هایی دوقطبی و پیون‌ها بوجود می‌آید موجب می‌شود که پیون‌ها

تغییر آنالیز مربوط به تهیه یک محلول، نتیجه کلی اینرژی لازم برای شکستن پیوندهای چاذهای شیمیایی (ماده حل شونده - ماده حل شونده، و حل - حل) - اینرژی آزاد شده در اثر تشکیل پیوندهای جدید (ماده حل شونده - حل) است. مثلاً آنالیز اتحالات برای تهیه محلولی از آب را می‌توان مجموع دو تغییر آنالیز دانست:

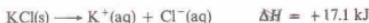
- ۱- اینرژی لازم برای شکستن ساختار بلوری KCl و تشکیل فرم گازی بونها (آنرژی شبکه با تغییر علامت):



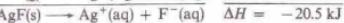
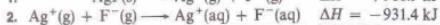
۲- آنالیز آب پوشی KCl که اینرژی آزاد شده در اثر آب پوشی بونهای گازی است:



آنالیز آب پوشی در واقع مجموع دو تغییر آنالیز است: اینرژی لازم برای شکستن پیوندهای هیدروگلیکلی بین پیوندی از مولکول‌های آب و اینرژی آزاد شده در اثر آب پوشی بونها به سیله این مولکول‌ها. در هر حال، مطالعه این در اثر بطری گردان دشوار است. در این مثال فرمول استاندار کلی گرفته شود. آنالیز اتحالات مبتنی است، زیرا اینرژی لازم در مرحله اول بیشتر از اینرژی آزاد شده در مرحله دوم می‌باشد:



برخی از آنالیزهای اتحالات مفتخانه اند زیرا اینرژی بیشتری در اثر آب پوشی بونهای ماده حل شونده (مرحله ۲) آزاد می‌شود تا اینرژی لازم برای شکستن ساختار بلوری (مرحله ۳):



عامل به وجود آوردن مقداری بزرگ و مثبت برای مرحله اول (بار یونی زیاد و بونهای کوچک بخش ۱۲ - ۳ را بینند)، سبب به وجود آمدن مقداری بزرگ و منفی در مرحله دوم نیز می‌شوند. به این ترتیب، قدر مطلق مقادیر بدست آمده در هر دو مرحله به یکدیگر نزدیک‌اند و آنالیز اتحالات بسیار کوچک‌تر از ریک از آنهاست. خطای نسبتاً کوچکی در انتازه گیری اینرژی شبکه با آنالیز آب پوشی می‌تواند منجر به خطای نسبتاً بزرگی در آنالیز اتحالات شود. برای مثلاً محاسبه پیش را در نظر گیرید که در آن، آنالیز اتحالات AgF را به دست آوردیم. خطای 10 kJ در هر بک از مقادیر اولیه (که حدود ۱٪ خطای در مرود است) باعث می‌شود که نتیجه نهایی $10 \times 10^{-5} \text{ kJ}$ داشته باشد که در مورد آنالیز اتحالات، خطای در حدود ۵٪ است!

اگر حالات دیگری بجز آب در تهیه محلول به کار گرفته شود، همین تحلیل را می‌توان به کار برد. مقدار مربوط به مرحله دوم را آنالیز اتحالات پوشی نماییم.

در مورد اتحالات مواد غیر یونی نیز همین ملاحظات را می‌توان به کار

۲- بونهای کوچک مؤثرتر از بونهای بزرگ‌تر بیشتر است.

تعادل از ترکیبات کووالانتی فلزات در محلول آبی، بونهای آب پوشیده تولید می‌کنند. همان اعمالی که نقش اصلی را در وجود آوردن حصلت کووالانتی ترکیبات بریلم دارد (نسبت بالای بار بون به اندازه بون) سبب تشکیل بونهای آب پوشیده بسیار پایدار می‌شود:

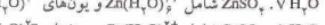
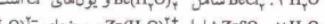
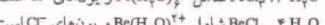
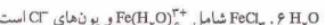


تشکیل یک بونهای همواره با آزاد شدن اینرژی همراه است، و شکستن یک پیوند نیز همیشه اینرژی می‌خواهد. اینرژی آزاد شده طی یک فرایند فرضی که در آن بونهای آب پوشیده از بونهای گازی به وجود آمده باشد را آنالیز آب پوشی آن بونها نامند. برای مثال،



بزرگی آنالیز آب پوشی به غلظت محلول نهایی بستگی دارد. اگر وضعیت خاصی بون شنیده باشد (مانند مثاً قلبی)، فرض می‌شود که تغییر آنالیز به فرایندی مربوط است که در آن، بونها تا بالاترین حد ممکن آب پوشیده شده باشند. میزان بالای آب پوشیده فقط در صورتی حاصل می‌شود که محلول بسیار رقیق باشد. مقدار ΔH مربوطه را آنالیز آب پوشی در وقت پی‌نهایت نامند.

مقدار آنالیز آب پوشی، نشان‌گذار جاذبه بین بونها و مولکول‌های آب پوشانده آنهاست. یک مقادیر بزرگ و غنی (که شناسنده زیادی بونهای آزاد شده است) پیانگر آب پوشی مؤثر بونهای است. اغلب، بونهای آب پوشیده در جامدات بلوری حاصل از تبخیر محلول‌های آبی نمک‌ها، باقی می‌مانند. به این ترتیب،



مولکول‌های آب می‌توانند با گرفتن مواضعی در ساختار بلوری، بدون همراه شدن با یک بون مشخص، در بلورهای آب پوشیده (مثلًا $\text{BaCl}_2 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$ ، $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$)، همچنین، با انشغال حفره‌های در ساختار بلور (مثلًا سلیکات‌های آبدار موسوم به ذوق‌لیت‌ها)، با آن همراه شوند.

۱۲- ۳- آنالیز اتحالات

تغییر آنالیز مربوط به فرایندی که در آن که ماده حل شونده در یک حلال حل می‌شود را آنالیز اتحالات نامند. مقدار آنالیز اتحالات (برحسب کلیروول برون ماده حل شونده)، همانند آنالیز آب پوشی، به غلظت محلول نهایی بستگی دارد. بجز در مواردی که مشخص شده باشد، آنالیز اتحالات فقط در تهیه محلول‌هایی با رقت پی‌نهایت به کار می‌رود. آنالیز اتحالات برای هر ماده حل شونده و هر حلال، در وقت پی‌نهایت ثابت است.

اغلب مواد حل شونده بونی به همین ترتیب رفتار می‌کنند.
قصبة اتحالاک یک جسم در یک محلول تقريباً سیر شده را در نظر یک‌گرید که با آزاد شدن گرماء است:



براساس پيش‌بيشي اصل لواثاليه اگر دما افزایش يابد، اين سيمست به سمت چپ (جهت جذب گرما) ميل گرده و ماده حل شده رسوب مي‌كند. اگر يك ماده حل شونده دست خوش فرايند اتحالاک گرماء شود، اتحالاک پر یار ماده حل شونده، با افزایش دما گاهش مي‌يابد. پرخسي از ترکيبات يواني (مانند Li_2CO_3 و Na_2SO_4) چنین رفتار مي‌کنند. علاوه بر اين اتحالاک‌پر یاري تمام گازها با افزایش دما گاهش مي‌يابند. گرگردن يك نوشابه، سبب خارج شدن جباب‌هاي گرگردن يوپرسيد از محلول مي‌شود. تغيير اتحالاک‌پر یاري نسبت به تغيير دما مستكى به مقدار آنتاپيون اتحالاک دارد.

تغيير دما تغيير چنانچه نمي‌كند.

تاپير تغيير فشار بر اتحالاک‌پر یاري مواد حل شونده جامد و مابع عموماً کم است. و افزایش ياكاهش فشار بر محلول‌هاي يك گاز در آتها حل شده است، اثر ميل گرمه حل شونده، دار و بيلام هتری 18.5°C ميلادي کشف کرده که مقادار گازی که در مقادار سيمست از يك مابع، در مديات ثابت، حل مي‌شود، با فشار جگشي گاز باالي محلول نسبت درست قانون دارد. قانون هنري فقط برای محلول‌هاي رقيق و فشارهای نسبتاً کم معتبر است. گازهایی که اتحالاک‌پر یاري شان بسيار زياد است، اغلب بر محلول خود اثر شيميماني دارند (پري مثل، گاز هييدروژن کلرید و وقني در آب حل مي‌شود، بر آب اثر گردد)، هييدرو کلرید اسید توپيد مي‌کند، اين محلول‌ها از قانون هنري پيزرو نمي‌كنند.

خون هو فراصانوي که در اعمماً دريا فعاليت مي‌کنند در اثر فشار نسبتاً بالاي آب، به وسيلة هوا اشعيه مي‌شود. اگر اين فشار، در اثر بيازگشت سرعير به سطح آب به سرعت کم شود، هوا از محلول خارج شده و به صورت جباب‌هاي در دستگاه گرگش خون به حرکت در مي‌آيد. اين حالت موجب تکاههای عصس و همچنین پيدايش اختلال در گرگش خون مي‌شود و ممکن است مرگ آور باشد. راه چلوكوري از اين مشكل، استفاده از جوّ مصنوعي هليم و اکسيزن به جاي هوا (عدهتاً اکسيزن و

1. Henri Le Chatelier

۱. مقادار گرماء آزاد شده، يك جذب شده در اثر اتحالاک يك مول از ماده حل شونده در يك حل حل شونده با همراه با اتفاقات جذب شده در اينجا به تهيه محلول‌هاي سير شده از محلول‌هاي تقريباً سير شده اشاره دارند. ولي مقادير ΔH بيشت شده به صورت آنتاپيون اتحالاک، اغلب به تهيه محلول‌هاي رقيق مرطوباند. ياری يك حل شونده متخصص، مقايره ديدن اين در عبارات ΔH مختار است. ياری اوقات، مقادار ΔH بر ياری يك محلول غليظ، مقادار مثبت است و مقادار ΔH بر ياری يك محلول رقيق، مقايره منفی می‌باشد. در يك محلول غليظ، در نتيجه ضمن همراه يك محلول رقيق، انرژي بيشتری در اثر آب پوش بونهها به دست مي‌آيد تا در تهيه يك محلول غليظ.

3. William Henr

بر، انرژي شبکه بلورهای مولکولی به اندازه انرژي شبکه بلورهای بونی نیست، زيرا قادر نبوده اند نگهدارنده بلورهای مولکولی در گذار یک‌گرید به قدرت بلورهای بونی نمي‌رسد. البته انرژي حل حل پوشش نيز براي ترکيبات مولکولی پايان است. براي اجسام مولکولی که بدان پوشش و بدون رعایت ممکن شده قابل توجه حل حل شونده در حل حل های غیرقطبي حل مي‌شوند، آنتاپيون اتحالاک گرمگير است و مقدار آن نيز در حدود آنتاپيون دوب ماده حل شونده مي‌باشد.

گازها به تدرير در مابيعات حل مي‌شوند و طي اين فرايند، گرماء آزاد مي‌شود، چون براي جذاصازي مولکول های گاز آنرا لازم نیست، تغغير عده آنتاپيون در اين فرايندهای اتحالاک فقط شامل حل حل پوشش مولکول های گاز است؛ به اين ترتيب، فرايند گرمگراماست. البته، موارد استثنائی هم وجود دارد، بهوپه درصورتی که گاز (حل شونده) با مابع (حل حل) واکنش پدهد.

۱۲- اثر دما و فشار بر اتحالاک‌پر یاري

اثر تغيير دما بر اتحالاک‌پر یاري يك جسم به جذب گرما يا آزاد شدن گرما ضمن تهيه يك محلول سير شده، يستگي دارد. فرض کنيد که مقدار کوچک از يك ماده حل شونده، در يك محلول تقريباً سير شده، با جذب گرماء، حل شود. تعادل بين حل شونده جامد اضافي و حل شونده حل شده در محلول سير شده به صورت زير است:



اثر تغيير دما اين سيمست را مي‌توان با استفاده از اصل پيشنهاده، هاتری لواثاليه در سال ۱۸۸۷ پيش‌بيش کرد. اصل لواثاليه مي‌کند که اعمال هر نوع فشار بر يك سيمست درحال تعادل، موجب مي‌شود که سيمست به نحوی عمل کنيد که با اين فشار مقابله شود و حالت تعادل جديدي برقرار گردد.

فرض کنيد ظرفی حاوي يك محلول سير شده از نوع محلول‌هاي سير شده تبلیغ داشته باشيم که با مقادير ماده حل شونده اضافي در تعادل باشد. مي‌خواهيم اثر افزایش دما را مطالعه کنیم. براساس اصل لواثاليه، سيمست به نحوی عمل خواهد گردد که دما پاين بپايد. اين کار را با جابه‌جايی درجهت جذب گرما (در معادله پيش، به سمت راست) انجام مي‌دهد. اين جابه‌جايی به معنى اتحالاک مقابله پيشتري از ماده حل شونده است. نتيجه مي‌گيريم که در اين مورد شخص، افزایش دما سبب افزایش اتحالاک‌پر یاري مي‌شود.

اگر دما را گاهش دهم، جو خواهد شد؟ اصل لواثاليه پيش‌بيش مي‌کند که سيمست به نحوی عمل خواهد گردد که دما افزایش يابد – به شهوده که دما آزاد شود. و اکتش به سمت متقابل مي‌شود؛ يعني ماده حل شدن سرپر مي‌دهد و از محلول خارج مي‌شود. نتيجه مي‌گيريم که در درموده اين حل شونده شخص، گاهش داشن در الواقع، يكسان هستند. اگر يك ماده حل شونده دست خوش فرايند اتحالاک گرمگير شود، اتحالاک‌پر یاري ماده حل شونده با افزایش دما افزایش خواهد یافت.

$$X_{O_2} = \frac{n_{O_2}}{n_{He} + n_{O_2}}$$

$$= \frac{0.125 \text{ mol}}{0.625 \text{ mol}} = 0.200$$

توجه داشته باشید که مجموع کسرهای مولی برابر ۱ است.

۳ - مولاریته، M ، یک محلول برابر با عده مول های ماده حل شده در یک لیتر از محلول است.

$$\text{عده مول های ماده حل شده} = \text{مولاریته} \quad (12)$$

حجم محلول برحسب لیتر

استفاده از مولاریته به عنوان واحد غلظت، در بخش ۴ - ۵ شرح داده شده است و مثالهای ۴ - ۹، ۱۰ - ۱۱ نیز بیانگر همین واحد غلظت هستند. در اینجا دو مثال دیگر نیز می آوریم.

مثال ۱۲ - ۱

(الف) چند گرم نیتریک اسید غلظت برابر تهیه 250 mL محلول $M = ۰\text{۰}۵$ نیتریک اسید (HNO_3) لازم است؟ نیتریک اسید غلظت حاوی $\text{۰}\text{۰}۵\text{۰} \text{M}$ است.

(ب) اگر چگالی محلول نیتریک اسید غلظت $۰\text{۰}۴\text{۲ g/mL}$ باشد، چه حجمی از آن لازم است؟

حل

(الف) ضرایب مورد استفاده برای حل مسئله را (به ترتیب) از واقعیت‌های تجربی زیر به دست می آوریم:

۱ - چون محلول موردنظر $M = ۰\text{۰}۵$ است، باید $\text{۰}\text{۰}۵ \text{M}$ نیتریک اسید (HNO_3) در $۰\text{۰}۵ \text{L}$ باشد.

۲ - وزن مولکولی HNO_3 برابر با ۶۳ g/mol است.

۳ - در $۰\text{۰}۰\text{۰}۵ \text{L}$ نیتریک اسید غلظت $\text{۰}\text{۰}۵ \text{M}$ (HNO_3 ، g) $\text{۰}\text{۰}۰\text{۰}۵ \text{ mol}$ وجود دارد:

$$2 \text{ mol } HNO_3 \quad (\text{محلول } ۱.۰۰ \text{ L})$$

$$\text{محلول } ۰.۰۲۵ \text{ g } HNO_3$$

$$(\frac{63.0 \text{ g } HNO_3}{1 \text{ mol } HNO_3}) \times (\frac{100 \text{ g } HNO_3}{70.0 \text{ g } HNO_3})$$

$$= 45.0 \text{ g } HNO_3$$

(ب) چگالی اسید غلظت را برای تبدیل پاسخ بخش (الف) به mL مورد استفاده قرار می دهیم:

$$(\frac{1.00 \text{ mL } HNO_3}{45.0 \text{ g } HNO_3})$$

$$= 31.7 \text{ mL } HNO_3$$

۱۲ - ۶ غلظت محلولها

غلظت یک ماده حل شده در یک محلول را به شیوه‌های گوناگون می توان بیان کرد. در بعضی‌های پیش به برخی ازین شیوه‌ها اشاره کردیم و اکنون می خواهیم روش‌های متد اول برای بیان غلظت محلول را مورکتیم.

۱ - درصد وزنی یک ماده حل شده در یک محلول است. یک محلول آبی چون ماده حل شده تقسیم بر جرم کل محلول است. در شیمی ۱۰% سدیم کلرید حاوی ۱.۰ g NaCl و $۹\text{۹} \text{ g}$ آب است. در شیمی به ندرت از درصدهای حجمی استفاده می شود. ارقام ثبت شده برحسب درصد را باید بر مبنای جرم تفسیر کرد، مگر آنکه خلاف آن صریحاً مشذک شود.

۲ - کسر مولی، X ، یک جزو از محلول برابر با نسبت عده مول‌های آن جزو بر عده کل مول‌های تمام اجزای موجود در محلول است (بخش $۱ - ۱۰$ را ببینید):

$$X_A = \frac{n_A}{n_A + n_B + n_C + \dots}$$

که در آن X_A کسرمولی A ، n_A ، n_B ، n_C ... عده مول‌های A ، B ، C ... است. مجموع کسرهای مولی تمام اجزای موجود در محلول باید ۱ باشد.

$$X_A + X_B + X_C + \dots = 1$$

مثال ۱۲ - ۲

یک محلول گازی شامل $۰\text{۰}۰\text{۰} \text{ g}$ هلیم و $۰\text{۰}۰\text{۰} \text{ g}$ اکسیژن (O_2) است. کسر مولی He و O_2 در این محلول را به دست آورید.

حل

ابتدا عده مول‌های هر یک از اجزای موجود در محلول را به دست می آوریم:

$$? \text{ mol He} = 2.00 \text{ g He} \left(\frac{1 \text{ mol He}}{4.00 \text{ g He}} \right) = 0.500 \text{ mol He}$$

$$? \text{ mol O}_2 = 4.00 \text{ g O}_2 \left(\frac{1 \text{ mol O}_2}{32.0 \text{ g O}_2} \right) = 0.125 \text{ mol O}_2$$

این مقادیر را برای محاسبه کسرهای مولی به کار می بریم:

$$X_{He} = \frac{n_{He}}{n_{He} + n_{O_2}}$$

$$= \frac{0.500 \text{ mol}}{0.500 \text{ mol} + 0.125 \text{ mol}} = \frac{0.500 \text{ mol}}{0.625 \text{ mol}} = 0.800$$

آورید. وزن مولکولی گلوكز «ر ۱۸۰ است.

مولاژت محلول پر ابر تعداد مول های گلوكز حل شده در یک کیلوگرم آب است. ضرایب مرور استفاده را واقعیت های تجربی به دست می آوریم:

- ۱ - در محلول ۱۲۵٪ گلوكز، ۱۲۵ گرم $C_6H_{12}O_6$ در ۱۰۰ g آب (معنی ۱۲۵ g $C_6H_{12}O_6$) حل شده است.

$$\text{۲ - وزن مولکولی } C_6H_{12}O_6 \text{ برابر } ۱۸۰ \text{ است.}$$

$$? \text{ mol } C_6H_{12}O_6 = 1000. \text{ g } H_2O \left(\frac{12.5 \text{ g } C_6H_{12}O_6}{87.5 \text{ g } H_2O} \right) \left(\frac{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6}{180.0 \text{ g } C_6H_{12}O_6} \right)$$

$$= 0.794 \text{ mol } C_6H_{12}O_6$$

محلول نسبت به $C_6H_{12}O_6$ ۷۹۴ m، $C_6H_{12}O_6$ است.

مثال ۱۲
کسرهای مولی ماده حل شونده و حلال در محلول آبی «ر ۱۰۰۰ است؟

حل

وزن مولکولی H_2O برابر ۱۸۰ است. تعداد مول های آب در ۱۰۰۰ g از H_2O :

$$? \text{ mol } H_2O = 1000. \text{ g } H_2O \left(\frac{1 \text{ mol } H_2O}{18.0 \text{ g } H_2O} \right) = 55.6 \text{ mol } H_2O$$

یک محلول آبی ۱۰۰۰ m شامل:

$$n = \text{حل شونده}$$

$$n_{H_2O} = 55.6 \text{ mol}$$

$$n_{\text{کل}} = 56.6 \text{ mol}$$

کسرهای مولی عبارتند از:

$$X_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_{\text{کل}}} = \frac{1.0 \text{ mol}}{56.6 \text{ mol}} = 0.018$$

$$X_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_{\text{کل}}} = \frac{55.6 \text{ mol}}{56.6 \text{ mol}} = 0.982$$

این کسرهای مولی، به تمام محلول های m ۱۰۰۰ امروز می شود.

مثال ۱۲
مولاژت یک محلول M ۵۰٪ ساکاروز، $C_6H_{12}O_6$ ، در آب چگالی است؟ چگالی محلول 64 g/mL و وزن مولکولی $C_6H_{12}O_6$ ۱۸۰ است.

مثا ۱۲ مولاژت محلول HCl غلیظ شامل ۳٪ جرمی HCl را با چگالی 118 g/mL حساب کنید.

برای پیدا کردن مولاژت محلول باید عدد مول های HCl در ۱ L از محلول را محاسبه کنیم. مسئله را با استفاده از ضرایب زیر می توان حل کرد:

۱ - ۱ L از محلول را چگالی آن به دست می آوریم.

۲ - جرم HCl خالص در این مقدار از محلول را با استفاده از ترکیب درصد محلول محاسبه می کنیم.

۳ - وزن مولکولی HCl (۳۶) را برای تبدیل جرم HCl به مول به کار می برمیم:

$$\frac{\text{محلول}}{\text{محلول}} = \frac{1.18 \text{ g}}{1 \text{ mL}} \times 10^3 \text{ mL}$$

$$\left(\frac{37.0 \text{ g HCl}}{100 \text{ g }} \right) \left(\frac{1 \text{ mol HCl}}{36.5 \text{ g HCl}} \right)$$

$$= 12.0 \text{ mol HCl}$$

چون ۱L از محلول حاوی 12.0 mol HCl می باشد، محلول

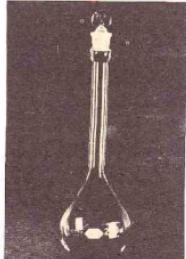
پیان واحد غلظت بر مبنای حجم محلول، کاسته هایی دارد. وقتی که دما تغییر کنند، محلول منبسط یا منتبض می شود و به این ترتیب غلظت بر مبنای حجم تغییر می کنند. برای کار دقیق، محلولی باشد که مولاژت آن در دمای استفاده از محلول تعیین شده باشد.

۴ - مولاژت، m، یک محلول به صورت عدد مول های ماده حل شونده در یک کیلوگرم حلال بیان می شود.

$$\frac{\text{علاء مول های ماده حل شونده}}{\text{وزن حلال پرسپکتیو کیلوگرم}} = \frac{m}{\text{مولاژت}}$$

یک محلول m «ر ۱۰۰۰ آب تهیه شده است. توجه کنید که حجم، بر مبنای حجم کل محلول نیست. حجم پایانی محلول، اهمیت ندارد. محلول های یک مولاژ ماده حل شونده گوناگون، هر یک حلال 1000 g آب هستند و حجم های متفاوتی دارند. ولی تمام این محلول ها درای کسر مولی یکسانی از ماده حل شده و حلال می باشند (مثال ۱۲ - ۵ را بینید).

مثا ۱۲ مولاژت یک محلول ۱۲٪ گلوكز، $C_6H_{12}O_6$ ، در آب را به دست

برابر با 342 g است.

بالن حجم سنجی

منهای حجم کل محلول بیان شده‌اند. در تجربه بالان‌های حجم سنجی را برای تهیه محلول‌هایی با نرمالیتۀ معین، به کار می‌گیرند و نرمالیتۀ یک محلول، مانند مولاژتیه با تغییر دما، اندکی تغییر می‌کند.

۱۲. ۷ فشار بخار محلولها

محلولی شامل دو جزء A و B را در ظرف بگیرید. فشار بخار محلول (کیلوبار) با مجموع فشار بخار A (p_A) و فشار بخار B (p_B) است:

$$P_{کل} = P_A + P_B \quad (۱۲)$$

فشارهای جزوی این معادله را با استفاده از رابطه معروف به قانون رائلون^۱ می‌توان بدست آورده که در صوره محلول‌های ایده‌آل صادق است. مثلاً، فشار جزوی A به وسیله معادله زیر بیان می‌شود:

$$P_A = X_A P^* \quad (۱۲)$$

که در آن کسر مولی A در محلول و P^* فشار بخار A خالص در دمای آزمایش است.

محلول ایده‌آل، محلولی است که در آن نیروهای بین مولکولی بین مولکول‌های A و B، مولکول‌های A و A و مولکول‌های B و B باشند. در چنین محلولی، میل یک مولکول A برای فرار به حالت بخار، خواهه این مولکول در A خالص باشد و خواه در محلولی از مولکول‌های A و B بیکسان است.

بنابراین، فشار جزوی A برای محلول برابر با فشار بخار A خالص است که به نسبت تعداد مولکول‌های A از کل تعداد مولکول‌های A در محلول کاهش یافته است.

فرض کنید محلولی از ۴ مول A و ۱ مول B تهیه کنیم. چون تعداد کل مولهای محلول ۵ است، کسر مولی A، $4/5$ خواهد بود. یعنی، فقط $4/5$ فشار A خالص است (در A خالص مایع، $5/5$ مولکول‌های A هستند).

حل
۱ - ابتدا چگالی محلول را برای پیدا کردن چرم یک لیتر محلول به کار می‌بریم.

$$\frac{\text{محلول}}{1.000 \text{ mL}} = \frac{1.064 \text{ g}}{1.000 \text{ mL}} \quad (\text{محلول} = 1.064 \text{ g})$$

۲ - چون محلول $M = 1.064 \text{ g}$ است، یک لیتر از محلول حاوی $C_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ است. چرم $C_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ از 50% mol محلول برابر است با:

$$? \text{ g } C_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} = 0.5000 \text{ mol } C_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \left(\frac{342.3 \text{ g } C_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}}{1 \text{ mol } C_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}} \right)$$

$$= 171.2 \text{ g } C_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$$

۳ - چرم یک لیتر از محلول (از بند ۱) منهای جرم ماده حل شده در یک لیتر محلول (از بند ۲) برابر است با جرم آب در یک لیتر از محلول

$$1064 \text{ g} - 171 \text{ g} = 893 \text{ g H}_2\text{O}$$

۴ - مولالیتۀ محلول برابر با عدد مولهای $C_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ حل شده در ۱۰۰۰ g آب است.

$$? \text{ mol } C_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} = 1000. \text{ g H}_2\text{O} \left(\frac{0.5000 \text{ mol } C_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}}{893 \text{ g H}_2\text{O}} \right)$$

$$= 0.560 \text{ mol } C_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$$

محلول نسبت به $C_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 56% m است.

که در آن کسر مولی A در محلول و P^* فشار بخار A خالص در دمای آزمایش است.

در این موارد، تمام محلول‌های ۱ m که حاوی مقدار بیکسان حال باشند، دارای کسر مولی بیکسان برابر حل شونده و حال هستند. کسر مولی در هر محلول ۱ m کریں تراکلرید (۱۳۳ ره) است، کسر مولی حلحل نیز ۶۷ ره می‌باشد. این ارقام با ارقام مثال ۱۲ تفاوت دارند، زیرا وزن مولکولی کریں تراکلرید با وزن مولکولی آب متفاوت است، در تجربه، تعداد مولهای موجود در یک کیلوگرم CCl_4 با تعداد مولهای موجود در یک کیلوگرم آب مقاومت است.

مولالیتۀ یک محلول با دما تغییر نمی‌کند زیرا محلول بر مبنای جرم اجزای تهیه شده است: تغییر دما، اثری بر جرم ندارد. مولالیتۀ یک محلول آبی سیار رقیق تقریباً با مولالیتۀ محلول بیکسان است زیرا ۱۰۰ g آب تقریباً ۱ را اشغال می‌کند.

۵ - نرمالیتۀ N، یک محلول تعداد هم‌از گرم‌های ماده حل شده در یک لیتر محلول است. همارز گرم‌ها و نرمالیتۀ در بخش ۱۲-۸ بحث شدند. ولی در اینجا غلظت‌های نرمال مانند غلظت‌های مولار، بر

فشار جزئی A را می‌توان با استفاده از معادله مشابهی بدست آورد:

$$P_B = X_B P_B^* \quad (۶ - ۱۲)$$

که در آن X_B کسر مولی B در محلول و P_B^* فشار بخار B خالص در دمای آزمایش است. در محلول فرضی ما، مول جزئی B برابر $1/5$ است زیرا یک مول از کل ۵ مول، B است. فشار جزئی A برابر $1/5$ فشار بخار B خالص است. پرسانس معادله ۱۲ - ۴، فشار بخار محلول برابر با مجموع دو فشار بخار جزئی است (معادله‌های ۱۲ - ۵ و ۱۲ - ۶):

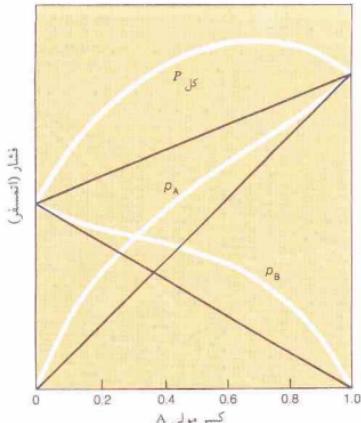
$$P_{کل} = X_A P_A^* + X_B P_B^* \quad (۷ - ۱۲)$$

درنتیجه، فشار بخار یک محلول ایده‌آل را می‌توان از فشار بخار اجزای خالص، با به حساب آوردن نسبت اجزای موجود (برحسب مول) در محلول بدست آورد.

در شکل ۱۲ - ۴، فشار بخار A و B و همچنین فشار بخار کل محلول B برحسب غلظت محلول رسم شده است. منحنی فشار بخار کل A برای با مجموع دو منحنی فشار جزئی است. در این شکل فشارها برحسب کسر مولی A رسم شده‌اند. چون مجموع مول‌های جزئی A و B برای یک محلول، باید ۱ شود، کسر مولی B در یک نقطه معین، بهسانی بر روی محور x خوانده می‌شود، مثلًاً هنگامی که X_A برای ۰ باشد، X_B برای ۱ خواهد بود.

شمار محلول‌های ایده‌آل اندک است. در اغلب موارد تیروهای جاذبه A به A، B به B از نظر قدرت پاک‌دیگر مقاومت‌دار، درنتیجه محلول ایده‌آل نیست. دو نوع انحراف از قانون رائل متشابه می‌شود.

۱ - انحراف‌های مثبت. فشارهای جزئی A و B و فشار بخار کل، بالاتر



شکل ۱۲ - ۳ نمونه‌ای از منحنی‌های فشار بخار کل و فشار بخار جزئی محلول‌های که انحراف مثبت از قانون رائل دارند. (خطهای سیاه براساس قانون رائل رسم شده‌اند).

از مقدار پیش‌بینی شده (شکل ۱۲ - ۳) است. این نوع انحراف هنگامی مشاهده می‌شود که تیروهای جاذبه بین مولکول‌های A و B ضعیف‌تر از تیروهای جاذبه بین دو مولکول A یا دو مولکول B باشند. درین حالت، فرار مولکول‌های A از مایع آسان‌تر است، و شناسارجی A نیز بالاتر از فرار پیش‌بینی شده می‌باشد. رفتار مولکول‌های B نیز مشابه است.

۲ - انحراف‌های منفی. فشارهای جزئی A و B و فشار بخار کل پایین‌تر از مقدار پیش‌بینی شده‌اند (شکل ۱۲ - ۴). جاذبه‌های A - A تقویت از جاذبه‌های A - A یا B - B هستند. برای مولکول‌های A، ترک مایع دشوارتر می‌شود و فشار جزئی A پایین‌تر از مقدار پیش‌بینی شده است. مولکول‌های B نیز رفتاری مشابه دارند.

مثال ۱۲ - ۷

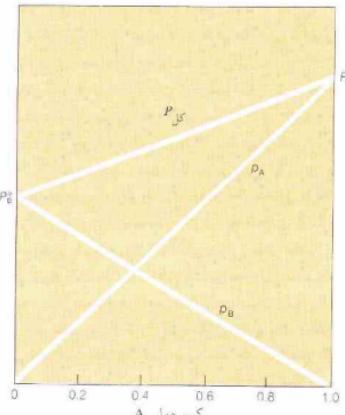
هیتان (و) و اکтан (C_8H_{18}) محلول‌های ایده‌آل تشکیل می‌دهند. فشار بخار محلولی شامل 0.3 atm مول هیتان و 0.5 mol اکтан در 40°C چقدر است؟ فشار بخار هیتان در 40°C 121 atm و فشار بخار اکтан در همین دما، 41 atm است.

حل

تعادل کل مول‌ها، 1 mol است. بنابراین،

$$X_{هیتان} = \frac{3.00\text{ mol}}{8.00\text{ mol}} = 0.375$$

$$X_{اکтан} = \frac{5.00\text{ mol}}{8.00\text{ mol}} = 0.625$$



شکل ۱۲ - ۷ نسودار فشار کل و فشار جزئی محلول‌هایی که از قانون رائل پیروی می‌کنند.

یعنی فشار بخار A خالص، بعض P_A^* به اندازه $X_B P_A^*$ کاهش یافته است. فشار بخار محلول تهیه شده از ۱ مول ماده حل شونده غیر فرار و تفکیک ناشدنی و 0.99 mol از حلال، برابر با $99\% = 0.99$ فشار بخار حلال خالص در همان دماس است. در چنین محلولی، میل مولکول های حلال برای فرار از محلول کاهش یافته است، زیرا مولکول های حلال فقط مولکول های داده اند. فشار بخار محلول به اندازه ای متناسب با کسر مولی ماده حل شونده غیر فرار موجود، کاهش یافته است.

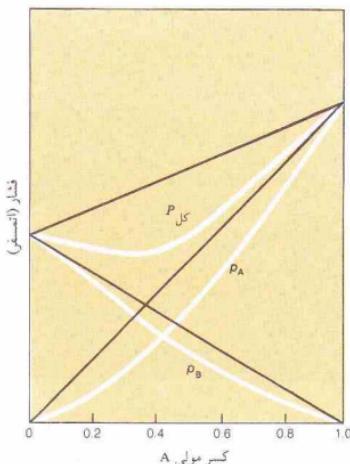
مثال ۱۲ با فرض ایده آل بودن محلول، فشار بخار محلول m در 50°C یک ماده حل شونده غیر فرار و تفکیک ناشدنی در آب، در 50°C را پیدا کنید. فشار بخار آب در 50°C برابر با 122 atm است.

حل کسر مولی آب در محلول m را برابر با 0.982 است (از مثال ۱۲-۵). فشار بخار یک محلول m را از این نوی در 50°C ، برابر است با،

$$\begin{aligned} P_{\text{کل}} &= X_{\text{H}_2\text{O}} P_{\text{H}_2\text{O}}^* \\ &= (0.982) (0.122 \text{ atm}) \\ &= 0.120 \text{ atm} \end{aligned}$$

۸-۱۲ دمای جوش و دمای انجاماد محلولها

کاهش فشار بخار محلول های تهیه شده از مواد حل شونده غیر فرار بر دمای جوش و دمای انجاماد این محلول ها اثر می گذارد. دمای جوش یک مایع، دمایی است که در آن، فشار بخار مایع برابر با فشار جوی می شود. دمای جوش اندازه گیری شده در فشار 1 atm را دمای جوش نرمال گویند. چون افزوند یک حل شونده غیر فرار به یک مایع، فشار بخار آن را کاهش می دهد، دمای جوش مایع برابر با دمای جوش در فشار 1 atm تغواہد بود. برای رسانیدن فشار بخار محلول در 1 atm باید دما را افزایش دهم. درنتیجه، دمای جوش یک محلول شامل مادة حل شونده مولکولی غیر فرار، بالاتر از دمای جوش حلال خالص است. افزایش دمای جوش، با غلظت مادة حل شده در محلول متناسب است. این اثر به وسیله متضمنه های فشار بخار رسیده در شکل ۱۲-۵ نمایش داده شده است. میزان قرار گرفتن متضمنه فشار بخار محلول در پایین متضمنه فشار بخار حلال، با کسر مولی ماده حل شونده در محلول متناسب است. افزایش دمای جوش، ΔT ، بیانگر این جای بدهای متضمنه فشار بخار است. برای یک حلال معین، میزان افزایش دمای جوش برابر با تمام محلول های دارای غلظت پکسان، برابر است. در مسائل مربوط به افزایش دمای جوش، غلظت هارا معمولاً مولالیت



شکل ۱۲-۴- منحنی های فشار بخار کل و فشار بخار جزئی محلول هایی که نسبت به قانون رائل انحراف متفاوت دارند. (خطهای سیاه بر مبنای قانون رائل رسم شده اند).

فشار بخار برابر است با،

$$\begin{aligned} P_{\text{کل}} &= X_{\text{آکتان}} P_{\text{آکتان}}^* + X_{\text{هیبان}} P_{\text{هیبان}}^* \\ &= 0.375 (0.121 \text{ atm}) + 0.625 (0.041 \text{ atm}) \\ &= 0.045 \text{ atm} + 0.026 \text{ atm} \\ &= 0.071 \text{ atm} \end{aligned}$$

محلول رقیقی را درنظر بگیرید که از یک ماده حل شونده (که با مشخص می شود) غیر فرار (عملماً $= P_B^*$) و تفکیک ناشدنی در محلول تهیه شده است. فشار بخار محلول، فقط از مولکول های حلال (مولکول های A) ناشی می شود. چنین محلول هایی معمولاً از قانون رائل پیروی می کنند:

$$P_{\text{کل}} = X_A P_A^* \quad (۸-۱۲)$$

چون $1 = X_A + X_B$ است، $X_B = 1 - X_A$ می باشد. درنتیجه

$$P_{\text{کل}} = (1 - X_B) P_A^* \quad (۹-۱۲)$$

یا

$$P_{\text{کل}} = P_A^* - X_B P_A^* \quad (۱۰-۱۲)$$

جدول ۱۲ - ثابت‌های مولال افزایش دمای جوش و کاهش دمای انجماد

k_f $^{\circ}\text{C}/\text{m}$	دماهی انجماد $^{\circ}\text{C}$	k_b $^{\circ}\text{C}/\text{m}$	دماهی جوش $^{\circ}\text{C}$	حلال
- ۳۹.۵	۱۶	+ ۳.۷	۱۱۸.۱	استیک‌اسید
- ۵۱.۲	۵	+ ۲.۵۳	۸۰	بنزن
- ۳۹.۷	۱۷۹	-	-	کافور
- ۲۹.۸	- ۲۲.۸	+ ۵.۰۲	۷۶	کربن تراکلرید . آر.
- ۴۶.۸	- ۶۳.۵	+ ۳.۶۳	۶۱.۲	کارونوم
- ۱۴.۹۹	- ۱۱.۴	+ ۱.۲۲	۷۸.۴	اتیل‌الکل
- ۰.۶	۸۰.۲	-	-	نفتان
- ۱۶	۰	+ ۰.۱۲	۱۰۰	آب

$$\Delta t_f = m k_f \quad (12)$$

در این عبارت فرض می‌شود که حل شونده با حلال، محلول جامد تشکیل نمی‌دهد. در صورت تشکیل یک محلول جامد، این رابطه به کار نخواهد آمد.

مثال ۹ - ۱۲

دمای جوش و دماهی انجماد محلول تهیه شده از حل کردن 50 g بیفنیل ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$) در 100 g بنزن چقدر است؟ وزن مولکولی بیفنیل ۱۵۴ است.

حل

مولالیته محلول برابر با تعداد مول‌های بیفنیل حل شده در 100 g بنزن است:

$$\begin{aligned} ? \text{ mol } \text{C}_{12}\text{H}_{10} &= 1000 \text{ g} \left(\frac{1 \text{ mol } \text{C}_{12}\text{H}_{10}}{154 \text{ g } \text{C}_{12}\text{H}_{10}} \right) \\ &= 0.208 \text{ mol } \text{C}_{12}\text{H}_{10} \end{aligned}$$

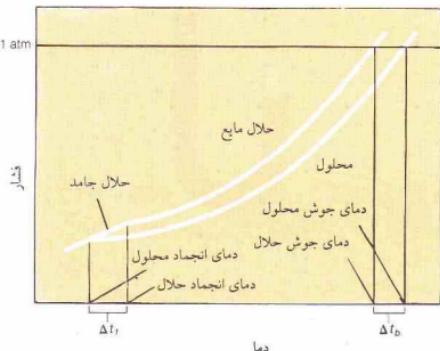
ثابت افزایش دمای جوش مولی برای محلول‌های بنزن $+2.53^{\circ}\text{C}/\text{m}$ است (جدول ۱۲ - ۱):

$$\begin{aligned} \Delta t_b &= m k_b \\ &= (0.208 \text{ mol})(+2.53^{\circ}\text{C}/\text{m}) \\ &= +0.526^{\circ}\text{C} \end{aligned} \quad (12)$$

دمای جوش ترمال بنزن 20°C (جدول ۱۲ - ۱) است. درنتیجه، دمای جوش محلول برابر است با:

$$20.1^{\circ}\text{C} + 0.526^{\circ}\text{C} = 20.6^{\circ}\text{C}$$

ثابت کاهش دمای انجماد مولی برای محلول‌های بنزن $-0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ است: (جدول ۱۲ - ۱):



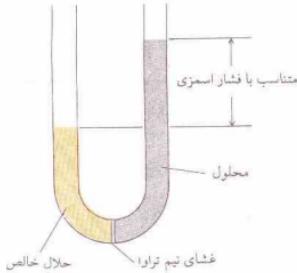
شکل ۱۲ - ۵ منحنی‌های فشار بخار یک حلal خالص و محلول شامل یک ماده حل شونده غیرفرار تحت فشار ۱ atm . (بر مقایس رسم شده است).

یا می‌کنند، نه بر حسب کسر مولی. مثلاً، دمای جوش یک محلول آبی 20°C ، 1 mol $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ بالاتر از دمای جوش آب است. جدول ۱۲ - ۱ ثابت‌های افزایش دمای جوش مولی برای چند حلal را نشان می‌دهد. پیش‌بینی می‌شود دمای جوش یک محلول 50 g به اندازهٔ نصف ثابت مولی افزایش یابد. سپاهای افزایش دمای جوش، Δt_f ، یک محلول را بضروب کردن ثابت افزایش دمای جوش مولی حلal، k_b ، در مولالیته محلول، m ، می‌توان محاسبه کرد:

$$\Delta t_b = m k_b \quad (12)$$

در واقع، این رابطه فقط یک تقریب است، برای دستیابی به عبارت‌های دقیق‌تر باید غلطت بر حسب کسر مولی ماده حل شده بیان شود، نه بر حسب مولالیته . ولی مولالیته محلول‌های رقیق (دست کم با دقت کافی) با کسر مولی حل شونde مناسب هستند.

چون قانون راول روابط دقیق بینگر رفتار محلول‌های حقیقی است، استفاده از مولالیته در این محاسبات، قابل توجیه است. در دمای انجماد، فشار بخار حلal خالص و مایع برابرند. در شکل ۱۲ - ۵، منحنی‌های فشار بخار حلal مایع و حلal جامد در نقطهٔ انجماد حلal، تلاقی می‌کنند. در این دمای، فشار بخار محلول پایین‌تر از فشار بخار تعادلی حلal خالص است. منحنی فشار بخار محلول در دمای پایین‌تری با منحنی فشار بخار حلal جامد تلاقی می‌کند، سپاهای دمای انجماد، مانند افزایش دمای جوش، به غلطت محلول و حلal انتخاب شده بستگی دارد. ثابت‌های کاهش دمای انجماد مولی برای برخی حلal‌ها در جدول ۱۲ - ۱ داده شده است. کاهش دمای انجماد، Δt_f ، یک محلول را می‌توان از مولالیته آن محلول و ثابت مربوط به حلal، k_b ، محاسبه کرد:



شکل ۱۲ - ۶ - اسز



خالص سازی آب لوله کشی برای مصارف آزمایشگاهی با استفاده از قرار گیرنده اسز معمکن.

با ارتقای محلول قند یکسان است. مولکول‌های آب، نه مولکول‌های قند، می‌توانند از شاهاب بگذرند و در بین دو بشن رفت و آمد کنند، چون تعداد مولکول‌های آب در واحد حجم در سمت چپ بیشتر (سمت دارای آب خالص) از سمت راست است. در ترتیبه، سرعت عبور از سمت چپ شاهاب به سمت راست آن بیشتر از سرعت در چهت مخالف است. به این ترتیب شمار مولکول‌های آب در سمت راست افزایش می‌یابد و محلول قند واقعی تر می‌شود و ارتقای محلول در بازوی راست لوله U شکل افزایش می‌یابد. این فرایاند را آسمزی نامند. تفاوت ارتقای سطح دو مایع در دو بازوی لوله U شکل، فشار اسمزی را بدست می‌دهد.

از سوی دیگر افزایش فشار هیدرواستاتیکی در سمت راست (در اثر افزایش مقدار محلول در بازوی راست)، مولکول‌های آب را از سمت راست به سمت چپ می‌راند و در نهایت سرعت عبور به چپ برابر با سرعت عبور به راست می‌شود، به این ترتیب حالت نهایی، حالت تعادلی است که در آن سرعت عبور مولکول‌های آب از عشاه در دو چهت برابر است. اگر فشاری بالاتر از فشار تعادلی در بازوی راست، بر

$$\begin{aligned}\Delta t_f &= m k_f \\ &= (0.208 \text{ mol}) (-5.12^\circ\text{C}/\text{mol}) \\ &= -1.06^\circ\text{C}\end{aligned}\quad (۱۲ - ۱۲)$$

دمای انجام نرمال بتزن 5°C است (جدول ۱۲ - ۱). به این ترتیب، دمای انجام محلول پرایه است با:

$$5.5^\circ\text{C} - 1.1^\circ\text{C} = 4.4^\circ\text{C}$$

مثال ۱۲ - ۱۰

دمای جوش محلول تهیه شده با حل کردن 8 g از یک حل شونده غیرفرار مجهول در 20°C گرن تتراکلرید CCl_4 بالاتر از 39.2°C خالص است. وزن مولکولی حل شونده را بدست آورید.

حل

مقدار پرایه محلول‌های CCl_4 پرایه 8 g $\text{CCl}_4/m +$ است (جدول ۱۲ - ۱۲). مولالیتۀ محلول را از افزایش دمای انجام محاسبه می‌کنیم:

$$\begin{aligned}\Delta t_b &= m k_b \\ &+ 0.392^\circ\text{C} = m (+5.02^\circ\text{C}/\text{mol}) \\ m &= 0.0781 \text{ mol}\end{aligned}\quad (۱۲ - ۱۳)$$

سپس مقدار ماده حل شده در 1000 g از CCl_4 را بوسحسب گرم بدست می‌آوریم:

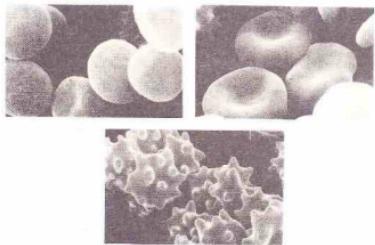
$$\begin{aligned}\text{حل شده} &= 10.0 \text{ g} \frac{\text{حل شده}}{30.0 \text{ g} \text{CCl}_4} = 1000 \text{ g} \text{CCl}_4 \quad \text{حل شده} \text{ g} \\ \text{چون محلول } &78.1 \text{ g} \text{ است، } \text{ g} \text{ ماده حل شده، } 78.1 \text{ g} \text{ مول} \\ \text{از ماده حل شده است:} & \\ \text{حل شده} &= 128 \text{ g} \frac{\text{حل شده}}{0.0781 \text{ mol}} = 1 \text{ mol} \text{ حل شده} \text{ g} \\ \text{وزن مولکولی ماده حل شده} &128 \text{ است.}\end{aligned}$$

۹ - ۱۲

بعضی از خواص محلول‌ها اساساً به غلظت ذرات حل شده بستگی دارند نه به ماهیت این ذره‌ها، این خواص را خواص کولیگاتیو^۱ نامند. برای محلول‌های شامل مواد حل شده غیر فراز، این خواص عبارتند از کاهش فشار بخار، کاهش دمای انجام، افزایش دمای جوش، و فشار اسمزی، آخرین آنها یعنی فشار اسمزی موضوع بحث این بخش است.

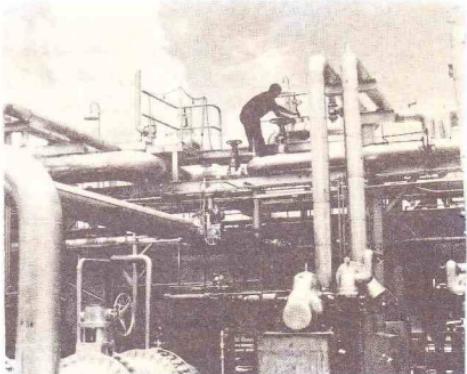
غذایی مانند سلوفان پا برآشمن که برقی از مولکول‌ها و نه همه آنها را خود می‌پرسد، غذای نیم تراوا^۲ نام دارد. شکل ۱۲ - ۶، غذایی را شناس می‌داند که نسبت به آب تراواست و نسبت به ساکارز (قند پیشکر) تراوا نیست و میان آب و محلول از قدر جای داده شده است. در ایندی از افزایش، ارتقای آب موجود در بازوی چپ لوله U شکل

1. Colligative properties
2. Semipermeable membrane
3. Osmosis



(بالا راست) گلوبول‌های قرمز معمولی در یک محلول همفشار، (بالا چپ) در آب خالص، گلوبول‌های قرمز متورم شوند و در این نرم، ممکن است بترکند. (پایین) در محلول قند غلیظ، گلوبول‌های قرمز کوچک‌تر و شرددتر می‌شوند.

خون همشار باشد (یعنی، فشار اسمزی آنها با فشار اسمزی خون را برابر باشد).



کارخانه تهیه آب شیرین

محلول وارد شود، مولکول‌های آب درجه‌تی خلاف جهت معمولی به حرکت در می‌آیند. این فرایند به اسمز معکوس^۱ مشهور است و برای تهیه آب شیرین از آب نمکدار استفاده می‌شود. بین فشار مولکول‌های آب در فرایند اسمز و رفتار مولکول‌های گاز در فرایند نفوذ، شباهت‌هایی وجود دارد. در هر دو فرایند مولکول‌های از نواحی غلیظ به نواحی رقيقة نفوذ می‌کنند. در ۱۸۸۷ یاکوبس وانت هووف^۲ رابطه زیر را کشف کرد:

$$\pi = MRT \quad (۱۵ - ۱۲)$$

$$\pi V = nRT \quad (۱۳ - ۱۲)$$

$$\begin{aligned} &= (0.296 \text{ mol/L})[0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{K} \cdot \text{mol})](310 \text{ K}) \\ &= 7.53 \text{ atm} \end{aligned}$$

که در آن، π فشار اسمزی (برحسب atm)، n عدد مول‌های ماده حل شده در حجم V (برحسب لیتر)، T دمای مطلق، و R ثابت گازها ($۸۲۰۶ \text{ Latm}/(\text{K} \cdot \text{mol})$) است. شباهت بین این معادله و معادله حالت پایی یک گاز ایده‌آل، مشخص است. معادله را به صورت زیر نیز می‌توان نوشت،

$$\pi = \left(\frac{n}{V}\right)RT \quad (۱۴ - ۱۲)$$

$$\pi = MRT \quad (۱۵ - ۱۲)$$

که در آن، M مولاریته محلول است. اسمز نقش مهمی در فرایندهای فیلترولوژیکی در گیاهان و جانواران دارد؛ عبور مواد از دیوارهای نیمه‌تراوی سلول زندگی، کارکلیه‌ها، و صعود شیره‌گیاهی در درختان، نمونه‌های آن هستند.

خشای گلوبول‌های قرمز خون نیم‌تراوی است. اگر گلوبول‌های قرمز را در آب خالص قرار دهیم، بر اثر جریان آب به داخل سلول، سیال درون سلولی رقیق می‌شود. درنتیجه سلول متورم شده و ممکن است بترکد. اگر گلوبول‌های قرمز در محلول قند غلیظ قرار گیرند، آب موجود در داخل سلول وارد محلول قندی شده و درنتیجه سلول ها کوچک‌تر خواهد شد. برای جلوگیری از این دو فرایند محلول‌های به کار رفته باید با

مثال ۱۲ - ۱۲ محلولی آبی شامل ۸ g ریز پروتئین در ۱۰۰ ml است. فشار اسمزی محلول در ۲۵°C atm، ۱۶۷ atm، ۲۵°C است. وزن مولکولی تقریبی پروتئین را بدست آوردید.

حل

با استفاده از معادله واته‌هوف، تعداد مول‌های پروتئین موجود در محلول را بدست می‌آوریم:

$$\pi = \left(\frac{n}{V}\right)RT \quad (۱۴ - ۱۲)$$

چون فشار 1 atm است، دمای آزمایش همان دمای جوش نرمال محلول می‌باشد. فشار جزئی A و B، برابر 1 atm و 0.90 atm است. ترکیب اجزای بخار درحال تعادل با این محلول را می‌توان با مقایسه فشار جزئی هر یک از اجزای با فشار بخار کل محلول محاسبه کرد.

درنتیجه فشار بخار،

$$X_A = \frac{0.90 \text{ atm}}{1.00 \text{ atm}} = 0.90 \quad X_B = \frac{0.10 \text{ atm}}{1.00 \text{ atm}} = 0.10$$

محلولی که در 1 atm و 0°C است با محلولی که در 0°C و 0.90 atm می‌باشد درحال تعادل است. بخار محلول‌های آیده‌آل معمولاً از ماده فوار (داین موره A) که فشار بخار بالاتر (دارد) غنی است.

در نقطه محلول A و B، بخاری که خارج می‌شود و متراکم می‌گردد از A غنی‌تر است تا مایع برخای اندام در طرف تقطیر. با ادامه تقطیر ترکیب اجزای بخار و مایع تغییر می‌کند، و این تغییر کمی در هر زمان معینی دوست است. با جمع آوری مایعی که از سردشدن بخار حاصل می‌شود و تقطیر مجدد آن و تکرار می‌دریج این کار، سرتاجم می‌توان اجزای تشکیل‌دهنده محلول اصلی را بصورت خالص به دست آورد.

در مرور سیستم‌هایی که از قانون راژول پیروز نمی‌کنند، وضع تاختی متفاوت است. انحراف مثبت از قانون راژول ممکن است منجر به پیشینه‌ای (ماکریمی) در منحنی فشار بخار کل شود (شکل ۱-۲). این پیشنهاد به محلولی باترکب درصد منحصر مربوط است که فشار بخار آن بالاتر از هر یک اجزای خالص می‌باشد. چنین محلولی را همچو شیوه بادمای جوش کمینه نامند و درمای پایین‌تری نسبت به هر یک از جزو بادمای آزمایشی هر یک اجزای خالص می‌باشد. چنین محلولی را همچو شیوه دیگر می‌گوشن. اتيل الکل و آب، یک همچو شیوه با دمای جوش کمینه تشکیل می‌دهند که شامل $78\text{v} \% / 7\text{w} \% \text{ آب}$ و دمای جوش نرمال 78.7°C است. اتيل الکل و آب به ترتیب در 78.3°C و 77.0°C می‌چورشند.

اگر سیستم نسبت به قانون راژول انحراف مثبت نشان دهد (شکل ۱-۲)، در آن صورت کمینه ای در منحنی P -خواهد داشت. محلولی که غلظت مربوط به این نقطه کمینه ای داشته باشد، فشار بخار آن در هر دمایی کمتر از هر یک از اجزای خالص خواهد بود. چنین محلولی در دمای بالاتر از اجزای خالص می‌جوش و همچو شیوه نامیده شود. هیدرولریک‌اسید و آب چنین همچو شیوه وجود می‌آورند که شامل $20\text{v} \% / 70\text{w} \% \text{ HCl}$ و دمای جوش 10.8°C است. دمای جوش خالص 8.0°C است.

بخار در تعادل با همچو شیوه با دمای جوش کمینه بایشینه دارای همان غلظت مایع است. درنتیجه، همچو شیوه نامند مواد خالص بدون تغییر تقطیر می‌شوند. از تقطیر جزء به جزء یک محلول حاوی دو

۱. فشار اسزی 14.67 torr را می‌توان به 12.7 cm^3 و 14.67 atm (۷۶ torr/atm) چویه است. چون چگالی چویه 13 g/cm^3 باشد که 13 cm^3 برای چگالی آب است، درنتیجه، سنتی از آب به بندی 17.3 cm^3 (۱۷.۲۷ cm) 13 cm^3 است. فشاری برای فشار سنتون چویه به وجود آورد. لازم است تا فشاری برای فشار سنتون چویه به وجود آورد.

2. Minimum boiling azeotrope

3. Maximum boiling azeotrope

$$0.0167 \text{ atm} = \left(\frac{n}{1.00 \text{ L}} \right) [0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm}/(\text{K} \cdot \text{mol})] (298 \text{ K})$$

$$n = 6.83 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

چون 8°C پروتین در محلول وجود دارد،

$$\frac{30.0 \text{ g}}{6.83 \times 10^{-4} \text{ mol}} = \frac{1 \text{ mol}}{\text{پروتین g}}$$

$$= 4.39 \times 10^4 \text{ پروتین g}$$

وزن مولکولی پروتینی پروتین ۴۳.۹۰۰ است.

چون پروتین‌ها دارای وزن مولکولی‌های بالا هستند، غلظت‌های مولال و مولار محلول‌های سرنشده پروتین‌ها بسیار پایین است، برای محلول بیان شده در این مثال، اثراهای زیر را می‌توان محاسبه کرد:

کاهش فشار بخار $3.85 \text{ atm} \cdot 0^{\circ}\text{C}$

افزایش دمای جوش $0^{\circ}\text{C} \cdot 25^{\circ}\text{C}$

کاهش دمای انجام $0^{\circ}\text{C} \cdot 17^{\circ}\text{C}$

فشار اسزی 16.7 atm

روشن است که سه مرور اول بسیار کوچک‌تر از آن هستند که امکان اندازه‌گیری دقیق به ماده‌های دارند. اما فشار اسزی این محلول سبب ایجاد تفاوت ارتفاع دو سنتون در شکل ۱-۲ - ۶ به میزان تقریباً 17 cm که به آسانی قابل اندازه‌گیری است.^۱

۱-۱۲ تقطیر

اجزای تشکیل‌دهنده محلولی از یک ماده حل شده غیرفرار را می‌توان با تقطیر ساده از هم جدا کرد. در این روش محلول را می‌چوشانیم تا حال حال فوار بخار شود و از ماده حل شده جدا گرد. بخار حلال را می‌توان با سردکرد به مایع تبدیل کرد. ماده حل شده، پس مانده ای است که پس از تقطیر باقی ماند.

اجزای تشکیل‌دهنده محلولی شامل دو جزء فوار را که از قانون راژول پیروز می‌کند (شکل ۱-۲)، می‌توان با فرایند تقطیر جزء به جزء از هم جدا کرد. براساس قانون راژول، فشار بخار محلول، مجموع فشار بخار اجزای سازنده آن است و سهم هرجزء برا برای خالص ضرب کسر مولی آن چه در فشار بخار آن، در حالت خالص (P_A) و P_B است:

$$P_{\text{کل}} = X_A P_A^{\circ} + X_B P_B^{\circ} \quad (۷-۱۲)$$

محلولی دوجزئی را درنظر بگیرید که در آن کسر مولی A برای 14.67 atm و کسر مولی B برای 25°C باشد. فرض کنید در دمای آزمایش، فشار بخار خالص P_A برای 1 atm و فشار بخار B خالص P_B است. درنتیجه،

$$\begin{aligned} P_{\text{کل}} &= X_A P_A^{\circ} + X_B P_B^{\circ} \\ &= 0.75(1.20 \text{ atm}) + 0.25(0.40 \text{ atm}) \\ &= 0.90 \text{ atm} + 0.10 \text{ atm} \\ &= 1.00 \text{ atm} \end{aligned}$$

(۷-۱۲)

۲ - الکترولیت‌های ضعیف، مواد قطبی کووالانسی‌اند که در آب به طور ناقص تفکیک می‌شوند. رسانایی یک محلول الکترولیت ضعیف‌کتر از رسانایی محلول ۱M الکترولیت قوی است.

افزایش دمای جوش و کاهش دمای ذوب محلول‌های رقیق الکترولیت‌ها با محلول‌های غیرالکترولیت با همان غلظت‌ها تفاوت دارد. چون ۱ mol NaCl از ۲ mol Na^+ و ۱ mol Cl^- باشد و ۱ mol K₂SO₄ از ۲ کاهش دمای اتحاد محلول از ۱M است و چون خواص کویلگاتیو به تعداد ذرات تفکیک شده بستگی دارد نه به ماهیت آنها، می‌توان انتظار داشت که کاهش دمای اتحاد محلول ۱M باشد و برایر یک محلول NaCl باشد سه برایر محلول باشد. همچنین انتظار داریم که کاهش دمای اتحاد محلول از ۱M باشد (اکه دارای سه مول یون در یک مول K₂SO₄ است) باشد سه برایر محلول با همان غلظت از یک ماده تفکیک‌ناپذیر باشد.

فرهست کاهش دمای اتحاد باشد در جدول ۲ - ۲ آمده است، به طور تقریبی با این پیش‌بینی‌ها سازگار است. هرچه محلول‌ها رقیق‌تر باشند سازگاری می‌نمایند تجربی و مقایسه این پیش‌بینی دشوار است. این نوع داده‌ها همراه با داده‌های به دست آمده از آزمایش‌های مربوط به رسانایی الکتریکی، منجر به پیشنهاد «نظریه شیمیایی الکترولیت‌ها» توسط سوانح آریوس در ۱۸۸۷ میلادی شد. افزایش دمای جوش محلول‌های غیرالکترولیت با همان غلظت است.

۱۲ - جاذبه‌های بین یونی در محلول

ضریب وات هوف، α ، به صورت نسبت میزان اندازه‌گیری شده یک خاصیت کویلگاتیو برای یک ماده حل شده در یک محلول به مقدار پیش‌بینی شده برای یک ماده حل شدنده تفکیک‌ناپذیر تعريف می‌شود. مثلاً در مرور کاهش دمای اتحاد،

$$i = \frac{\Delta t_f}{mk_f} \quad (12)$$

معادله بالا می‌توان به صورت زیر درآورد

$$\Delta t_f = imk_f \quad (12)$$

هنجامی که یک ماده حل شونده تفکیک گردید، باید مولالیته محلول را برای محاسبات مربوط به خواص کویلگاتیو اصلاح کرد. ضریب α همین کار را می‌کند. چون از تفکیک ۱ mol NaCl از ۱ mol Na^+ و ۱ mol Cl^- ، ضریب α محلول به وجود می‌آید (برای NaCl از ۰.۳۶)، می‌توان در ۱M محلول کویلگاتیو از NaCl به صورت نظری برایر ۲ است. اگر فرض کنیم که هر یون به طور مستقل عمل می‌کند غلظت مثمر یک محلول ۱M در از ۲ برای NaCl با ۰.۳۶ و خواهد بود. به عبارت دیگر، ۰.۳۶ = m و ۰.۳۶ = i

$$\Delta t_f = 2(0.001 m)k_f$$



سوانه آرنیوس (۱۸۵۹ - ۱۹۲۷)

جدول ۱۲ - ۲ کاهش دمای ذوب مشاهده شده برای برخی از محلول‌های آبی و مقایسه آن با مقادیر محاسبه شده*

محاسبه شده برای یک غیرالکترولیت	۱M											
ساكارز	۱۸۶	۱۸۶	۱۸۶	۱۸۶	۱۸۶	۱۸۶	۱۸۶	۱۸۶	۱۸۶	۱۸۶	۱۸۶	۱۸۶
محاسبه شده برای ۲ یون / فرمول	۳۷۲	۳۷۲	۳۷۲	۳۷۲	۳۷۲	۳۷۲	۳۷۲	۳۷۲	۳۷۲	۳۷۲	۳۷۲	۳۷۲
NaCl	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰
محاسبه شده برای ۳ یون / فرمول	۵۵۸	۵۵۸	۵۵۸	۵۵۸	۵۵۸	۵۵۸	۵۵۸	۵۵۸	۵۵۸	۵۵۸	۵۵۸	۵۵۸
K ₂ SO ₄	۵۲۴	۵۲۴	۵۲۴	۵۲۴	۵۲۴	۵۲۴	۵۲۴	۵۲۴	۵۲۴	۵۲۴	۵۲۴	۵۲۴
محاسبه شده برای ۴ یون / فرمول	۷۲۴	۷۲۴	۷۲۴	۷۲۴	۷۲۴	۷۲۴	۷۲۴	۷۲۴	۷۲۴	۷۲۴	۷۲۴	۷۲۴
[K ₄] Fe(CN) ₆	۶۲۶	۶۲۶	۶۲۶	۶۲۶	۶۲۶	۶۲۶	۶۲۶	۶۲۶	۶۲۶	۶۲۶	۶۲۶	۶۲۶

* با این فرض محاسبه شده که $\alpha = 1$ در تمام غلظت‌ها برایر ۱۸۶ C/mol باشد، نکه‌ها در محلول به میزان $\alpha = ۰.۱$ یونی هستند و یون‌ها مستقل از هم بر دمای اتحاد محلول اثر می‌گذارند.

جزء که یک همچوش تشکیل می‌دهند، نهایتاً یک جزء خالص و یک همچوش به دست می‌آید، نه هر دو جزء به صورت خالص.

۱۲ - محلول‌های الکترولیت

اگر یک محلول آبی حاوی یون‌هایی باشد جزویان الکتریسیته را هدایت خواهد کرد. آب خالص، به میزان بسیار اندکی بینیده است و رسانایی ضعیفی می‌باشد:



اگر ماده حل شده در یک محلول آبی، رسانایی بهتری از آب خالص باشد، آذرا الکترولیت گویند. یک الکترولیت به طور کامل با جزوی در آب بینیده می‌شود. مواد حل شونده کووالانسی که در محلول به صورت مولکولی باشند و همکی به رسانایی حال حکمتند، غیرالکترولیت نام دارند؛ ساکارز (قند نیشکر) نمونه‌ای از این مواد است.

الکترولیت‌ها را به دو گروه می‌توان تقسیم کرد:

۱ - الکترولیت‌های قوی که در آب، به طور کامل یونی هستند.

جدول ۱۲ - ۳ ضریب واتت هوف، α ، برای محلول‌کترولیت‌های قفری*

ماده حل شده	غلفت محلول		
	۱m	۱m	۱m
NaCl	۱۹۷	۱۹۴	۱۹۶
MgSO _۴	۱۸۲	۱۵۳	۱۷۱
K _۲ SO _۴	۲۸۴	۲۶۹	۲۳۲
K _۲ [Fe(CN) _۴] _۳	۳۸۲	۳۳۶	۲۸۵

* از نتایج آزمایش‌های تعمیم دمای انجام‌داد

جدول ۱۲ - ۴ مشخصات مواد حل شونده			
ضریب واتت هوف			
برای ΔH ، محلول‌های			
ماده فرماده حل شونده رقیق با مولالیت m			
مثال $\Delta f = ik_F m$	۱m	در محلول	غیرکترولیت
$i = 1$	مولکول	مولکول	
(اسکارز) $C_{۱۲}H_{۲۲}O_{۱۱}$			
(اوره) $CON_۴H_۴$			
(گلیسرول) $C_۳H_۸(OH)_۳$			
NaCl	$i \approx n^{\#}$	پون	کترولیت‌های قوی
KOH			
HC _۲ H _۵ O _۷	$1 < i < n^{\#}$	مولکول پون	کترولیت‌های ضعیف
NH _۴			
HgCl _۴			

 $n^{\#}$ = تعداد مول‌های پون‌ها به ازای هر مول از ماده حل شونده

هر چیزی که بارا وارد نموده $NaCl$ (Cl⁻ و Na⁺). در محلول‌های منزیم سولغات، بر هم‌کشن‌های بین پونی قوی ترند. در جدول ۱۲ - ۴ برخی از ویژگی‌های ماده حل شونده آمده است. فرمول‌های که ضریب واتت هوف، α ، در وجود دارد، برای محاسبه کاهش دمای ذوب، افزایش دمای جوش، و فشار اسمنزی محلول کترولیت‌ها به کار می‌روند:

$$\Delta f = imk_f \quad (۱۷ - ۱۲)$$

$$\Delta t_b = imk_b \quad (۱۸ - ۱۲)$$

$$\pi = iMRT \quad (۱۹ - ۱۲)$$

حلال است. اگر حلال آب باشد، فرایند جاذبه حل شونده - حلال را آب پوشی نامند، و ارزی آزاد شده را نیز آنالیز آب پوشی. اصل لوثاناتی را من توان برای پون‌بینی اثر تغییر دما بر انحلال پذیری ماده حل شوند، به کاربرد اگر فرمولیت که فرمولیت گرمایش افزایش (دما) انحلال پذیری خواهد بانت. در صورتی که فرمولیت گرمایش افزایش با انحلال دما، انحلال پذیری کاهش پیدا خواهد کرد. تغییر فشار معنولاً ارزی جزوی بر انحلال پذیری مواد حل شونده مابعد و جامد دارد؛ ولی، انحلال پذیری یک گاز در یک محلول مایع با نثار جزوی گاز بالای محلول مناسب است. (اقوام هنری).

غلفت محلول‌ها بر حسب درصد چرمی، کسر مولایی (M)، مولاییه (M')، و ترمایلیه (N). فشار بخار یک محلول برایر با مجموع فشارهای جزوی اجزای آن محلول را می‌توان درجه کرد. قانون راول در بر یک جزو فرار یک محلول ایده‌آل که فشار جزوی برایر با کسر مولی آن جزو محلول ضرس در فشار بخار جزو خالص است.

مقادیر آورده شده در جدول ۱۲ - ۳ نشان می‌دهد که ضرایب α دقیقاً برایر با تعداد پون‌ها به ازای واحد فرمولی هر یک از کترولیت‌های قوی نیستند. درنتیجه برایر سطح‌های $1m$ در α ضریب α برای $NaCl$ برابر با 197 (نه 2)، برای K_2SO_4 برابر با 182 (نه 3)، و برای $K_2[Fe(CN)_4]$ برابر با 382 (نه 4) است. علاوه بر این، مقدار این غلفت محلول تغییر می‌کند و از قریق تر شدن محلول، به مقدار پیش‌بینی شده برای محلول کامل نزدیک می‌شود. در م محلول کترولیت‌ها، برهم‌کنش‌های بین پونی $\alpha^{\#}$ می‌دهد، و بین ها بطرور کامل مستقل از یکدیگر و به شیوه مولکول‌های حل شده بدون بار، عمل نمی‌کنند. نیروهای کترولیتی عمل کننده بین پون‌های دارای بار خالق، باعث کاهش اثر این پون‌ها می‌شود. با رقیق کردن محلول، فاصله بین پون‌ها بیشتر می‌شود و اثر آنها بر هم کاهش می‌باشد، و ضریب α به مقدار حد خود تزدیق می‌شود. توجه کنید که جاذبه‌ای بین پونی در محلول $MgSO_4$ ، اثری نیز نمی‌داند از محلول‌های به $NaCl$ وجود می‌آورد، هرچند هر دو حل شونده حاوی دو مول پون در یک مول از ترکیب‌اند. برای $1m$ $MgSO_4$ ، مقدار 182 (نه 1) است، حال آنکه برای $1m$ $NaCl$ $i = 197$ (نه 2) می‌باشد. هر دو پون حاصل از دارای بار دو تایی اند (SO_4^{2-} ، Mg^{2+})، حال آنکه پون‌های

چکیده مطالب محلول‌ها، مخلوط‌های همگن‌اند. جزوی که پیشترین مقدار را دارد، معمولاً حلال نامیده و شود و سایر اجزاء نیز به حل شونده مشهورند. مقدار ساده حل شده در مقدار مشخص حلال یا حل شده در مقدار معمی از محلول را غلفت محلول گویند. محلول‌های رقیق غلفت نسبتاً پایین‌ترند. محلول‌های غلفت دارای غلفت نسبتاً بالای هستند. محلول که شامل پیشترین مقدار ممکن از اساده حل شونده باشد، محلول سیرپشده نام دارد؛ محلول‌های رقیق تر را محلول‌های سیرپشده گویند.

ماهیت و قدرت نیزی که قادر به بین ذرات حل شونده - حل شونده، حل - حل، حل - حل شونده - حل شونده، یک ماده حل شونده می‌باشد در یک حلall هستند. پیشترین انحلال پذیری هنگام مشاهده می‌شود که این نیزه‌ها مشابه باشند؛ نتظیر در تنظیر (علیم شود).

آنالیز محلول، مقدار ΔH مربوط به تهیه یک محلول، نتیجه خالص ارزی لام برای گستنی پون‌های جاذبه‌ای معتبر (حل شونده - حل شونده) و حل (حل) - حل (الز) ارزی آزاد شده در تشكیل پون‌های جاذبه‌ای جدید (حل شونده -

آن، مولکول‌های حلال از یک غشای نیم‌تراوا که دو محلول را از یکدیگر جدا می‌کند، عبور می‌کنند. جهت این حرکت، به سوی محلول غلظت‌تر است. الکترواسترات‌ها، مواد حل شده بین (کم و بیش) در محلول آبی است. در ترتیب محلول الکترواسترات‌ها، بهتر از آب خالص جزوی را دارد هستند. الکترواسترات‌های قوی تقریباً کامل پیوسته هستند، و الکترواسترات‌های ضعیف از آب مول ذره (با اختصار یون‌ها) به وجود می‌آید. خواص کویلگاتیو محلول الکترواسترات‌ها با خواص محلول‌های مواد مولکولی ثابت دارد.

طبق قانون راول، برای محلول‌های رقیق حاصل از یک ماده حل شونده غیرفرار در یک حلال فوار، فشار بخار محلول برابر با فشار جزئی حلال است. در نتیجه، فشار بخار و دمای انجماد محلول پایین‌تر و دمای جوش بالاتر از مقدار مربوط به حلال خاص است. خواص کویلگاتیو به غلظت ماده حل شونده در محلول بستگی داردند به دمای جوش، و شناسی اسزی است. فشار بخار با خواص کاملاً مشابه فشار بخار، کاملاً مادی انجام، افزایش ماهیت آن، این خواص شامل کاملاً مشابه فشار بخار، کاملاً مادی انجام، افزایش

نمایه‌های کلیدی

راول پیرور کند؛ برای محلول‌ی شامل در جزء A و B، محلول ایده‌آل محلول است که در آن انتشار یون‌های بنی مولکولی بین A و B بیکشان‌هستند. شرایط یک سیستم در حال تعادل تغییر داده می‌شود، سیستم چنان عمل می‌کند که آن را تغیر مقابله کند.

k_b Molal boiling-point elevation constant: ثابت افزایش دمای جوش محلول (بخش ۱۲ - ۵). افزایش دمای جوش یک حلال در اثر حل کردن یک مول از ماده حل شونده غیرفرار و تنکیک ناشدنی در ۱۰۰°C محلول (m)؛ مقدار بخار، و پریه حلال مردود است.

k_f Molal freezing-point depression constant: ثابت کاهش دمای انجماد محلول (بخش ۱۲ - ۸). کاهش دمای انجماد یک حلال در اثر حل شدن یک مول از ماده حل شدنی غیرفرار و تنکیک ناشدنی در ۱۰۰°C حلال (m)؛ مقدار بخار، و پریه حلال مردود است.

Osmosis: (محلولی) مولالیت، m (بخش ۱۲ - ۶). غلظت محلول؛ عده مول‌های

ماده حل شده در یک کلریگرم از حلال.

Henry's law (نیز Osmosity) (بخش ۱۲ - ۷). فرایندی که مولکول‌های حلال از

یک غشای نیم‌تراوا جدا می‌کند؛ مولکول‌های حلال در جهت محلول غلظت رخ من درده.

Raoult's law (نیز van't Hoff factor, i) (بخش ۱۲ - ۷). فشار جزئی یک جزء در بخار یک محلول ایده‌آل برای با سرمه ای آن جزء در محلول ضرب در فشار بخار بجزء خالص است.

softening factor (نیز van't Hoff factor, i) (بخش ۱۲ - ۱۲). نسبت

خواص کویلگاتیو اندازه‌گیری شده برای یک محلول افزایش دمای جوش، کاهش دمای انجماد، یا فشار اسزی به مقدار محاسبه شده برای آن خاصیت با فرض غیرالکترواسترات بودن ماده حل شونده.

Azeotrope: (محلولی که فشار بخار آن بالاتر باشد، اگر فشار بخار بالاتر باشد، محلول همچوین با دمای جوش بیشینه گویند.)

Colligative properties: (محلول که عدمتاً غلظت ذرات حل شده سنتگی دارد نه به ماهیت این ذرات؛ کاهش دمای انجام، افزایش دمای جوش، و فشار اسزی.)

Distillation: (تقطیر) (بخش ۱۲ - ۱۰). جداسازی یک محلول مایع به اجزای آن با استفاده از تغیر و تراکم.

Electrolyte: (کلکترواسترات) (بخش ۱۲ - ۹). حاصلت یک محلول که عدمتاً حل شونده‌ای که در آن حل شونده‌ای و محلولی به وجود می‌آورد که نسبت به این ذرات باری جوانانه است، رسانای انکاریکی محلول از بیوش اساده حل شده به وسیله آب ناشی می‌شود.

Enthalpy of hydration: (نیز آب پوشی) (بخش ۱۲ - ۳ و ۱۲ - ۴). تغیر آتیابی آب پوشی (مولاً، یک مول) اپوپوشیده می‌شوند.

Enthalpy of solution: (نیز آتیابی اتحلال) (بخش ۱۲ - ۴). تغیر آتیابی مربوط به فرایندی که در آن مقدار معین از ماده حل شونده (مولاً یک مول) در یک حلال مول تقویت یافته می‌شود. این مقداره غلظت محلول می‌باشد، و مادسکن دارد.

Henry's law: (نیز آب پوشی) (بخش ۱۲ - ۵). هنگامی که گاز درون اینجاو اکتش شیپایان مربوط به یک ماده حل می‌شود، مقدار گاز حل شده در مقدار معین از مایع با فشار جزئی کافی باشی محلول نسبت مستقیم دارد.

Hydration: (نیز آب پوشی) (بخش ۱۲ - ۳ و ۱۲ - ۴). فرایندی که در آن، محلول‌های آب‌پوشی می‌شوند و آنها را فرامی‌گیرند.

Ideal solution: (نیز ایده‌آل) (بخش ۱۲ - ۷). محلول که از قانون

* مسائل فرایند اتحلال

۱ - آتیابی محلول آ در CCl_4 حدوداً برابر با آتیابی ذوب آ خالص است. در مذمت اتحلال بذوق ای از یونی در آب نصف ترازان چنین تجھیه ای گرفت؟

۲ - Fe^{2+} با Br^- یا Ba^{2+} با S^{2-} در CCl_4 بیشتر از ۱ است؟

۳ - چه عواملی باعث می‌شوند که یک ماده حل شده بیوش دارای آتیابی آبپوشی بالایی باشد؟

۴ - Co^{2+} با Ca^{2+} (الف) Li^+ با Be^{2+} (ب) O^{2-} با S^{2-} (ج) Sn^{4+} با Pb^{2+} (د) Mg^{2+} با Al^{3+} (ه) CH_3COO^- با CO_3^{2-} (م).

۵ - کدام مقدار شدن‌دهنده از ایجاد اسرزی بیشتری است: آتیابی

درآب داشته باشد؟ (الف) NaF یا NH_4NO_3 یا $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Cl}$.

۶ - انتظار دارید در هر یک از زوچ‌های زیر کدام جزو، به مقدار بیشتری آبپوشیده شود؟ (الف) Li^+ یا Fe^{2+} (ب) Ca^{2+} یا K^+ (ج) Co^{2+} یا Fe^{3+} (د) Ba^{2+} یا Br^- (ه).

۷ - انتظار دارید در هر یک از زوچ‌های زیر کدام جزو، به مقدار بیشتری آبپوشیده شود؟ (الف) Li^+ یا Be^{2+} (ب) O^{2-} یا S^{2-} (ج) Sn^{4+} یا Pb^{2+} (د) Mg^{2+} یا Al^{3+} (ه).

۸ - کدام مقدار شدن‌دهنده از ایجاد اسرزی بیشتری است: آتیابی

* مسائل مشکل تر با عالمت مشخص شده‌اند، پاسخ مسائل فرد در پیوست آخر کتاب آمده است.

۹ - CH_3Cl با CH_3F (الف) CH_3OH یا CH_3Cl (ب) CH_3OH با CH_3Cl (ج) CH_3F با NaCl (د).

۱۰ - انتظار دارید در هر یک از زوچ‌های زیر کدام جزو اتحلال بذوق بیشتری

۱۱ - آب داشته باشد؟ (الف) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ یا $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ (ب) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ با $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ (ج) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ با $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ (د).

۹ - آب چقدر است؟
 ۱۰ - ۵۰ ملی‌لتر مخلوطی شامل ۲۵g آب پینکل، C_2H_5O در ۱۰۰g برموینز پسند است؟ دمای جوش نرمال برموینز $50^{\circ}C$ و آن $k_p = 45.6 \text{ atm}$.

۱۱ - ۶۱ مخلوطی شامل ۴۵g آب ماده X در ۱۵۰g است. در این ابتدا ماده X $78.7^{\circ}C$ می‌جوش. وزن مولکولی X چقدر است؟ دمای جوش نرمال اتیل استات در $67^{\circ}C$ و آن $k_p = 77.9 \text{ atm}$.

۱۲ - ۷۰ لوریل الکل از روغن نارگیل به دست می‌آید و برای تهیه مواد شوینده به کار میرود. مخلوطی شامل ۸g لوریل الکل در ۱۰۰g نیزن در $80^{\circ}C$ می‌جوش. وزن مولکولی لوریل الکل چقدر است؟

۱۳ - ۷۰ فشار اسمرزی مخلوطی آبی شامل g مرگلکر (C₆H₁₄O₂) در ۲۵۰mL مخلوط است.

۱۴ - ۷۰ فشار اسمرزی مخلوطی آبی شامل g مرگ اوره (CONH₂) در ۲۰۰mL مخلوط است.

۱۵ - ۷۰ فشار اسمرزی مخلوطی شامل g ۹۰ همگلوبین در ۲۰۰mL مخلوط است. قدرت آن $27^{\circ}C$ در ۲۷۱ atm است. وزن مولکولی همگلوبین

۱۶ - ۷۰ فشار اسمرزی مخلوطی آبی شامل g مرگ پنیلین G در $50^{\circ}C$ مخلوط است. قدرت آن $25^{\circ}C$ در ۱۱۵ atm است. وزن مولکولی پنیلین G

۱۷ - ۷۰ فشار اسمرزی مخلوطی آبی شامل g مرگ اتوکسیلات لوریل الکل در $20^{\circ}C$ در ۴۴.۸ atm است. وزن مولکولی ماده حل شدنی

۱۸ - ۷۰ فشار اسمرزی مخلوطی آبی شامل g مرگ پرتوئین در $25^{\circ}C$ مخلوط است. وزن مولکولی آین پرتوئین

۱۹ - ۷۰ وزن مولکولی پروتئین $27^{\circ}C$ است. فشار اسمرزی مخلوط سیرشدۀ این پرتوئین در آب $27^{\circ}C$ است. (الف) در یک لیتر از این مخلوط سیرشدۀ چند گرم پروتئین حل شده است؟ (ب) مولا ریته این مخلوط چقدر است؟

۲۰ - ۷۰ وزن مولکولی گذین $31^{\circ}C$ است. فشار اسمرزی مخلوط سیرشدۀ کذین در آب در $25^{\circ}C$ است. (الف) در یک لیتر از این

مخلوط سیرشدۀ چند گرم گذین حل شده است؟ (ب) مولا ریته این مخلوط

چقدر است؟

محلول‌های الکترولیت

۲۱ - ۷۰ مخلوطی شامل g مرگ C_8Cl_4 در $40^{\circ}C$ در آب در $40^{\circ}C$ منجمد می‌شود. ضربی وات هوف، برای دمای انجماد این مخلوط چقدر است؟

۲۲ - ۷۰ مخلوطی شامل g آر از NISO₄ در $40^{\circ}C$ در آب در $40^{\circ}C$ منجمد می‌شود. ضربی وات هوف، برای دمای انجماد این مخلوط چقدر است؟

۲۳ - ۷۰ مخلوطی از g مرگ NaOH در $25^{\circ}C$ در آب تهیه شده است. اگر ضربی وات هوف، برای دمای انجماد این مخلوط ۱۸ باشد، مخلوط درجه امیار منجمد می‌شود؟

۲۴ - ۷۰ مخلوطی از g مرگ MgCl₂ در $25^{\circ}C$ در آب تهیه شده است. ضربی وات هوف، برای فشار اسمرزی این مخلوط در $25^{\circ}C$ چقدر است؟

۲۵ - ۷۰ دمای انجماد مخلوط این میزان $20^{\circ}C$ در آب در $20^{\circ}C$ چقدر است؟ در سوتون که این اسید به میزان 20% پیونزه شده باشد. از نیترومای جاذبین بین پونی سرفتگی کنید.

۱۳ - ۷۰ محلول‌های آیده‌آل تشکیل می‌دهند، فشار بخار بینن خالص 3.26 atm و فشار بخار تولون در محلول که در $90^{\circ}C$ در $90^{\circ}C$ منجمد است. کسر مولی تولون در $90^{\circ}C$ چقدر است؟

۱۴ - ۷۰ کلروفوم، $CHCl_3$ ، و کربن تراکسلید، C_6H_6 محلول‌های آیده‌آل تشکیل می‌دهند، فشار بخار کلروفوم خالص 34.1 atm و فشار بخار تولون خالص 19 atm است. کسر مولی کلروفوم در محلول که در $70^{\circ}C$ و فشار $70^{\circ}C$ منجمد است؟

۱۵ - ۷۰ فشار بخار سخوار مخلوط شامل 40% استون و 60% کلروفوم در $50^{\circ}C$ و فشار بخار کلروفوم خالص 88 atm است. (الف) در صورتی که اجزای سازنده این محلول، محلول‌های آیده‌آل تشکیل دهند فشار بخار محلول چقدر خواهد شد؟ (ب) آیا فشار بخار این محلول نسبت به فشار پیش‌بینی شده با قانون انتحراف مثبت دارد یا منفی؟ (ج) به هنگام تهیه این محلول کجا مازاد می‌شود یا چند؟ (د) آیا استون و کلروفوم همچو شو با دمای جوش مخلوط شو با دمای جوش کمینه شکل می‌دهند یا پیشنهاد شده؟

۱۶ - ۷۰ فشار بخار محلولی شامل 25% mol ایل الکل در 375 atm کلروفوم در $35^{\circ}C$ برابر 228 atm است. در این دمای این فشار بخار بخار مخلوط 34.8 atm است. (الف) در صورتی که اجزای سازنده این محلول، محلول‌های آیده‌آل تشکیل دهند فشار بخار بخار مخلوط چقدر خواهد شد؟ (ب) آیا فشار بخار این محلول نسبت به فشار پیش‌بینی شده با قانون راول انجاروف مثبت دارد یا منفی؟ (ج) به هنگام تهیه این محلول گویا آزاد می‌شود یا نسبت به ایل الکل کلروفوم همچو شو با دمای جوش کمینه شکل می‌دهند یا پیشنهاد شده؟

۱۷ - ۷۰ فشار بخار محلولی شامل 25% mol ایل الکل در $35^{\circ}C$ برابر 228 atm است. (الف) در این دمای این فشار بخار بخار مخلوط 34.8 atm است. (ب) آیا فشار بخار این محلول نسبت به فشار پیش‌بینی شده با قانون راول انجاروف مثبت دارد یا منفی؟ (ج) به هنگام تهیه این محلول گویا آزاد می‌شود یا نسبت به ایل الکل کلروفوم همچو شو با دمای جوش کمینه شکل می‌دهند یا پیشنهاد شده؟

۱۸ - ۷۰ فشار بخار محلولی که از اتحاد 4% mol ایل الکل در $35^{\circ}C$ برابر 228 atm است. وزن مولکولی ماده حل شدنی 25% mol است. فشار بخار محلول 34.8 atm است.

۱۹ - ۷۰ فشار بخار محلولی که از اتحاد 4% mol ایل الکل در $35^{\circ}C$ برابر 228 atm است. فشار بخار محلول 34.8 atm است. (الف) در این دمای این فشار بخار بخار مخلوط 34.8 atm است. (ب) آیا فشار بخار این محلول نسبت به فشار پیش‌بینی شده با قانون راول انجاروف مثبت دارد یا منفی؟ (ج) به هنگام تهیه این محلول گویا آزاد می‌شود یا نسبت به ایل الکل کلروفوم همچو شو با دمای جوش کمینه شکل می‌دهند یا پیشنهاد شده؟

۲۰ - ۷۰ فشار بخار محلولی که از اتحاد 4% mol ایل الکل در $35^{\circ}C$ برابر 228 atm است. وزن مولکولی ماده حل شدنی 25% mol است. فشار بخار محلول 34.8 atm است.

۲۱ - ۷۰ فشار بخار تیکلک در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است. (الف) رایبریکار، غیرقابل تیکلک در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است. (ب) آیا فشار بخار آب خالص در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است؟ (ج) فشار بخار آب حل شدنی $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است.

۲۲ - ۷۰ آین گلیکول، $C_2H_6(OH)_2$ ، سدی پخت است که معمولاً در رادیاتور اتوبوس های به کار برده می‌شود. چند گرم آین گلیکول باید به kg مرگ آب تهیه شود؟ (الف) آیا فشار بخار مولال حل موال حل در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است؟ (ب) آیا فشار بخار آب حل شدنی $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است؟

۲۳ - ۷۰ چند گرم مرگ لوریل کلروفوم $25^{\circ}C$ در $25^{\circ}C$ منجمد شود؟ (الف) مخلوط اسید 40% mol ایل الکل در $25^{\circ}C$ در $25^{\circ}C$ منجمد شود. (ب) آیا فشار بخار این مخلوط $25^{\circ}C$ در $25^{\circ}C$ در $25^{\circ}C$ است؟ (ج) فشار بخار این مخلوط $25^{\circ}C$ در $25^{\circ}C$ در $25^{\circ}C$ است؟

۲۴ - ۷۰ دمای انجماد 40% mol اسید ایل الکل در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است. (الف) فشار بخار این مخلوط $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است؟ (ب) آیا فشار بخار این مخلوط $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است؟ (ج) فشار بخار این مخلوط $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است؟

۲۵ - ۷۰ مخلوط اسید 40% mol ایل الکل در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ منجمد شود. (الف) دمای انجماد 40% mol اسید ایل الکل در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است. (ب) آیا فشار بخار این مخلوط $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است؟ (ج) فشار بخار این مخلوط $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است؟

۲۶ - ۷۰ دمای انجماد مخلوط اسید 40% mol ایل الکل در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است. (الف) آیا فشار بخار این مخلوط $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است؟ (ب) آیا فشار بخار این مخلوط $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است؟ (ج) فشار بخار این مخلوط $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است؟

۲۷ - ۷۰ مخلوط اسید 40% mol ایل الکل در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ منجمد شود. (الف) دمای انجماد 40% mol اسید ایل الکل در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است. (ب) آیا فشار بخار این مخلوط $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است؟ (ج) فشار بخار این مخلوط $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ در $40^{\circ}C$ است؟

۸۳ - ۱۲* پهلو تقریبی $4\% \text{ حجم هوا را}$ و $4\% \text{ آن را}$ تشکیل می‌دهد. (الف) نشار جزو N_2 و O_2 در هوا چند است در صورتی که فشار کل $atm = 100$ باشد. (س) قانون متغیر ممکن است به صورت $P = KX$ باشد. بیان شود که در آن P نشار جزو K از روی یک محلول سرنشش، X ، کسر مولی N_2 حل شده، و K مقدار ثابت است. در دمای $0^\circ C$ مساقایر برای N_2 و O_2 به ترتیب $10^{-4} atm$ و $10^{-4} atm$ در $0^\circ C$ است. کسر مولی N_2 در O_2 یک محلول آین سرنشش در $0^\circ C$ و فشار $atm = 100$ چقدر است؟ (د) دمای اتحاد این محلول چقدر است؟

۱۲ - ۸۴ - ۱۲ محلولی شامل مقدار معین X که در g است. اینکه ایندی خالد در $14^\circ C$ منجمد می‌شود. محلولی شامل همین مقدار X که در g در $75^\circ C$ سیکلونگران حل شده در $23^\circ C$ است. دمای اتحاد نرمال است. اینکه در $16^\circ C$ و در $k_f = 3.9^\circ C/m$ در آن $0.4^\circ C$ است. دمای جوش شرمال سیکلونگران $24^\circ C$ یوزه است. ثابت مای جوش، μ_f ، سیکلونگران چقدر است؟

۱۲ - ۸۵ - ۱۲ محلولی شامل $20 g$ ماده X در $20^\circ C$ کلروف در دمای $39^\circ C$ جوش. وزن مولکولی $57 g/mol$ است. اینکه در محلول آین دیمری یا وزن مولکولی $112 g/mol$ تشکیل می‌دهد. نشار اسمری محلول آین شامل $50 g$ انسولین در $50 mL$ محلول در $20^\circ C$ چقدر است؟ (ب) فرض کنید که چگالی محلول انسولین $1.0 g/cm^3$ باشد. تفاوت ارتفاع در بیار در دستگاهی مانند نشان داده شده در شکل ۱۲ - ۶ چون چگالی چیزه $12 g/cm^3$ و چگالی آن $1.0 g/cm^3$ است، در اندازه‌گیری نشار ارتفاع سنتون آب 12 برابر سنتون چیزه است.

۱۲ - ۸۷ محلولی که از افزودن چرم معین از یک ماده حل شونده به $2^\circ C$ بینز تهیه شده از $88^\circ C$ بهاین تر از دمای الججاد بینز خاص منجمد می‌شود. دمای اتحاد محلولی که از افزودن همان چرم از ماده حل شونده در $8^\circ C$ آب تهیه شده $21.85^\circ C$ است. فرض کنید که ماده حل شونده در محلول بینز غیرقابل تغییک، اما در محلول آب کاملاً به یون تکثیک می‌شود. از پوشن یک مولکول از این ماده حل شونده در آب چند یون حاصل می‌شود؟

۷۶ - ۱۲ محلولی m در $20^\circ C$ از یک اسید ضعیف، HY ، در آب در $385^\circ C$ منجمد می‌شود. با صرف نظر از نیروهای جاذبه بین بونی درصد پوشن این اسید ضعیف را محاسبه کنید.

مسئل طبقه بنده نشده

۷۷ - علامت آنالیس یک محلول چگونه اثر تغییر دما را بر اتحاد پذیری ماده حل شونده تعیین می‌کند؟

۷۸ - ۱۲ ارزی شبکه LiF برای $LiCl$ برای $1049 kJ/mol$ و برای $LiCl$ برای $-862 kJ/mol$ است. انتقال آبپوش برای تهیه یک محلول رقیق از LiF در $298 K$ برای $LiCl$ برای $-899 kJ/mol$ است.

۷۹ - ۱۲ آنالیس اتحاد را برای تهیه محلول رقیق از هر یک این ترکیبات در $283 K$ محاسبه کنید. تبعیق این سه محاسبه برای LiF را با تابع مربوط به $LiCl$ مقایسه کنید. علت تغییر این مقادیر در چیزی؟

۸۰ - ۱۲ $79^\circ C$ در از تغییر دمای یک محلول، حجم آن تغییر می‌کند. بنابراین غلطنت یک محلول معین از یک دما ممکن است برای همان محلول در دمای دیگر صحیح نباشد. تنازع کامپکس از روش‌های بیان غلطنت به دامستگی داشته و کامپکس به دامستگی ندارند؟

۸۱ - ۱۲ $7^\circ C$ چگالی یک محلول آین معین $6 g/mL$ شامل 6% چرمی از ماده حل شده است. معادله ریاضی مربوط به رابطه مولاپایتة محلول، M ، به مولاپایتة محلول، m ، را بیان کنید.

۸۲ - ۱۲ مایعی A و B محلول‌های اندیک شکلی می‌دهند. نشار بخار A خاص در دمای جوش محلولی که از $25 mol$ و atm در $25^\circ C$ شکل است. نشار بخار B خاص در دمای جوش محلولی که از $25 mol$ و atm در $20^\circ C$ شکل است. نشار بخار B خاص در این دما چقدر است؟

۸۳ - ۱۲ $82^\circ C$ در $2^\circ C$ فشار بخار شامل $1 mol$ atm در $2^\circ C$ از یک ماده حل شدنی غیربرقرار در مقدیتاً $1.0 g/mL$ فشار در $2^\circ C$ برای atm است. با افزودن دوین مول سلال به این محلول، نشار بخار محلول حاصل در $2^\circ C$ به $55 atm$ رسیده است. (الف) وزن مولکولی ماده حل شده چقدر است؟ (ب) نشار بخار حلال خالص در $2^\circ C$ چقدر است؟

واکنش‌های شیمیایی در محلول آبی

به کار می‌روند.

معادله قبلي را با استفاده از فرمول کامل ترکیبات درگیر می‌نویسیم، اماً این محلول‌ها، یونی هستند، محلولی از یک ماده یونی اتحالانپذیر در آب، شامل یون‌های آب پوشیده است. معادله را می‌توان با استفاده از فرمول‌های یونی ترکیبات درگیر نوشت – گرچه فرمول کامل $\text{AgCl}(s)$ اتحالانپذیر به کار می‌رود:



راسته، چنان‌جایی واکنش رُخ می‌دهد. برخورد یون‌های Ag^+ و Cl^- منجر به تشکیل AgCl می‌شود که اتحالانپذیر است و از محلول خارج می‌گردد. ترکیب اتحالانپذیری که این ترتیب تشکیل شود، رسوب، و فرایند را رسوب‌گیری می‌نامیم. سدیم نیترات (NaNO_3) فراورده دیگر واکشن، در آب اتحالانپذیر است و به صورت یون‌های آب پوشیده در محلول باقی می‌ماند.

اگر یون‌های تماشاگر در دو طرف معادله را که در واکشن وارد نمی‌شوند، حذف کنیم، به فرم یونی خالص معادله می‌رسیم:



معادله بالا کلی ترین شکل معادله است. این معادله به ما می‌گوید از مخلوط کردن محلول‌های Ag^+ و Cl^- در آب اتحالانپذیر AgCl تشکیل می‌شود. فرض کنید محلول‌های NH_4NO_3 و NaCl را مخلوط کنیم. معادله یونی «واکشن» به صورت زیر خواهد بود:



تمام مواد درگیر در واکشن در آب اتحالانپذیرند. اگر یون‌های مشترک را از معادله حذف کنیم، چیزی باقی نخواهد ماند. بنابراین واکشن رُخ نخواهد داد. این رخداد را معمولاً به صورت زیر نمایش می‌دهند.



علاوه بر تشکیل نمک اتحالانپذیر، دلایل دیگری نیز برای انجام واکشن تراساختی وجود دارد. واکشن ناشی از مخلوط کردن محلول

واکشن‌های که در محلول آبی انجام می‌شوند، به چند دلیل سریع هستند. مواد واکشن‌دهنده به صورت اجزای کوچکی در می‌آیند (مواد حل شونده، به صورت مولکول و یون هستند) نه به صورت جمیعی از آنها). با تهیه محلول، جاذبه بین ذرات ساده حل شونده خالص (مولکول‌ها یا یون‌ها)، تا حدودی ضعیف می‌شود. این ذرات می‌توانند آزادانه در محلول حرکت کنند و بخشی از پرسخورهای بین ذرات حل شونده، منجر به انجام واکشن می‌شود. در این نصل چند نوع واکشن قابل انجام در محلول آبی را مرور می‌بحث قرار می‌دهیم.

۱-۱۳ واکشن‌های تراساختی

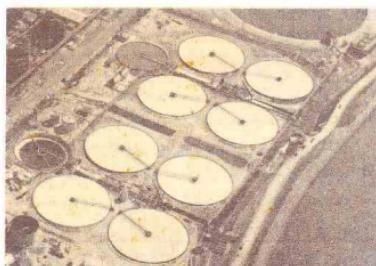
سیمای کلی یک واکشن تراساختی^۱ به صورت زیر است:



در این واکشن، کاتیون‌ها و آئیون‌ها و آئیون‌های پوزیتیو اجزای خود را می‌مبادلند. این نوع واکشن‌ها پوزیتیو در محلول آبی متداولند. فرایند زیر نمونه‌ای از واکشن‌های تراساختی است.



چون این واکشن‌ها را در آب انجام می‌دهیم، در مثال‌های بعدی نماد (aq) را حذف می‌کنیم. ولی نماد (g) برای گاز و (s) برای جامد، همچنان



سچوپجه‌های نهشیش که در آنها متیزین هیدروکسید آب دریا نهشیش می‌شود. می‌توانیم $\text{Mg}(\text{OH})_2$ طی واکشن تراساختی بین یون‌های Mg^{2+} و OH^- تشکیل شود. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ که به آن اضافه شده است، به یون‌های Ca^{2+} و OH^- در $\text{Mg}(\text{OH})_2$ مربوط به باشد. می‌تواند $\text{Mg}(\text{OH})_2$ به کار می‌رود (بنش ۲۵ را ببینید).

در جدول ۱۳-۱ آمده است درمورد ترکیبات حاصل از کاتیون‌های زیر صادق است:

الف - کاتیون‌های Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ , NH_4^+ , Ag^+ , Fe^{3+}
 ب - کاتیون‌های Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} , Hg_2^{2+} , Sn^{2+} , Pb^{2+}
 پ - کاتیون‌های Fe^{3+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Ti^{3+}

ترکیباتی کے دردماں 25°C تا حدود 10 g/L در آب حل میں شوند، انجلا / بلس خود اندازہ شدہ اندیز۔

ترکیباتی که انحلال پذیری آنها به 1 g/L نرم رسید، انحلال پذیر
نمایه شده‌اند. ترکیباتی که انحلال پذیری آنها در بین $1\text{~}10\text{ g/L}$ حد قرار دارد
انکو انحلال پذیرند (و به وسیله مسازه‌ای در جدول مشخص شده‌اند).
این استانداردها متأول، اما اختصاری‌اند. اسیدهای معدن معمولی در
آب انحلال پذیرند. این ترکیبات در آب حل می‌شوند و یون‌های H^+ و ag^+
نشستکار و هدند (خشخ $13\text{~}4$ دستند).

۲- گازهایی که معمولاً در واکنش‌های تراساختن تشکیل شوند در جدول ۱۳ آمده‌اند. واکنش‌هایی که در آنها سه گاز CO_2 , SO_2 و NH_3 تولید می‌شوند را می‌توان شامل موادی دانست که از تجربه آنها گاز H_2O می‌باشد. H_2O تولید شده است.

حدول ۱۳ - ۱ انجلاز بذپی، پخچ، آز تکسات یونم در آب⁺

حلل بذپ د، آپ

PbCl_4^{4-}	$\text{Hg}_2\text{Cl}_4^{2-}$	AgCl_4^-	NO_3^-
PbBr_4^{4-}	$\text{Hg}_2\text{Br}_4^{2-}$	AgBr_4^-	$\text{C}_2\text{H}_5\text{O}_7^-$
HgBr_4^{4-}			ClO_3^-
			Cl^-
			Br^-

نماینده‌ها اتحادیه بجز AgI ، HgI_2 ، PbI_2 ، Hg_2I_3 و BaSO_4 ، SrSO_4 ، CaSO_4 تام سولفات‌های اتحادیه بجز SO_4^{2-} Ag_2SO_4 ، Hg_2SO_4 ، PbSO_4

۷- نام سولفیدها (ناتپلر) در این مدت اتحاد تا پذیر در آب
 . $(NH_4)_2S$ **۸- نام سولفیدهای اسیدی** (ناتپلر) در این مدت اتحاد تا پذیر در آب
 . $(NH_4)_2CO_3$ **۹- تمامی بینات های اتحاد** (ناتپلر) در این مدت اتحاد تا پذیر در آب

۲- نام سولفیت ها انحلال نایاب نزد بجز سولفیت های عناصر A و $(NH_4)_2SO_4$
 ۳- نام فسفات ها انحلال نایاب نزد بجز فسفات های عناصر A و $(NH_4)_2PO_4$
 ۴- نام هیدروکسید های عناصر OH

+ کاتیون‌های زیر مورد توجه بوده‌اند: کاتیون‌های خانواده‌های IA و IIA، Ca(OH)_2^+ , Sr(OH)_2^+ , Ba(OH)_4^- , IA

* ترکیبات انحلال پذیری، دست کم، تا 10 g/L در 25°C ، حل می شوند. ترکیباتی با انحلال پذیری اندک (با مشخص شده اند) از 1 g/L تا 10 g/L در 25°C حل نمی شوند.

هیدروکلریک اسید و یک محلول سدیم سولفید را در نظر بگیرید:



فرمول‌های یونی:



$$2\text{H}^+ + \text{S}^{2-} \longrightarrow \text{H}_2\text{S(g)}$$

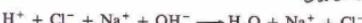
در این واکنش برخورد یون‌های H^+ و S^{2-} منجر به تشکیل گاز H_2S می‌شود که فقط اندک انجلاجلاند است، محلول است و کنده.

در سومنی نوع و اکتشن تراساختی، یک الگوریتم ضعیفی به وجود آید. الگوریتم های ضعیفی احتمال بذیری، در محلول آبی، به مطرود کامل به یون تکثیک نمی شوند. این مواد، عمدتاً به صورت ملکولی باقی می مانند. و اکتشن خشنازی اسید - باز (بخش ۱۳ - ۴ را ببینید).

فول کاما، تکسات:



卷之三



$$\text{H}_3^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$$

علت وقوع این واکنش، تشکیل مولکول‌های H_2O از یون‌های H^+ و OH^- است.

آن است: اگر یک مترودیج سیستم می باشد.
به این ترتیب واکنش تراساختی در مواردی رخ می دهد که یک رسوب، یک گاز یا یک الکتروولیت ضعیف تشکیل شود. در معادله های یونی این واکنش ها،

- یک نمک اتحالاً پذیر به وسیله فرمول یون‌های تشکیل دهنده ترکیب نشان داده می‌شود.
- یک ترکیب اتحالاً نپذیر تا اندازی اتحالاً پذیر با فرمول کامل ترکیب و نماد (5) مشخص رمی‌شود.

۳- یک گاز انحلال ناپذیر یا اندکی انحلال پذیر، با فرمول مولکولی گاز و نماد (g) تماشی داده می شود.

۴- یک الکتروولیت ضعیف، با فرمول مولکولی ترکیب نمایش داده می شود. الکتروولیت های ضعیف، در محلول آبی تا حدودی به یون های مربوطه تفکیک می شوند، اما عمدتاً به صورت مولکولی وجود دارند.

برای نوشتمن معادله های مربوط به واکنش های تراساختی،
باید این ترکیبات را بشناسیم، برای این کار قواعد زیر را
به کار بیندیم:

۱- قواعد اتحال پذیری، طبیعه بندی مواد یوتی براساس اتحال پذیری آنها در آب دشوار است. هرچند ترکیب، بهطور کامل در آب، انحلال ناپذیر نیست. میزان اتحال پذیری، از یک ترکیب (انحلال پذیر) به ترکیب دیگر، سپس مغایر است. اما نمودار طبیعه بندی ترکیبات بر مبنای اتحال پذیری آنها، هرچند ترتیبی پاش، مفید است. قواعدی که

ممولی؛ الکترولیت‌های ضعیفی هستند (H_3PO_4 , $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_4$, و $\text{H}_3\text{P}_2\text{O}_7$ نامهای از اسیدهای ضعیفاند).

ب - بازه‌ها. هیدروکسیدهای انحلال پذیر (هیدروکسیدهای مربوط به عنصر IA و Ba^{2+}) و هیدروکسیدهای که انحلال پذیری خوبی دارند (هیدروکسیدهای مربوط به Ca^{2+} و Sr^{2+}) الکترولیت‌های قوی هستند.

اگل هیدروکسیدهای دیگر، انحلال پذیرند.

ج - نمک‌ها. اغلب نمک‌های معمولی، الکترولیت‌های قوی هستند.

د - آب، آب، الکترولیت ضعیفی است.

مثال ۱۳ - ۱

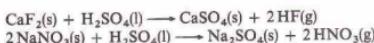
معادله‌های یونی موازن شده برای واکنش‌های مربوط به محلول‌شدن زوج محلول‌های زیست راستوپسید. تمام مواد (واکنش‌دهنده‌ها و فراورده‌ها) را به صورت حقیقی شان نویسید:

- (الف) FeCl_3 و $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$
 (ب) Na_2SO_4 و CuCl_2
 (ج) ZnSO_4 و $\text{Ba}(\text{OH})_2$
 (د) CaCO_3 و HNO_3

حل

- (الف) $\text{Fe}^{3+} + 3\text{Cl}^- + 3\text{NH}_4^+ + \text{PO}_4^{3-} \longrightarrow \text{FePO}_4(s) + 3\text{NH}_4^+ + 3\text{Cl}^-$
- (ب) $2\text{Na}^+ + \text{SO}_4^{2-} + \text{Cu}^{2+} + 2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{N.R.}$
- (ج) $\text{Zn}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{Ba}^{2+} + 2\text{OH}^- \longrightarrow \text{Zn}(\text{OH})_2(s) + \text{BaSO}_4(s)$
- (د) $\text{CaCO}_3(s) + 2\text{H}^+ + 2\text{NO}_3^- \longrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2(g) + \text{Ca}^{2+} + 2\text{NO}_3^-$

واکنش‌های تراساختی تا حدی برگشت‌پذیرند. درباره این نوع سیستم‌های تعادلی آبی در فصل‌های ۱۷ و ۱۸ بحث شده است. واکنش‌های تراساختی در غیاب آب نیز انجام می‌شوند. به مثال‌های زیر توجه کنید:



با گرم کردن مواد واکنش دهنده این واکنش‌ها، اسیدهای مربوطه (HF و HNO_3) که در آب انحلال پذیرند به صورت گاز خارج می‌شوند.

۱۳ - ۲ عدد اکسایش

واکنش اکسایش - کامکش، واکنش مهمی است که در محلول آبی انجام می‌شود و در بخش بعد مرور بحث قرار خواهد گرفت. پیش از پرداختن به این واکنش‌ها، با مفهوم عدد اکسایش که پیمانی اختصاری و منفرد

جدول ۱۳ - ۲ قواعد تشکیل برخی گازهای معمولی با واکنش تراساختی

گاز

تام سولفیدها (نمک‌های S^{2-}) در مجاورت اسید، $\text{H}_2\text{S}(g)$ و نمک وجود می‌آورند.

تام کربنات‌ها (نمک‌های CO_3^{2-}) در مجاورت اسید، $\text{CO}_2(g)$, H_2O و نمک تشکیل می‌دهند.

تام سولفات‌ها (نمک‌های SO_4^{2-}) در مجاورت اسید، $\text{SO}_3(g)$, H_2O و نمک تشکیل می‌دهند.

تام نمک‌های آمونیوم (نمک‌های NH_4^+) در مجاورت هیدروکسیدهای قوی انحلال پذیر، در آتر گرم و واکنش می‌دهند و $\text{NH}_3(g)$, H_2O , $\text{NH}_3(g)$ و نمک به وجود می‌آورند.

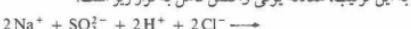
مثالاً واکنش Na_2SO_3 و HCl , ترکیب H_2SO_3 به دست می‌دهد:



H_2SO_3 تا پایدار است و از تجزیه آن H_2O و SO_2 تولید می‌شود:



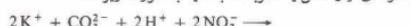
به این ترتیب، معادله یونی واکنش کامل به قرار زیر است:



معادله یونی خالص برای واکنش، چنین است:



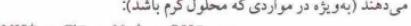
نمونه‌ای از واکنش یک کربنات با اسید به صورت زیر است:



معادله یونی خالص برای این واکنش به قرار زیر است:



نمک‌های آمونیم و بازهای انحلال پذیر قوی به صورت زیر واکنش می‌دهند (ویژه در مواردی که محلول گرم باشد):



معادله یونی خالص برای واکنش یک نمک آمونیوم و یک باز قوی به قرار زیر است:



۳ - الکترولیت‌های ضعیف، قواعد ساده زیر در مورد این ترکیبات صادق است (بخش ۴ - ۱۳ را ببینید):

الف - اسیدهای اسیدهای قوی معمولی عبارتند از H_3PO_4 , HClO_4 , HClO_3 , HCl , HBr , HI , H_3PO_3 (ولین یونش)، HCl اسیدهای

هیدریدهای فلزی (مثلًا، CaH_2 ، و NaH) که در آنها حالت اکسایش هیدروژن -۱ دارد.

۸ - در ترکیبات و ناگلز (خواه به صورت یون چند اتمی با مولکول) عدد اکسایش عنصر الکترونگاتیوئر، منفی و برابر با یون Cl^- است. عدد اکسایش سدیم در Na^+ + ۱ و عدد اکسایش Cl^- برابر ۱ است.

مثال ۱۳ - ۲
عدد اکسایش P در H_3PO_4 چقدر است؟

حل

جمع جبری اعداد اکسایش مولکول باید صفر شود. بنابراین،

$$= (\text{عدد اکسایش O}) + ۴ = (\text{عدد اکسایش H}) + (\text{عدد اکسایش P})$$

اگر عدد اکسایش P را به α اضافه کنیم و به هر، عدد اکسایش (قاعده ۷) و به هر O، عدد اکسایش -۲ (قاعده ۶) را نسبت دهیم؛ خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} ۳(1+) + x + ۴(-2) &= ۰ \\ x &= ۵+ \end{aligned}$$

مثال ۱۳ - ۳

عدد اکسایش Cr در یون دیکرومات، CrO_4^{2-} را بدست آورید.

حل

عدد اکسایش Cr را اختیار می‌کنیم. مجموع اعداد اکسایش باید برابر با برآورده باشد.

$$= (\text{عدد اکسایش O}) + ۷ = (\text{عدد اکسایش Cr})$$

$$\begin{aligned} ۲x + ۷(-۲) &= ۲- \\ ۲x &= ۱۲+ \\ x &= ۶+ \end{aligned}$$

توجه کنید که حالت اکسایش یک عنصر بر مبنای یک اتم واحد گزارش می‌شود. اینکه بگوییم عدد اکسایش اکسیژن در H_2O -۲ و در SO_4^{2-} -۴ می‌باشد گمراهن کننده است. عدد اکسایش اتم O در هر دو ترکیب -۲ است.

مثال ۱۳ - ۴

عدد اکسایش Cl در کلسیم بروکلرات، $\text{Ca}(\text{ClO}_4)_2$ را پیدا کنید.

است، آشنا می‌شویم.

عدد اکسایش، عده بارهای مربوط به اتم‌های ترکیب (در مورد ترکیب‌های کووالانسی، بارهای فرضی) براساس برخی قواعد اخیری است. عدد اکسایش یون‌های یک اتمی برابر با آن یون هاست. مثلًا در NaCl ، عدد اکسایش سدیم در Na^+ + ۱ و عدد اکسایش Cl^- برابر ۱ است.

عدد اکسایش اتم‌ها در یک مولکول کووالانسی را می‌توان با دادن الکترون‌های هر یون به اتم الکترونگاتیو بدست آورد. برای مولکول



هر دو الکترون پیوند کووالانسی به اتم کلر داده می‌شود، زیرا کلر الکترونگاتیو از هیدروژن است. به این ترتیب، عدد اکسایش اتم کلر به علت گرفتن یک الکترون اضافه، برابر با -۱ است. عدد اکسایش اتم هیدروژن، به علت اختصاص یافتن تنها الکترون آن به اتم کلر، برابر با +۱ است.

در مورد پیوندهای غیرقطیعی بین اتم‌های یکسان، که در آنها تفاوت الکترونگاتیوی وجود ندارد، الکترون‌های پیوندی به طور مساوی بین اتم‌های تشکیل‌دهنده پیوند تقسیم می‌شوند. به این ترتیب، عدد اکسایش هر دو اتم کلر در مولکول زیر، صفر است.



براساس این ایده‌ها قواعد زیر را می‌توان برای تعیین عدد اکسایش بیان کرد:

۱ - اتم‌های ترکیب نشده، و اتم‌هایی که عناصر مولکولی را تشکیل داده‌اند، عدد اکسایش صفر دارند.

۲ - مجموع اعداد اکسایش اتم‌ها در یک ترکیب صفر است، زیرا ترکیبات از لحاظ الکترoneکی خالص هستند.

۳ - عدد اکسایش یون‌های یک اتمی برابر با برآورده است. فلزات گروه (Cs، Rb، K، Na، Li) IA همیشه در ترکیبات خود دارای عدد اکسایش +۱، و عناصر گروه II A (Ba، Sr، Ca، Mg، Be) دارای عدد اکسایش +۲ هستند.

۴ - مجموع اعداد اکسایش اتم‌های تشکیل‌دهنده یک یون چند اتمی برابر با برآورده است.

۵ - عدد اکسایش فلورور، الکترونگاتیوئین اتم، در تمام ترکیبات فلوروردار -۱ است.

۶ - عدد اکسایش اکسیژن در اغلب ترکیب‌های اکسیژن‌دار، -۲ است. ولی چند مردۀ استثنای نیز وجود دارد:

الف - در پراکسیدهای، عدد اکسایش هر یک از اتم‌های اکسیژن، -۱ است. دو اتم اکسیژن در یون پراکسید، O_2^- ، هم‌اوزن، هر یک باید عدد اکسایش ۱ داشته باشد تا مجموع آنها برابر با برآورده گردد.

ب - در یون سوپر اکسید، O_4^{2-} ، عدد اکسایش هر اتم اکسیژن، -۱ است.

ج - در OF_2 ، عدد اکسایش اکسیژن +۲ است (قاعده ۵ را بینید).

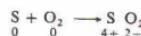
د - عدد اکسایش هیدروژن در تمام ترکیبات + ۱ است بجز در

اکسایش، الکترون‌های پیوندی به اتم الکترونگاتور داده می‌شوند. باید توجه داشت که هر دو مفهوم قراردادی هستند. بارهای قراردادی برای تفسیر ساختار و برخی از خواص مولکول‌های کروالانسی مفیدند. اعداد اکسایش در مواد گونگانگوئی همیت دارند. این اعداد را می‌توان در نوشتن فرمول‌ها، در طبقه‌بندی شیمی عناصر، در شناسایی و سازماندهی پدیده‌های اکسایش-کاهش و در موازنۀ معادله‌های اکسایش-کاهش به کار گرفت.

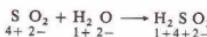
۱۳- واکنش‌های اکسایش-کاهشی

واژه اکسایش، ابتدا در مورد واکشن‌هایی به کار گرفته شد که در آنها مواد با اکسیژن ترکیب می‌شدند، و کاهش نیز به صورت حذف اکسیژن از یک ترکیب اکسیژن‌دار تعريف می‌شود. اما معنی این واژه‌ها بمتارجی گسترش یافته. امروزه، اکسایش و کاهش بر مبنای تغییر عدد اکسایش تعريف می‌شوند.

اکسایش فرایندی است که در آن عدد اکسایش یکاتمن افزایش می‌باشد و کاهش فرایندی است که در آن عدد اکسایش یک اتم کاهش می‌باشد. بر این أساس در واکنش زیر با اکسایش-کاهش سروکار داریم،



عدد اکسایش هر اتم در زیر نماد آن نوشته می‌شود. چون عدد اکسایش اتم گرگرد از صفر به $4+$ افزایش یافته، گرگرد اکسید شده است. عدد اکسایش اتم اکسیژن از صفر به -2 رسیده و اکسیژن کاهیده شده است. واکنش زیر شامل اکسایش-کاهش نیست،



زیرا تغییر در عدد اکسایش هیچ کدام از اتم‌ها به وجود نیامده است. از شیوه نوشتن اعداد اکسایش چنین برمی‌آید که اکسایش و کاهش به تهایی نمی‌تواند رخدهد. علاوه‌بر این افزایش کل عدد اکسایش باید برابر با کاهش کل عدد اکسایش باشد. در واکنش گرگرد و اکسیژن عدد اکسایش گرگرد به $4+$ افزایش می‌باشد. هر اتم اکسیژن کاهشی برابر با 4 دارد. چون دو اتم اکسیژن در معادله وجود دارد، کاهش کل برابر با 4 است.

چون کاهش هیچ ترکیبی بدون اکسایش هم‌زمان ترکیب دیگر امکان‌پذیر نیست، ترکیب کاهیده شده عامل اکسایش است. درنتیجه چنین ترکیب را عامل اکسیدکننده یا اکسیدان نامند. به علت بستگی متقابل دواریاند، عکس فضیه نیز صادق است. ماده‌ای که خودش اکسیده می‌شود عامل کاهش یا کاهنده نام دارد. بنابراین،



کاهیده‌شده اکسیدکننده
عامل اکسایش عامل کاهش

موازنۀ کردن معادلات واکنش‌های اکسایش-کاهشی که معمولاً

$$(Ca) = (\text{عدد اکسایش O}) + (\text{عدد اکسایش Cl}) \times 2$$

عدد اکسایش Cl را $\times 2$ اختیار می‌کنیم. چون Ca به گروه IIA تعلق دارد،

عدد اکسایش آن $2+$ ، یعنی بار یون Ca^{2+} است. عدد اکسایش O نیز

-2 است. به این ترتیب،

$$(2+) + 2x + 8(2-) = 0$$

$$2x = 14 +$$

$$x = 7 +$$

راه دیگری برای حل این نوع مسائل وجود دارد. چون بار یون Ca^{2+} بار یون $2+$ است، و به ایزی مریون Ca^{2+} دو بار یون پرکلرات باید $1-$ باشد. فرمول بیون پرکلات CaClO_4 است. به این ترتیب،

$$1 = (\text{عدد اکسایش O}) + (\text{عدد اکسایش Cl})$$

$$x + 4(2-) = 1 -$$

$$x = 7 +$$

این مقادیر را باید با اختیار تفسیر کرد. بار یونی دارای همیت فیزیکی است؛ اعداد اکسایش O و Cl، گرچه اعداد مفیدی می‌باشند، اما صرفاً قراردادی‌اند.

برخی از عناصر، گستره‌ای از اعداد اکسایش را در ترکیبات خود نشان می‌دهند. مثلًاً نیتروژن اعداد اکسایش از -3 (در NH_3) تا $+5$ (در HNO_3) نشان می‌دهد.

۱- بالاترین عدد اکسایش یک عنصر خانواده A برابر با شماره گروه آن عنصر است. تعداد الکترون‌های ظرفیتی یک عنصر خانواده A برابر با شماره گروه آن عنصر است. نمی‌توان انتظار داشت که اتم‌ها بیش از تعداد الکترون‌های ظرفیتی شان الکترون از دست بیندهند. درنتیجه بالاترین بار ممکن حقیقتی، برابر با شماره گروه است.

۲- پایین‌ترین عدد اکسایش یک عنصر خانواده A در ترکیب حاوی آن عنصر برابر با بار یون یک عنصر آن عنصر است.

۳- بالاترین عدد اکسایش گرگرد (عنصری از گروه VI) برابر $+6$ است (مثلًاً در H_2S ، Na_2S ، H_2O_2 ، پایین‌ترین عدد اکسایش گرگرد -2 است (مثلًاً پایین‌ترین عدد اکسایش سدیم (عنصری از گروه IA) با $+1$ ، برابر است. البته عدد اکسایش سدیم ترکیب نشده صفر است. ولی استثنایی بر این قواعد نیز وجود دارد (مثلًاً فلور و اکسیژن).

اعداد اکسایش و بارهای قراردادی یکی نیستند. در تعیین بارهای قراردادی اتم‌های یک مولکول کروالانسی، الکترون‌های پیوندی به مرور مسایر در بین اتم‌های تشکیل دهنده پیوند تقسیم می‌شوند و قطبیت ناشی از تقسیم نایاب الکترون‌ها برنظر گرفته نمی‌شود. در تعیین اعداد

روش یون - الکترون

- ۱- معادله را به دو معادله جزئی تقسیم کنید. اتم هایی را که عدد اکسایش خود را در هر یک از معادله های جزئی تغییر می دهند، موازنه کنید.
- ۲- اتم های O و H از هر یک از معادله های جزئی موازنه کنید.
- الف- برای واکنش هایی که در محلول اسیدی انجام می شوند:
 ۱. برای هر اتم O مورد نیاز، یک H_2O به آن طرف معادله جزئی که کمبود O دارد اضافه کنید.
 ۲. در صورت لزوم، با القودن H^+ ، هیدروژن ها را موازنه کنید.
- ب- برای واکنش هایی که در محلول بازی انجام می شوند:
 ۱. برای هر اتم O موردنیاز، یک H_2O به آن طرف معادله جزئی که کمبود O دارد اضافه کنید.
 ۲. به ازیز هر اتم H موردنیاز، یک H_2O به آن طرف معادله جزئی که کمبود H دارد اضافه کنید و یک OH^- نیز در سمت مقابل قرار دهید.
- ۳- به هر یک از معادله های جزئی الکترون اضافه کنید تا بار خالص در سمت چپ معادله با بار خالص در سمت راست معادله برابر شود.
- ۴- در صورت لزوم یکی یا هر دو معادله جزئی را در عددی ضرب کنید تا تعداد الکترون های از دست رفته در یک معادله جزئی با عدد الکترون های گرفته شده در معادله جزئی دیگر برابر شود.
- ۵- معادله های جزئی را بهم جمع بزنید. به علاوه عبارت های مشترک در دو طرف معادله نهایی را حذف کنید.



- ۶- اکترون اتم های H و O را موازنه می کنیم، چون واکنش در محلول اسیدی انجام می شود، H_2O و H^+ را در صورت لزوم می توان اضافه کرد. به ازیز هر اتم O لازم است، یک H_2O به طرفی که کمبود هست اضافه می شود، سپس بالقودن بونهای H^+ ، تعداد هیدروژن ها را موازن می کنیم. در سمت راست معادله جزئی اول به هفت اتم O نیاز داریم؛ درنتیجه $7H_2O$ برای این طرف لازم است. سپس اتم های H در معادله جزئی اول را با القودن $14H^+$ به سمت چپ موازنه می کنیم. معادله جزئی دوم، به صورت موازن شده است.

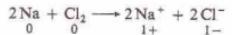


- ۷- گام بعدی موازنۀ الکترونی معادله های جزئی است. در معادله جزئی اول بار خالصین برابر با $12+$ در سمت چپ معادله (-2) و $(14+)$ است.

واکنش های کاکس ^۱ نامیده می شوند، دشوارتر از موازنۀ واکنش های است که شامل اکسایش و کاهش نمی باشد. برای موازنۀ کردن واکنش های اکسایش - کاهش از دو روش متدائل استفاده می شود: روش یون - الکترون و روش عدد اکسایش. هر یک از این روش ها را می توان به کاربرد هر دو را در اینجا بیان خواهیم کرد. برای ساده کردن مسئله از ذکر حالت فیزیکی مواد واکنش دهنده و فراورده ها در مثال های آیینه خودداری می شود. به علاوه به جای $H_3O^+(aq)$ از نماد H^+ استفاده خواهد شد.

روش یون - الکترون برای موازنۀ واکنش های کاکس

واکنش هایی که انجام آنها مستلزم انتقال الکترون باشد، نمونه هایی از واکنش های اکسایش - کاهشی آند. در واکنش بین سدیم و کلر مسدیم الکترون طرفی خود را به اتم کلر می دهد.



عدم اکسایش یون های ساده برای بار آنهاست. درنتیجه از دست دادن الکترون نوعی اکسایش است، و گرفتن الکترون نیز گونه ای از کاهش می باشد. این معادله را می توان به دو معادله جزئی که بیانگر نیم واکنش های استنده، تقسیم کرد:



در روش یون - الکترون برای موازنۀ واکنش های اکسایش - کاهش از معادله های جزئی استفاده می شود. یک معادله جزئی برای اکسایش (که در آن الکترون گرفته می شود)، معادله هایی را تا ترکیب معادله های جزئی به شیوه ای که تعداد الکترون های از دست رفته برایر با تعداد الکترون های گرفته شد، باید، به دست آید.

دو شیوه تقریباً متفاوت دیگر نیز برای موازنۀ کردن معادله های روش یون - الکترون به کار می روند. یکی از این شیوه ها برای واکنش هایی که در محلول اسیدی رخ می دهند و شیوه دیگر برای واکنش هایی که در محلول قلایی انجام می شوند. برای هر شیوه، مثالی می آوریم:

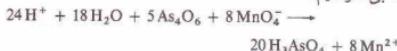
نمونه ای از واکنش هایی که در محلول اسیدی رخ می دهند به قرار زیر است.



در این معادله موازن شده است، H_2O و H^+ نشان داده شده اند. تعداد صحیح موکول های H_2O و بونهای H^+ و معجنین موقعیت آنها در معادله نهایی (در سمت چپ یا در سمت راست)، طی موازنۀ کردن معادله تعیین می شود:

۱- در معادله جزئی مربوط به نیم واکنش های را می نویسیم. عناصر مرکزی معادله های جزئی (عنقی Cr و Cl) موافقة می شوند:

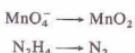
۵- هنگام جمع‌زن این معادله‌های جزئی مولکول‌های اب و یون‌های هیدروژن و همچنین الکترون‌ها حذف خواهد شد. اگر معادله را با H^+ در سمت چپ و H^+ در سمت راست رها کنیم، کار جالبی نکرده‌ایم:



موازنۀ معادلات مربوط به واکنش‌هایی که در محلول قلایایی انجام می‌شوند، به شیوه‌ای نسبتاً اختلافات با واکنش‌های مخلوط اسیدی انجام می‌شود. تمام مرحله‌ی پیکاره، بجز مرحله دوم، برای واکنش‌هایی که در محلول قلایایی انجام می‌شوند نمی‌توان از H^+ برای مواتازه کردن استفاده کرد. برای مثال واکنش زیر را درنیتیگیرید که در محلول قلایایی انجام می‌شود:



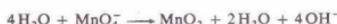
۱- معادله را به دو معادله جزئی تقسیم می‌کنیم:



۲- برای معادله‌هایی که در محلول قلایایی انجام می‌شوند از OH^- برای مواتازه کردن اکسیژن و هیدروژن استفاده می‌شود. به ازای هر اکسیژن مورده تیاز یک مولکول H_2O به آن طرف معادله جزئی که کمیود اکسیژن دارد اضافه می‌شود. سپس هیدروژن‌ها را مواتازه می‌کنیم. به ازای هر هیدروژن مورده تیاز یک مولکول H_2O به آن طرف معادله که کمیود دارد اضافه می‌شود و یک یون OH^- به سمت مقابل افزوده می‌شود. در معادله جزئی اول سمت راست دو اتم اکسیژن کم دارد. درنتیجه $2H_2O$ به سمت راست اضافه می‌کنیم:



اکتون سمت چپ معادله جزئی، ۴ اتم هیدروژن کم دارد. برای تأمین این چهار اتم هیدروژن، $4H_2O$ به سمت چپ و $4OH^-$ به سمت راست اضافه می‌کنیم:



با حذف $2H_2O$ از دو طرف معادله جزئی داریم:



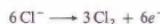
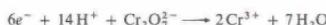
برای مواتازه معادله جزئی دوم باید چهار اتم هیدروژن به سمت راست اضافه کنیم. به ازای هر اتم هیدروژن مورده تیاز، باید یک H_2O به سمتی که کمیود دارد و یک OH^- نیز به سمت مقابل اضافه کنیم. در این مورد $4H_2O$ به سمت راست و $4OH^-$ به سمت چپ اضافه می‌کنیم تا چهار اتم H_2O مورده تیاز در سمت راست معادله تأمین شود:



و ۶ در سمت راست است. درنتیجه شش الکترون باید به سمت چپ اضافه شو. به این ترتیب بار خالص در دو طرف معادله برابر $+6$ خواهد شد. معادله جزئی دوم را افزودن دو الکترون به سمت راست می‌توان از لحاظ الکترونی موازنۀ کرد:



۴- تعداد الکترون‌های گرفته شده باید با تعداد الکترون‌های داده شده برابر باشد. درنتیجه معادله جزئی دوم را در 3 ضرب می‌کنیم.



۵- با افزودن دو معادله جزئی به یکدیگر، معادله نهایی را به دست می‌آوریم. ضمن این افزایش الکترون‌ها حذف می‌شوند:



دومین مثال ما واکنش زیر است که در محلول اسیدی انجام می‌شود.



همان مرحله قبلی را برای این واکنش نیز انجام می‌دهیم:

۱- معادله را به دو معادله جزئی تقسیم می‌کنیم. اتم‌های As موجود در معادله جزئی دوم را مواتازه می‌کنیم:



۲- اولین معادله جزئی را می‌توان با افزودن $4H_2O$ به سمت راست و $8H^+$ به سمت چپ، مواتازه کرد. در معادله جزئی دوم را باید $10H_2O$ به سمت چپ اضافه شود تا اکسیژن مورده تیاز تأمین گردد. اگر کار را در این مرحله متوقف کنیم، در سمت چپ دارای $24H_2O$ خواهد بود. درنتیجه 12 اتم H خواهیم بود. درنتیجه باید $8H^+$ به سمت راست اضافه شود:



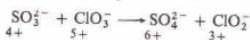
۳- برای مواتازه بار الکتریکی خالص الکترون اضافه می‌کنیم:



۴- اولین معادله جزئی را باید در 8 و دومی را در 5 ضرب کنیم تا شمار الکترون‌های حذف شده در معادله جزئی اکسایش با تعداد الکترون‌های گرفته شده در معادله جزئی کاهش برابر شود:



تفصیلی، از شیوه انجام یک واکنش اکسایش - کاهش در یک بیل الکتروشیمیایی است، همان واکنش در یک ظرف آزمایشگاهی ممکن است به این شیوه انجام نگیرد، باید این روش را پهان نسیزی کرد که گونی مکائیم درست و واکنش را بدست خوداد داد. گاهی تشخیص اینکه آیا یک واکنش نمونه ای واقعی از واکنش تبادل الکترون هست یا نه، دشوار است. واکنش زیر را در نظر بگیرید:

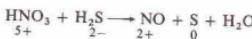


این واکنش به یک واکنش تبادل الکترون شتابت دارد، آنرا می توان در یک پیل الکتروشیمیایی انجام داد، و با روش یون - الکترون قابل موازنی است. اما شناس داده شده است که این واکنش با تبادل مستقیم اکسیژن (از ClO_3^- صورت می گیرد، نه با تبادل الکترون.

روش عدد اکسایش برای موازنکردن معادله های کاکس در روش عدد اکسایش برای موازنکردن واکنش های اکسایش - کاهش، سه مرحله وجود دارد. معادله واکنش نیتریک اسید و هیدروژن سولفید را برای تماش این روش به کار می گیریم. معادله موازن نشده واکنش به قرار زیر است.



۱ - اعداد اکسایش اتمها در معادله را برای شناسایی اتم هایی که دستخوش اکسایش یا کاهش می شوند، تعیین می کنیم. به این ترتیب،



نیتروژن کاهیده شده (از $2+$ به $2-$ ، کاهشی برابر با (3) و گوگرد اکسیده شده (از $2-$ به صفر، افزایشی برابر با (2)).

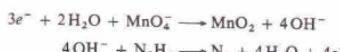
۲ - ضرایب به کثرت اضافه می شوند که کاهش کل و افزایش کل در عدد اکسایش برابر شود. افزایشی برابر با 2 و کاهشی برابر 3 داریم که در معادله موازن نشده آمده است. کوچک ترین حاصل ضرب مشترک 2 و 2 عدد 6 است. درنتیجه $2 HNO_3 + 2 NO + 2 S + 3 H_2O$ (برای کاهش کل (6) و $3 S + 2 H_2O$ (برای افزایشی برابر با (6) به کار می گیریم:



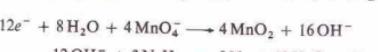
۳ - بالا حظه این ارقام موازنی و واکنش کامل می شود. این روش فقط به مواردی توجه دارد که مستقیماً در تغییر عدد اکسایش دخالت داردند. در این مثال، روش به کار رفته ضریبی برای H_2O به دست نمی دهد. اما تووجه داریم که اکتون هشت اتم H در سمت چپ معادله داریم. با قراردادن $4 H_2O$ در سمت راست، می توان به همان تعداد اتم H رسید:



۳- برای موازنی بار الکترونی الکترون اضافه می کنیم:



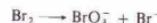
۴ - برای موازنی تعداد الکترون های گرفته شده و داده شده، معادله جزوی اول را در 4 و معادله جزوی دوم را در 3 ضرب می کنیم:



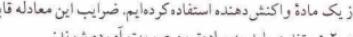
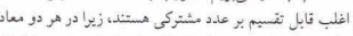
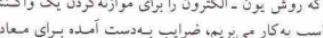
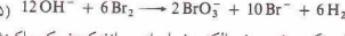
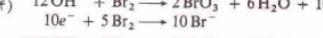
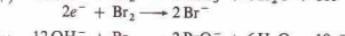
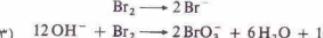
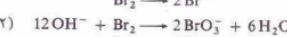
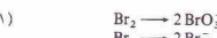
۵ - با جمع کردن این معادله های جزوی و حذف یون های OH^- و مولکول های H_2O و همچنین الکترون ها معادله نهایی را بدست می آوریم:



آخرین مثال ما معادله اسکلتی زیر است که در محلول قلیایی انجام می شود:



در این واکنش Br ، هم اکسیده شده و هم کاهیده شده است. این واکنش را تهیم نامتناسب^۱ یا واکنش های خوداکسایشی - کاهشی^۲ نامند:



هنگامی که روش یون - الکترون را برای موازنکردن یک واکنش

تهیم نامتناسب به کار میریم، ضرایب بدست آمده برای معادله حاصل اغلب قابل تغییر هستند. زیرا در هر دو معادله

جزئی از یک ماده واکنش دهنده استفاده کردیم، ضرایب این معادله قابل

تغییر بر 2 هستند و باید به ساده ترین صورت آورده شوند:



اغلب معادله های اکسایش - کاهش را باید با روش یون - الکترون

موازنی کرد که به ویژه برای واکنش های الکتروشیمیایی و واکنش های

یون ها در محلول آبی متناسب است، ولی ذکر چند نکته ضروری است.

نیم واکنش های به تهابی نمی توانند رفع دهند و معادله های جزوی بایانگر

تغییرات شیمیایی کامل نیستند. حتی در پیل های الکتروشیمیایی که در

آنها دو نیم واکنش در الکترودهای مختلف رفع روی می دهند، نیم واکنش

همواره به طور هم زمان انجام می شوند.

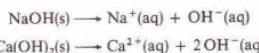
در حالی که معادلات جزوی احتمالاً نمایشگر یک دیدگاه کلی، و نه

به مولکول H_2O ، یون هیدروژنیوم (H_3O^+) و یون Cl^- تولید می‌شوند. در آب، تمام یون‌ها آب پوشیده می‌شوند و این پذیرده را نماید (aq). که بعد از فرمول یون قرار می‌گیرد، نشان می‌نماید. این نماد در مورد تعداد مولکول‌های آب پوشیده به مر بون، اطلاعی به دست نمی‌دهد. البته این تعداد در اغلب موارد معلوم نیست و در بسیاری از موارد نیز متغیر است. ولی بون H^+ یک مورد ویژه است. بار مشتبه بون H^+ (پرتون) فاقد الکترون است و در مقایسه با سایر یون‌ها، بسیار کوچک می‌باشد. درنتیجه بون H^+ به شدت به وسیله زوج الکترون یک مولکول H_2O جذب می‌شود.

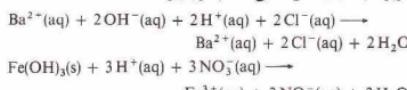
شاوهند تجویی نشان می‌دهد که هر بون H_3O^+ با سه مولکول دیگر آب همراه است و در واقع با بون H_3O^+ سروکار داریم. شواهد دیگری نشان می‌دهد که چندین نوع بون آب پوشیده به طور هم‌مان در محلول آبی وجود دارند. نتایرجن برخی از شیمیانها ترجیح می‌دهند که پرتون آب پوشیده را به صورت H^+ (aq) نشان دهند. فرایندی که در آن مولکول‌های در آب حل را می‌شوند را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:



باز در سیستم آرتوس، ماده‌ای است که در آب یون‌های هیدروکسید، OH^- باشد و یا در آفر حل شدن در آب، یون هیدروکسید آب پوشیده تولید کند: $\text{HO}^-(\text{aq})$



تئنا هیدروکسیدهای فلزی اتحال‌پذیر در آب، به عنصر گروه IA و IIA از $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ، $\text{Ba}(\text{OH})_2$ و $\text{Sr}(\text{OH})_2$ تعلق دارند. هیدروکسیدهای اتحال‌ناتایری با اسیدها و بازها واکنش می‌کنند. واکنش یک اسید و یک باز را خشتشدن نامند. معادله‌های یونی مربوط به دو واکنش خشتشدن به قرار زیر است:



برایم کلرید (BaCl_2) و آمن (III) نیترات $(\text{Al}[\text{NO}_3]_3)$ تولید شده در این واکنش‌ها نمک نامند که ترکیباتی یونی هستند و کاتیون آنها از باز و آئیون‌شان از اسید گرفته شده است.

معادله یونی خالص برای هر دو واکنش خشتشدن به قرار زیر است:



که ممکن است به صورت زیر نوشته شود:



اسیدها را براساس میزان تفسیک آنها در آب به صورت قوی یا ضعیف طبقه‌بندی می‌کنند (جدول ۱۳ - ۳ را ببینید). اسید قوی،

معادله مواده شده نهایی را برای کسب اطمینان از مساوی بودن تعداد اتم‌های هر عنصر در دو طرف معادله باید برسی کرد.

روش عدد اکسایش را می‌توان برای مواده شده ای یونی خالصی که در آنها فقط یون‌ها و مولکول‌هایی که در واکنش شرکت دارند و نمایش داده می‌شوند، نیز به کار گرفت. واکنش بین KClO_3 و I_2 را در نظر بگیرید:



یون K^+ در واکنش شرکت نمی‌کند و در معادله نشان داده شده است. مراحل مواده شده واکنش به قرار زیر است:



۲ - هر اتم بد از صفر به $+5$ (افزایش معادل 5) رسید، اما دو اتم بد در I_2 وجود دارد. درنتیجه افزایش عدد اکسایش 10 است. اتم کلی از $+5$ به $+0$ رسیده است (کاهش برابر 5). کوچک‌ترین عدد قابل بخشیدن 1 است. درنتیجه H_2O باید به کار رود (افزایش کل برابر با $+3$) و ClO_3^- لازم خواهد بود (کاهش کل برابر با -3). ضرایب فراورده‌ها، یعنی IO_3^- و Cl^- از معنی ارقام بدست خواهد آمد:



۳ - اگر O_2 را نادیده بگیریم، در سمت چپ دارای 15 اتم اکسایشون و در سمت راست دارای 18 اتم اکسایشن هستیم، برای جبران سه اتم اکسیژن کسری در سمت چپ باید $3\text{H}_2\text{O}$ به کار بگیریم. پس به این نتیجه می‌رسیم که ضریب H_2O باید 6 باشد تا هیدروژن‌های H_2O مواده شوند:

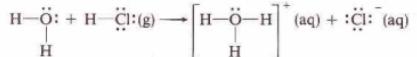


یک معادله یونی، علاوه بر مواده شده، باید مواده بار را نیز نشان دهد. چون جمع جبری بار در سمت چپ (-5) برابر بار در سمت راست (-5) می‌باشد، معادله مواده شده است.

۱۳ - اسیدها و بازهای آرتوس

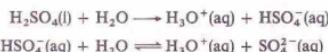
مفهوم کوتاگرنسی که برای اسیدها و بازها به کار بردۀ می‌شوند، موضوع فصل ۱۶ است. مفهوم آرتوس برای اسیدها و بازها که قدیمی‌ترین آنهاست، در این بخش آمده است.

اسیدهای ماده‌ای است که در آب اتفکیک می‌شود و یون‌های H^+ به دست می‌دهد که گاهی به صورت $\text{H}^+(\text{aq})$ نمایش داده می‌شوند. برای مثال،

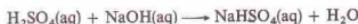


کاز HCl خالص شامل مولکول‌های کووالانسی است. در آب، H^+ (که چیزی بیش از یک پرتون نیست) مربوط به مولکول HCl به وسیله یک زوج الکترون مربوطه ایم اکسیژن H_2O جذب می‌شود. با انتقال پرتون

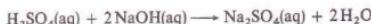
ترکیبات را اسیدهای چندپروتونی گویند. مثلاً یک مولکول سولفوریک اسید می‌تواند دو پروتون از دست بدهد:



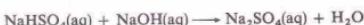
طی واکنش یک مول H_2SO_4 با یک مول NaOH ، فقط یک پروتون خنثی می‌شود:



نمک حاصل یعنی NaHSO_4 را به دلیل دارا بودن یک هیدروژن اسیدی، نمک اسیدی نامند. اگر یک مول H_2SO_4 با ۲ مول NaOH واکنش دهد، در آن صورت هر دو هیدروژن اسیدی خنثی خواهد شد. فراورده این واکنش نمک نرمال یعنی Na_2SO_4 است:



نمک اسیدی می‌تواند با NaOH واکنش داده و نمک نرمال به دست دهد:



درنتیجه فراورده‌های حاصل از خنثی‌سازی اسیدهای چند پروتونی به مقدار اسید و باز کار رفته بستگی دارد. فسفریک اسید، H_3PO_4 ، دارای سه هیدروژن اسیدی است و می‌تواند سه نمک (دو نمک اسیدی و یک نمک نرمال) تولید کند:



۵ - اسیدهای اسیدی و بازی

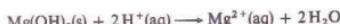
اسید فلزات را اکسید بازی نامند. اکسید فلزات گروه IA و همچنین اکسید عنصر Ce، Sr، Ba و Ca^{2+} در آب اتحال پذیرند و هیدروکسید تولید می‌کنند. همه این اکسیدها بیوئی اند. وقوع یکی از آنها در آب حل می‌شود، یون اکسید با آب واکنش می‌دهد:



اسیدهای و هیدروکسیدهای سایر فلزات در آب اتحال نپذیرند. فلز اکسیدها و هیدروکسیدهای از لحظه شیمیایی به هم مربوط هستند. اغلب هیدروکسیدهای (جزء هیدروکسیدهای فلزات گروه IA) در الگرمای اکسید پذیری می‌شوند:



فلز اکسیدها و همچنین هیدروکسیدهای را می‌توان به وسیله اسیدها خنثی کرد:



ترکیبات دوتایی	
اسیدهای یک پروتونی	اسیدهای چند پروتونی
$\text{H}_2\text{S}^{\oplus}$ هیدروسلوریک اسید	HF^{\oplus} هیدروفلوریک اسید
HCl هیدروکلریک اسید	HBr هیدروبریمیک اسید
HI هیدرویدیک اسید	
ترکیبات سه تایی	
$\text{H}_3\text{PO}_4^{\oplus}$ سولفوریک اسید	HNO_3 نیتریک اسید
$\text{H}_3\text{SO}_4^{\oplus}$ سولفوریک اسید	HNO_3^{\oplus} نیتریلو اسید
$\text{H}_3\text{PO}_4^{\oplus}$ سولفوریک اسید	$\text{H}_3\text{PO}_4^{\oplus}$ فسفریک اسید
$\text{H}_3\text{CO}_3^{\oplus}$ کربنیک اسید	HClO_3 هیکلریک اسید
$\text{H}_3\text{BO}_4^{\oplus}$ بوریک اسید	HClO_4 کلرو اسید
	HClO_4^{\oplus} هیپوکلاروسید
	$\text{H}_3\text{O}_2^{\oplus}$ استیک اسید
	* اسید ضعیف.
	** ترکیب دوم شعیف است.

در محلول آبی ریقیق به میزان ۱۰٪ تفکیک می‌شود. اسیدهای قوی معمولی عبارتند از HCl ، HBr ، HI ، H_3PO_4 ، HNO_3 (فقط تفکیک اولین H^+)، HClO_4 ، HClO_3 . سایر اسیدهای معمولی اسیدهای ضعیف به شمار می‌روند و میزان تفکیک آنها در محلول آبی ریقیق کمتر از ۱۰٪ است. برای مثال استیک اسید ($\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$) یک اسید ضعیف است:



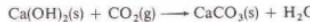
پیکان برگشت پذیر (---) شان می‌دهد که این واکنش‌ها در دو جهت انجام می‌گیرند. در محلول ۱ M استیک اسید با تفکیک ۴٪ از $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ به یون‌های مربوطه تعادل برقرار می‌شود.

تمام قلل هیدروکسیدهای اتحال پذیر بازهای قوی هستند. زیرا این ترکیبات در آب خالص به میزان ۱۰٪ بیوئی می‌باشند. تعداد اندکی از بازهای مولکولی ضعیف نیز وجود دارند که امونیاک، NH_3 ، نومونای از آنهاست:

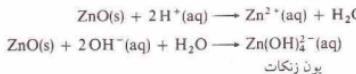
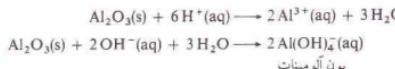


در این واکنش، مولکول آمونیاک با پذیرفتن پروتونی از مولکول آب به صورت یون آمونیوم و یون هیدروکسید در آمد است. ولی واکنش تا حدود پوشنش استیک اسید برگشت پذیر است. اسیدهایی که بازای هر مولکول شان یک پروتون از دست می‌دهند (مانند HCl ، $\text{H}_3\text{O}_2^{\oplus}$) را اسیدهای یک پروتونی نامند. برخی از اسیدهای می‌توانند بیش از یک پروتون از دست بدهند؛ این

اولیهً ملاط، از خشک شدن آن ناشی می‌شود. اماً طی مدت زمان طولانی، ملاط با جذب $\text{CO}_2(\text{g})$ از هوا و تشکیل CaCO_3 اتحال ناپذیر، سخت می‌شود:



برخی از اکسیدها دارای خاصیت اسیدی و بازی هستند (برای نمونه، MnO_4^- و Al_2O_3). این مواد را اکسیدهای آمفوتری (دو خصلتی) نامند و عمدتاً از عناصر مرکزی جدول تناوبی، در نزدیکی خط مرزی بین فلزات و نافلزات، موجود می‌آیند:



اکسیدهای اسیدی و بازی مستقیماً واکنش می‌دهند و بسیاری از این واکنش‌ها اهمیت صنعتی دارند. در تولید آمن خام (بخش ۶ - ۲۵)، CaCO_3 (سنگ آهک) به عنوان گذازار به کار می‌رود. در این فرایند، CaCO_3 دردمای بالای کوره بشکنده و CO_2 و CaO ، تجزیه شود. اکسید بازی CaO با اکسید اسیدی SiO_2 مسحود در کانه آهن، واکنش می‌دهد و با تولید سرباره (CaSiO_3)، SiO_2 ناخواسته را حذف می‌کند:



در فرایند کوره بازی برای تولید فولاد از آهن خام، استر داخلي کوره را از MgO یا CaO (اکسیدهای بازی) می‌پوشانند اکسیدهای سیلیسیم، فسفر، و گوگرد (اکسیدهای اسیدی)، را که ناخالصی آمن خام هستند، حذف کنند. شیشه ترکیبی از اکسیدهای اسیدی و بازی است. شیشه نرم معمولی، از آهک (CaCO_3 ، Na_2CO_3 ، سودا)، سیلیکا (SiO_2)، ساخته می‌شود. اکسیدهای بازی مربوطه عبارتند از Na_2O و CaO ، اکسید اسیدی نیز SiO_2 است. فواروده و واکنش، مخلوطی از سیلیکات‌های سدیم و کلسیم می‌باشد.

در مواردی این اکسیدها را با اکسیدهای دیگری جاگیری می‌کنند. اگر بوریک اکسید که اکسید اسیدی است، به جای پخشش از SiO_2 به کار رود، شیشه پوروسیلیکات (پیرک) تولید خواهد شد. استفاده از PbO به عنوان پخشش از اکسید بازی، شیشه لیتیت به دست می‌دهد که در ساخت عدسی به کار می‌رود. با استفاده از اکسیدهای بازی دیگر، می‌توان شیشه‌های رنگی ساخت؛ مثلاً FeO (سبز روشن)، Cr_2O_3 (سبز تیره)، و CoO (آبی).

۶ - نامگذاری اسیدها، هیدرواسیدها، و شکنکها

در جدول ۱۳ - ۳ برخی از اسیدهای معمولی آمده است. قواعد



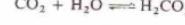
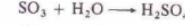
استالاکتیت‌ها (از بالا) و استالاگمیت‌ها (از پایین)، ساختارهای پیچ‌گونه حاصل از کلسیم کربنات، CaCO_3 . هستند که در غارها وجود دارند، این ساختارها درنتیجه تغییر آب‌چکمهای حاوی کلسیم هیدروژن کربنات، $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ، تولید شده‌اند:



Fe_2O_3 اتحال ناپذیر (مانند بسیاری از اکسیدهای اتحال ناپذیر) با اسیدها واکنش می‌دهد، ولی با آب و واکنش نمی‌دهد و هیدروکسید تولید نمی‌کند:

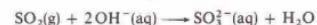
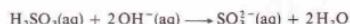


اغل اکسیدهای نافلزات اکسیدهای اسیدی هستند. اغلب آنها با آب واکنش می‌دهند و اکسی اسیدها را تولید می‌کنند:



در دو مرور آخر، اکسیدها $[\text{CO}_3^2(\text{aq}) + \text{SO}_4^2(\text{aq})]$ و $[\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{N}_3^-(\text{aq})]$ در محلول وجود دارند. برخی از اکسیدهای نافلزات (مثلًا N_2O_5 و CO) دارای اسیدهای مریبوطه نیستند.

اکسیدنافلزات می‌توانند بازها را خشند. فواروده حاصل از واکنش با یک اکسید اسیدی، همان فواروده به دست آمده از اسید مربوطه است:



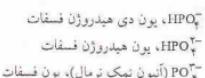
ملاط شامل آهک $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ ، شن $[\text{SiO}_2]$ ، و آب است. سخت شدن

SO_4^{2-} , (از سولفوریک اسید) یون سولفات
 OCl^- , (از هیپوکلراید) یون هیپوکلرایت

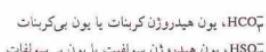
نام نمک را افزودن نام کاتیون به نام آئینون به دست می‌آورند:



۶ - نامگذاری یک نمک اسیدی، تعداد هیدروژن‌های اسیدی حفظ شده به وسیله آئینون را باید ذکر کرد. پیشوند منون را معمولاً حذف می‌کنند.

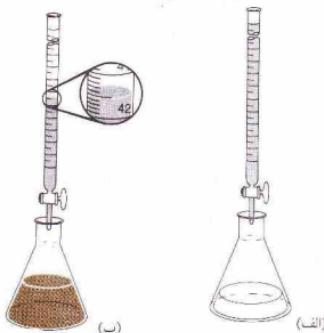


در یک سیستم نامگذاری قدیمی، پیشوند بی را به جای واژه هیدروژن در نامگذاری آئینون یک نمک اسیدی حاصل از اسید دو پرسوتونی به کار می‌برند.



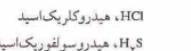
۷-۲ سنجش حجمی

سنجش حجمی بر اندازه گیری دقیق حجم یک محلول استوار است. در این سنتش از رویی به نام تیتر کردن استفاده می‌شود (شکل ۱-۱۳) را ببینید. در نوعی از تیتر کردن، محلولی با غلظت معین که محلول استاندارد نام دارد، به حجم معینی از محلول مجهول اضافه می‌شود تا واکنش کامل شود. محلول استاندارد را در یک لوله مدرج موسوم به

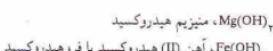


شکل ۱-۱۳ ۱- تیتر کردن اسید- باز. (الف) بورت حاری محلول استاندارد است. محلول مجهول و شناساگر در بالا قرار دارند. (ب) محلول داخل بورت به بالا افزوده می‌شود. نتیجه هم ارز با تغییر رنگ شناساگر قرار می‌رسد.

نمک‌گذاری این ترکیبات و نمک‌های حاصل از آنها به قرار زیر است:
۱ - محلول‌های آبی ترکیبات دوتایی که مانند اسیدها عمل می‌کنند، با تغییر ریشه نام عنصری که با هیدروژن ترکیب شده است، نامگذاری می‌شوند. پیشوند هیدرو- و پرسوند یک، و در پایان واژه اسید می‌آید:



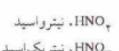
۲ - فلز هیدروکسیدها را به شیوه بیان شده در بخش ۷ - نامگذاری می‌کنیم:



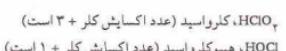
۳ - به نام نمک‌های دوتایی اسیدها، پرسوند - بد هند، نامگذاری آنها مطابق قواعدی که در بخش ۷ - آمده، انجام می‌گیرد.
۴ - اسیدهای هستایتی، از سه عنصر تشکیل شده‌اند. هستگامی که عنصر سوم اکسپنین باشد گویی اسید نامیده می‌شوند.
الف. اگر عنصری فقط یک اکسی اسید تولید کند با تغییر آخر نام عنصر به یک و افزون و واژه اسید، آنرا نامگذاری می‌کنند:



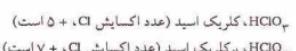
ب - اگر عنصری دارای دو اکسی اسید باشد، پرسوند او (OHS) - برای نامگذاری اکسی اسیدی به کار می‌رود که در آن عنصر در حالت اکسایش پایین تر باشد؛ پرسوند - یک (ic) - برای نشادن ادانت اکسایش بالاتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (جدول ۱۳ - ۳ را ببینید):



ج - برای برخی از اکسی اسیدها، دو نام کافی نیست. نام اکسی اسیدهای کلر را در جدول ۱۳ - ۳ ببینید. پیشوند هیپر به نام اسید و (OHS) - اضافه می‌شود تا حالت اکسایش پایین تر او (OHS). عنصر مرکوزی را نمایش دهد:



پیشوند پر - به نام یک اسید - یک (ic) - افزوده می‌شود تا حالت اکسایش بالاتر اتم مرکزی را نسبت به اسید - یک نشان دهد:



۵ - نام آئینونهای نمک‌های نرمال را نام اسیدهای تشکیل‌دهنده نمک‌ها می‌گیرند. پرسوند یک به اس، و پرسوند اگر به تغییر داده می‌شود. پیشوندهای در صورت وجود، بی‌وقفیظ می‌شوند:

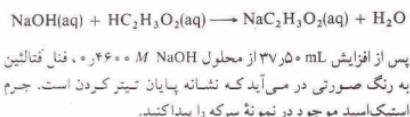
چون وزن اتحمی Cl^- برابر با 35 g است، می‌توان جرم Cl^- موجود در نمونه را به طریق زیر به دست آورد:

$$\begin{aligned} \text{نمونه} &= 3.171 \times 10^{-3} \text{ mol AgNO}_3 \left(\frac{1 \text{ mol Cl}^-}{1 \text{ mol AgNO}_3} \right) \left(\frac{35.45 \text{ g Cl}^-}{1 \text{ mol Cl}^-} \right) \\ &= 0.1124 \text{ g Cl}^- \end{aligned}$$

جرم Cl^- موجود در نمونه، برابر است با:

$$\left(\frac{0.1124 \text{ g Cl}^-}{10.00 \text{ g نمونه}} \right) \times 100\% = 1.124\% \text{ Cl}^-$$

نمونه‌ای از سرکه به وزن 25 g را که حاوی آستیک‌اسید ($\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$) است، همراه با چند قطره محلول فل فتالین (به عنوان شناساگر) در یک بالی قرارداده شود. فل فتالین، در محلول آسیدی بین رنگ است. محلول M از NaOH را از پورت اضافه می‌شود و واکنش زیر صورت می‌گیرد:



حل
تعداد مول‌های NaOH مصرف شده را به صورت زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$? \text{ mol NaOH} = \frac{0.4600 \text{ mol NaOH}}{1000 \text{ mL}} \quad (\text{ محلول})$$

$$= 1.725 \times 10^{-2} \text{ mol NaOH}$$

چون معادله واکنش نشان می‌دهد که



و چون وزن مولکولی $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ برابر 60 g است.

$$\begin{aligned} ? \text{ g HC}_2\text{H}_3\text{O}_2 &= 1.725 \times 10^{-2} \text{ mol NaOH} \left(\frac{1 \text{ mol HC}_2\text{H}_3\text{O}_2}{1 \text{ mol NaOH}} \right) \\ &\quad \left(\frac{60.05 \text{ g HC}_2\text{H}_3\text{O}_2}{1 \text{ mol HC}_2\text{H}_3\text{O}_2} \right) = 1.036 \text{ g HC}_2\text{H}_3\text{O}_2 \end{aligned}$$

رسد جرمی $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ در نمونه سرکه برابر است با

$$\left(\frac{1.036 \text{ g HC}_2\text{H}_3\text{O}_2}{25.00 \text{ g سرکه}} \right) \times 100\% = 4.144\% \text{ HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$$

پورت فار می‌دهند. در قسمت پایین پورت شیری قرار دارد تا به کمک آن بتوان حجم معینی از محلول را خارج ساخت. حجم معینی از محلول مجهول با وزن معینی از جامد مجهول را در آب حل کرده و همراه با چند قطره شناساگر در یک بالن قرار می‌دهند. محلول استاندارد را به تدریج از پورت به بالن اضافه می‌کنند تا شناساگر تغییر رنگ دهد، طی افزایش محلول استاندارد، محتویات بالن را به آرامی و بهطور مستمر بهم می‌زنند. در نقطه هم ارز که با تغییر رنگ شناساگر مشخص می‌شود، مقداری هم ارز از دو واکنش‌دهنده معرف شده است. حجم محلول استاندارد مصرف شده از پورت خواهد می‌شد. در برخی از روش‌های تیترکردن حجم معینی از محلول استاندارد یا جرم معینی از یک ماده با درجه خلوص معلوم را در آب حل کرده و در یک بالن قرار می‌دهند. پس م محلول مجهول را از پورت به بالن اضافه می‌کنند تا نقطه هم ارز بدست آید.

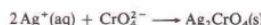
سه روش سنجش جرمی متدائل است. این روش‌ها بر واکنش‌های رسوب‌گیری خنثی‌سازی آسید - باز و واکنش‌های اکسیاسی - کاهشی استوارند. در مثال‌های زیر، با این سه روش آشنا می‌شویم.

مثال ۱۳ - ۵

پس از یک فرایند تیترکردن برای اندازه گیری مقدار Cl^- آن، اندازه گیری شده است: نمونه‌ای به وزن 8.00 g از آسید، مقداری آب، و چند قطره از محلول رتیق $\text{Pb}(\text{CrO}_4)_2$ (به عنوان شناساگر) در یک بالن قرارداده شود. محلول 0.05 M AgNO_3 از ایزورات اضافه می‌شود. واکنش به قرار زیر است:



پس از آنکه بخش قابل توجهی از Cl^- به صورت AgCl رسوب سفید (درآمد، در اثر افزایش مقدار کمی Ag^+ ، رسوب Ag_2CrO_4 تشکیل خواهد شد):



پیدایش رسوب قرمز، نشانه پایان تیترکردن است و پس از اضافه کردن 30.00 mL AgNO_3 از محلول 0.05 M فرا می‌رسد. مقدار Cl^- موجود در پس از تعداد مول‌های AgNO_3 را پیدا می‌کنیم:

$$\begin{aligned} ? \text{ mol AgNO}_3 &= \frac{0.1050 \text{ mol AgNO}_3}{1000 \text{ mL}} \quad (\text{ محلول}) \\ &= 3.171 \times 10^{-3} \text{ mol AgNO}_3 \end{aligned}$$

از معادله شیمیایی می‌بینیم که،



حل

مثال ۱۳ - ۷

دو نوع واکنش که برای آنها هم ارز تعریف می‌شود عبارتند از واکنش‌های خنثی شدن و واکنش‌های اکسایش - کاهش. جرم یک هم ارز از یک ترکیب را وزن هم ارز نامید. به طور کلی:

$$\frac{\text{وزن فرمولی}}{a} = \text{وزن هم ارز} \quad (1-12)$$

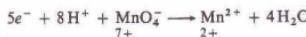
که در آن، مقدار a به نوع واکنش بستگی دارد.

۱ - وزن هم ارز برای واکنش‌های خنثی شدن بر این واقعیت مبنی است که یک یون $\text{H}^+(\text{aq})$ با یک یون $\text{OH}^-(\text{aq})$ واکنش می‌دهد:

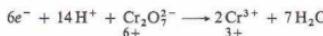


یک وزن هم ارز از یک اسید، مقداری از آن اسید است که یک مول یون $\text{H}^+(\text{aq})$ بدهد و یک وزن هم ارز از یک باز مقداری از آن باز است که یک مول یون $\text{OH}^-(\text{aq})$ بدهد. بتایرا، مقدار a در معادله $1-13$ - ۱ برابر با تعداد مول‌های $\text{H}^+(\text{aq})$ حاصل از یک مول اسید به تعداد مول‌های $\text{OH}^-(\text{aq})$ حاصل از یک مول باز برای واکنش مورد نظر است.

۲ - در واکنش‌های اکسایش - کاهشی وزن هم ارز بر تعداد مول‌های الکترون‌های میادله شده یا بر تغییر عدد اکسایش استوار است. تعداد مول‌های الکترون‌های خنثی شده از اکسایش (یا افزایش عدد اکسایش) باید با تعداد مول‌های الکترون‌های گرفته شده در کاهش (یا کاهش عدد اکسایش)، برابر باشد. درنتیجه a در معادله $1-13$ - ۱ بسانگ تعداد مول‌های خنثی شده یا گرفته شده به وسیله یک مول ماده واکنش دهنده است. مقدار a و به صورت تغییر کل در عدد اکسایش (خواه افزایش، خواه کاهش) مربوط به انتها فرمول می‌توان تعریف کرد. برای نیم واکنش زیر:



a برابر ۵ است و وزن هم ارز KMnO_4 برابر با وزن فرمولی این ترکیب تقسیم بر ۵ می‌باشد. برای نیم واکنش زیر:



a برابر ۶ است و وزن هم ارز $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ برابر با وزن فرمولی این ترکیب تقسیم بر ۶ می‌باشد. توجه کنید که تغییر عدد اکسایش Cr برای 3 است که جمماً تغییری برای 6 برای ترکیب $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ به دست می‌دهد (که برابر با تعداد مول‌های الکترون‌های گرفته شده در معادله جزئی است).

نمایهای، N ، یک محلول برابر با تعداد گرم هم ارزهای وزنی ماده حل شده در یک لیتر محلول است. بین نمایهای یک محلول و مولاریته آن رابطه زیر برقرار است:

$$N = aM \quad (2-13)$$

تعداد هم ارزهای A بر نمونه‌ای از محلول A برابر با $\frac{N}{a}$ است که با ضرب کردن حجم نمونه، یعنی V (برحسب لیتر)، در نمایه محلول،

نمونه‌ای از کانه آهن به وزن $8\text{ g } 4^{\circ}\text{C}$ در اسید حل شده و آهن به حالت Fe^{2+} تبدیل شده است. این محلول، با محلول KMnO_4 پتانسیم پرمگناست، KMnO_4 که بینش تبره است، تیتر می‌شود. واکنش زیر طی افزایش محلول KMnO_4 انجام می‌شود:



فراورده‌های این واکنش، رنگ شدیدی ندارند و محلول به رنگ زرد روشن در می‌آید. اما پس از واکنش تمام Fe^{2+} با افزون یک قطره اضافی از محلول KMnO_4 ، محلول به رنگ صورتی در می‌آید. به این ترتیب KMnO_4 نش شناساگر نیز دارد. در این تیتر کردن 27 ml از محلول KMnO_4 به 2496 M KMnO_4 مصرف می‌شود. درصد جرمی آهن موجود در کانه را بدست آورید.

حل

ابتدا تعداد مول‌های KMnO_4 مصرف شده را به دست می‌آوریم:

$$\frac{0.02496 \text{ mol } \text{KMnO}_4}{27.35 \text{ mL}} \quad (\text{ محلول } \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ mol } \text{KMnO}_4})$$

$$= 6.827 \times 10^{-4} \text{ mol } \text{KMnO}_4$$

چون فرمول واکنش می‌گوید

$$5 \text{ mol } \text{Fe}^{2+} \approx 1 \text{ mol } \text{KMnO}_4$$

و وزن اتمی Fe ۵۵.۸۵ است،

$$? \text{ g Fe} = 6.827 \times 10^{-4} \text{ mol } \text{KMnO}_4 \left(\frac{5 \text{ mol Fe}}{1 \text{ mol } \text{KMnO}_4} \right)$$

$$= 0.1906 \text{ g Fe} \quad \left(\frac{55.85 \text{ g Fe}}{1 \text{ mol Fe}} \right)$$

این رقم مقدار آن موجود در $4^{\circ}\text{C} 8\text{ g}$ از نمونه است. بتایرا،

$$\left(\frac{0.1906 \text{ g Fe}}{0.4308 \text{ g کانه}} \right) 100\% = 44.24\%$$

۱۳ - ۸ وزن هم ارز و تریابی

تمام مسائل سنجش حجمی را به شیوه بیان شده در بخش قبلی، بر مبنای مول و با استفاده از مولاریته برای بیان غلطات محلول‌ها حل می‌کنیم. اما روش دیگری نیز وجود دارد که هم ارزها استوار است و در آن از نمایهای برای بیان غلطات محلول‌ها استفاده می‌شود. تعریف یک هم ارز که مقداری از ماده واکنش دهنده است، به نوع واکنش موردنظرستگی دارد، اما همواره چنان است که یک هم ارز از یک ماده واکنش دهنده دقیقاً یا یک هم ارز از ماده دیگر وارد واکنش می‌شود.

یعنی N_A که برابر با تعداد هم‌ارزهای A در یک لیتر محلول است) محاسبه می‌شود:

$$e_A = V_A N_A \quad (V_A \text{ در سمت لیتر})$$

طبق تعریف، $e_B = e_A$ در نتیجه

$$V_A N_A = V_B N_B \quad (4 - ۱۳)$$

چون در دو طرف معادله ۴ - ۱۳ عبارت حجم وجود دارد، از هر واحد حجم می‌توان برای بیان V_A و V_B استفاده کرد، به شرط آنکه واحد به کاررفته برای هر دو یکسان باشد.

حل

این مسئله با مثال ۱۳ - ۷ یکی است. اما در اینجا مسئله را با تزمالته حل می‌کنیم. تعداد هم‌ارزهای KMnO_4 مصرف شده را به دست می‌آوریم:

$$\begin{aligned} e_A &= V_A N_A \\ &= (0.02735 \text{ L})(0.1248 \text{ equiv/L}) \\ &= 3.413 \times 10^{-3} \text{ equiv} \end{aligned}$$

تعداد هم‌ارزهای KMnO_4 مصرف شده برابر با تعداد هم‌ارزهای آهن در نمونه کانه است.

در این واکنش عدد اکسایش آهن به اندازه یک واحد افزایش می‌ناید (از $2+ + 3+$ به $3+ + 4+$ می‌رسد). در نتیجه وزن هم‌ارز آهن برابر با وزن اتمی آهن، یعنی 55.85 g است:

$$? \text{ g Fe} = 3.413 \times 10^{-3} \text{ equiv Fe} \left(\frac{55.85 \text{ g Fe}}{1 \text{ equiv Fe}} \right) = 0.1906 \text{ g Fe}$$

در صد چرمی Fe در نمونه، برابر است با:

$$\left(\frac{0.1906 \text{ g Fe}}{0.4308 \text{ g}} \right) \times 100\% = 44.24\% \text{ Fe}$$

در کانه

مثال ۱۳ - ۸ (الف) H_2SO_4 را به دست آورید که 50.00 mL آن با 37.52 mL از محلول 1442 N NaOH به طور کامل خنثی می‌شود.

(ب) مolarیت این محلول چقدر است؟

$$V_A N_A = V_B N_B \quad (\text{الف})$$

$$(50.00 \text{ mL})N_A = (37.52 \text{ mL})(0.1492 \text{ N})$$

$$N_A = 0.1120 \text{ N}$$

(ب) چون $1 \text{ mol H}_2\text{SO}_4$ شامل ۲ هم‌ارز است، $a = 2$. بنابراین،

$$N = aM$$

$$0.1120 \text{ equiv/L} = (2 \text{ equiv/mol})M$$

$$M = 0.05600 \text{ mol/L}$$

چکیده مطالب

واکنش‌های تراساختی آبی که فرم کلی زیر را دارند:



به علت تشکیل یک رسوب، گاز، یا یک الکتروولت ضعیف، انجام می‌شوند. فراورده بسیاری از این واکنش‌ها را بر مبنای قواعد اتحال‌بلندیری، برای شناسایی تضمین‌های ساده دریاره شکل کارهای معین و رهموهدایی برای شناسایی الکتروولتیات اقایی قوی و ضعیف می‌توان پیش‌بینی کرد.

با استفاده از چند قاعده اختصاری، همه اکسایش‌های اکسایشی-کاهشی در ترکیبات شیمیایی می‌توان شخص کرد. واکنش‌های اکسایشی-کاهشی (با اکشن‌های کاکس) شامل نوع دیگری از واکنش‌هاست که در محلول‌های آبی می‌شوند. اکسایشی‌کاهشی است که در آن الکتروولت انجام می‌شود.

حذف یعنی دادن اکسایشی کاهشی می‌شود. نیم دادن اکسایشی کاهشی است که از اتمها زاید می‌شود. نیم دادن اکسایشی کاهشی که در آن الکتروولت انجام می‌شود، اکسایشی‌کاهشی آنکه از اتمها زاید می‌شود. نیم دادن اکسایشی کاهشی که در آن الکتروولت انجام می‌شود، اکسایشی کاهشی است که از اتمها زاید می‌شود.

واکنش‌های انتقام شده در محلول آبی می‌توان اسامی روش‌های تجزیه‌ای فرازداد. سه نوع متداول سنجش حجمی (پیتر) براساس واکنش‌های رسوب‌گیری، واکنش‌های کاکس، و واکنش‌های شترن‌سازی استوارند. مسائل سنجش حجمی را می‌توان با استفاده از مولاریته به عنوان واحد غلظت محلول و مول به عنوان مقادیر ماده واکنش‌هدهند با استفاده از تراساختی به عنوان واحد غلظت محلول و هم‌ارز برای میان مقادیر ماده واکنش‌هدهند، حل کرد.

مفاهیم کلیدی

Normality نرمالیته (بخش ۱۳ - ۸). غلظت یک محلول؛ تعداد هم ازرهای مادهٔ حل شده در یک لیتر محلول.

Normal salt نمک نرمال (بخش ۱۳ - ۴). نمک یک اسید چندپروتونی که با حذف تمام پروتونها قابل پوشن اسید تولید شود.

Oxidation اکسایش (بخش ۱۳ - ۳). آن بخشن از واکنش اکسایش-کاهاش که با حذف الکترون یا افزایش جیری عدد اکسایش ترکیب دیگر شود.

Oxidation number عدد اکسایش (بخش ۱۳ - ۲). عددی مثبت یا منفی (با صفر) که براساس قواعد اختیاری مبنی بر تعطیل پیوندهای همراه یک از اتمهای اورکلول نسبت داده شود.

Oxidizing agent فرابنده شیمیایی، کاهاش یا بد و این ترتیب سبب اکسایش ترکیب دیگر شود.

Oxyacid اکسی اسید (بخش ۱۳ - ۶). اسید مشکل از سه عنصر که اکسیژن

Partial equation معادلهٔ جزوی (بخش ۱۳ - ۳). معادلهٔ شیمیایی یک نیم و اکشن برای شناساندن حذف یا افزایش الکترون روش شود.

Polyprotic acid اسید چند پروتونی (بخش ۱۳ - ۴ - ۶). اسیدی که می‌تواند بیش از یک پروتون به ازای هر مولکول از دست بدد.

Precipitation اتحاد-تبلایر (موسوس به رسوب) (بخش ۱۳ - ۱). تشکیل یک مادهٔ Reducing agent

Reducing agent کاهاش شود و این ترتیب مادهٔ دیگری را کاهاش دهد.

Reduction کاهاش (بخش ۱۳ - ۳). آن بخشن از واکنش اکسایش-کاهاش که با کاگرفتن الکترون یا کاهاش جیری عدد اکسایش همراه باشد.

Salt نمک (بخش ۱۳ - ۳). ترتیب حامل از واکنش یک اسید و یک باز شامل کاتیون ای باز و آئیونی از اسید است.

Spectator ion یون مشاگر (بخش ۱۳ - ۱). یونی که طی یک واکنش شیمیایی اسید شود و نه این ترتیب مادهٔ دیگری را کاهاش دهد.

Standard solution محلول استاندارد (بخش ۱۳ - ۷). محلولی که شامل غلظت مبین از مادهٔ حل شدن است.

Strong acids and bases اسیدها و بازهایی که در محلول آبی رقیق به طور کامل یونیند شوند.

Titration تتریکود (بخش ۱۳ - ۷). فرایندی که در آن یک محلول استاندارد با محلولی با غلظت نامعلوم و اکشن مدد داد تا به این ترتیب غلظت موجود را بینند.

Volumetric analysis سنجش حجمی (بخش ۱۳ - ۷). نوعی تجزیهٔ شیمیایی که بر اندازهٔ گیری حجم یک محلول استوار باشد.

Weak acids and bases اسیدها و بازهایی ضعیف (بخش ۱۳ - ۴). اسیدها و بازهایی که فقط به مقدار جزیی در محلول آبی تغذیه شوند.

Acid ترکیب کووالانسی از هیدروژن که در آب تنشک شده و یونهای H^+ (aq) (یا یونهای H_3O^+) تولید کند.

Acidic oxide اسیدی اسیدی (بخش ۱۳ - ۵). اسیدی از یک نافرآور که با آب و اکشن داده و اسید تولید کند.

Acid salt نمک اکسایشی (بخش ۱۳ - ۴). نمک حاصل از خشتی سازی ناقص یک اسید چند پروتونی، آئیون این نمکها، یک یا چند آtom هیدروژن در یونش اسید مادر را حفظ کرده‌اند.

Amphoteric oxide اکسیدی که از ای اخواص اسیدی و بازی پاکش و با اسیدها و بازها ترکیب سود و نمک تولید کند.

Base در سیستم آرسیوس، ترکیب است که در آب تنشک شود و یونهای OH^- (aq) تولید کند.

Disproportionation تهمهٔ ناتناسب تقطیعهٔ هماز (بخش ۱۳ - ۳). واکنش که در آن مقادیر استوکو متري هماز از ارادهٔ واکشن دهنده اضافه شده باشد.

Equivalent point واکنش که هم اکسد و هم کاکايد شد؛ دیگر ترکیب شود و واکشن خنثی همده باشد.

Equivalent weight واکنش پوردنظر چنان تعریف می‌شود که یک همکاری از گذاشتن همهٔ هندسهٔ واکنش که براساس وزن هماز (بخش ۱۳ - ۳). کمیتی که براساس دقتاً پایکار ماز و وزن از مادهٔ دیگر ترکیب شود، برای واکشن خنثی همده است.

Half reaction باز جرم اسید یا باز نیز کنده یک H_3O^+ (aq) به یک مول OH^- (aq) است.

Hydronium ion یون هیدرونیوم (بخش ۱۳ - ۴). یون شکل شده از یک پروتون و یک مولکول آب؛ H_3O^+ .

Indicator ماده‌ای که نشان‌دهندهٔ پایان تیرکون به این ارزش تغییر رنگ است.

Metathesis reaction واکنش تراساختی (بخش ۱۳ - ۱). واکنش بین دو چرم که در آن، کاتیون‌ها و آئیون‌ها همراه خود را می‌آیند.

Monoprotic acid اسید یک پروتونی (بخش ۱۳ - ۴ - ۶). اسیدی که می‌تواند یک پروتون به ازای هر مولکول از دست بدد.

Nernst's law of unitary ionic equation شیمیایی که یونهای مشاگر را شناس نمی‌دهد، بلکه فقط شامل اجزای درگیر در واکنش است.

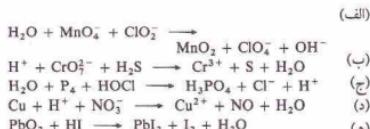
Neutralization خنثی شدن (بخش ۱۳ - ۴). واکنشی که بین یک اسید و یک باز یا بین اکسیدهای این‌ها رخ دهد.

مسائل*

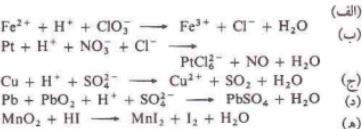
۱- LiClO_4 (ج) و NaNO_3 (د)؛ HCl و ZnSO_4 (ه)؛ AlCl_3 و CdI_2 و AgNO_3 (ب)؛ Na_2PO_4 و $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ و HBr ؛ $\text{Ba}(\text{OH})_2$ (ج)؛ Na_2CO_3 و NaOH (ب)؛ SO_4^{2-} و $\text{Sr}(\text{C}_2\text{H}_5\text{O}_2)_2$ و HCl و ZnS (ه).

* مسائل مشکل تر با علامت ستاره مشخص شده است. همچنین پاسخ مسائل فرد در پیوست آخر کتاب آمده است.

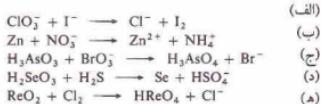
واکنش‌های تراساختی ۱-۱۳-۱-۱۳ معادلات یونی موازن‌شدهٔ کامل و معادلات یونی خالص را برای واکنش‌های سین ترکیبات زرس بتونیسید: (الف) Fe(OH)_3 و H_3PO_4 ؛ (ب) Hg_2CO_3 و HCl ؛ (ج) BaS و Na_2PO_4 ؛ (د) H_2S و $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ؛ (ه) $\text{Sr}(\text{OH})_2$ و واکنش‌های بین ترکیبات زرس بتونیسید: (الف) $\text{Mg}(\text{OH})_2$ و HNO_3 ؛ (ب) CaCO_3 و H_2SO_4 ؛ (ج) BaCl_2 و Na_2CO_3 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3 ؛ (ب) Ca(OH)_2 و H_2SO_4 ؛ (ج) Ca(OH)_2 و H_3PO_4 ؛ (د) Ca(OH)_2 و H_2S ؛ (ه) Ca(OH)_2 و H_2CO_3



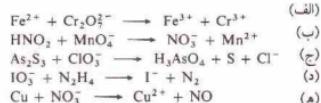
۱۳ - ۱۶ واکنش‌های زیر را با استفاده از تغییر عدد اکسایش موازنه کنید:



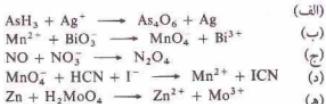
۱۷ - ۲۰ معادلات زیر را با استفاده از روش یون - الکترون کامل و موازنه کنید:



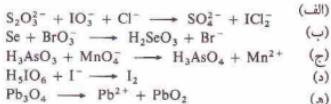
۲۱ - ۲۴ معادلات زیر را با استفاده از روش یون - الکترون کامل و موازنه کنید. تمام واکنش‌ها در محلول اسیدی صورت می‌گیرند.



۲۵ - ۲۸ معادلات زیر را با استفاده از روش یون - الکترون کامل و موازنه کنید. تمام واکنش‌ها در محلول اسیدی صورت می‌گیرند.



۲۹ - ۳۲ معادلات زیر را با استفاده از روش یون - الکترون کامل و موازنه کنید. تمام واکنش‌ها در محلول اسیدی صورت می‌گیرند.



۳۳ - ۳۶ معادلات زیر را با استفاده از روش یون - الکترون کامل و موازنه کنید. تمام واکنش‌ها در محلول لیحای صورت می‌گیرند.



۱۴ - ۲۰ معادلات یونی موازنه شده کامل و معادلات یونی خالص را بروی واکنش بین ترکیبات زیر نویسید: (الف) Na_2SO_3 و (ب) HCl و Na_2SO_4 و (ج) CaCl_2 و $\text{Ba}(\text{OH})_2$ و (د) HCl و Na_2SO_4 و (ه) HI و PbCO_3 و (ز) K_2S و (ب) H_2O و (ب) HNO_3 و (ج) FeCl_3 و (د) MgSO_4 و (ب) $\text{Cd}(\text{ClO}_4)_2$ و (ب) K_2S و (ب) CaBr_2 و (ب) HCl و (ب) H_2O و (ب) K_2SnO_3 و (ب) $\text{Hg}_2(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_2$ و (ب) CaBr_2 و (ب) K_2SnO_3 و (ب) $\text{Mg}(\text{BF}_4)_2$

۱۵ - ۲۱ معادلات یونی موازنه شده کامل و معادلات یونی خالص را بروی واکنش بین ترکیبات زیر نویسید: (الف) Ag_2S و (ب) HCl و PbSO_4 و (ج) K_2S و (ب) ZnSO_4 و (ب) $\text{Hg}_2(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_2$ و (ب) CaBr_2 و (ب) K_2SnO_3 و (ب) $\text{Mg}(\text{BF}_4)_2$

۱۶ - ۲۲ عدد اکسایش عنصر مشخص شده در هر یک از ترکیبات زیر را تعیین کنید: (الف) U_2Cl_6 و (ب) Bi_2O_5 و (ج) V_2O_5 در Bi و (د) U_2O_5 در U و (ه) Ta_2O_5 در Ta و (ز) $\text{K}_2\text{Ti}_2\text{O}_5$ در Sn و (ب) K_2SnO_3 و (ب) $\text{Mg}(\text{BF}_4)_2$

۱۷ - ۲۳ عدد اکسایش عنصر مشخص شده در هر یک از ترکیبات زیر را تعیین کنید: (الف) U_2Cl_6 و (ب) Bi_2O_5 و (ج) V_2O_5 در Bi و (د) U_2O_5 در U و (ه) Ta_2O_5 در Ta و (ز) $\text{K}_2\text{Ti}_2\text{O}_5$ در Sn و (ب) K_2SnO_3 و (ب) $\text{Mg}(\text{BF}_4)_2$

۱۸ - ۲۴ عدد اکسایش عنصر مشخص شده در هر یک از ترکیبات زیر را تعیین کنید: (الف) Cs_2TeF_6 و (ب) Li_2W_O_3 و (ج) ZrO_2 در Mo و (د) Li_2O_2 در Ta و (ز) K_2O_2 در Ta و (ب) Na_2O_2 در S و (ج) V_2O_5 در S و (د) $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_5$ در P و (ه) Mg_2UO_4 و (ز) V در P و (ب) Ca_3VO_4

۱۹ - ۲۵ عدد اکسایش عنصر مشخص شده در هر یک از ترکیبات زیر را تعیین کنید: (الف) $\text{Sb}(\text{OH})_6$ و (ب) Sb_{2}O_5 و (ج) XeO_4 در Bi و (د) $\text{Sb}(\text{OH})_6$ و (ه) BiO_2 در Bi و (ز) $\text{Li}_2\text{U}_2\text{O}_5$ در U و (ب) Bi_2O_5 در Bi و (ج) BiO_2 در Bi و (د) Bi_2O_5 در Bi و (ه) BiO_2 در Bi و (ز) Bi_2O_5 در Bi

۲۰ - ۲۶ عدد اکسایش عنصر مشخص شده در هر یک از ترکیبات زیر را تعیین کنید: (الف) Ca_3TeF_6 و (ب) Li_2W_O_3 و (ج) ZrO_2 در Mo و (د) Li_2O_2 در Ta و (ز) K_2O_2 در Ta و (ب) Na_2O_2 در S و (ج) V_2O_5 در S و (د) $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_5$ در P و (ه) Mg_2UO_4 و (ز) V در P و (ب) Ca_3VO_4

۲۱ - ۲۷ عدد اکسایش عنصر مشخص شده در هر یک از ترکیبات زیر را تعیین کنید: (الف) $\text{Sb}(\text{OH})_6$ و (ب) Sb_{2}O_5 و (ج) XeO_4 در Bi و (د) $\text{Sb}(\text{OH})_6$ و (ه) BiO_2 در Bi و (ز) $\text{Li}_2\text{U}_2\text{O}_5$ در U و (ب) Bi_2O_5 در Bi و (ج) BiO_2 در Bi و (د) Bi_2O_5 در Bi و (ه) BiO_2 در Bi و (ز) Bi_2O_5 در Bi

۲۲ - ۳۰ عدد اکسایش عنصر مشخص شده در هر یک از ترکیبات زیر را تعیین کنید: (الف) Ca_3TeF_6 و (ب) Li_2W_O_3 و (ج) ZrO_2 در Mo و (د) Li_2O_2 در Ta و (ز) K_2O_2 در Ta و (ب) Na_2O_2 در S و (ج) V_2O_5 در S و (د) $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_5$ در P و (ه) Mg_2UO_4 و (ز) V در P و (ب) Ca_3VO_4

۲۳ - ۳۶ عدد اکسایش عنصر مشخص شده در هر یک از ترکیبات زیر را تعیین کنید: (الف) $\text{Sb}(\text{OH})_6$ و (ب) Sb_{2}O_5 و (ج) XeO_4 در Bi و (د) $\text{Sb}(\text{OH})_6$ و (ه) BiO_2 در Bi و (ز) $\text{Li}_2\text{U}_2\text{O}_5$ در U و (ب) Bi_2O_5 در Bi و (ج) BiO_2 در Bi و (د) Bi_2O_5 در Bi و (ه) BiO_2 در Bi و (ز) Bi_2O_5 در Bi

۲۴ - ۳۷ عدد اکسایش عنصر مشخص شده در هر یک از ترکیبات زیر را تعیین کنید: (الف) Ca_3TeF_6 و (ب) Li_2W_O_3 و (ج) ZrO_2 در Mo و (د) Li_2O_2 در Ta و (ز) K_2O_2 در Ta و (ب) Na_2O_2 در S و (ج) V_2O_5 در S و (د) $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_5$ در P و (ه) Mg_2UO_4 و (ز) V در P و (ب) Ca_3VO_4

۲۵ - ۳۹ عدد اکسایش عنصر مشخص شده در هر یک از ترکیبات زیر را تعیین کنید: (الف) $\text{Sb}(\text{OH})_6$ و (ب) Sb_{2}O_5 و (ج) XeO_4 در Bi و (د) $\text{Sb}(\text{OH})_6$ و (ه) BiO_2 در Bi و (ز) $\text{Li}_2\text{U}_2\text{O}_5$ در U و (ب) Bi_2O_5 در Bi و (ج) BiO_2 در Bi و (د) Bi_2O_5 در Bi و (ه) BiO_2 در Bi و (ز) Bi_2O_5 در Bi

۲۶ - ۴۰ عدد اکسایش عنصر مشخص شده در هر یک از ترکیبات زیر را تعیین کنید: (الف) Ca_3TeF_6 و (ب) Li_2W_O_3 و (ج) ZrO_2 در Mo و (د) Li_2O_2 در Ta و (ز) K_2O_2 در Ta و (ب) Na_2O_2 در S و (ج) V_2O_5 در S و (د) $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_5$ در P و (ه) Mg_2UO_4 و (ز) V در P و (ب) Ca_3VO_4

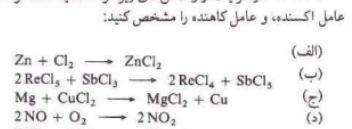
۲۷ - ۴۱ عدد اکسایش عنصر مشخص شده در هر یک از ترکیبات زیر را تعیین کنید: (الف) $\text{Sb}(\text{OH})_6$ و (ب) Sb_{2}O_5 و (ج) XeO_4 در Bi و (د) $\text{Sb}(\text{OH})_6$ و (ه) BiO_2 در Bi و (ز) $\text{Li}_2\text{U}_2\text{O}_5$ در U و (ب) Bi_2O_5 در Bi و (ج) BiO_2 در Bi و (د) Bi_2O_5 در Bi و (ه) BiO_2 در Bi و (ز) Bi_2O_5 در Bi

۲۸ - ۴۲ عدد اکسایش عنصر مشخص شده در هر یک از ترکیبات زیر را تعیین کنید: (الف) Ca_3TeF_6 و (ب) Li_2W_O_3 و (ج) ZrO_2 در Mo و (د) Li_2O_2 در Ta و (ز) K_2O_2 در Ta و (ب) Na_2O_2 در S و (ج) V_2O_5 در S و (د) $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_5$ در P و (ه) Mg_2UO_4 و (ز) V در P و (ب) Ca_3VO_4

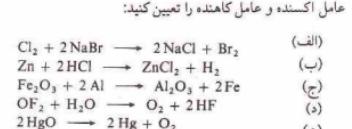
۲۹ - ۴۳ عدد اکسایش عنصر مشخص شده در هر یک از ترکیبات زیر را تعیین کنید: (الف) $\text{Sb}(\text{OH})_6$ و (ب) Sb_{2}O_5 و (ج) XeO_4 در Bi و (د) $\text{Sb}(\text{OH})_6$ و (ه) BiO_2 در Bi و (ز) $\text{Li}_2\text{U}_2\text{O}_5$ در U و (ب) Bi_2O_5 در Bi و (ج) BiO_2 در Bi و (د) Bi_2O_5 در Bi و (ه) BiO_2 در Bi و (ز) Bi_2O_5 در Bi

۳۰ - ۴۴ عدد اکسایش عنصر مشخص شده در هر یک از ترکیبات زیر را تعیین کنید: (الف) $\text{Sb}(\text{OH})_6$ و (ب) Sb_{2}O_5 و (ج) XeO_4 در Bi و (د) $\text{Sb}(\text{OH})_6$ و (ه) BiO_2 در Bi و (ز) $\text{Li}_2\text{U}_2\text{O}_5$ در U و (ب) Bi_2O_5 در Bi و (ج) BiO_2 در Bi و (د) Bi_2O_5 در Bi و (ه) BiO_2 در Bi و (ز) Bi_2O_5 در Bi

۳۱ - ۴۵ در هر یک از واکنش‌های زیر مواد اکسید شده، مواد کاهیده شده، عامل اکسید، و عامل کاهنده را تعیین کنید:



۳۲ - ۴۶ در هر یک از واکنش‌های زیر مواد اکسید شده، مواد کاهیده شده، عامل اکسید، و عامل کاهنده را تعیین کنید:



۳۳ - ۴۷ واکنش‌های زیر را با استفاده از تغییر عدد اکسایش موازنه کنید:

بنویسید: (الف) $\text{Al}(\text{OH})_3$, (ب) KOH , (ج) $\text{Ca}(\text{OH})_2$. فرض کنید فرایستد خشیش شدن کامل است.

۱۳ - ۳۰ - ۳۱ معادلات شیمیایی واکنش بین NaOH را با هر یک از ترکیبات زیر بنویسید: (الف) HClO_4 , (ب) H_2SO_4 , (ج) H_3PO_4 . فرض کنید فرایستد خشیش شدن کامل است.

۱۳ - ۳۱ معادلات شیمیایی واکنش بین KOH و H_3PO_4 را که منجر به تولید ترکیبات زیر می‌شود را بنویسید: (الف) KH_2PO_4 , (ب) K_2HPO_4 , (ج) K_3PO_4 .

۱۳ - ۳۲ معادلات شیمیایی واکنش NaOH را با هر یک از ترکیبات زیر بنویسید: (الف) NaHSO_4 , (ب) NaH_2PO_4 , (ج) NaAO_4 . فرض کنید مقدار اضافی از NaOH به کار برده شده است.

۱۳ - ۳۳ مساعده شیمیایی واکنش ترکیبات زیر را با آب بنویسید: (الف) CaO , (ب) CaCO_3 , (ج) Ca(OH)_2 .

۱۳ - ۳۴ مساعده شیمیایی ترکیبات زیر را با آب بنویسید: (الف) SO_3^{2-} , (ب) $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$, (ج) BaO .

۱۳ - ۳۵ فرمول ایندید ترکیبات زیر را به دست آورید: (الف) HClO_4 , (ب) H_2SO_4 , (ج) H_3PO_4 .

۱۳ - ۳۶ فرمول ایندید ترکیبات زیر را به دست آورید: (الف) $\text{Zn}(\text{OH})_2$, (ب) H_2SeO_4 , (ج) HIO_3 .

۱۳ - ۳۷ فرمول ترکیبات زیر را بنویسید: (الف) آنون (III) فسفات؛ (ب) سرب (II) سولفات؛ (ج) آنون (II) نیترات.

۱۳ - ۳۸ فرمول ترکیبات زیر را بنویسید: (الف) هیپوکلریک اسید؛ (ب) پتاسیم هیدروژن کربنات؛ (ج) کلسیم نیترات.

ستجهش حجمی

۱۳ - ۴۰ در مسورةتی که برای خشیش سازی کامل 25 mL محلول 1.0 M H_2SO_4 مورد نیاز است، 25 mL NaOH مورد نیاز است، مولا ریته محلول اسید چقدر است؟

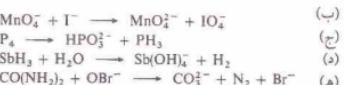
۱۳ - ۴۱ در مسورةتی که برای خشیش سازی کامل 25 mL محلول 1.0 M HCl مورد نیاز است، 25 mL Ba(OH)_2 محلول بخاری خود را بخورد آور است.

۱۳ - ۴۳ سرای خشیش سازی 25 g نمونه ساخالن، $\text{Mg}(\text{OH})_2$ باشد، درصد جرمی MgCl_2 در این نمونه 25% است. اگر ناخالص موجود در این ترکیب

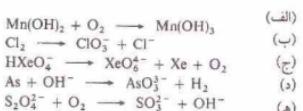
۱۳ - ۴۴ یک نمونه 25 g گرم از اگزالیک اسید ($\text{H}_2\text{C}_6\text{O}_4$) باشد، درصد جرمی به طور کامل با 25 mL NaOH از 25 M NaOH در این نمونه چقدر است؟

۱۳ - ۴۵ پتاسیم هیدروژن فللات، $\text{KHC}_6\text{H}_5\text{O}_4$ ، به عنوان یک اسید تک پروتونی عمل می‌کند. اگر برای خشیش سازی 46 g از 25 M NaOH ماده وجود دارد.

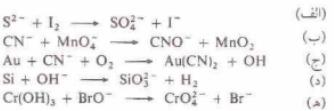
۱۳ - ۴۶ پتاسیم هیدروژن فللات، $\text{KHC}_6\text{H}_5\text{O}_4$ ، به عنوان یک اسید تک پروتونی عمل می‌کند. برای خشیش سازی 25 g از 25 M محلول NaOH مورد نیاز است. مولا ریته محلول NaCl مقداری به صورت ناخالص وجود دارد. برای رسوب دادن کامل کلرید موجود در این محلول



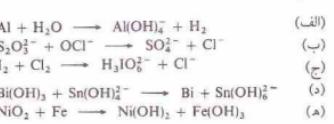
۱۳ - ۲۲ معادلات زیر را با استفاده از روش یون - الکترون کامل و موازنé کنید. تمام واکنش‌ها در محلول قلبایی صورت می‌گیرند.



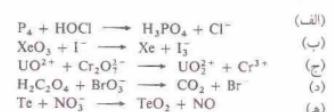
۱۳ - ۲۳ معادلات زیر را با استفاده از روش یون - الکترون کامل و موازنé کنید. تمام واکنش‌ها در محلول قلبایی صورت می‌گیرند.



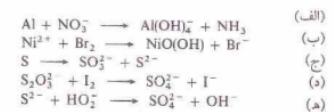
۱۳ - ۲۴ معادلات زیر را با استفاده از روش یون - الکترون کامل و موازنé کنید. تمام واکنش‌ها در محلول قلبایی صورت می‌گیرند.



۱۳ - ۲۵ معادلات زیر را با استفاده از روش یون - الکترون کامل و موازنé کنید. تمام واکنش‌ها در محلول قلبایی صورت می‌گیرند.



۱۳ - ۲۶ معادلات زیر را با استفاده از روش یون - الکترون کامل و موازنé کنید. تمام واکنش‌ها در محلول قلبایی صورت می‌گیرند.



۱۳ - ۲۷ اسید آتفورتری (دو خصلتی)، چیست؟ فرمول یونهای حاصل زا در محلول اسیدی در یک محلول قلبایی تعیین کنید.

۱۳ - ۲۸ نمونه‌های از اسیدهای یک پروتونی و چند پروتونی، نمک‌های معمولی و نمک‌های اسیدی پیان کنید.

۱۳ - ۲۹ یک معادله شیمیایی واکنش HNO_3 را با هر یک از ترکیبات زیر

سینتیک شیمیایی

$$\Delta A_2 = \frac{-\Delta [A_2]}{\Delta t}$$

چون غلظت A_2 کوچکتر می‌شود، $\Delta [A_2]$ مقداری منفی است. علامت منها در این عبارت می‌آید تا مقدار سرعت مثبت شود.

سرعت بر مبنای افزایش غلظت AB از لحظه عددی با سرعت بر اساس غلظت A_2 یا B_2 برابر نخواهد بود. فرض کنید که در یک لحظه معین غلظت A_2 به اندازه $L \cdot 2 \text{ mol/L}$ در یک ثانیه کاهش یابد. در توجه، سرعت کاهش غلظت A_2 برابر با $2 \text{ mol/(L \cdot s)}$ نخواهد بود.

معادله شیمیایی زیر،



نشان می‌دهد که دو مول از AB به ازای مصرف هر مول از A_2 تولید می‌شود. در همان فاصله زمانی که غلظت A_2 به اندازه $L \cdot 2 \text{ mol/L}$ کاهش می‌یابد، غلظت AB باید $2 \text{ mol/(L \cdot s)}$ باشد. به این ترتیب، سرعت افزایش غلظت AB برابر با $4 \text{ mol/(L \cdot s)}$ است. این دو مقدار، یعنی سرعت ناپیدید شدن A_2 ، B_2 و سرعت پیدایش AB، AB به $2 \text{ mol/(L \cdot s)}$ را، بیانگر سرعت یک واکنش در یک فاصله زمانی هستند. سرعت یک واکنش را می‌توان براساس سرعت ناپیدید شدن یک ماده واکنش دهنده، یا بر اساس پیدایش یک فراورده، بیان کرد، ولی اساس اندازه گیری سرعت باید مشخص شود.

سرعت یک واکنش، معمولاً، با پیشرفت آن تغییر می‌کند. در شکل ۱۴-۱، غلظت AB و A_2 بر حسب زمان رسم شده است. اگر غلظت اولیه B_2 با غلظت اولیه A_2 یکسان باشد، در آن صورت مختص $[B_2]$ بر حسب زمان با معنی نشان داده شده برابر $[A_2]$ بر حسب زمان یکسان خواهد بود.

در شکل ۱۴-۱، غلظت فراورده، یعنی AB، از صفر شروع می‌شود و در آغاز واکنش سرعت افزایشی می‌یابد. طی این فاصله زمانی غلظت ماده واکنش دهنده یعنی A_2 ، به سرعت کاهش می‌یابد. ولی هر دو معنی نشان می‌دهند که با پیشرفت واکنش، تغییر غلظت آنسته تر می‌شود. سرعت اغلب واکنش‌های شیمیایی به غلظت ناپیدید شدن، پستگی دارد. با مصرف شدن این مواد از سرعت واکنش کاسته می‌شود. سرعت در ابتدای واکنش را سرعت اولیه می‌نامند.

سرعت کاهش غلظت A_2 در هر زمان معین را می‌توان از شیب معنی A_2 در نقطه مربوط به زمان مردود نظر به دست آورد. در شکل

سینتیک شیمیایی، مطالعه تندی، یا سرعت واکنش‌های شیمیایی است. شمار اندکی از عوامل، در تعیین سرعت وقوع یک واکنش دخالت دارند. مطالعه این عوامل، سرعت‌هایی در راسته چگونگی تبدیل مواد واکنش دهنده به فراورده‌ها در واکنش‌های شیمیایی به دست می‌دهد. شرح تفصیلی چگونگی انجام یک واکنش براساس رفتار آنها، مولکول‌ها، و بونه را مکانیسم واکنش گویند. اغلب تغییرات شیمیایی با مکانیسم‌هایی صورت می‌گیرند که شامل چند مرحله‌اند. هیچگاه نمی‌توانیم مطمئن شویم که یک مکانیسم پیشنهادی بینگر واقعیت یک واکنش است - مکانیسم فقط دلرس سنجیده‌ای بر بنیان مطالعات سینتیکی است.

۱-۱۴ سرعت واکنش‌ها

واکنش فرضی زیر را در نظر بگیرید:



طی زمانی که واکنش رخ می‌دهد، A_2 و B_2 به تدریج مصرف می‌شوند. غلظت این دو ماده، که معمولاً بر حسب مول در لیتر بیان می‌شود، کاهش می‌یابد. چون در همان زمان، AB تولید می‌شود، غلظت افزایش می‌یابد. سرعت واکنش، میزان سرعت انجام این تغییرات است.

نماد غلظت هر یک از مواد، شامل فرمول شیمیایی آنهاست که در داخل کروشه قرار داده می‌شود. مثلاً، نماد $[AB]$ بیانگر غلظت AB است. به این ترتیب، نماد $[AB]$ بیانگر تغییر غلظت AB می‌باشد.

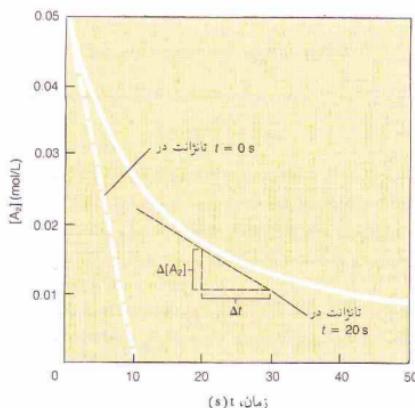
سرعت واکنش بین A_2 و B_2 را می‌توان بر حسب $\Delta[A_2]/\Delta t$ نشان داد، یعنی افزایش غلظت AB در فاصله زمانی معین، Δt :

$$\Delta \frac{[AB]}{\Delta t} = \text{سرعت پیدایش}$$

اگر غلظت AB بر حسب mol/L و زمان بر حسب ثانیه بیان شود، سرعت واکنش دارای واحدهای زیر خواهد بود،

$$\frac{\text{mol/L}}{\text{s}} = \text{mol/(L \cdot s)}$$

سرعت واکنش را می‌توان بر حسب کاهش غلظت A_2 یا B_2 در یک فاصله زمانی معین نیز بیان کرد. مثلاً، سرعت براساس غلظت A_2 ، به صورت زیر خواهد بود:



شکل ۱۴-۲- تعیین سرعت واکنش با رسم تأثیرات برای منحنی مربوط به $[A_2]$ بر حسب زمان

برای هر واکنش شیمیایی، معادله‌ای ریاضی به نام معادله سرعت یا قانون سرعت می‌توان نوشت که غلظت مواد واکنش دهنده را به سرعت واکنش مربوط می‌سازد، برای واکنش



معادله سرعت زیر را می‌توان نوشت:

$$\text{سرعت} = k[\text{N}_2\text{O}_5]$$

این معادله به ما می‌گوید که سرعت واکنش با غلظت N_2O_5 رابطه مستقیم دارد. اگر غلظت دو برابر شود، سرعت دو برابر می‌گردد. اگر غلظت سه برابر شود، سرعت بیز سه برابر می‌گردد. ثابت تناسب، یعنی k را ثابت سرعت نامند، فرم معادله سرعت و مقدار k را باید به طور تجربی به دست آورد. مقدار عددی به دما و عبارت‌هایی که سرعت بر مبنای آنها می‌شود بستگی دارد.

سرعت واکنش



با غلظت NO_2 و ضرب در غلظت HCl متناسب است:

$$\text{سرعت} = k[\text{NO}_2][\text{HCl}]$$

دو برابر کردن غلظت NO_2 ، سرعت واکنش را دو برابر می‌کند. دو برابر کردن غلظت HCl نیز سرعت واکنش را به دو برابر می‌رساند. اگر غلظت هر دو ماده واکنش دهنده را به طور هم‌مان دو برابر کنیم، سرعت واکنش چهار برابر می‌شود.

۱۴-۳- تأثیرات منحنی در $t = 0$ رسم شده است. تأثیرات را می‌توان چنان گسترش داد که به روشنی بتوان تغییر $[A_2]$ به میزان Δt را در فاصله زمانی Δt $\text{mol}/\text{L}/\Delta[A_2]$ مشاهده کرد (Δt):

$$\frac{-\Delta[A_2]}{\Delta t} = \frac{-(-0.05 \text{ mol}/\text{L})}{10 \text{ s}} = 0.005 \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{s})$$

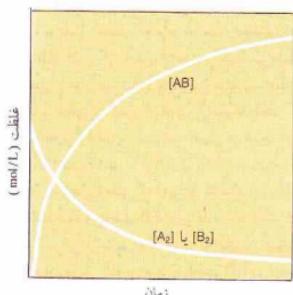
این مقدار، سرعت اولیه واکنش بر حسب تأثیر داشده است. در $t = 20 \text{ s}$ سرعت کاهش یافته است. توجه کنید که تأثیرات منحنی در $t = 20 \text{ s}$ به اندازه $0.006 \text{ mol}/\text{L}\cdot\text{s}$ برای فاصله زمانی 10 s کاهش یافته است:

$$\frac{-\Delta[A_2]}{\Delta t} = \frac{-(-0.006 \text{ mol}/\text{L})}{10 \text{ s}} = 0.0006 \text{ mol}/(\text{L}\cdot\text{s})$$

هدست آوردن داده‌های لازم برای رسم منحنی غلظت، عموماً دشوار است. غلظت پاید در زمان‌های مشخص، در طی انجام واکنش و بدون اختلال اندازه گیری شود. بهترین روش برای این اندازه گیری‌ها، بر اندازه گیری پیوسته است که با انجام واکنش تغییر می‌باشد، استوار است. تغییر شفار، رنگ (پدایش یا تأثیر داشتن مواد رنگی)، قدرت اسیدی، رسانایی، حجم، گازرو مورد استفاده قرار گرفته است.

۱۴-۲- غلظت و سرعت واکنش

سرعت واکنش‌ها عموماً به غلظت مواد واکنش دهنده بستگی دارد. برای اغلب واکنش‌ها، بالا بودن غلظت مواد واکنش دهنده به معنی بالابودن سرعت واکنش است. این اثر را بر مبنای نظریه پرسورde می‌توان تبیین کرد (بخش ۳-۲ را ببینید). غلظت بالا به این معنی است که تعداد زیادی از مولکول‌ها در حجم معینی جمع شده‌اند. در این شرایط، پرسوردهای بین مولکول‌های واکنش دهنده که متجریه تبدیل آنها به فراورده می‌شود، نسبتاً بالاست و در نتیجه، واکنش سریع است.



شکل ۱۴-۱- منحنی‌های نشان‌دهنده تغییرات غلظت بر حسب زمان برای واکنش $\text{A}_2 + \text{B}_2 \longrightarrow 2\text{AB}$



مثال آنچه نشان می‌دهد که پرخی از واکنش‌ها مرتبه ساده‌ای ندارند. توجه کنید که این معادله سرعت شامل عبارتی برای غلظت محصول (عنی HBr) است.

مثال ۱ - ۱۴

ارقام داده شده در جدول، در دمای $25^\circ C$ و برای واکنش زیر به دست آمده است:



فرم معادله سرعت و مقدار ثابت سرعت، k ، را به دست آورید.

سرعت اولیه		غلظت اولیه		آرایش
NO ₂ mol/(L·s)	O ₂ mol/L	NO mol/L	A B C D E	
7×10^{-6}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	A	
14×10^{-6}	2×10^{-3}	1×10^{-3}	B	
21×10^{-6}	3×10^{-3}	1×10^{-3}	C	
84×10^{-6}	3×10^{-3}	2×10^{-3}	D	
189×10^{-6}	3×10^{-3}	2×10^{-3}	E	

حل

فرم معادله سرعت و مقدار ثابت سرعت، چنین است:

$$\text{سرعت} = k[NO]^x [O]^y$$

داده‌های جدول را برای پیدا کردن تابع y و x به کار می‌گیریم.

در سه آرایش اول (A، B، C)، غلظت NO ثابت است و غلظت O_2 تغییر یافته است. بنابراین هر تغییری که در سرعت این واکنش‌ها مشاهده شود به تغییر غلظت O_2 مربوط است. غلظت O_2 در آرایش B برابر باشد، تغییر آن در آرایش A است و سرعت مشاهده شده در آرایش B نیز برابر سرعت آرایش A می‌باشد. مقاسه داده‌های آرایش C با داده‌های آرایش A نشان می‌دهد که سه برابر شدن غلظت O_2 ، موجب سه برابر شدن سرعت شده است. در نتیجه مقدار برابر با ۱ است. یعنی، سرعت واکنش با توان اول $[O]^1$ نسبت مسقیم دارد.

در سه آرایش آخری (D، E و F)، غلظت O_2 (در 3×10^{-3} mol/L) ثابت نگهداشت شده و غلظت NO تغییر داده شده است. افزایش سرعت مشاهده شده در این آرایش‌ها، ناشی از افزایش غلظت NO است.

غلظت NO در آرایش D برابر با 1×10^{-3} mol/L است. در آرایش E، سرعت مشاهده شده در آرایش D، چهار برابر سرعت مشاهده شده در آرایش C است.

معادله سرعت طاهر شود زیرا 4^2 برابر با ۱ است.

سرعت واکنش با مربع غلظت NO ضرب در غلظت H_2 نسبت مستقرم دارد. اگر غلظت NO دو برابر شود، سرعت چهار برابر می‌شود (۲^۲) با ۴ است. با دو برابر شدن غلظت H_2 ، سرعت به دو برابر می‌رسد.

اگر غلظت NO و H_2 هر دو، دو برابر شود سرعت هشت برابر می‌گردد (زیرا $2^2 \times 2 = 2^3$).

مرتبه یک واکنش، مجموع توان‌های عبارت‌های غلظت در معادله سرعت است. تجزیه H_2 ، مرتبه اول است، زیرا توان $[H_2]$ در معادله سرعت ۱ است:

$$\text{سرعت} = k[N_2O_5]$$

واکنش بین N_2O_5 و HCl ، نسبت به NO_2 مرتبه اول، نسبت به HCl مرتبه اول، و به طور کلی، مرتبه دوم است:

$$\text{سرعت} = k[NO_2][HCl]$$

واکنش بین NO و H_2 ، نسبت به NO مرتبه دوم، نسبت به H_2 مرتبه اول، و به طور کلی، مرتبه سوم است.

$$\text{سرعت} = k[NO]^2 [H_2]$$

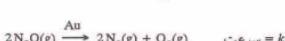
معادله سرعت یک واکنش، و در نتیجه مرتبه واکنش، باید به صورت تجزیه تعیین شود. این ویژگی ها را نمی‌توان از معادله شیمیایی واکنش به دست آورد. مرتبه یک واکنش ممکن است عدد صحیح تبادل. واکنش‌هایی با مرتبه کسری و همچنین صفر، شناخته شده‌اند. تجزیه استالدی‌هید (CH_3CHO)



در $45^\circ C$ ، معادله سرعت زیر را دارد،

$$\text{سرعت} = k[CH_3CHO]^{3/2}$$

در نتیجه، مرتبه واکنش برابر با $\frac{3}{2}$ است. تجزیه $N_2O(g)$ بر روی سطح طلا در فشار نسبتاً بالای N_2O برابر با صفر است:



وقتی فشار N_2O بالا باشد، تجزیه با سرعت یکنواختی انجام می‌شود که به غلظت N_2O بستگی ندارد. واکنش‌های شیمیایی مشابه، ضرورتاً معادله سرعت کیسان ندارند. دو واکنش زیر را در نظر بگیرید:



$$\frac{\Delta[A]}{t} = k[A] \quad (1 - ۱۴)$$

با تغییر آرایش معادله، داریم:

$$\frac{\Delta[A]}{[A]} = k \Delta t \quad (2 - ۱۴)$$

که فرم دیفرانسیلی آن، چنین است:

$$\frac{d[A]}{[A]} = k dt \quad (3 - ۱۴)$$

با انتگرال گیری معادله ۱۴ - ۳ داریم:

$$\log\left(\frac{[A]_0}{[A]}\right) = \frac{kt}{2.303} \quad (4 - ۱۴)$$

که در آن، $[A]_0$ غلظت اولیه A (غلظت در زمان صفر)، $[A]$ غلظت A در زمان t، و k ثابت سرعت است. چون:

$$\log(a/b) = \log a - \log b$$

اولین عبارت معادله ۱۴ - ۴ را می‌توان به صورت زیر در آورد:

$$\log([A]_0/[A]) = \log[A]_0 - \log[A]$$

به این ترتیب معادله ۱۴ - ۴ را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\log[A] = -\frac{kt}{2.303} + \log[A]_0 \quad (5 - ۱۴)$$

معادله ۱۴ - ۵، فرم کلی معادله یک خط راست:

$$y = mx + b$$

با $y = \log[A]$ ، $x = t$ ، $\log[A]_0 = b$ ، $-k/2.303 = m$ ، در نتیجه اگر

$\log[A]$ را بر حسب t رسم کنیم، یک خط راست با شیب (m) برابر با $-k/2.303$ و پرخودگاه (b) برابر با $\log[A]_0$ به دست می‌آوریم.

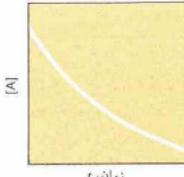
متضمنی‌های نمونه برای واکنش‌های مرتبه اول در شکل‌های ۱۴ - ۳ و ۱۴ - ۴ نمایش داده شده است. در شکل ۱۴ - ۳، غلظت واکنش دهنده

بر حسب زمان رسم شده است ($[A]$ بر حسب t). در شکل ۱۴ - ۴،

$\log[A]$ بر حسب t برای همان واکنش، رسم شده است. توجه کنید که

شکل اخیر، خطی راست با شیب $-k/2.303$ به دست می‌دهد.

اگر برای یک واکنش معین، با ترسیم لگاریتم غلظت ماده



شکل ۱۴ - ۳ نمودار غلظت ماده واکنش دهنده با نماد $[A]$ ، بر حسب زمان، t، بر حسب سرعت: $k[A]$

با مقابله داده‌های آزمایش E با آزمایش C، می‌توان این نتیجه گیری را بررسی کرد. غلظت NO سه برابر شده است:

$$\frac{3 \times 10^{-3} \text{ mol/L}}{1 \times 10^{-3} \text{ mol/L}} = 3$$

سرعت ۹ برابر شده است:

$$\frac{189 \times 10^{-6} \text{ mol/(L.s)}}{21 \times 10^{-6} \text{ mol/(L.s)}} = 9$$

چون ۳۷ برابر ۹ است، نمای ۶ باید ۲ باشد؛ عبارت غلظت NO به توان ۲ می‌رسد. معادله سرعت به صورت زیر است:

$$\text{سرعت} = k[\text{NO}]^2 [\text{O}_2]$$

مقدار k را با استفاده از داده‌های هر یک از آزمایش‌ها نیز می‌توان به دست آورد. مقدار k به دست آمده برای k در هر یک از آزمایش‌ها، یکسان خواهد بود. با استفاده از داده‌های آزمایش A، مقدار k را به صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$(7 \times 10^{-6} \text{ mol/(L.s)}) = k(1 \times 10^{-3} \text{ mol/L})^2 (1 \times 10^{-3} \text{ mol/L})$$

$$(7 \times 10^{-6} \text{ mol/(L.s)}) = k(1 \times 10^{-9} \text{ mol}^3/\text{L}^3)$$

$$k = \frac{7 \times 10^{-6} (\text{mol/L.s})}{1 \times 10^{-9} \text{ mol}^3/\text{L}^3}$$

$$k = 7 \times 10^3 \text{ L}^2/(\text{mol}^2 \text{s})$$

۱۴ - ۳ غلظت و زمان

سرعت واکنش (یا قانون سرعت) یک واکنش شیمیایی عبارت است از یک معادله ریاضی که سرعت واکنش را به غلظت مواد واکنش دهنده ربط می‌دهد. با محاسبات ساده‌ای می‌توان این معادله سرعت را به رابطه بین غلظت و زمان تبدیل کرد. در این بخش، استفاده از نوع آخر معادله را برای سه نوع واکنش ساده، مورد بحث قرار می‌دهیم.

واکنش‌های مرتبه اول
تجزیه N₂O₅



نمونه‌ای از یک واکنش مرتبه اول است. معادله سرعت برای این واکنش به صورت زیر است:

$$\text{سرعت} = k[\text{N}_2\text{O}_5]$$

با نمایش غلظت واکنش دهنده با نماد $[A]$ ، می‌توان معادله کلی زیر را نوشت:

$$\text{سرعت} = k[A]$$

این معادله سرعت را می‌توان بر مبنای سرعت کاهش غلظت A نوشت:

حل

چون پرشنش‌های مسئله بر حسب دقیقه است نه ثانیه، باید مقدار k به دست آمده در مثال ۱۴ - ۲ را از $/\text{s}$ به $/\text{min}$ تبدیل کنیم.

$$k = \left(\frac{1.35 \times 10^{-4}}{1 \text{ s}} \right) \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right) = 8.10 \times 10^{-3} \text{ min}$$

(الف) معادله ۱۴ - ۴ را به کار می‌بریم:

$$\log \left(\frac{[\text{N}_2\text{O}_5]_0}{[\text{N}_2\text{O}_5]} \right) = \frac{kt}{2.303}$$

$$\log \left(\frac{0.0300 \text{ mol/L}}{[\text{N}_2\text{O}_5]} \right) = \frac{(8.10 \times 10^{-3}/\text{min})(30.0 \text{ min})}{2.303}$$

$$= 0.1055$$

$$\frac{0.0300 \text{ mol/L}}{[\text{N}_2\text{O}_5]} = \text{antilog } 0.1055$$

$$= 1.275$$

$$[\text{N}_2\text{O}_5] = \frac{0.0300 \text{ mol/L}}{1.275}$$

$$= 0.0235 \text{ mol/L}$$

(ب) معادله ۱۴ - ۴ را مجدداً به کار می‌بریم:

$$\log \left(\frac{0.0300 \text{ mol/L}}{0.0200 \text{ mol/L}} \right) = \frac{(8.10 \times 10^{-3}/\text{min})t}{2.303}$$

$$2.303 \log 1.50 = (8.10 \times 10^{-3}/\text{min})t$$

$$t = \frac{2.303 \log 1.50}{8.10 \times 10^{-3}/\text{min}}$$

$$= \frac{2.303(0.176)}{8.10 \times 10^{-3}/\text{min}}$$

$$= 50.0 \text{ min}$$

(ج) این نوع مسئله را می‌توان با روش به کار رفته در بخش (ب)، حل کرد. چون NO_2 از N_2O_5 تجزیه شده است، $[\text{NO}_2]$ برابر با $0.10 \times [\text{N}_2\text{O}_5]$ است؛ غلظت اولیه، یعنی $[\text{N}_2\text{O}_5]_0$ ، است:

$$[\text{N}_2\text{O}_5] = 0.100[\text{N}_2\text{O}_5]_0$$

$$= 0.100(0.0300 \text{ mol/L})$$

$$= 0.00300 \text{ mol/L}$$

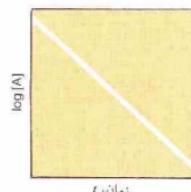
پس، این مقدار را به شیوه قسمت (ب) در معادله ۱۴ - ۴ قرار می‌دهیم. راه دیگر برای حل مسئله این است که به معادله‌های زیر توجه کنیم:

$$[\text{N}_2\text{O}_4] = 0.100[\text{N}_2\text{O}_5]_0$$

$$[\text{N}_2\text{O}_5]_0 = \frac{[\text{N}_2\text{O}_5]}{0.100[\text{N}_2\text{O}_5]}$$

$$= 10.0$$

معادله ۱۴ - ۴ را دوباره به کار می‌بریم:



شکل ۱۴ - ۴ نمودار لگاریتم غلظت ماده واکنش دهنده، $\log[A]$ ، بر حسب زمان، t ، برای یک واکنش مرتبه اول که به صورت یک خط راست با شیب $-k/2.303$ است.

واکنش دهنده بر حسب زمان، یک خط راست به دست آید، واکنش مرتبه اول است. علاوه بر این، مقدار ثابت سرعت، یعنی k را از شیب خط می‌توان به دست آورد.

مثال ۱۴ - ۱۶
برای واکنش:



وقتی $[\text{N}_2\text{O}_5]$ بر حسب mol/L می‌شود، یک خط راست به دست می‌آید. شیب این خط را از داده‌های واکنشی که در 35°C انجام شده، برابر با $0.5 \times 10^{-5} \text{ mol}^{-1}\text{min}^{-1}$ شده است. مقدار ثابت سرعت، k ، برای این واکنش مرتبه اول را به دست آورید.

حل

براساس معادله ۱۴ - ۵، شیب خط برابر است با:

$$-k/2.303 = \text{شیب}$$

بنابراین،

$$-k/2.303 = -5.86 \times 10^{-5}/\text{s}$$

$$k = 1.35 \times 10^{-4}/\text{s}$$

مثال ۱۴ - ۱۷

در مطالعه تجزیه $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ در 35°C ، غلظت اولیه $[\text{N}_2\text{O}_5](0)$ ، برابر با 0.10 mol/L اختیار شده است. با استفاده از ثابت سرعت به دست آمده در مثال ۱۴ - ۲، (الف) غلظت N_2O_5 پس از 3°C دقیقه را به دست آورید، (ب) پس از چند دقیقه، غلظت $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ پس از 20°C می‌رسد، (ج) پس از چند دقیقه، 90% از $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ تجزیه می‌شود؟

مثال ۱۴ نیمه عمر تجزیه $\text{N}_2\text{O}_5(g)$ در 65°C برابر 248 min است. مقدار ثابت سرعت، k ، این واکنش را در دمای 65°C به دست آورید.

$$\begin{aligned} \text{حل} \\ \text{از معادله } ۱۴ - ۷ \text{ داریم:} \end{aligned}$$

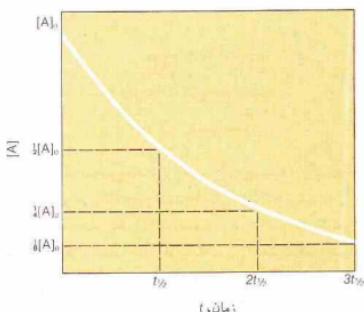
$$k = \frac{0.693}{t_{1/2}}$$

$$= \frac{0.693}{2.38 \text{ min}}$$

$$= 0.291/\text{min}$$

محضی نشان داده شده در شکل ۱۴ - ۵، نمودار $[A]$ بر حسب t برای واکنش مرتبه اول، مشابه با محضی نشان داده شده در شکل ۱۴ - ۳ است. ولی، در شکل ۱۴ - ۵، نیمه عمر واکنش نشان داده شده است.

در آغاز واکنش (۰)، غلظت A برابر با $[A]_0$ می‌باشد که در شکل ۱۴ - ۵ مشخص شده است. پس از گذشتن یک نیمه عمر، غلظت A به نصف غلظت اولیه، یعنی $\frac{1}{2}[A]_0$ می‌رسد. با فرا رسیدن دو نیمه عمر، یعنی $\frac{1}{2} \times 2 = 2$ ده شکل ۱۴ - ۵، غلظت A دوباره نصف می‌شود و به $\frac{1}{4}[A]_0$ کاهش می‌یابد. این کاهش منظم غلظت، از ویژگی‌های واکنش‌های مرتبه اول است.



شکل ۱۴ - ۵ نمودار غلظت مادة واکشن دهنده، $[A]$ ، بر حسب زمان، t ، برای یک واکنش مرتبه اول. سه نیمه عمر و غلظت‌های مربوطه، بر روی محضی شده‌اند.

$$\log\left(\frac{[N_2\text{O}_5]_0}{[N_2\text{O}_5]} \right) = \frac{kt}{2.303} \quad (۴ - ۱۴)$$

$$\log 10 = \frac{(8.10 \times 10^{-3}/\text{min})t}{2.303}$$

$$\begin{aligned} t &= \frac{2.303(\log 10)}{8.10 \times 10^{-3}/\text{min}} \\ &= 284 \text{ min} \end{aligned}$$

زمان لازم برای اینکه نصف مادة واکشن دهنده وارد واکشن شود را نیمه عمر آن واکشن، $t_{1/2}$ نامند. اگر نصف غلظت اولیه واکشن دهنده تا پیدید شود،

$$[A] = \frac{1}{2}[A]_0 \quad (۴ - ۱۴)$$

با قرار دادن معادله ۱۴ - ۶ در معادله ۱۴ - ۴ داریم:

$$\log\left(\frac{[A]_0}{[A]} \right) = \frac{kt}{2.303} \quad (۴ - ۱۴)$$

$$\log\left(\frac{[A]_0}{\frac{1}{2}[A]_0} \right) = \frac{kt_{1/2}}{2.303}$$

$$\log 2 = \frac{kt_{1/2}}{2.303} \quad (۷ - ۱۴)$$

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{k} \quad (۷ - ۱۴)$$

توجه کنید که نیمه عمر هر واکشن مرتبه اول، ثابتی مستقل از غلظت مادة واکشن دهنده است.

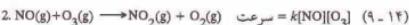
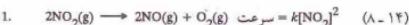
مثال ۱۴ نیمه عمر تجزیه $\text{N}_2\text{O}_5(g)$ در 35°C چقدر است؟ ثابت سرعت این واکشن در این دما، $8.10 \times 10^{-3}/\text{min}$ است.

حل
معادله را با قرار دادن ارقام در معادله ۱۴ - ۷ حل می‌کنیم:

$$\begin{aligned} t_{1/2} &= \frac{0.693}{k} \\ &= \frac{0.693}{8.10 \times 10^{-3}/\text{min}} \\ &= 85.6 \text{ min} \end{aligned} \quad (۷ - ۱۴)$$

واکنش‌های مرتبه دوم

فراتیندهای زیر نمونه‌هایی از واکنش‌های مرتبه دوم هستند. معادله‌های سرعت زیر در کنار معادلات شیمیابی آمده است.



به این ترتیب، دو عبارت کلی برای معادله سرعت واکنش‌های مرتبه دوم می‌توان نوشت:

$$\text{سرعت} = k[\text{A}]^2 \quad (10-14)$$

$$\text{سرعت} = k[\text{A}][\text{B}] \quad (11-14)$$

در اینجا، فقط نوع اول معادله سرعت [معادله ۱۰-۱۳] که از نظر ریاضی ساده‌تر است، را بحث می‌کنیم. این معادله را برای توصیف معادلات سرعت واکنش‌های مرتبه دوم که در آن فقط یک ماده واکنش دهنده (مانند آنچه که در معادله ۱۴ - ۸ نشان داده شده است) وجود دارد می‌توان به کار برد. این معادله را همچنین برای مواردی که در آنها دو ماده واکنش دهنده (مانند معادله ۹ - ۱۴) اما با غلظت مساوی وجود دارند، می‌توان مورد استفاده قرار داد.

فرم دیفرانسیلی معادله سرعت [معادله ۱۰-۱۵] به صورت زیر است:

$$-\frac{d[\text{A}]}{[\text{A}]^2} = k dt \quad (12-14)$$

این معادله را با عملیات ساده ریاضی می‌توان به صورت زیر درآورد:

$$\frac{1}{[\text{A}]} - \frac{1}{[\text{A}]_0} = kt \quad (13-14)$$

که در آن $[\text{A}]$ = غلظت در زمان t ، $[\text{A}]_0$ = غلظت در $t=0$ ، k = ثابت سرعت است. معادله ۱۰ - ۱۳ را به صورت زیر می‌توان درآورد:

$$\frac{1}{[\text{A}]} = kt + \frac{1}{[\text{A}]_0} \quad (14-14)$$

مقایسه معادله ۱۰ - ۱۴ با معادله کلی خط راست،

$$y = mx + b$$

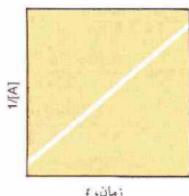
نشانی مده که متغیر حاصل از ترسیم $\frac{1}{[\text{A}]}$ بر حسب t ، یک خط مستقیم با شیب k و برخوردارگاه $\frac{1}{[\text{A}]_0}$ است (شکل ۱۳ - ۶ را ببینید).

معادله نیمه عمر یک واکنش مرتبه دوم را به صورت زیر می‌توان به دست آورد. چون نصف مقدار اولیه A در $t_{1/2}$ مصرف شده است:

$$[\text{A}] = \frac{[\text{A}]_0}{2} \quad (15-14)$$

در نتیجه، از معادله ۱۰ - ۱۳ داریم:

$$\frac{1}{[\text{A}]_0/2} - \frac{1}{[\text{A}]_0} = kt_{1/2}$$



شکل ۱۴ - ۶ نمودار $1/\text{[A]}$ بر حسب زمان، برای یک واکنش مرتبه دوم که در آن، $k = [\text{A}]^2$ سرعت، برای این نوع از واکنش‌های نوع دوم، نمودار $1/\text{[A]}$ بر حسب t ، به صورت خط راست است.

$$\frac{2}{[\text{A}]_0} - \frac{1}{[\text{A}]_0} = kt_{1/2}$$

$$\frac{1}{[\text{A}]_0} = kt_{1/2}$$

$$t_{1/2} = \frac{1}{k[\text{A}]_0} \quad (16-14)$$

توجه کنید که نیمه عمر این واکنش، مستقل از غلظت واکنش دهنده نیست. نیمه عمر یک واکنش معنی مرتبه اول، صرف نظر از غلظت اولیه واکنش، یکسان است. ولی، نیمه عمر یک واکنش معنی مرتبه دوم بر حسب غلظت اولیه ماده واکنش دهنده، متفاوت است.

مثال ۱۴ - ۶

تجزیه



یک واکنش مرتبه دوم است و ثابت سرعت آن در 40°C $4 \times 10^{-5} \text{ L/mol.s}$ است. در آزمایش انجام شده در 40°C ، غلظت اولیه $\text{HI}(\text{g})$ برابر 0.34 mol/L بوده است. (الف) غلظت $\text{HI}(\text{g})$ پس از ۱۲ دقیقه چقدر است؟ (ب) پس از چند دقیقه غلظت HI

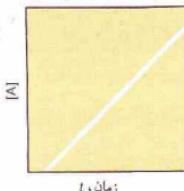
به 25 mol/L می‌رسد؟ (ج) نیمه عمر این سیستم چقدر است؟

حل

مانند مثال پیش، بهتر است واحد زمان را به جای ثانی، دقيقه بگیریم. مقدار k از واحدهای « $\text{mol}^{-1}\text{min}^{-1}$ » به واحدهای « $\text{mol}^{-1}\text{s}^{-1}$ » تبدیل می‌کنیم.

$$k = \left(\frac{5.1 \times 10^{-4}}{1 \text{ (mol.s)}} \right) \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right) = 3.06 \times 10^{-2} \text{ L/(mol} \cdot \text{min)}$$

(الف) معادله ۱۴ - ۱ را مورد استفاده قرار می‌دهیم:



شکل ۱۴ - ۷ مودار غلظت واکنش دهنده، $[A]$ ، بر حسب زمان، برای یک واکنش مرتبه صفر که برای آن، سرعت k است، این نوع نمودارها برای واکنش‌های مرتبه صفر، خط راست هستند.



فرم دیفرانسیل معادله سرعت واکنش مرتبه صفر به صورت زیر است:

$$-\frac{d[A]}{dt} = k \quad (۱۹ - ۱۴)$$

که قابل تبدیل به معادله زیر است:

$$[A]_0 - [A] = kt \quad (۲۰ - ۱۴)$$

یا

$$[A] = -kt + [A]_0 \quad (۲۱ - ۱۴)$$

مقایسه معادله ۱۴ - ۲۱ با معادله یک خط مستقیم:

$$y = mx + b$$

نشان می‌دهد که ترسیم $[A]$ بر حسب t برای یک واکنش مرتبه صفر، خطی راست با شیب $-k$ و برخوردهای $[A]_0$ به دست می‌دهد (شکل ۱۴ - ۷ را ببینید).

معادله نیمه عمر واکنش مرتبه صفر را توجه به اینکه در $\frac{1}{2}$ $[A]$ برای $\frac{1}{2}$ t است می‌توان از معادله ۱۴ - ۲۰ به دست آورد، به این ترتیب:

$$kt_{1/2} = [A]_0 - \frac{1}{2}[A]_0 \quad (۲۲ - ۱۴)$$

$$t_{1/2} = \frac{[A]_0}{2k}$$

جدول ۱۴ - ۱ ویژگی‌های واکنش‌های مرتبه صفر، مرتبه اول، و مرتبه دوم را نشان می‌دهد.

مثال ۱۴ - ۱ از مطالعه تجزیه $\text{NOCl}(\text{g})$ در 20°C

$$\frac{1}{[\text{HI}]} = kt + \frac{1}{[\text{HI}]_0}$$

$$\frac{1}{[\text{HI}]} = [3.06 \times 10^{-2} \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{min})][12 \text{ min}] + \frac{1}{0.36 \text{ mol/L}}$$

$$= 0.367 \text{ L/mol} + 2.78 \text{ L/mol}$$

$$= 3.15 \text{ L/mol}$$

$$[\text{HI}] = 0.32 \text{ mol/L}$$

(ب) با استفاده از معادله ۱۴ - ۱۳ داریم:

$$kt = \frac{1}{[\text{HI}]} - \frac{1}{[\text{HI}]_0}$$

$$[3.06 \times 10^{-2} \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{min})]t = \frac{1}{0.25 \text{ mol/L}} - \frac{1}{0.36 \text{ mol/L}}$$

$$= 4.00 \text{ L/mol} - 2.78 \text{ L/mol}$$

$$= 1.22 \text{ L/mol}$$

$$t = 40 \text{ min}$$

(ج) نیمه عمر واکنش را از معادله ۱۴ - ۱۶ به دست می‌آوریم:

$$t_{1/2} = \frac{1}{k[\text{HI}]_0}$$

$$= \frac{1}{[3.06 \times 10^{-2} \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{min})][0.36 \text{ mol/L}]} \\ = 91 \text{ min}$$

توجه کنید که این نیمه عمر فقط در موردی صادق است که غلظت اولیه HI با 0.36 mol/L باشد. برای سایر مقادیر $[\text{HI}]_0$ ، مقدار $t_{1/2}$ متفاوت است.

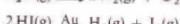
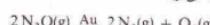
واکنش‌های مرتبه صفر سرعت یک واکنش مرتبه صفر، مستقل از غلظت واکنش دهنده است، به طور کلی،

$$- \frac{d[A]}{dt} = k[A]^0 \quad (۱۷ - ۱۴)$$

$$, [\text{A}]^* = \text{سرعت}$$

$$= k \quad (۱۸ - ۱۴)$$

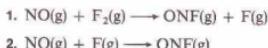
تجزیه گازهای معین بر روی سطح کاتالیزورهای جامد، نمونه‌هایی از واکنش‌های مرتبه صفرند. در واکنش‌های شیمیابی، کاتالیزور را بر روی پیکان واکنش می‌نویسند:



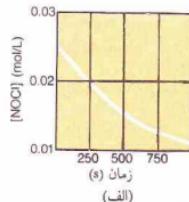
خود ممکن است واکنش دهنده مرحله بعدی باشد. مثلاً تشكیل نیتروزیل فلوئورید (ONF) را در نظر بگیرید:



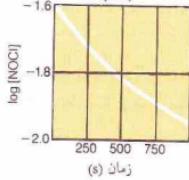
این واکنش مکانیسم دو مرحله‌ای دارد:



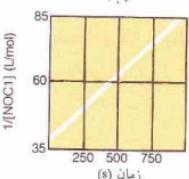
توجه کنید که معادله شیمیایی واکنش کلی شامل مجموع معادلات مراحل مکانیسم است. آتم‌های F تولید شده در مرحله اول، در مرحله دوم به صرف می‌رسند، در نتیجه ضمن جمع زدن معادلات حذف می‌شوند. آتم‌های F، حد واسطه‌های واکنش‌اند، یعنی موادی که طی واکنش تولید می‌شوند و به صرف می‌رسند، در نتیجه نه ماده‌واکنش دهنده و نه فواروده واکنش هستند. ولی برخی واکنش‌ها در یک مرحله انجام می‌شوند. واکنش بین متیل برومید (CH_3Br) و سدیم



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱۴ - نمودار داده‌های سیستمیکی به دست آمده از مطالعه واکنش



در 0°C ، (الف) $[\text{NOCl}]$ بر حسب t ، (ب) $\log[\text{NOCl}]$ بر حسب t ، (ج) $1/[\text{NOCl}]$ بر حسب t ، چون نمودار (ج) خطی است، واکنش مرتبه دوم می‌باشد (جدول ۱۴ - ۱ را ببینید).

جدول ۱۴ - ۱ ویژگی‌های برخی واکنش‌ها

مرتبه	سرعت	خط راست	غلظت - زمان	رابطه	نمودار	نیمه عمر	معادله
صفرا	= k	$\frac{1}{[A]} = k t + C$	$[A]_0 - [A] = k t$	بر حسب t	$[A]$	$t = \frac{1}{k[A]} \ln \frac{[A]_0}{[A]}$	
پک	= $k[A]$	$\frac{1}{[A]} = \frac{k t}{2} + C$	$\log \frac{[A]_0}{[A]} = \frac{k t}{2} + C$	بر حسب t	$\frac{1}{[A]}$	$t = \frac{2 \log \frac{[A]_0}{[A]}}{k}$	
دو	= $k[A]^2$	$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} - \frac{k t}{2}$	$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} - \frac{k t}{2}$	بر حسب t	$\frac{1}{[A]}$	$t = \frac{2}{k[A]} \ln \frac{[A]_0}{[A]}$	



اطلاعات زیر به دست آمده است:

[NOCl] (mol/L)	(s) زمان
۰.۷۵	*
۰.۶۲	۲۰۰
۰.۵۹	۴۰۰
۰.۳۶	۷۰۰
۰.۲۰	۹۰۰

مرتبه این واکنش نسبت به NOCl ، صفر، اول، یا دوم است؟

حل

جدول زیر را تنظیم می‌کنیم:

$\frac{1}{[\text{NOCl}]}$ (L/mol)	$\log [\text{NOCl}]$	$[\text{NOCl}]$ (mol/L)	(s)
۰.۷۵	-۰.۴۶	۰.۷۵	*
۰.۶۲	-۰.۶۹	۰.۶۲	۲۰۰
۰.۵۹	-۰.۷۷	۰.۵۹	۴۰۰
۰.۳۶	-۰.۸۷	۰.۳۶	۷۰۰
۰.۲۰	-۰.۹۲	۰.۲۰	۹۰۰

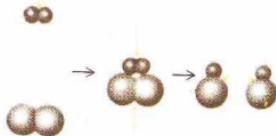
داده‌های این جدول را برای تهیه سه نمودار به کار می‌بریم: $\log[\text{NOCl}]$ بر حسب t ، $1/\text{[NOCl]}$ بر حسب t ، و $[\text{NOCl}]$ بر حسب t . در شکل ۱۴ - ۸ می‌بینیم که نمودار $1/\text{[NOCl]}$ بر حسب t خطی است. در نتیجه واکنش نسبت به NOCl مرتبه دوم می‌باشد (جدول ۱۴ - ۱ را ببینید).

$$\text{سرعت} = k[\text{NOCl}]^2$$

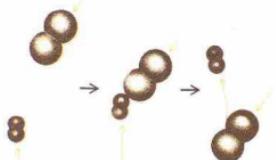
۱۴ - ۳ واکنش‌های یک مرحله‌ای

معادله شیمیایی یک واکنش، رابطه استرکیو متري بین موداد واکنش دهنده اولیه و فواروده‌های نهایی را به دست می‌دهد. اما اغلب مکانیسم یک واکنش شامل چندین مرحله است. فواروده یک مرحله

هیدروکسید در اتیل الکل آبی به عنوان حلال



شکل ۱۴ - ۹ برخورد بین یک مولکول A_4 و یک مولکول B_4 که منجر به یک واکنش می‌شود.



شکل ۱۴ - ۱۰ برخورد بین یک مولکول A_4 و یک مولکول B_4 که منجر به انجام واکنش نمی‌شود.

اگر در مورد واکنش‌های گرمایش و گرمایش مشاهده می‌شود، افزایش دما به میزان 10°C ، در تزدیکی دمای متعارفی، اغلب موجب افزایش سرعت به میزان 100% تا $7\% \cdot 10^0$ می‌شود. حرکت سریع تر مولکول‌ها در اثر افزایش دما، موجب افزایش تعداد برخوردهای مولکولی در واحد زمان می‌شود. اما این عامل به تنهایی نمی‌تواند افزایش سرعت را تبیین کند. افزایش دما از 25°C به 35°C سبب افزایش تعداد برخوردهای مولکولی به میزان 7% می‌شود. روشن است که افزایش دما تعداد برخوردهای مولکولی مؤثر را افزایش می‌دهد، و این عامل باید مهم‌تر از دو عامل دیگر باشد.

با بررسی شکل ۱۴ - ۱۱، می‌توان علت زیادتر بودن برخوردهای



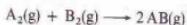
و واکنش زیر که در فاز گازی انجام می‌شود



نمونه‌های از واکنش‌های یک مرحله‌ای‌اند. در این بخش چگونگی انجام این نوع واکنش‌ها را بررسی خواهیم کرد. بحث ما در مورد چگونگی انجام یک مرحله‌ای یک مکاتیسم چند مرحله‌ای نیز صادق است.

نظریه برخورد

نظریه برخورد در مورد سرعت واکنش‌ها، واکنش‌ها را براساس برخوردهای بین مولکول‌های واکنش‌دهنده توصیف می‌کند. فرض کنید که واکنش فاز گازی زیر:



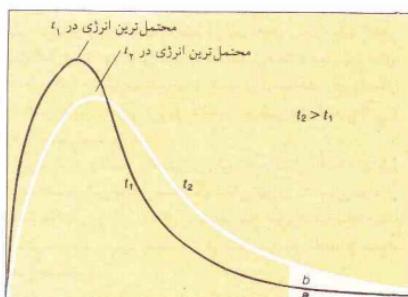
همان طور که در شکل ۱۴ - ۹ نشان داده شده است، در اثر برخوردهای بین مولکول‌های A_2 و B_2 انجام گیرد. یک مولکول A_2 و یک مولکول B_2 با هم برخورد می‌کنند. پوندهای $A-B$ و $A-A$ شکسته می‌شوند

و دو پوند جدید $A-B$ تشکیل می‌دهند و دو مولکول AB صلحه برخورد را ترک می‌کنند. سرعت واکنش با تعداد برخوردهایی که در یک فاصله زمانی معین صورت می‌گیرند، متناسب است.

ولی محاسبات نشان می‌دهد که تعداد برخوردهای مولکولی در واحد زمان در چنین وضعیتی بسیار زیاد است. در دمای متعارفی و فشار 1 atm ، حدود 10^{31} برخورد در لیتر، طی یک ثانیه رخ می‌دهد. اگر هر برخورد بین یک مولکول A_2 و یک مولکول B_2 منجر به یک واکنش شود، فرایند طی کسری از ثانیه انجام می‌شود. اغلب واکنش‌ها، چنین سریع نیستند.

البته تمام برخوردهای بین A_2 و B_2 به انجام واکنش ختم نمی‌شود. تعداد برخوردهایی که به واکنش می‌انجامد، مبنی برخوردهای مؤثر، بخش بسیار کوچکی از کل برخوردهای بین مولکول‌های A_2 و B_2 است. دو دلیل برای نامناسب بودن یک برخورد وجود دارد. نخست مولکول‌ها ممکن است چهنهای بزرگی مناسب تداشته باشند (شکل ۱۴ - ۱۰ را ببینید). ثانیاً، برخورد ممکن است چنان آرام باشد که مولکول‌ها بدون تغییر بمانند. البته ابر اکتودونی یک مولکول، بار منفی دارد. وقتی دو مولکول گذشته به یکدیگر تزدیک شوند، به علت دافعه ناشی از ابر الکترونیکی، از کنار هم رد می‌شوند. اما مولکول‌هایی که با سرعت زیاد در حرکت مستقرند، برین دافعه غایبی می‌کنند؛ ضربه ناشی از برخورد بین آنها منجر به انجام واکنش می‌شود. یا یک برخورد مؤثر، مجموع اثری مولکول‌های برخورد کننده، باید برابر با، یا بیشتر از یک مقدار کمیمه باشد.

اگر دما بر سرعت واکنش این دیدگاه را تقویت می‌کند. تقریباً، سرعت تمام واکنش‌های شیمیایی در اثر افزایش دما زیاد می‌شود. این



کمترین مقدار انرژی لازم برای انجام واکنش

شکل ۱۴ - ۱۱ توزیع انرژی مولکولی در دمای‌های

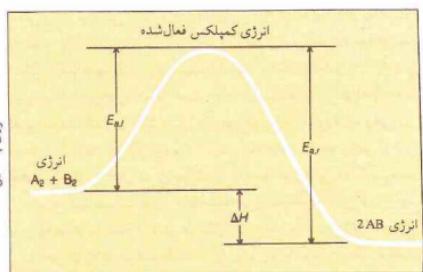
مولکولی در دمای بالاتر نسبت به دمای پایین تر را دریافت، دو منحنی توزیع انرژی مولکولی، یکی برای دمای A_p و دیگری برای دمای بالاتر یعنی A_t نشان داده است. کمترین مقدار انرژی لازم برای واکنش، در شکل ۱۴ - ۱۱ مخصوص شده است. تعداد مولکول هایی که در A_t دارای انرژی برابر با پیشتر از این انرژی کمینه هستند، مناسب با مساحت، a زیر منحنی مربوط به A_t است.

منحنی مربوط به دمای A_p فقط اندکی در جهت انرژی بالاتر جای به جا شده است، ولی در A_t تعداد مولکول هایی که دارای انرژی کافی برای واکنش موقوفیت آمیز در اثر برخورد دارند، پیشتر است و مناسب با مساحت $a + b$ باشد. به این ترتیب افزایش سرعت واکنش در اثر بالا بردن دما، اصل به علت افزایش تعداد برخوردهای مؤثر است. افزایش تعداد کل برخوردها در واحد زمان فقط یک عامل جزئی است. تحلیل ریاضی اثر دما بر سرعت واکنش ها در بخش ۱۴ - ۷ آمده است.



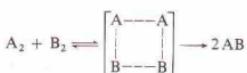
لامپ فلاش، پیش و پس از روشن شدن. لامپ حاوی سیم متیزیم در جوئی اکسیژن خالص است. با عبور جریان الکتریکی ضمیمی از سیم متیزیم، سیم گرم می شود و به این ترتیب انرژی فعال سازی واکنش تأمین می گردد. با انجام یک واکنش سریع، متیزیم اکسید، گرماء، و نور تولید می شود.

این صورت واکنشی انجام نمی شود. اگر کمپلکس چنان گستته شود که دو مولکول AB به وجود آید، انرژی نشان داده شده با نامد E_{AB} بر روی شکل ۱۴ - ۱۲ به صورت انرژی چند شده، E_A و انرژی آزاد شده، E_{AB} را تغییر آنتالپی، ΔH ، واکنش نامند:



شکل ۱۴ - ۱۲ - نمودار انرژی پتانسیل برای واکنش فرطی $A_2 + B_2 \rightleftharpoons A_2B_2 \rightleftharpoons 2AB$

نظیری حالت گذار
نظریه حالت گذار، انرژی لازم برای انجام یک برخورد موفق را به صورتی نسبتاً متفاوت بیان می کند. اجازه بدهید دوباره به سیاغ و واکنش $A_p + B_p \rightleftharpoons AB$ در یک برخورد آرام، مولکول های A و B با اثر بار مربوط به این الکترونی شان از یکدیگر دور می شوند و هیچگاه جانشین به هم نزدیک نمی شوند که پیوندها $A - A$ به وجود آیند. ولی در یک برخورد موقوفیت آمیز، مولکول های پر انرژی A_p و B_p کمپلکس A_pB_p شکل می دهند. کمپلکس A_pB_p تشكیل می دهد. کمپلکس AB تشكیل شود و مولکول های AB تولید کند یا دوباره به صورت مولکول های A_p و B_p در آید:



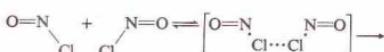
کمپلکس فعال شده را معمولاً در داخل کروشه نشان می دهند، زیرا مولکولی نیست که بتوان آن را جدا ساخت با شناسایی کرد. بلکه آرایش تاباپدار اینهاست که فقط در یک لحظه وجود دارد. گامی حالت گذار نیز نامیده می شود. در کمپلکس فعال شده، پیوندهای $B - A$ و $A - A$ ضعیف شده و تا حدودی گستته اند، و پیوندهای $A - B$ نیز به میزان جزئی شکل شده اند. کمپلکس فعال شده، حالتی با انرژی پتانسیل نسبتاً بالاست.

نمودار انرژی پتانسیل واکنش بین A_p و B_p در شکل ۱۴ - ۱۲ نمایش داده شده است. این شکل نمایشگر نقش انرژی پتانسیل مواد در تغییرات واکنش در طی واکنش است. فواصل مربوط به مختصات واکنش سیانگر میزان پیشرفت در تولید فراروده ها از مسواه واکنش دهنده است.

تفاوت انرژی پتانسیل مواد واکنش دهنده، A_p و B_p و انرژی پتانسیل کمپلکس فعال شده، A_pB_p را انرژی فعال سازی نامند و با نماد ΔE_p به صورت انرژی چندی که مولکول های A_p و B_p می رسد. در

N_2O کشیده و ضعیف شده و پیوند جدیدی بین اتم O و اتم N در مولکول NO به صورت جزئی، به وجود آمده است. انرژی فعالسازی واکنش $NO + Cl \rightarrow NOCl$ و $\Delta H = -40\text{ kJ/mol}$ است.

واکنش گرمگیری که در شکل ۱۴ - ۱۳ نمایش داده شده به صورت زیر است:



پیوندهای N - Cl در دو مولکول $NOCl$ در کمپلکس فعالشده، در شرف گستن آند و پیوند جدید Cl - Cl در شرف تشکیل است. انرژی فعالسازی برای این واکنش $\Delta H = +48\text{ kJ/mol}$ و $\Delta H' = +76\text{ kJ/mol}$ است.

۱۴ - ۵ معادلات سرعت برای واکنش های یک مرحله‌ای

مولکولاریتی یک مرحله از یک واکنش به عده مولکول های شرکت‌کننده در آن مرحله اشاره دارد. به این ترتیب مرحله‌ای از یک مکانیسم را بررسی آنکه یک، دو، یا سه مولکول در آن مرحله شرکت ناشته باشند، می‌توان یک مولکولی، دو مولکولی، یا سه مولکولی نامید. اغلب واکنش‌ها در یک مرحله انجام نمی‌شوند، بلکه طی چند مرحله صورت می‌گیرند. هر مرحله را براساس مولکولاریته می‌توان توصیف کرد، ولی چنین توصیفی در مورد یک واکنش شامل بیش از یک مرحله صادق نیست.

مولکولاریتی یک واکنش یک مرحله‌ای، تعیین‌کننده مرتبه واکنش است. ضرایب معادله شیمیایی برای هر مرحله، به صورت نمایهای در معادله سرعت ظاهری می‌شوند، مثلاً:



$$\Delta H = E_{a,f} - E_{a,i}$$

چون در این مثال، $E_{a,f}$ بزرگتر از $E_{a,i}$ است، ΔH منفی و واکنش گرمایاست. یک سد انرژی پتانسیل بین واکنش‌دهنده‌ها و فواروده‌هاست. گرچه انرژی مولکول‌های واکنش‌دهنده بالاتر از انرژی مولکول‌های فواروده است، سیستم باید بیش از آنکه بتواند به حالت کم انرژی تو برسد، از تپه انرژی پتانسیل بالا رود. وقتی مولکول‌های B_2 که انرژی جنبشی نسبتاً کمی دارند به یکدیگر نزدیک شوند، انرژی آنها برای تولید کمپلکس فعالشده کافی نخواهد بود. در این مورد انرژی پتانسیل مولکول‌ها مولکول‌ها قطب برای بالا رفتن از امامه تپه کافی است. پس با دفع یکدیگر، به پایین آمده و بدون تغییر از هم جدا می‌شوند.

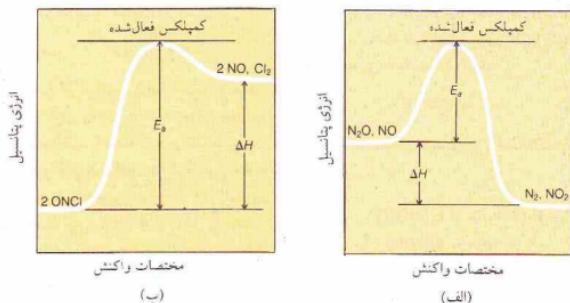
اگر واکنش نمایش داده شده، در شکل ۱۴ - ۱۴ بروگشت پذیر می‌بود، واکنش معکوس را می‌توانستیم خواندن شکل از قطب تغییر کنیم. انرژی فعالسازی برای واکنش معکوس برای B_2 ، و انرژی آزاد شده در اثر تشکیل فواروده‌ها (در این مورد A_2 و B_2 از کمپلکس فعال شده برای B_2 خواهد بود. تغییر آنتالپی برای واکنش معکوس به قرار زیر است:

$$\Delta H = E_{a,r} - E_{a,f}$$

تغییر آنتالپی مثبت است، زیرا $E_{a,r}$ بزرگتر از $E_{a,f}$ می‌باشد. در نتیجه واکنش معکوس گرمگیر است. در شکل ۱۴ - ۱۳، دو نمودار انرژی پتانسیل نمایش داده شده است - یکی برای واکنش یک مرحله‌ای گرمایزا و دیگری برای واکنش یک مرحله‌ای گرمگیر. واکنش گرمایش بین N_2O و NO را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:



نمودار کمپلکس فعال شده نشان می‌دهد که پیوند O - N در مولکول



شکل ۱۴ - ۱۳ نمودار انرژی پتانسیل برای واکنش‌های یک مرحله‌ای: (الف) یک واکنش گرمایزا و (ب) یک واکنش گرمگیر

چون سرعت واکنش با تعداد کل برخوردها در ثانیه متناسب است،

$$\text{سرعت} = \frac{1}{2} n^2$$

تعداد مولکول‌های موجود در ظرف واکنش، یعنی n ، تعیین‌کننده غلظت A است؛ بنابراین n^2 متناسب با $[A]^2$ است. ثابت $1/2$ را می‌توان در ثابت تناسب، یعنی k ، منظور کرد. در نتیجه،

$$\text{سرعت} = k[A]^2$$

به این ترتیب نظریه برخورد را می‌توان برای توجه این واقعیت تجربی که مولکولاریتی یک مرحله تعیین‌کننده مرتبه واکنش است، به کار گرفت.

۳- مراحل سه مولکولی. از لحاظ نظری سه نوع واکنش مسه مولکولی وجود دارد:



مراحل سه مولکولی در مکانیسم واکنش‌ها مطرح می‌شوند. ولی چندان متداد نیستند، زیرا شامل برخورد هم‌زمان بین سه جسم‌اند. چنین برخوردهایی که در آنها یاد سه جسم به طور هم‌زمان با یکدیگر برخورد کنند، رادر است.

مراحلی که در فرود بالا آمده فقط پیانگر انتواع احتمالات در مکانیسم واکنش هاست. مراحل مکانیسمی شامل مولکولاریتی بالاتر از سه، هیچ‌گاه مطற شده است. شناس برخورد مؤثر و هم‌زمان چهار جسم، چنان‌اند که است که هیچ‌گاه چنین برخوردی به عنوان یخشی از مکانیسم یک واکنش پیشنهاد نشده است.

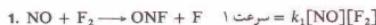
۶- مکانیسم واکنش‌ها

معادله سرعت یک واکنش یا یک واکنش پیشنهاد به صورت تجزیی تعیین شود. براساس این معادله سرعت و شواهد تجزیی دیگر (مانند شناسایی یک حد واسطه واکنش)، مکانیسمی برای آن واکنش پیشنهاد می‌شود. به این ترتیب، مکانیسم فقط یک فرضیه است.

معادله سرعت زیر برای تشکیل نیتروزیل فلوئورید به صورت تجزیی به دست آمده است:



مکانیسم‌های پیشنهادی و معادلات سرعت دو مولکولی مربوطه عبارتند از:



مجموع دو مرحله، واکنش کلی را به دست می‌دهد که در آن، اتم‌های F حد واسطه واکنش‌اند. فرض می‌کیم که مرحله اول اسپار آهنگتر از مرحله دوم باشد. مرحله ۱ به آنستگی اتم‌های F را تولید می‌کند. این

ضریب (۲) مربوط به A در معادله شیمیابی، شعای [A] در معادله سرعت است؛ ضریب B نیز نمای [B] می‌باشد. چون در این واکنش سه مولکول در گیرنده، سه مولکولی است و معادله سرعت، به طور کلی، مرتبه سوم می‌باشد. این روش به است آوردن معادلات سرعت را نمی‌توان در مورد تمام معادلات شیمیابی به کار برد؛ فقط در صورتی که کار برده می‌شود که معادله شیمیابی به یک واکنش یک مرحله‌ای مربوط باشد. اتفاق مراحل زیر را در نظر می‌گیریم:

۱- مراحل یک مولکولی. یک واکنش یک مرحله‌ای، مرتبه‌اول است:



چنین واکنش، هنگامی رخ می‌دهد که یک مولکول پر انرژی A به مولکول‌های کوچکتری شکسته شود یا ساختار مولکولی جدیدی پیدا کند. سرعت واکنش، متناسب با غلظت مولکول‌های A است.

۲- مراحل دو مولکولی. دو نوع مرحله دو مولکولی وجود دارد. نوع اول، چنین است:



این واکنش، در اثر برخورد دین مولکول‌های A و B در دهد. سرعت واکنش متناسب با تعداد برخوردهای بین A و B در ثانیه است. اگر غلظت را در برابر کنیم، سرعت نیز دو برابر خواهد شد، زیرا تعداد مولکول‌های A در یک حجم معین، و تعداد برخوردهای بین A و B در یک ثانیه، به دو برابر خواهد رسید. اگر غلظت A را به برابر کنیم، تعداد برخوردها در ثانیه سه برابر خواهد شد. هر تغییری در غلظت A، در سرعت واکنش بازتاب پیدا می‌کند. در نتیجه سرعت واکنش با توان اول A متناسب است.

به همین ترتیب تغییر غلظت B تغییرات مشابهی در تعداد برخوردهای بین A و B در ثانیه به وجود می‌آورد. سرعت واکنش با توان اول B نیز متناسب است. در نتیجه واکنش نسبت به A، مرتبه اول و نسبت به B نیز مرتبه اول و به طور کلی همان‌طور که در معادله سرعت نشان داده شده مرتبه دوم است.

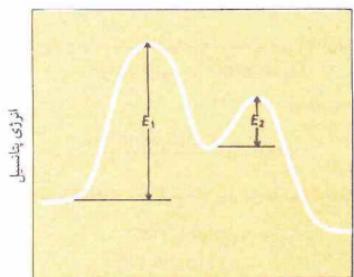
دو مین نوع مرحله دو مولکولی به صورت زیر است:



این مرحله در اثر برخورد بین دو مولکول A انجام می‌شود. فرض کنید که عده مولکول‌های A در ظرف واکنش n باشد. تعداد برخوردهای برای یک مولکول A در ثانیه متناسب با تعداد قیمه مولکول‌های A، یعنی $1 - 1/n$ است. تعداد کل برخوردهای n مولکول A در ثانیه را می‌توان به غلظت انتظار داشت که متناسب با $\text{ضرب} (1 - 1/n)$ باشد. ولی با

$(1 - 1/n)^2$ متناسب است. ضرب $1/2$ به این دلیل وارد شده است که یک برخورد دوباره به حساب نماید - یکبار برای برخورد مولکول ۱ به مولکول ۲ و بار دیگر برای برخورد مولکول ۲ به مولکول ۱.

چون عدد سیار بزرگی است، $(1 - 1/n)^2$ برابر با $1/2n^2$ می‌باشد. می‌توان گفت که تعداد کل برخوردها در ثانیه متناسب با $1/2n^2$ است.



نمودار اثری پیش‌نیل برای واکنش

شکل ۱۴-۱۴ نمودار اثری پیش‌نیل برای یک واکنش مکانیسم دو مرحله‌ای که در آن مرحله اول، مرحله تعیین‌کننده سرعت است.

نماهای معادله سرعت تجزیی با ضرایب معادله شیمیابی یکسان‌اند. یک مکانیسم سه مرحله‌ای یک مرحله‌ای، با این معادله سرعت سازگار است. ولی واکنش طی چند مرحله که هر چند کام از آنها شامل برخورد سه مولکولی نیست، انجام می‌شود. تصور می‌شود که مرحله سوم آنسته‌ترین مرحله باشد:

1. $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}_2^+$ سرعت ۱ $= k_1 [\text{CH}_3\text{OH}] [\text{H}^+]$
2. $\text{CH}_3\text{OH}_2^+ \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}^+$ سرعت ۲ $= k_2 [\text{CH}_3\text{OH}_2^+]$
3. $\text{Br}^- + \text{CH}_3\text{OH}_2^+ \rightarrow \text{CH}_3\text{Br} + \text{H}_2\text{O}$ سرعت ۳ $= k_3 [\text{CH}_3\text{OH}_2^+] [\text{Br}^-]$

طی مرحله اول حد واسط واکنش، یعنی CH_3OH_2^+ تشکیل می‌شود. این حد واسط می‌تواند به CH_3OH و H^+ تجزیه شود (مرحله ۲) یا با واکنش دهد و فراورده را به وجود آورد (مرحله ۳). چون مرحله سوم، تعیین‌کننده سرعت است، سرعت کلی به آن بستگی دارد:

$$\text{سرعت} = k_3 [\text{CH}_3\text{OH}_2^+] [\text{Br}^-]$$

اما این معادله شامل عبارتی برای غلطات حد واسط واکنش CH_3OH_2^+ است. برای حل این عبارت، فرض می‌کیم که غلطات حد واسط واکنش CH_3OH_2^+ پس از گذشتن مدتی از شروع واکنش ثابت بماند. یعنی حد واسط واکنش، به معرض تولید، بی‌درنگ به مصرف برسد. حد واسط در مرحله ۱ تولید می‌شود:

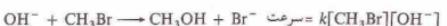
$$\text{CH}_3\text{OH}_2^+ = k_1 [\text{CH}_3\text{OH}] [\text{H}^+]$$

در مراحل ۲ و ۳ مصرف می‌شود:

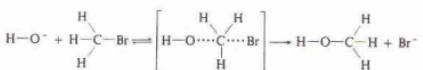
$$\text{CH}_3\text{OH}_2^+ = k_2 [\text{CH}_3\text{OH}_2^+] + k_3 [\text{CH}_3\text{OH}_2^+] [\text{Br}^-]$$

چون مرحله سوم بسیار آنسته‌تر از مرحله دوم است، پس بسیار کوچک‌تر از k_3 است. به این شرط می‌توان از عبارت $k_3 [\text{CH}_3\text{OH}_2^+] [\text{Br}^-]$ سرعت

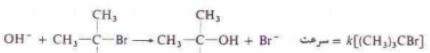
اتم‌ها، به محض تولید، به سرعت در مرحله ۲ مصرف می‌شوند. به این ترتیب مرحله ۲ به مثابه در تنگ بطری، برای واکنش است؛ واکنش کلی نمی‌تواند سرعت تراز این مرحله باشد. چون مرحله ۱، سرعت کلی را کنترل می‌کند، مرحله تعیین‌کننده سرعت نام دارد. به همین دلیل معادله سرعت مرحله ۱، معادله سرعت برای تغییر کلی، با k است. براسان معادله سرعت، نمی‌توان گفت که واکنش مورد نظر یک مرحله‌ای است یا چند مرحله‌ای. دو واکنش مثابه زیر را در نظر بگیرید. واکنش مثیل برمید، CH_3Br ، و یون OH^- مرتبه دوم است:



مکانیزمی یک مرحله‌ای با این معادله سرعت سازگار است. واکنش از طریق حالت گذاری انجام می‌شود که در آن، یون OH^- ، از سمت مقابل اتم Br به اتم C تزدیک می‌شود:



واکنش بین ترشی - بروتیل برمید، $(\text{CH}_3)_3\text{CBr}$ ، و یون OH^- ، از لحاظ شیمیابی با واکنش بالا مشابه است، اما مرتبه اول می‌باشد:



در این واکنش، راه تزدیک شدن OH^- به اتم C مزکوی به وسیله گروه‌های CH_3 بسته شده است و مکانیزم مقابلي با مکانیزم CH_3OH و CH_3Br دارد. این واکنش طی دو مرحله انجام می‌شود:

1. $(\text{CH}_3)_3\text{CBr} \longrightarrow (\text{CH}_3)_2\text{C} + \text{Br}^-$ سرعت ۱ $= k_1 [(\text{CH}_3)_3\text{CBr}]$
2. $(\text{CH}_3)_2\text{C} + \text{OH}^- \longrightarrow (\text{CH}_3)_3\text{COH}$ سرعت ۲ $= k_2 [(\text{CH}_3)_3\text{C}^+][\text{OH}^-]$

مرحله اول، مرحله‌ای یک مولکولی شامل یونش مولکول کلی، به معادله سرعت یک مولکولی مرحله ۱ مربوط می‌شود.

هر یک از مراحل یک مکانیزم چند مرحله‌ای دارد یا گذار و یک اثری فعال‌سازی است. نمودار یک مکانیزم دو مرحله‌ای که در آن، مرحله اول، تعیین‌کننده سرعت باشد، مانند واکنش اخیر یا واکنش F_2 و NO است. اثری فعال‌سازی مرحله اول، یعنی نمودار بیبینید، بالاتر از اثری فعال‌سازی براي مرحله دوم، یعنی E_2 می‌باشد. نتیجه این است که سرعت عبور مولکول‌های واکنش دهنده از اولین سد از روی پتانسیل بستگی دارد.

واسطی، در مورد مکانیزمی چند مرحله‌ای که در آن مرحله اول، تعیین‌کننده سرعت نباشد، چه باید کرد؟ واکنش زیر را در نظر بگیرید. $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}^+ + \text{Br}^- \longrightarrow \text{CH}_3\text{Br} + \text{H}_2\text{O}$ سرعت $= k[\text{CH}_3\text{OH}][\text{H}^+][\text{Br}^-]$

۱ - مرحله آغاز زنجیر، برخی از مولکول‌های Br_2 به اتم‌های برم تفکیک می‌شوند:



۲ - مرحله انتشار زنجیر، اتم‌های Br ، حد واسطه‌های واکنش پذیری به نام حاملان زنجیر هستند. یک اتم Br با یک مولکول H_2O واکنش می‌دهد:



این واکنش، یک مولکول محصول، یعنی HBr ، یک حامل زنجیر، و یک اتم H تولید می‌کند. اتم H با مولکول Br_2 واکنش می‌دهد:



به این ترتیب یک مولکول دیگر HBr و حامل زنجیر اولیه، یعنی یک اتم Br تولید می‌شود. اتم Br با مولکول دیگری از H_2O واکنش می‌دهد و چرخه واکنش از نو شروع می‌شود. این دو مرحله همواره تکرار می‌شود.

۳ - بازداری زنجیری. اگر یک اتم H با یک مولکول HBr برخورد کند و واکنش انجام شده مانع ادامه واکنش کلی می‌شود:



چون یک مولکول از فوارده (HBr) به مصرف می‌رسد و یک مولکول از ماده واکنش دهنده (H_2) (تولید می‌شود، ولی منجر به شکستن زنجیر یا متوقف کردن واکنش کلی می‌گردد. ولی منجر به شکستن زنجیر یا متوقف کردن واکنش می‌شود، زیرو یک حامل زنجیر (HBr) نیز به وجود می‌آید.

۴ - مرحله پایانی واکنش زنجیری، با پیوستن دو حامل زنجیر به هم، دو زنجیر از میان می‌شوند:



واکنش $\text{Cl}_2(\text{g})$ و $\text{H}_2(\text{g})$ مکانیسم مشابهی دارد. مخلوطی از این دو گاز در دمای متعارفی را می‌توان برای مدتی طولانی در تاریکی نگهداری کرد. اگر این مخلوط در مععرض نور قرار گیرد، یک واکنش بسیار شدید انجام خواهد شد. نور، با تفکیک برخی از مولکول‌های Cl_2 و تولید اتم‌های کلر، واکنش زنجیر را آغاز می‌کند. واکنش H_2 و Br_2 نیز به نور حساس است، اما سرعت واکنش در دمای متعارفی کمتر است. بسیاری از واکنش‌ها با مکانیسم زنجیری انجام می‌شوند. واکنش‌های زنجیری عموماً بسیار سریع هستند؛ برخی از آنها انفجاری می‌باشند.

۱۴ - معادلات سرعت و دما

تفصیر ثابت سرعت، یعنی k ، با دما، به وسیله معادله زیر بیان می‌شود:

$$k = Ae^{-E_a/RT} \quad (۲۳-۱۴)$$

که در آن، A ثابت ویژه واکنش مورد مطالعه، E_a پایه لگاریتم طبیعی

صرف نظر کرد، زیرو بسیار کوچک‌تر از عبارت $k_1[\text{CH}_3\text{OH}]^2$ است:

$$\begin{aligned} \text{سرعت ناپایید شدن } \text{CH}_3\text{OH}_2^+ &= \text{سرعت پیدا شدن } \text{CH}_3\text{OH}_2^+ \\ k_1[\text{CH}_3\text{OH}] [\text{H}^+] &= k_2[\text{CH}_3\text{OH}_2^+] \end{aligned}$$

بنابراین،

$$\frac{k_1[\text{CH}_3\text{OH}_2^+][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{OH}_2^+]} = \frac{k_3[\text{CH}_3\text{OH}_2^+][\text{Br}^-]}{k_2}$$

با قراردادن این مقدار در معادله سرعت مرحله سوم، داریم:

$$\text{سرعت} = k_3[\text{CH}_3\text{OH}_2^+][\text{Br}^-]$$

$$\text{سرعت} = k_3 \left(\frac{k_1[\text{CH}_3\text{OH}][\text{H}^+]}{k_2} \right) [\text{Br}^-]$$

$$\text{سرعت} = \frac{k_1 k_3}{k_2} [\text{CH}_3\text{OH}][\text{H}^+][\text{Br}^-]$$

ثابت‌های معادله را می‌توان به صورت یک ثابت در آورد:

$$\text{سرعت} = k[\text{CH}_3\text{OH}][\text{H}^+][\text{Br}^-]$$

که همان معادله سرعت تعیین شده با روشن‌های تجربی است. توجه کنید که

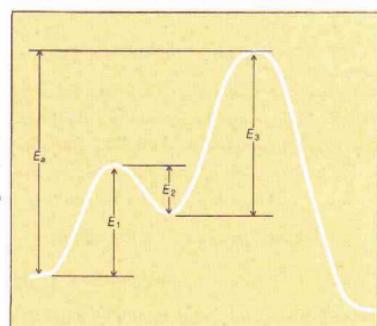
$$k = \frac{k_1 k_3}{k_2}$$

نمودار واکنش برای یک مکانیسم سه مرحله‌ای مانند مکانیسم پیش را می‌توان به صورت شکل ۱۴-۱۵ نشایش داد. انرژی فعال سازی مراحل (E_1, E_2, E_3) ، بر روی نمودار مشخص شده است. توجه کنید که مرحله ۲ عکس مرحله ۱ است.

واکنش بین گاز H_2 و بخار Br_2 در دمای حدود 20°C ، نمونه‌ای از نوع مهمی از مکانیسم واکنش‌ها به نام مکانیسم زنجیری است:



مکانیسم این واکنش را در چهار بخش می‌توان توصیف کرد:



مختصات واکنش

شکل ۱۴-۱۵ نمودار انرژی پتانسیل برای یک مکانیسم سه مرحله‌ای در آن مرحله سوم، تعیین‌کننده سرعت است.

که قابل تبدیل به معادله زیر است

$$2.303 \log k = 2.303 \log A - \frac{E_a}{RT} \quad (25-12)$$

یا

$$\log k = \log A - \frac{E_a}{2.303 RT} \quad (26-12)$$

برای یک واکنش معین، دو متغیر k و T در این معادله وجود دارد. اگر معادله را به صورت زیر در آوریم:

$$\log k = -\frac{E_a}{2.303 R} \left(\frac{1}{T} \right) + \log A \quad (27-12)$$

من توفیق بینیم که معادله به صورت معادله یک خط راست ($y=mx+b$) است. نسبودار $\log k$ بر حسب $1/T$ خطا راست با شبیب مقادیر k در چند دما بدست آید و داده به مجهیز شیوه ترمیم شود. مقدار E_a برای واکنش را از شبیب منحنی می‌توان محاسبه کرد. همچنین A را با گرفتن آنتی لگاریتم از پرخوردگاه $\log k$ در دست آور. منحنی شکل ۱۴-۱۶ مربوط به یک واکنش مرتبه اول است:

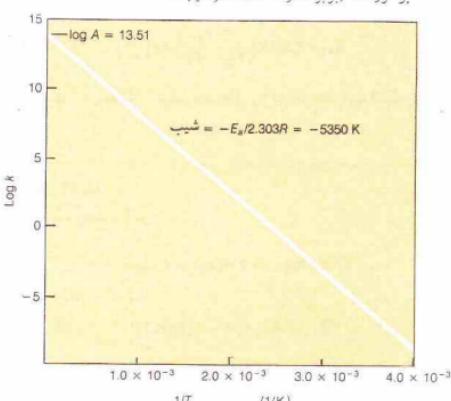


شبیب منحنی برابر با -5350 K است که از آن می‌توان مقدار E_a را به دست آورد:

$$-\frac{E_a}{2.30R} = -5350 \text{ K}$$

$$E_a = (5350 \text{ K})(2.30)[8.31 \text{ J/(K}\cdot\text{mol}]] \\ = 102,000 \text{ J/mol} = 102 \text{ kJ/mol}$$

پرخوردگاه $\log k$ را 13.51 است، در نتیجه.



شکل ۱۴-۱۶ نمودار $\log k$ بر حسب $1/T$ برای واکنش

E_a انرژی فعال سازی واکنش (بر حسب J/mol) R ثابت مولنی گاز ($8.31 \text{ J/(K}\cdot\text{mol}]]$ ، و T دمای مطلق است. این معادله تحقیقی بار توسط سوانه آرنیوس در ۱۸۸۹ پیشنهاد شد و به معادله آرنیوس مشهور است.

برای یک واکنش یک مرحله‌ای، ضریب $e^{-Ea/RT}$ بیانگر کسری از مولکول هاست که دارای انرژی فعال سازی لازم برای یک واکنش مؤقت آمیزند (شکل ۱۴-۱۱ در بخش ۱۴-۴ را ببینید). ثابت A ، که به ضریب فرکانس مشهور است، در برگردانه سایر عوامل مؤثر بر سرعت واکنش، مانند فرکانس پرخوردگاهی مولکولی و شرایط هندسه لازم برای جهت‌گیری مولکول‌های پرخوردگذنده می‌باشد. معادله آرنیوس فقط یک معادله تقریبی است، ولی در اغلب موارد تقریب بسیار خوبی است.

معادله آرنیوس همچنین برای واکنش‌های چند مولکولی نیز معتبر است. برای واکنشی که از سکانیسمی مانند مکابیسم شکل ۱۴-۱۴ پیروی می‌کند، پارامترهای آرنیوس، مانند A و E_a همان پارامترهای مرحله اول (A_1 و E_1) هستند، زیرا مرحله تعیین‌کننده سرعت است. ولی در اغلب واکنش‌های چند مرحله‌ای، A و E_a تکمیبی از مقادیر مرحله جدایگانه‌اند.

در واکنش سه مرحله‌ای بخش پیش که در آن مرحله سوم، مرحله تعیین‌کننده سرعت بود (شکل ۱۴-۱۵ را ببینید)،

$$k = \frac{k_1 k_3}{k_2}$$

ثابت سرعت هر مرحله را می‌توان براساس معادله آرنیوس بیان کرد (معادله ۱۴-۲۳ را ببینید). بنابراین،

$$k = \frac{A_1 e^{-E_1/RT} A_3 e^{-E_3/RT}}{A_2 e^{-E_2/RT}}$$

یا

$$k = \frac{A_1 A_3}{A_2} e^{-(E_1 + E_3 - E_2)/RT}$$

در نتیجه پارامترهای آرنیوس برای ثابت سرعت کلی عبارتند از:

$$A = \frac{A_1 A_3}{A_2}$$

$$E_a = E_1 + E_3 - E_2$$

با بررسی عنوان عبارت‌های انرژی در شکل ۱۴-۱۴ (E_1 و E_2 به اضافه E_a) می‌توان دید که انرژی فعال سازی کل در این مورد (در شکل نشان داده شده است) برابر با بلندی سد انرژی پتانسیل مرحله سوم از انرژی پتانسیل واکنش‌دهنده‌های آغازین است.

اگر از معادله آرنیوس لگاریتم طبیعی بگیریم، داریم

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (24-14)$$

حل

اجازه بدهید،

$$T_1 = 300 \text{ K}$$

$$T_2 = 400 \text{ K}$$

$$k_1 = 2.6 \times 10^{-8} \text{ L/(mol}\cdot\text{s)}$$

$$k_2 = 4.9 \times 10^{-4} \text{ L/(mol}\cdot\text{s)}$$

مقدار R برابر با $8.31 \text{ J/(K}\cdot\text{mol)}$ و با قراردادن داده‌ها در معادله $(۳۳ - ۱۴)$ ،

$$\begin{aligned} E_a &= 2.30R \left(\frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \right) \log \left(\frac{k_2}{k_1} \right) \\ &= 2.30[8.31 \text{ J/(K}\cdot\text{mol)}] \left(\frac{(300 \text{ K})(400 \text{ K})}{(400 \text{ K} - 300 \text{ K})} \right) \log \left(\frac{4.9 \times 10^{-4} \text{ L/(mol}\cdot\text{s)}}{2.6 \times 10^{-8} \text{ L/(mol}\cdot\text{s)}} \right) \\ &= [19.1 \text{ J/(K}\cdot\text{mol)}](1200 \text{ K}) \log (1.88 \times 10^4) \\ &= (22,900 \text{ J/mol})(4.28) \\ &= 98,000 \text{ J/mol} = 98.0 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

 $(۳۳ - ۱۴)$

مثال ۱۴

با استفاده از داده‌های مسئله ۱۴ - ۸، مقدار k را در K^{500} محاسبه کنید.

حل

اجازه بدهید،

$$T_1 = 400 \text{ K}$$

$$T_2 = 500 \text{ K}$$

$$k_1 = 4.9 \times 10^{-4} \text{ L/(mol}\cdot\text{s)}$$

$$k_2 = \text{جهول}$$

$$E_a = 9.8 \times 10^4 \text{ J/mol}$$

با استفاده از معادله ۱۴ - ۳۲،

$$\begin{aligned} \log \left(\frac{k_2}{k_1} \right) &= \frac{E_a}{2.30R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right) \\ &= \frac{9.8 \times 10^4 \text{ J/mol}}{2.30[8.31 \text{ J/(K}\cdot\text{mol)}]} \left(\frac{500 \text{ K} - 400 \text{ K}}{(400 \text{ K})(500 \text{ K})} \right) \\ &= (5.13 \times 10^3 \text{ K})(5.00 \times 10^{-4} \text{ K}) \\ &= 2.57 \end{aligned}$$

بنابراین،

$$\frac{k_2}{k_1} = \text{antilog } 2.57 = 3.7 \times 10^2$$

با

$$\begin{aligned} k_2 &= (3.7 \times 10^2)k_1 \\ &= (3.7 \times 10^2)[4.9 \times 10^{-4} \text{ L/(mol}\cdot\text{s)}] \\ &= 0.18 \text{ L/(mol}\cdot\text{s)} \end{aligned}$$

$$\log A = 13.51$$

$$A = 3.2 \times 10^{13}/\text{s}$$

مقادیر E_a و A برای یک واکنش را می‌توان از ثابت‌های سرعت در دو دمای مقاومت نیز بدست آورد. اگر ثابت سرعت در T_1 برابر با k_1 و در T_2 برابر با k_2 باشد، در آن صورت،

$$\log k_2 = \log A - \frac{E_a}{2.303RT_2} \quad (۲۸ - ۱۴)$$

$$\log k_1 = \log A - \frac{E_a}{2.303RT_1} \quad (۲۹ - ۱۴)$$

با کم کردن معادله ۱۴ - ۲۹ از معادله ۱۴ - ۲۸، داریم:

$$\log k_2 - \log k_1 = -\frac{E_a}{2.303RT_2} + \frac{E_a}{2.303RT_1} \quad (۳۰ - ۱۴)$$

چون $\log k_2 - \log k_1$ برابر با $\log(x/y)$ است،

$$\log \left(\frac{k_2}{k_1} \right) = \frac{E_a}{2.303R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (۳۱ - ۱۴)$$

با

$$\log \left(\frac{k_2}{k_1} \right) = \frac{E_a}{2.303R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right) \quad (۳۲ - ۱۴)$$

با حل این معادله برای k بدست آوردن اثری فعال‌سازی، E_a ، رابطه زیر به دست می‌آید:

$$E_a = 2.303R \left(\frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \right) \log \left(\frac{k_2}{k_1} \right) \quad (۳۳ - ۱۴)$$

استفاده از دو معادله اخیر، در مثال‌های زیر تماش داده شده است.

مثال ۱۴

معادله سرعت واکنش



به صورت زیر است:

$$\text{Cl}_2 = k[\text{NOCl}]^2$$

ثابت سرعت، k ، برابر با $10^{-6} \text{ L/(mol}\cdot\text{s)} \times 10^{-6} \text{ mol}^{-2} \text{ s}^{-1}$ در K^{300} و K^{400} است. اثری فعال‌سازی، E_a ، را برای این واکنش بدست آورید.

می‌توان MnO_4 را بدون تغییر بازیابی کرد. حضور یک کاتالیزور، اثر حتمی بر سرعت و اکنش ندارد. یک واکنش کاتالیز شده دارای مسیری با مکانیسم ویژه‌ای است که با واکنش کاتالیز شده تفاوت دارد. مثلاً فرض کنید که واکنش کاتالیز شده، با برخورد بین مولکول‌های X و Y صورت گیرد.



واکنش کاتالیز شده معکن است مکانیسمی دو مرحله‌ای داشته باشد:



که در آن C کاتالیزور است. توجه کنید که کاتالیزور در مرحله اول به معرفی می‌رسد و در مرحله دوم دوباره تولید می‌شود. در نتیجه طور مکرر به کار گرفته می‌شود. به این ترتیب فقط مقدار اندکی از کاتالیزور لازم است تا کسار انجام دهد. سپاراین کاتالیزور با گشودن مسیر جدیدی برای انجام واکنش، کار خود را انجام می‌دهد. مسیر کاتالیز شده دارای انرژی فعال سازی کلی کمتری نسبت به مسیر کاتالیز شده است (شکل ۱۴ - ۱۷ را ببینید). این امر سرعت تر بسون واکنش کاتالیز شده را تبیین می‌کند. شکل ۱۴ - ۱۷، دو نکته دیگر را نیز بیان می‌کند:

۱ - تغییر آنتالپی، ΔH ، برای واکنش کاتالیز شده برابر با ΔH واکنش کاتالیز شده است.

۲ - برای واکنش‌های برگشت‌پذیر، اثر کاتالیزور بر مسیر رفت و واکنش با اثر آن بر مسیر برگشت یکسان است. انرژی فعال سازی واکنش برگشت، E_a به همان میزان و به سیله کاتالیزور کاهش می‌یابد که انرژی فعال سازی مرحله رفت، E_a'

یک کاتالیزور همگن، با مواد واکنش دهنده در یک فاز قراردارد. اثر گاز کلر بر تجزیه N_2O دی‌نیتروژن اکسید، نمونه‌ای از کاتالیز همگن در فاز گازی است. دی‌نیتروژن اکسید، N_2O ، در دمای تمعارقی، نسبتاً واکنش تبدیل است، اما در دمای تبدیل یک به $^{\circ}\text{C}$ برابر مسادله زیر تجزیه می‌شود:

چون رابطه بین k و T ، نمایی است، هر تغییر کوچکی در T ، سبب تغییر نسبتاً بزرگی در k می‌شود. البته هر تغییری در ثابت سرعت، در سرعت واکنش بازتاب پیدا می‌کند. برای واکنش مربوط به مثال های ۱۴ - ۹، افزایش دما به میزان ${}^{\circ}\text{C}$ ، اثرهای زیر را خواهد داشت:

$$400\text{ K} \text{ به } 300\text{ K} \quad \text{سرعت را } 1/\text{۸} \times 10^6 \text{ برابر می‌کند}$$

$$500\text{ K} \text{ به } 400\text{ K} \quad \text{سرعت را } 367 \text{ برابر می‌کند}$$

اثر شدید افزایش دما، آشکار است. ولی توجه کنید که سرعت واکنش در دمای پایین بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد تا در دمای بالا.

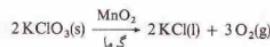
انرژی فعال سازی بسیاری از واکنش‌ها، بین 25 kJ/mol تا 60 kJ/mol است که این مقادیر در حدود انرژی پیوندهای شیمیایی قرار دارند. با افزایش دما به میزان ${}^{\circ}\text{C}$ از $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ به $31\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، تغییر سرعت واکنش با انرژی فعال سازی به صورت زیر است:

$$\text{سرعت تقریباً دو برابر می‌شود} \quad E_a = 60\text{ kJ/mol}$$

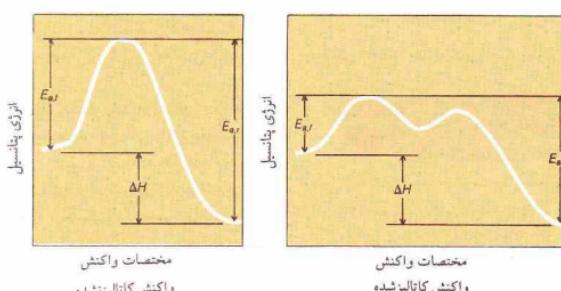
$$\text{سرعت تقریباً ۲۵ برابر می‌شود} \quad E_a = 25\text{ kJ/mol}$$

۱۴ - ۸ کاتالیزورها

کاتالیزور جسمی است که سرعت یک واکنش شیمیایی را بدون آنکه در واکنش مصرف شود، زیاد می‌کند. کاتالیزور را می‌توان بدون تغییر، در پایان واکنش بازیابی کرد. با گرم کردن پهانیم کلرات (KClO₃)، می‌توان اکسیون به دست آورد. با استفاده از مقدار کمی ممکن دیوکسید (MnO₂) به عنوان کاتالیزور تبیین می‌توان این واکنش را انجام داد. واکنش، در مجاورت MnO_2 بسیار سریع است و تجزیه KClO_3 با سرعت خوبی در دمای پایین انجام می‌شود:



در واکنش‌های شیمیایی، کاتالیزور را بر روی پوکان می‌نویستند، زیرا کاتالیزور بر استوکیومتری کلی واکنش اثیر ندارد. در پایان واکنش،



شکل ۱۴ - ۱۷ نمودار انرژی پتانسیل برای یک واکنش، در مجاورت یک کاتالیزور و در غیاب آن

و سیله پیوندهایی که از لحظه قدرت با پیوندهای موجود در ترکیبات شیمیایی مشابهان، به سطح پیوسته‌اند، پس از تشکیل این پیوندها، مولکول‌های جذب شده به طریق شیمیایی، دستخوش تغییراتی از لحظه آغاز التکروئی می‌شوند. برخی از پیوندهای این مولکول‌ها ممکن است کشیده و ضعیف شوند و در موادی هم بشکند. مثلاً مولکول‌های هیدروژن، به صورت اتم هیدروژن بر سطح پلاتین، پالادیم، نیکل، و سایر فلزات جاذب می‌شوند. بنا بر این، لایه‌ای از مولکول‌ها یا اتم‌ها که به طریق شیمیایی جذب شده باشد، نقش حد وسط و اکتشن در یک واکنش کاتالیز شده بر روی سطح را بازی می‌کند.

برای این تجزیه کاتالیز شده به سیله طلا در شکل ۱۴ نمایش داده شده است. مرافق مکانیسم به قرار زیر است:

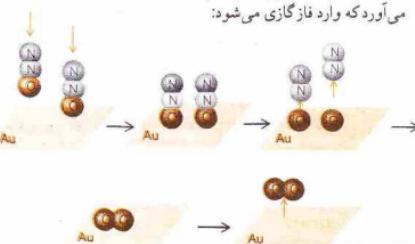
۱ - مولکول‌های $N_2O(g)$ به طریق شیمیایی بر سطح طلا جذب می‌شوند:



۲ - پیوند بین اتم O و اتم N مجاور در مولکول N_2O با پیوستن اتم O به طلا ضعیف می‌شود. با شکستن این پیوند $N-O$ ، یک مولکول N_2 خارج می‌شود:

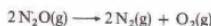


۳ - دو اتم O بر سطح طلا به هم پیوسته و یک مولکول O_2 به وجود می‌آورد که وارد فاز گازی می‌شود:



شکل ۱۴ - شیوه پیشنهادی برای تجزیه N_2O بر روی Au

منظراً سطح مقطر یک میتل کاتالیزوری که در اوتومبیل‌ها به کار می‌رود، در موتور که از سمت راست وارد می‌شود، به قسمت فوتو فانی میل می‌شود و پیش از خارج شدن از قسمت پایین و به سمت چپ، با شمار از روی پستر دوتایی دامنه‌ای کاتالیزوری عبور داده می‌شود. این دامنه شامل Pd، Rh، Pt، و W است و چنان ایجاد می‌کند که اکسایس CO و سیدروکربن‌ها به CO_2 و همچنین، تبدیل اکسیدهای پتیوژن را به N_2 پر کاتالیز کند.



واکنش کاتالیز شده، با مکانیسم پیچیده‌ای که شامل مراحل زیر است، تجزیه می‌شود:

۱ برخی از مولکول‌های N_2O در اثر برخورد بین مولکول‌های N_2 ، انرژی کافی برای گسترش شدن پیدا می‌کنند:



۲ - اتم‌های اکسیژن، بسیار واکنش پذیرند و به آسانی با مولکول‌های N_2O واکنش می‌دهند:



فراورده‌های پایانی واکشن، N_2 و O_2 هستند. اتم O یک حد وسط واکشن است نه یک فراروده تهایی. انرژی فعال‌سازی واکشن کاتالیز شده، حدود ۲۲۰ kJ/mol است.

مقادیر سیار کمی گاز کلر، این واکنش را کاتالیز می‌کند. مسیر پشت‌هاده‌شده برای واکنش کاتالیز شده، شامل مراحل زیر است:

۱ - در ماده تجزیه، به ویژه در مجاورت نور، برخی از مولکول‌های کلر به اتم‌های کلر تجزیه می‌شوند:



۲ - اتم‌های کلر به آسانی با مولکول‌های N_2O واکشن می‌دهند:

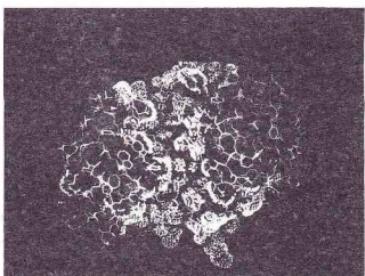


۳ - مولکول‌های ناپایدار ClO به صورت زیر تجزیه می‌شوند:



توجه کنید که در مرحله آخر، کاتالیزور به حالت اولیه اش در می‌آید. فراروده‌های پایانی واکشن کاتالیز شده (O_2 و N_2) با فراروده‌های واکشن کاتالیز شده یکسانند. Cl ، ClO ، Cl_2 ، N_2 و O_2 نیستند، زیرا پس از تولید شدن، طی مراحل بعدی، به مصرف می‌رسند. انرژی فعال‌سازی واکشن کاتالیز شده، به سیله کلر، حدود ۱۴۰ kJ/mol است. این است که به میزان قابل ملاحظه‌ای پایین تر از E° برای واکشن کاتالیز شده (۲۲۰ kJ/mol) می‌باشد.

در کاتالیز ناممکن، مساد و اکشن‌دهنده و کاتالیزور در فازهای مختلف قرار دارند. در این فرایند، مولکول‌های واکشن‌دهنده بر سطح کاتالیزور جذب می‌شوند و واکشن در همان سطح انجام می‌شود. جذب طبعی، فرایندی است که در آن مولکول‌ها بر سطح خنک را به طرزی چیزی دنند. هلا رزغال موجود در ماسکه‌ها، گازهای هود و خرطک را به طرزی سطحی جذب می‌کند. در جذب فیزیکی معمولی، مولکول‌ها به سیله نیروهای لندن بر روی سطح نگذاشته می‌شوند. اما، کاتالیز ناممکن، معمولاً، از طریق جذب سطحی شیمیایی (یا جذب شیمیایی) صورت می‌گیرد که در آن، مولکول‌های جذب شده به



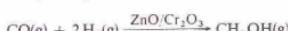
الگوی یک آنزیوم

می‌کند. در این موارد، هر دو واکنش امکان پذیرند و فراورده‌های بدست آمده به واکنش سریع تر تعلق دارند. بر حسب نوع کاتالیزور و شرایط واکنش، کربن مونوکسید و هیدروژن می‌توانند با هم ترکیب شده و فراورده‌های گوناگونی تولید کنند.

در صورت استفاده از یک کاتالیزور کیالت یا نیکل، از CO و H₂ مخلوط از هیدروکربن‌ها بدست می‌آید. مثلاً، یکی از هیدروکربن‌های تولید شده، متان (CH₄) است:



از سوی دیگر در مجاورت مخلوط از اکسیدهای روی و کرومیک به عنوان کاتالیزور، مثانول فراورده عدهٔ واکنش CO + H₂ است:



می‌دانیم کاتالیزوری مورد استفاده در اگرور اتموبیل‌ها، کاربرد جدیدی از کاتالیزوری سطحی است. کربن مونوکسید و هیدروکربن‌های حاصل از سوخت‌های نسخهٔ موجود در دود موتور اتموبیل، از آلاینده‌های خطرناک هوا هستند. گازهای خارج شده از اگرور اتموبیل همراه با مقداری هوا از روی کاتالیزوری که شامل فلز اکسیدهاست سبور داده می‌شود، گاز CO و هیدروکربن‌ها به CO₂ و H₂O تبدیل می‌شوند که نسبتاً بی‌خطرونهای در هوا رها می‌شوند. چون این کاتالیزور به وسیله سرب مسموم می‌شود، در اتموبیل‌های مجهز به این می‌دانل های کاتالیزوری باید بینن بدن سرب صرف شود.

بسیاری از رایستندهای شیمیابی با روش‌های کاتالیزوری انجام می‌شوند، اما کاتالیزورهای طبیعی، موسوم به آنزیوم‌ها اهمیت بیشتری برای پسر دارند. این مواد سیاه پیچیده، فرایندهای حیاتی مانند هضم، تنفس و سنتز سلولی را کاتالیز می‌کنند. انسوپر و واکنش‌های شیمیابی پیچیده‌ای که در بدین اتجام می‌شوند، و برای ادامه حیات ضروری‌اند، در دمای نسبتاً پایین بدن، در او آنزیوم‌ها امکان پذیر می‌شوند. هزاران آنزیوم شناخته شده است، و هر یک از آنها نقش ویژه‌ای دارد. تحقیق درباره ساختار و کارکرد آن‌زئوم‌ها می‌تواند به درک ژرف‌تری از علت بیماری‌ها و مکانیسم رشد منجر شود.



انزیمی فعال سازی برای تجزیه کاتالیز شده بر سطح طلا، حدود ۱۲۰ kJ/mol است که پایین‌تر از E_a برای تجزیه کاتالیز نشده (۲۴۰ kJ/mol) است. دو می‌مرحله از مکانیسم تجزیه کاتالیز شده با طلا، مرحلهٔ تعین کننده سرعت است. سرعت این مرحله با کسری از سطح طلا که مولکول‌های O₂ را به طرق شیمیابی جذب می‌کند، متناسب است. اگر نصف سطح پوشیده شود، مرحلهٔ ۲ سریع‌تر از زمانی است که فقط یک ربع سطح اشغال شده باشد. این کسر با شفار (N₂O) نسبت ممیز دارد. اگر فشار کم باشد، سطح پوشیده شده کوچک خواهد بود. در نتیجه سرعت کم باشد، سطح پوشیده شده کوچک خواهد بود. در نتیجه سرعت اکنش مناسب با غلظت N₂O است و تجزیه، مربته اول می‌باشد:

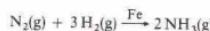
$$k = k[\text{N}_2\text{O}]$$

اگر فشار N₂O زیاد باشد، سطح طلا کاملاً پوشیده می‌شود؛ و کسر برابر با ۱ می‌شود. در این شرایط مرتبهٔ واکنش صفر می‌شود؛ یعنی تغییر غلظت (g) N₂O بر سرعت واکنش اثر ندارد:

$$k = \text{سرعت}$$

سطح طلا با پیشترین تعداد ممکن از مولکول‌های N₂O پیوند ایجاد می‌کند و فشار N₂O برای اشباع کردن سطح کافی است. تغییرات N₂O کوچک در فشار O₂، از نظر سرعت تجزیه مولکول‌های N₂O جذب شده بر سطح طلا ندارد.

ساختر الکترونی و آرایش آنها بر سطح یک کاتالیزور، تعیین کنندهٔ فعالیت آن است. نقش شبکهٔ پلوری و می‌نظمی‌های آن، احتمالاً مواضع فعال برای کاتالیز مستند. سطح برخی از کاتالیزورها را با افزودن موادی به نام پانی که فعالیت کاتالیزوری را افزایش می‌دهند، می‌توان تغییر داد. در سنتز آمونیاک،



با افزودن مقادیر بسیار اندک پتاسیم یا وانادیم به کاتالیزور آهن اثر آن را افزایش می‌دهند.

سوم کاتالیزوری موادی هستند که مانع از فعالیت کاتالیزورها می‌شوند. مثلاً مقادیر کوچکی از آرسنیک، قدرت کاتالیزوری پلاتین برای کاتالیز کردن تولید گوگرد تریوکسید از گوگرد دیوکسید را از بین می‌برند:



احتمالاً، با تشکیل پلاتین آرسنید بر سطح پلاتین، فعالیت کاتالیزوری آن از بین می‌رود.

کاتالیزورها اغلب از نظر نوع فعالیت، به طور بسیار ویژه‌ای عمل می‌کنند. در برخی از موارد، یک جسم معین مستعدت‌های از فراورده‌ها را از واکنشگرهای معینی کاتالیز می‌کند. در حالی که جسم دیگر به عنوان کاتالیزور سنتز مواد مستقراتی از همان واکنش دهنده‌ها عمل

حکیمہ مطالع

سرعت یک واکنش را می‌توان بر اساس کاهش غلظت یک مادهٔ واکنش دهندهٔ واحد رساند. با این‌روزی غلظت یک فلورید در واحد زمان یک پایان کرد. سرعت واکنش مولویاً معمولاً به تابعیت قدرت مواد واکنش دهندهٔ واحد است. این‌روزی که توانایی کنگوگون (از جمله مولویا) داشته باشد، نسبت مستقیم دارد. در اینجا راضی بازیگران بین واکنش و غلظت رسانیده‌اند. ثابت نسبات در مواد واکنش دهندهٔ واحد را مادهٔ سرعت با تأثیر نسبت ساختند. ثابت نسبات در مادهٔ سرعت، یعنی k_1 را ثابت سرعت گویند. سرتیّة یک واکنش برابر است با k_1/k_2 . مجموع سرعت‌های (غوانه‌های) عصارت‌های غلظت در میان سرعت‌های اسید فرمی، اسید ایزوتیک و اسید ایزومالی مادهٔ سرعت را برآورد می‌کند. همچنان‌که در تجربهٔ اولیه دستیابی از واکنش‌ها که در آن غلظت‌های اولیه دستیاب شده و تغییر داده شده بودند، تعیین می‌گشتند.

مفادلات سرعت (که سرعت و غلظت را به هم ربط می‌دهند) را می‌توان صورت عبارت‌های ریاضی که غلظت را به زمان بسط می‌دهند، در آورد. این عبارت‌ها را می‌توان برای پیدا کردن غلظت در هر زمان با برای شناسایی مربوطه، اکتشاف کرد (جلد ۱-۲-۳ استند).

نیمه عمر یک واکنش، زمان لازم برای تبدیل نصف ماده‌ای واکنش دهنده به فراورده‌هاست. برای واکنش‌های مرتبه اول، نیمه عمر مستقل از علاوه‌های اولیه واکنش دهنده‌هاست. برای سایر مرتبه‌های واکنش، نیمه عمر با غلطت اولیه تعییر می‌شود.

نظریه پرخورده، بیانکو سرعت یک واکنش سیمایی براساس پرخوردهای بین مولکول‌های واکنش‌پذیر است. یک پرخورده مؤثر (پرخورده که منجر به واکنش شود)، باید انرژی کافی داشته باشد و مولکول‌های پرخورده کشیده باشند.

• 545 • 10

معادله آرنهیوس Arrhenius equation

$$k = k_0 e^{-E_a/(RT)}$$

 که در آن k تابعیت سرعت، k_0 مولکولیتی، E_a انرژی نشسته، R دمای رومبر و T دمای سیستم است.

و اکشن شیمیایی، سرعت آنرا افزایش می‌دهد.
Catalyst کاتالیزور (بخش ۱۴ - آ). ماده‌ای که بدان مصرف شدن
 و اکشن شیمیایی، سرعت آنرا افزایش می‌دهد.
Chain mechanism مکانیسم زنجیری (بخش ۶ - ۶). مکانیسم
 چندمرحله‌ای را که با اکشن کش کرد آن، سپس ایک مرحله اولیه، در مسیر
 همه تکا، می‌شد نمایند (فایل ۲۰). مصلحه این است: هدایت می‌شود، ماده، اکشن

فرایندی می‌باشد که با سوت سطحی شیمیایی (بخش ۱۴) در مرحله دوم است، و فرآورده مرحله دوم تیز شدن و اکتشاف دهنده بروی مرحله اول را دارد.

Collision theory برخورد مولکول‌های بنیادی با یکدیگر را توصیف می‌کند که در آن این مولکول‌ها باید با هم **تغطیه ای** کرد و این تغطیه ای را با **تغییر انرژی** می‌نمایند. این تغییر انرژی را **energy of activation** می‌نامند.

صیانت مناسیب جهت گزینی که ده باشند.

نظیری حالت گذار، یک مرحله از واکنش شیمیایی را براساس ادراشدن یک حالت گذار (یا یک مکانیکس فعال شده) بینان می کند. با استفاده از این نمودار انرژی پتانسیل از این انرژی پتانسیل میان اکتش و هدنه، مکانیک فعال شده، و اکتش و هدنه را شناسان. از آنکه فعال شدن، تغفاری از این انرژی پتانسیل میان اکتش و هدنه و انرژی پتانسیل مکانیک فعال شده، میان انرژی پتانسیل میان اکتش و هدنه از فعال سازی پایین تر باشد، و اکتش درسته هفته ای و فوارورده است. هر چه انرژی فعال سازی پایین تر باشد، و اکتش

سرعی خود آمد.
مکانیسم و اکتشاف ها که ممکن است شامل یک چند مرحله باشد، بینانگر چیزگوئی این را در این مراحل بررسی می کنند: مولکول را در سطح آتی، مولکولی ای، یا پوی است. مولکول را در این مرحله از مکانیسم و اکتشاف، تعیین کننده مرتبه آن و اکتشاف است. معادلات سرتاسر مربوط به مراحل یک مکانیسم پیشنهادی باید چنان هم سازگار باشد که مهادله سرعت تعیین شده تحریق را برای اکتشاف به دست گیرد.
افزایش داشت: افزایش کسری بر مولکول های اداری از این روش فعالیت اسازی می شود. در این ترتیب سرعت اکتشاف افزایش می گیرد. معاذله آریزوپنس، تایت سرعت، k_1 که افزایش دهنده افزایش می باید، این روش فعال سازی، E ، و دمای مطلق، T ، را به هم ربط می دهد.
سرعت اکتشاف هادر افزایش کاتالیزور سیار افزایش می باید. مکانیسم یک اکتشاف کاتالیزاتوری است که اکتشاف کاتالیز شده تفاوت دارد. سریر کاتالیز شده، اندیشه افزایش این را برای داده که اینگاه سریع بود و اکتشاف است.

بین ارزی پاشنیل کمکس فعال شده در یک واکنش Enzyme آنزیم (خش ۱۴ - ۸). یک کاتالیزور طبیعی که در فرایندهای زیست شیمیایی (مانند هضم، تنفس، یا سنتز سلولی) مؤثر است. First-order reaction واکنش شرکت کننده می‌باشد. معمولاً متریا (خش ۱۴ - ۳). واکنش که در آن جمیع توانایی‌ها (سامانی، بارهار و غیره) شرکت نموده باشند، ماده‌ای را که در مساعده سرعت برپار می‌باشد، ماده‌ای دارای قدرت کلی $k[A]$ = سرعت است. half-life نیمه عمر واکنش دهنده، وارد و اکتش شود، برای واکنش های مرتبه اول، نیمه عمر ماده و اکتش دهنده می‌باشد. زمانی که سرعت ایکانکه نصف مستقل از غلظت اولیه سواد و اکتش دهنده است؛ برای واکنش های که مرتبه های دیگر داشته باشند، نیمه عمر به غلظت اولیه سواد و اکتش دهنده

بستکی دارد. هeterogeneous catalyst کاتالیزور ناهمگن (بخش ۱۴ - آ).

کاتالیزوری که در فازی متفاوت با فاز مواد واکنش دهنده باشد. کاتالیزور هسگن (بخش ۱۴ - آ). کاتالیزوری Homogeneous catalyst

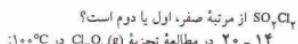
که با مواد واکنش‌دهنده در یک فاز باشد.
Molecularity (انها، مولکول‌ها، یا بین‌ها) که درگیر باشد مسکن است یک مولکولی، دو

مولکولی، یا سه مولکولی باشد.
مرتبه Order of a chemical reaction
 ۱۴- ۲. مجموع ترانهای (نهاهای) عبارت‌های غلظت در معادله سرعت

یک و اونٹش، ثابت سرعت (بخش ۱۴ - ۲)، ثابت تناسب در یک Rate constant

معادله سرعت.
Rate - determining step

۱۴ - واکنش



زمان (دقیقه)	$[\text{Cl}_2\text{O}_7] (\text{mol/L})$	داده‌های زیر به دست آمده است:
*	۶۰	
۱۵	۴۸۲	
۲۵	۲۱	
۵	۲۹۵	
۶	۲۶	
۷۵	۱۱۴	

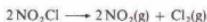
با استفاده از این داده‌ها و رسم نمودار تعیین کنید که آیا این واکنش نسبت به Cl_2O_7 از مرتبه سفید است؟

مکانیسم واکنش‌ها، کاتالیزورها ۲۱ - واکنش



در میان بالاتر از 20°C نسبت به $\text{ICl}(\text{g})$ از $\text{H}_2(\text{g})$ از مرتبه اول است. یک مکانیسم در مرحابه‌ای از پیشنهاد کنید که مرحله اول تعیین‌کننده سرعت و پیامدها معادله سرعت باشد.

۲۲ - واکشن:



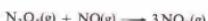
نسبت به $\text{NO}_2\text{Cl}(\text{g})$ از مرتبه اول است. مکانیسم دو مرحله‌ای برای آن پیشنهاد کنید که مرحله اول تعیین‌کننده سرعت و توجیهی برای معادله سرعت باشد.

(A) $\text{NO}_2\text{Cl} \longrightarrow \text{NO}_2 + \text{Cl}$ براساس نظریه پرخورد، تجزیه مرتبه اول (فرارده‌ها → طی مراحل زیر صورت می‌گیرد):



در مرحله ۱، دو مولکول A با هم پرسخوردند کنند، آنرا مستقل شده و یک مولکول A^* (علالت^A) به حالت پر اتری می‌رسد. پرسخورد بعدی از A^* می‌تواند سبب مکوسن شدن این فرایند شود (مرحله ۲) به ه حال، پرسخ از مولکول‌های A^* تجزیه شده و در مرحله تعیین‌کننده سرعت فرارده‌های را تشکیل می‌دهند. از روی این مکانیسم معادله سرعت واکنش را بنویسید با فرض اینکه [A]^A پس از گذشت مدتی ثابت خواهد شد (به این معنا که سرعت مصرف و تولید A^* یکسان باشد). به خاطر داشته باشید چون مرحله ۳ آهسته است، سه‌سیار کوچک‌تر از k_2 خواهد بود.

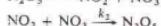
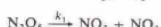
۲۴ - ۱۴ در واکشن



معادله سرعت به صورت زیر است

$$k_1 k_3 [\text{N}_2\text{O}_5][\text{NO}] = \frac{1}{k_2 [\text{NO}_2] + k_3 [\text{NO}]}$$

مکانیسم پیشنهاد شده به صورت زیر است:



نسبت به N_2O_5 از مرتبه اول است. ثابت سرعت این واکشن در 24°K 394×10^{-6} است. در مطالعه تجزیه $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ ، غلظت اولیه آن 2.25 mol/L بوده است. (الف) غلظت $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ پس از ۲۲ ساعت چقدر خواهد بود؟

بررسی: (ج) چند ساعت طول می‌کشند $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ ۳۵٪ تجزیه شود؟

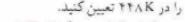
بررسی: (د) با استفاده از داده‌های مسئله ۱۴ نیمه عمر تجزیه $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ را در 24°K تعیین کنید.

۱۴ - ۱۳ با استفاده از داده‌های مسئله ۱۴ نیمه عمر تجزیه $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ را در 24°K تعیین کنید.



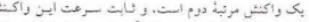
پک و واکنش مرتبه دوم است و ثابت سرعت این واکشن در 3°K برابر 6×10^{-5} است. در یک آزمایش در 2°K غلظت اولیه $\text{NO}_2(\text{g})$ 6×10^{-5} است. (الف) غلظت $\text{NO}_2(\text{g})$ پس از گذشت 120s چقدر خواهد بود؟

پک و واکشن طول می‌کشند $\text{NO}_2(\text{g})$ 10^{-5} باز باشد؟



پک و واکنش مرتبه دوم است و ثابت سرعت این واکشن در 3°K برابر 6×10^{-5} است. در یک آزمایش در 2°K غلظت اولیه $\text{NOCl}(\text{g})$ 6×10^{-5} است. (الف) غلظت $\text{NOCl}(\text{g})$ پس از گذشت 120s چقدر خواهد بود؟

پک و واکشن طول می‌کشند $\text{NOCl}(\text{g})$ 10^{-5} باز باشد؟



پک و واکنش مرتبه دوم است و ثابت سرعت این واکشن در 20°C برابر 6×10^{-5} است. در یک آزمایش در 20°C غلظت اولیه $\text{NOCl}(\text{g})$ 6×10^{-5} است. (الف) غلظت $\text{NOCl}(\text{g})$ پس از گذشت 120s چقدر خواهد بود؟

پک و واکشن طول می‌کشند $\text{NOCl}(\text{g})$ 10^{-5} باز باشد؟



پک و واکنش مرتبه دوم است و ثابت سرعت این واکشن در 20°C برابر 6×10^{-5} است. در یک آزمایش در 20°C غلظت اولیه $\text{NO}(\text{g})$ 6×10^{-5} است. (الف) غلظت $\text{NO}(\text{g})$ پس از گذشت 120s چقدر خواهد بود؟

پک و واکشن طول می‌کشند $\text{NO}(\text{g})$ 10^{-5} باز باشد؟



پک و واکنش مرتبه اول است. نیمه عمر این واکشن در 21°K 2.5×10^{-6} است. ثابت سرعت این واکشن در 21°K برابر 6×10^{-6} است. (الف) غلظت $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ 6×10^{-6} است. (ب) در این دما چقدر است؟



پک و واکنش مرتبه اول است. نیمه عمر این واکشن در 21°K 2.5×10^{-6} است. ثابت سرعت این واکشن در 21°K برابر 6×10^{-6} است. (الف) غلظت $\text{C}_4\text{H}_6(\text{g})$ 6×10^{-6} است. (ب) در این دما چقدر است؟



داده‌های زیر به دست آمده است:

زمان (دقیقه)	$[\text{SO}_2\text{Cl}_2] (\text{mol/L})$
*	4.5×10^{-6}
۱۰۰	9.4×10^{-6}
۲۰۰	3.45×10^{-6}
۳۰۰	2.0×10^{-6}
۵۰۰	1.23×10^{-6}
۷۰۰	0.9×10^{-6}

با استفاده از این داده‌ها و رسم نمودار تعیین کنید که آیا این واکشن نسبت به $\text{SO}_2\text{Cl}_2(\text{g})$ از مرتبه سفید است؟



پک و واکنش مرتبه اول است. نیمه عمر این واکشن در 21°K 2.5×10^{-6} است. ثابت سرعت این واکشن در 21°K برابر 6×10^{-6} است. (الف) غلظت $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ 6×10^{-6} است. (ب) در این دما چقدر است؟



پک و واکنش مرتبه اول است. نیمه عمر این واکشن در 21°K 2.5×10^{-6} است. ثابت سرعت این واکشن در 21°K برابر 6×10^{-6} است. (الف) غلظت $\text{C}_4\text{H}_6(\text{g})$ 6×10^{-6} است. (ب) در این دما چقدر است؟



داده‌های زیر به دست آمده است:

زمان (دقیقه)	$[\text{SO}_2\text{Cl}_2] (\text{mol/L})$
*	4.5×10^{-6}
۱۰۰	9.4×10^{-6}
۲۰۰	3.45×10^{-6}
۳۰۰	2.0×10^{-6}
۵۰۰	1.23×10^{-6}
۷۰۰	0.9×10^{-6}

با استفاده از این داده‌ها و رسم نمودار تعیین کنید که آیا این واکشن نسبت به

A برای 1×10^{11} و E_A برای 29.6 kJ/mol است. معادله سرعت نسبت به NO_2 از مرتبه اول است. ثابت سرعت این واکنش، k در K^{-1} چقدر است؟



نسبت به NO(g) مرتبه دوم است. ثابت سرعت واکنش در $K = 14 \times 10^{-4}$ برابر $(\text{M})^2$ و در $K = 15 \times 10^{-4}$ برابر (M) است. از روی فعال‌سازی این واکنش چقدر است؟



نست به هر یک از واکنش دهنده‌ها از مرتبه اول و در کل از مرتبه دوم است. تاًت سرعت این واکنش در $K = 423 \times 10^{-5}$ (mol) 2 /L 2 برابر است. این واکنش در 45°C با سرعت 10^{-5} لیتر/ساعت افزایش می‌یابد.



نسبت به C_6H_6 و C_6H_5Cl از مرتبتی اول و در کل از مرتبتی دوم است. انرژی فعالسازی این واکنش 118 kJ/mol و k آن در 77°K برابر $(mol.s)^{-1} \cdot L^{-1} \times 10^{-3}$ است. مقدار k این واکنش در 77°K بقدر است.



نسبت به هر یک از واکنش دهنده‌ها از مرتباً اول و در کل از مرتبه دوم است. انرژی فعال‌سازی این واکنش 2.9 kJ/mol و آن در $K = 95 \text{ L/mol}$ (mols) چنان‌جدا است. مقدار k این واکنش در $K = 1000$ چقدر است؟



نسبت به C_6H_5Br از مرتبه اول است. ثابت سرعت، k ، در $K = 6.5 \times 10^{-5}$ و انرژی فعال سازی، E_a ، آن 226 kJ/mol است. در چه دمایین ثابت سرعت برای $\frac{1}{k} = 10^{-5} \times 10^6 \text{ می شود؟}$



نست به N_A از سرتیه اول است. ثابت سرعت، k ، در $K = \frac{1}{\sqrt{v_1 v_2}}$ برابر است و این ریز فعالسازی، $\frac{1}{K}$ کم آن $\frac{1}{mol^2}$ است. در چه دمایی ثابت سرعت برابر با $10^{-5} \times 10^{-6}$ متر/میلی ثانی شود؟

۱۴ $37^\circ C$ و $10\% H_2O$ در مدت 5 min در $20^\circ C$ دقيقه هر 5% کامل شده است. همان واکنش در $K = 10$ در $20^\circ C$ دقيقه و در $5^\circ C$ کامل شده است. این ریز فعالسازی ایجاد شد. این را تجربه کنید.

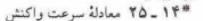
۱۴- ۳۸- اثری فعال‌سازی واکنشی که با افزایش دما از 300 K به 310 K بعثت آن 10 s می‌شود، حقیقت است؟

مسائل طبقه بندی نشده

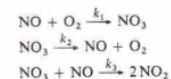


نسبت به NO(g) از مرتبه دوم و نسبت به $\text{H}_2\text{P(g)}$ از مرتبه اول است. (الف)
 معادله سرعت تشكیل $\text{N}_2\text{O(g)}$ را بنویسید؛ (ب) اگر غلاظت ها بر حسب mol/l، بیان شده باشند، واحد ثابت سرعت، چه خواهد بود؟ (ج) معادله سرعت

فرض کنید $\{N_{t,i}\}_{i=1}^{\infty}$ پس از مدت ثابت شود (به این معنا که سرعت مصرف و تولید $N_{t,i}$ بیکسان شود). شان دهید که این مکائیسم به همان معادله سرعت منتهی می‌شود.



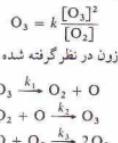
نسبت به NO(g) از مرتبه دوم و نسبت به $\text{O}_2\text{(g)}$ مرتبه اول است، مکانیسم زیر برای آن پیشنهاد شده است:



مرحله سوم اين مكانيسم تعين كيتدنه سرعت است. فرض كنيت $[A]_0$ پس از
مدت ثابت می شود (به اين معنا که سرعت مصرف و توليد $[NO]$ بکسان
می شود). نشان دهد که اين مكانيسم به همان معادله سرعت منتهي می شود. به
خاطر داشته باشید $\frac{d[A]}{dt} = -k[A]^2$ سپراري کوچکتر تازگار باشد.



Readiness statement



مرحله سوم این مکانیسم تعیین کننده سرعت است. فرض کنید $[O]$ پس از مدت ثابت می شود (به این معنای که سرعت معرف و تولید O یکسان می شود)، شان دیدج این مکانیسم به همان معادله سرعت منتهی می شود. با خاطر داشته باشید که بسیار کوچکتر از β_1 یا β_2 است.

۱۴- با استفاده از تמודودهای ائمّی پتانسیل چگونگی عمل کاتالیزور را روایت کنید. آیا کاتالیزور بر روی مقدار ΔH و اکتشاف اثر می‌گذارد؟ آیا یک کاتالیزور متواند سرعت واکنش را کم کند؟ آیا یک کاتالیزور فقط می‌تواند بر روی واکنش رفت یک واکنش برگشت-پذیر تأثیر بگذارد؟ هر یک از پاسخ‌های

خود را تعیین کنید.
 ۱۴- ۲۸ در مکانیسم تجزیه اوزون در مسئله ۱۲-۲۶، انرژی های فعال سازی درنظر گرفته شده براي سه مرحله عبارتند از L_1 ، L_2 ، $2.4L_1$ و ΔH و اکتشن کلی $2.85L_1$ -۲۸ است. نمودار انرژی پتانسیل این و اکتشن را

معادلات سرعت و دما



$A = 10^{18} \times 3 \times 8.9 \text{ kJ/mol}$ است. معادله سرعت نسبت به NO_2 از مرتبه اول است. ثابت سرعت این واکنش، k ، در 500°K چقدر است؟





مکانیسم زنجیری دارد. عوامل انتشار زنجیر اتم‌های Cl و رادیکال‌های CH_3 هستند و شواهد نشان می‌دهند که اتم‌های H در این مکانیسم درگیر نیستند. معادلات مربوط به مکانیسم این واکنش را نوشه و مراحل آغازی، انتشار و پایانی آن را مشخص کنید.

۱۴ - ۳۳ - مفاوت بین کاتالیزور ناممگن و همگن چیست؟ شیوه عمل هر نوع از این کاتالیزورها را توصیف کنید.
 ۱۴ - ۳۴ - ستئز پریمات‌ها در سال‌های اخیر ممکن شده است. بهترین روش تهیه آنها شامل اکسایش برمات‌ها به وسیله فلورور در محلول قلبیابی است. علت مشکل بودن ستئز پریمات‌ها چیست؟ قدرت اکسیدکننگی پریمات‌ها در چه حد است؟

صرف شدن $\text{NO}(\text{g})$ را بنویسید. آیا مقدار عددی k در این معادله با مقدار آن در معادله قسمت (الف) بخسان است؟

۱۴ - ۴۰ - واکنش



نسبت به Cl از مرتبه اول است. ثابت سرعت این واکنش در $K = 6 \times 10^{-6}$ برابر $\frac{C_2H_5Cl}{C_2H_4}^{\frac{1}{2}}$ و در 65°K و 10^{-6} برابر 8×10^{-6} عولا است. اسراری فعال‌سازی این واکشن چقدر است؟

۱۴ - ۴۱ - با استفاده از داده‌های مسئله ۱۴ - ۴۰ نیمه عمر تجزیه $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ را در (الف) $K = 6 \times 10^{-6}$ ؛ (ب) $K = 6 \times 10^{-5}$ محاسبه کنید.

۱۴ - ۴۲ - واکشن

تعادل شیمیایی

باگذشت زمان سرعت واکنش رفت کاهش می‌پابد و سرعت واکنش برگشت افزایش می‌پابد، تا جایی که دو سرعت برابر می‌شوند. در این لحظه، تعادل شیمیایی بحران می‌شود. شرایط تعادل، شرایطی پورا (دینامیک) است که در آن در تغییر مخالف با سرعت برابر نخست می‌دهند.

در حالت تعادل، غلظت تمام مواد ثابت است. غلظت AB ثابت است، زیرا AB طی واکنش رفت تولید می‌شود و با همان سرعت، در واکنش برگشت به مصرف می‌رسد. همین طور، A_p و B_p طی واکنش برگشت تولید می‌شوند و با همان سرعت در واکنش رفت به مصرف می‌رسند. پاید توجه کرد که علت ثابت بودن غلظت‌ها، مساوی بودن سرعت واکنش‌های رفت و برگشت است، نه متوقف شدن تمام فعالیت‌ها. در شکل ۱۵ - ۱ داده‌های تجربی به صورت نمودار ترسیم شده است. در زمان t_p ، تعادل فرا می‌رسد.

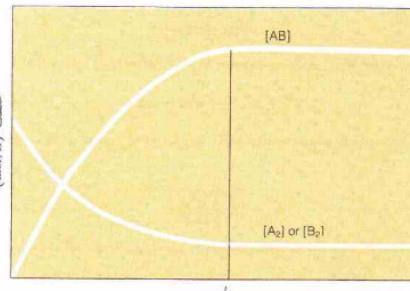
اگر فرض کنیم که واکنش‌های رفت و برگشت با مکانیسم‌های یک مرحله‌ای ساده انجام می‌شوند، سرعت واکنش رفت چنین خواهد بود:

$$\text{سرعت} = k_p [A]_p [B]_p$$

و سرعت واکنش برگشت به صورت زیر است،

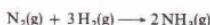
$$\text{سرعت} = k_p [AB]^2$$

در حالت تعادل، این دو سرعت برابر می‌شوند، بنابراین،



شکل ۱۵ - ۱ منحنی‌های مربوط به تغییرات غلظت مواد نسبت به زمان برای واکنش $A_p + B_p \rightleftharpoons 2AB$ تعادل، در زمان t_p فرا می‌رسد.

نیتروژن و هیدروژن، در شرایط مناسب، با هم ترکیب می‌شوند و آمونیاک تولید می‌کنند:



از سوی دیگر، آمونیاک در دمای بالا تجزیه می‌شود و نیتروژن و هیدروژن بدست می‌دهد:



این واکنش برگشت پذیر است و معادله واکنش را به صورت زیر می‌توان نوشت:



پیکان دولایی (\rightleftharpoons) نشان می‌دهد که واکنش را از هر طرف می‌توان خواند. تمام فرایند‌های برگشت پذیر، میل رسیدن به تعادل دارند. یک واکنش شیمیایی برگشت پذیر، پس از مساوی شدن سرعت واکنش رفت با واکنش برگشت، به حالت تعادل می‌رسد. سیستم‌های تعادل که شامل واکنش‌های شیمیایی برگشت پذیرند، موضع این قصل هستند.

۱۵ - ۱ واکنش‌های برگشت پذیر و تعادل شیمیایی

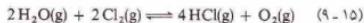
یک واکنش برگشت پذیر فرضی درنظر بگیرید:



این معادله را از هر دو طرف رفت و برگشت می‌توان خواند. اگر A_p و B_p مخلوط شوند، از واکنش بین آنها، AB تولید می‌شود. از سوی دیگر، نمونه خالصی از AB، تجزیه شده و A_p و B_p بدست می‌دهد.

فرض کنید مخلوطی از A_p و B_p را در ظرفی قرار می‌دهیم. از واکنش بین آنها AB تولید می‌شود، و یا پیشرفت واکنش رفت، غلظت آنها کاهش می‌پابد (شکل ۱۵ - ۱ را بینید). با کاهش غلظت A_p و B_p سرعت واکنش رفت کاهش می‌پابد.

در آغاز آزمایش واکنش برگشت نمی‌تواند انجام شود، زیرا هنوز AB تولید نشده است. ولی به تدریج با تولید AB طی واکنش رفت، مقداری AB تولید می‌شود و واکنش برگشت آغاز می‌گردد. شروع واکنش برگشت آهسته است (به علت پایین بودن غلظت AB) و به تدریج سرعت می‌گیرد.

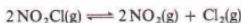


و معادله مربوط به ثابت تعادل، چنین است:

$$K = \frac{[\text{HCl}]^4[\text{O}_2]}{[\text{H}_2\text{O}]^2[\text{Cl}_2]^2} \quad (۱۰ - ۱۵)$$

برای آسان شدن کار، فرض می کنیم که واکنش های رفت و برگشت با مکانیسم های یک مرحله ای انجام می شوند. آیا قانون تعادل شیمیایی برای واکنش های دارای بیش از یک مرحله نیز صادق است؟ پاسخ مشیت است.

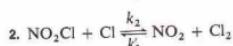
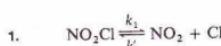
واکنش زیر را در نظر بگیرید،



که معادله ثابت سرعت آن به قرار زیر است،

$$K = \frac{[\text{NO}_2]^2[\text{Cl}_2]}{[\text{NO}_2\text{Cl}]^2} \quad (۱۱ - ۱۵)$$

این واکنش با مکانیسمی دو مرحله ای انجام می شود:



نماد ثابت های سرعت در بالا و پایین پیکانهای این معادله ها نشان داده شوند. نماد k برای ثابت سرعت واکنش رفت، و k' برای واکنش برگشت به کار می رود. اندیس های پایین این نمادها، مشخص نشانه مرحله اند.

چون واکنش کل برگشت پذیر است، هر یک از مرحله مکاتیسم نیز باید برگشت پذیر باشد. وقتی واکنش کلی به تعادل می رسد، هر یک از مرحله مکاتیسم باید در تعادل باشد. بتایرانی،

$$K_1 = \frac{k_1}{k'_1} = \frac{[\text{NO}_2][\text{Cl}]}{[\text{NO}_2\text{Cl}]} \quad (۱۲ - ۱۵)$$

و

$$K_2 = \frac{k_2}{k'_2} = \frac{[\text{NO}_2][\text{Cl}_2]}{[\text{NO}_2\text{Cl}][\text{Cl}]} \quad (۱۳ - ۱۵)$$

حاصل ضرب این معادله ها (یعنی معادله ۱۵ - ۱۲ - ۱) ضرب در معادله

با برابر است با:

$$K_1 K_2 = \frac{k_1 k_2}{k'_1 k'_2} = \frac{[\text{NO}_2][\text{Cl}]}{[\text{NO}_2\text{Cl}]} \cdot \frac{[\text{NO}_2][\text{Cl}_2]}{[\text{NO}_2\text{Cl}][\text{Cl}]} = \frac{[\text{NO}_2]^2[\text{Cl}_2]}{[\text{NO}_2\text{Cl}]^2}$$

که با معادله ثابت تعادل به دست آمده از معادله تغییر کلی (یعنی معادله ۱۱ - ۱۵) برابر است. در این مورد، ثابت تعادل مربوط به تغییر کلی برابر با حاصل ضرب ثابت های تعادل هر یک از مرحله است:

$$K = K_1 K_2$$

$$\text{سرعت} = \text{سرعت} \gamma$$

$$k_f[\text{A}_2][\text{B}_2] = k_r[\text{AB}]^2$$

این معادله را می توان به صورت زیر تغییر داد

$$\frac{k_f}{k_r} = \frac{[\text{AB}]^2}{[\text{A}_2][\text{B}_2]}$$

ثابت سرعت واکنش رفت، یعنی γ ، تقسیم بر ثابت سرعت واکنش برگشت، یعنی k_r/k_f برابر با ثابت سوم است که ثابت تعادل K خوانده می شود.

$$\frac{k_f}{k_r} = K \quad (۱ - ۱۵)$$

بتایرانی

$$K = \frac{[\text{AB}]^2}{[\text{A}_2][\text{B}_2]}$$

مقدار عددی K با دما تغییر می کند. شمار ترکیب های غلطی مربوط به سیستم های تعادل برابر این واکنش، نامحدود است. اما غلظت های A_2 ، B_2 و AB هر سیستم در حال تعادل در یک دمای معین، به صورت پیش بین می شود و برابر با همان مقدار K است. به طور کلی برای واکنش برگشت پذیر،



در تعادل

$$K = \frac{[\text{Y}]^y[\text{Z}]^z}{[\text{W}]^w[\text{X}]^x} \quad (۳ - ۱۵)$$

طبق قرارداد، عبارت های مربوط به غلطی مواد سمت راست، در صورت کسر بین کننده ثابت تعادل نوشته می شوند.

به عنوان مثال، واکنش برگشت پذیر زیر در نظر بگیرید،



معادله ثابت تعادل برای این واکنش شیمیایی به قرار زیر است:

$$K = \frac{[\text{H}_2\text{O}]^2[\text{Cl}_2]^2}{[\text{HCl}]^4[\text{O}_2]^2} \quad (۵ - ۱۵)$$

اگر معادله کلی (معادله ۱ - ۱۵) به صورت معکوس نوشته شود:



معادله ثابت تعادل (که به صورت K' نشان داده می شود) به صورت زیر است:

$$K' = \frac{[\text{W}]^w[\text{X}]^x}{[\text{Y}]^y[\text{Z}]^z} \quad (۷ - ۱۵)$$

توجه کنید که K' (در معادله ۶ - ۱۵)، عکس K (در معادله ۴ - ۱۵) است:

$$K' = \frac{1}{K} \quad (۸ - ۱۵)$$

در مثال ما (معادله ۱۵ - ۴)، فرم معکوس معادله شیمیایی به صورت زیر است:

حل

$$\begin{aligned} K &= \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} \\ &= \frac{(4.41 \times 10^{-2} \text{ mol/L})^2}{(4.27 \times 10^{-3} \text{ mol/L})} \\ &= 4.66 \times 10^{-3} \text{ mol/L} \end{aligned}$$

مثال ۲ - ۱۵

در $K = 50 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ از $\text{ONCl}(g)$ وارد یک ظرف یک اپتی می‌شود. درحالات تعادل، $\text{ONCl}(g) \rightleftharpoons 2 \text{NO}(g) + \text{Cl}_2(g)$

مقدار K_p برای تعادل برقار شده در $K = 5 \times 10^{-3}$ را بدست آورید.

حل

با توجه به حجم دقیق یک لیتری نمونه، مسأله را ساده می‌کنیم، زیرا تعادل مول های گاز برایرا با غلظت آن گاز (برحسب mol/L) است.

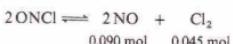
چون $\text{ONCl}(g) \rightleftharpoons 2 \text{NO}(g) + \text{Cl}_2(g)$ فقط به میزان ۹٪ تفکیک شده است،

$0.0900 \text{ mol ONCl} = 0.0900 \text{ mol ONCl}$ $= 0.0900 \text{ mol ONCl}$

این مقدار را باید از عده مول های ONCl اولیه کم کنیم، به این ترتیب غلظت ONCl در تعادل برایرا است با،

$$[\text{ONCl}] = 1.00 \text{ mol/L} - 0.090 \text{ mol/L} = 0.91 \text{ mol/L}$$

ONCl تفکیک شده، به NO و Cl_2 تبدیل می‌شود. مقدار این مواد را از ضرایب معادله شیمیایی می‌توان به دست آورد:



چون از ۲ مول ONCl ، مقدار ۲ مول NO به دست آید، 0.90 mol فقط ONCl از 0.90 mol از NO تولید می‌کند. معادله شانس می‌ددند که ۲ مول از ONCl فقط یک مول Cl_2 بدست می‌دهند؛ پس این ۰.۹۰ مول Cl_2 را از ONCl بدمد.

۱. در کارهای دقیق، ثابت های تعادل به دست آمده از سنجش های ترمومیتریمیکی را ساید کار برو (بغض ۱۶ - ۷). این ثابت های تعادل ترمومیتریمیکی را برحسب فعالیت بیان می‌کنند به برحسب غلظت غلظت (برحسب mol/L) برای K_p : بخش ۱ - ۵ (۲ اشاره برحسب atm) برای K_c : بخش ۱۵ (۳)، اولی در غلظت های پایین و در فشار چند جو، غلظت ها و شاره های جزوی را با دقت مقولی می توان کار برو.

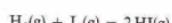
بشت کامل غلظت فراز از برname این کتاب است. ولی با آن می شویم که غلظت دارای واحد نیست، غلظت با شاره حقیقی بر غلظت با شاره ماده در حالت استاندارد است. در ترتیب ثابت های تعادل ترمومیتریمیکی مغایر بدون واحد هستند. به هر حال به عنوان مقدمه ای بر موضوع تعادل شیمیایی، در این قسم اوضاع های برای K_p و K_c به کار میریم، در برخی موارد ابتدا تعادل $\text{H}_2(g) + \text{I}_2(g) \rightleftharpoons 2 \text{HI}(g)$ مقدار K_p برای سیستم های تعادلی در 245°C برابر است با:

$$K_p = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = 54.5$$

مقدار K_p برای سیستم های تعادلی در 245°C معمولاً با K_c نمایش داده می شود.^۱ برای واکنش:

مقدار عددی ثابت تعادل باید به صورت تجربی تعیین شود. اگر غلظت (برحسب mol/L) مواد درگیر در هر مخلوط تعادلی در 245°C می شود (جدول ۱ - ۱ را بینید)، معادله K_p قرار دهن تیجه ۵۴.۵ می شود (جدول ۱ - ۱ را بینید).

یک مخلوط تعادلی را می توان از مواد ظاهر شده در سمت راست معادله شیمیایی مربوطه، از ترکیبی از مواد ترشی شده، یا از ترکیبی از این مواد، تهیه کرد. در آزمایش های منکور در جدول ۱ - ۱، مخلوط های تعادلی واکنش زیر:



از تجربیه HI خالص (آزمایش ۱)، مخلوط کردن H_2 و I_2 (آزمایش ۲)، مخلوط کردن H_2 و HI (آزمایش ۳)، و مخلوط کردن هر سه ماده (آزمایش ۴) تهیه شدند. از نظر غلظت، هیچ کدام از مخلوط های تعادلی که در این جدول آمده است به هم شباهت ندارند؛ اما غلظت هم آنها وقیع در معادله K_p قرار داده شوند، مقدار پایی برای K_p به دست می آید.

مثال ۲ - ۱۵

برای واکنش زیر

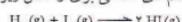


غلظت مواد موجود در مخلوط تعادلی در 25°C عبارت است از

$$[\text{N}_2\text{O}_4] = 4.27 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

$$[\text{NO}_2] = 1.41 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

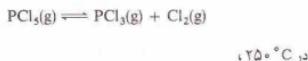
مقدار K_p برای این دما به دست آورید.

جدول ۱ - ۱۵ - سیستم های تعادلی برای واکنش زیر در 25°C :

$K_p = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}$	غلظت های تعادلی			غلظت های اولیه		
	(mol/L)	(mol/L)	(mol/L)	(mol/L)	(mol/L)	(mol/L)
۵۴.۳	۰.۱۱۸	۰.۱۵۶	۰.۱۵۶	۰.۱۱۸	۰.۱۱۸	۰.۱۱۸
۵۴.۵	۰.۱۱۵	۰.۱۵۰	۰.۱۵۰	۰.۱۱۵	۰.۱۱۵	۰.۱۱۵
۵۴.۵	۰.۱۱۱	۰.۱۴۶	۰.۱۴۶	۰.۱۱۱	۰.۱۱۱	۰.۱۱۱
۵۴.۷	۰.۱۱۰	۰.۱۴۵	۰.۱۴۵	۰.۱۱۰	۰.۱۱۰	۰.۱۱۰
۵۴.۹	۰.۱۰۹	۰.۱۴۴	۰.۱۴۴	۰.۱۰۹	۰.۱۰۹	۰.۱۰۹
۵۵.۰	۰.۱۰۸	۰.۱۴۳	۰.۱۴۳	۰.۱۰۸	۰.۱۰۸	۰.۱۰۸

تعادل، NO عمده‌ای به N_2 و O_2 تفکیک شده است. واکنش برگشت (به سمت چپ) تقریباً کامل است.

پیش بینی برای یک واکنش
برای واکنش



$$K_c = \frac{[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]} = 0.0415 \text{ mol/L}$$

فرض کنید مخلوطی از 100 mol از $\text{PCl}_5(\text{g})$ و 50 mol از $\text{PCl}_3(\text{g})$ و 50 mol از $\text{Cl}_2(\text{g})$ در 25°C قرار داده است. آین سیستم، درحال تعادل است؛ یا واکنش مشخصی در جهت رفت یا برگشت صورت می‌گیرد؟

اگر این مخلوط، یک مخلوط تعادلی باشد، غلظت سه ماده، هنگامی که در معادله K_c قرار داده شود، پرایز K_c خواهد بود. مقدار بدست آمده با قراردادن غلظت‌های اولیه در معادله ثابت تعادل را بهتر با خارج قسمت می‌نامیم و با نماد Q نمایش می‌دهیم. برای مثال مورد بحث ما،

$$Q = \frac{[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]}$$

$$= \frac{(0.0500 \text{ mol/L})(0.0300 \text{ mol/L})}{(0.100 \text{ mol/L})} = 0.0150 \text{ mol/L}$$

دراین مورد، $Q < K_c$ کوچک‌تر از K_c (۱۵۰ mol/L) و 45 mol/L) است. بنابراین سیستم درحال تعادل است. واکنش از چپ به راست جریان دارد. غلظت اجمامی که در صورت کسر مربوط به Q است (راست دارند) (ست راست مقدار شیمیایی) افزایش می‌یابد، و غلظت موادی که در مخرج قرار دارند (ست چپ مقدار شیمیایی) افزایش می‌شود. به این ترتیب مقدار Q برای K_c شده و تعادل برقرار می‌شود.

به طور کلی، بین مقدار Q و مقدار K_c مربوطه، ممکن است یکی از سه رابطه زیر برقرار باشد:

۱- $Q < K_c$: در این مورد واکنش از چپ به راست می‌رود (واکنش رفت) تا به تعادل برسد. به این ترتیب، Q تا جایی افزایش می‌یابد که با K_c برابر شود.

$Q = K_c$: سیستم در حالت تعادل است.

۳- $Q > K_c$: در این مورد واکنش از راست به چپ (جهت برگشت) می‌رود تا به تعادل برسد. به این ترتیب، Q تا جایی کاهش می‌یابد که با K_c برابر شود.

$$[\text{ONCl}] = 0.91 \text{ mol/L}$$

$$[\text{NO}] = 0.090 \text{ mol/L}$$

$$[\text{Cl}_2] = 0.045 \text{ mol/L}$$

روشن تنظیم این داده‌ها شامل تهیه جدولی از غلظت‌های اولیه، تغییرات آنها، و بالآخر، غلظت‌های تعادلی است. استوکیومتری واکنش، هنگام استخراج مقادیر مربوط به سطر دوم (تحت تغییر) به کار می‌آید.

$2 \text{ONCl} \rightleftharpoons 2 \text{NO} + \text{Cl}_2$
: در آغاز
1.00 mol/L
-
- 0.090 mol/L
: تغییر
0.91 mol/L
:
در تعادل
0.90 mol/L
0.045 mol/L

بنابراین،

$$K_c = \frac{[\text{NO}]^2 [\text{Cl}_2]}{[\text{ONCl}]^2}$$

$$= \frac{(0.090 \text{ mol/L})^2 (0.045 \text{ mol/L})}{(0.91 \text{ mol/L})^2}$$

$$= 4.4 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$$

K_c و موقعیت تعادل

بزرگی مقدار ثابت تعادل، نشانه‌ای از موقعیت تعادل به دست می‌دهد. به یاد بایوارد که عبارت‌های غلظت مواد در سمت راست تعادل، در صورت کسر مربوط به ثابت تعادل آورده می‌شوند. برای واکنش



در 100°C

$$K_c = \frac{[\text{COCl}_2]}{[\text{CO}][\text{Cl}_2]} = 4.57 \times 10^9 \text{ L/mol}$$

از این مقدار نسبتاً بزرگ K_c می‌توان توجه گرفت که غلظت‌های تعادلی CO و Cl_2 در 100°C ، کوچک هستند و سنتز COCl_2 ، تقریباً کامل است. به بیان دیگر، در حالت تعادل، واکنش رفت (به سمت راست) تقریباً کامل است. برای واکنش



در 170°C

$$K_c = \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]} = 3.52 \times 10^{-4}$$

از مقدار بسیار کوچک K_c در 170°C نتیجه می‌گیریم که در حالت

دماهی تعادل، ثابت است. مقدار K_c در دمای دیگر، مستقای خواهد بود.

۴- بزرگی مقدار K_c برای یک تعادل معین، بیانگر موقعیت تعادل است. یک مقدار بزرگ برای K_c ، نشان می‌دهد که واکنش در جهت راست (رفت) تقریباً کامل است. یک مقدار کوچک، K_c ، نشان از کامل بودن واکنش در جهت چپ دارد. اگر مقدار K_c ، نه بسیار بزرگ باشد و نه بسیار کوچک، نشان دهنده وضعیت حد وسط است.

تعیین غلظت‌های تعادلی با استفاده از K_c مثال‌های زیر بیانگر چگونگی استفاده از معادله‌های K_c برای پیدا کردن غلظت‌های تعادلی هستند.

مثال ۱-۱۵

مقدار K_c برای تعادل HI در 25°C برابر ۵۴۵ است:



مقداری 425 mol/L دریک ظرف 25°C قرارداده می‌شود و در 25°C به حالت تعادل در می‌آید. غلظت $\text{H}_2(\text{g})$ و $\text{I}_2(\text{g})$ در تعادلی شامل mol/L چقدر است.

حل

غلظت‌های $\text{K}(\text{g})$ و $\text{I}_2(\text{g})$ باید برابر باشند، زیرا به مقادیر مساوی، طی تجزیه $\text{HI}(\text{g})$ تولید می‌شوند. بنابراین احجازه بدهید.

$$[\text{H}_2] = [\text{I}_2] = x$$

می‌دانیم که غلظت تعادلی HI برابر است با

$$[\text{HI}] = 0.50\text{ mol/L}$$

این مقادیر را در معادله مربوط به ثابت تعادل فراخ می‌دهیم و آن را برابر x حل می‌کنیم:

$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = 54.5$$

$$\frac{(0.50\text{ mol/L})^2}{x^2} = 54.5$$

$$54.5x^2 = 0.25\text{ mol}^2/\text{L}^2$$

$$x^2 = 0.00456\text{ mol}^2/\text{L}^2$$

$$x = 0.068\text{ mol/L}$$

غلظت‌های تعادلی عبارتند از:

$$[\text{HI}] = 0.50\text{ mol/L}$$

$$[\text{H}_2] = [\text{I}_2] = 0.068\text{ mol/L}$$



در 25°C بسیار با 36 L/mol است. اگر 50 mol مول $\text{SO}_3(\text{g})$ و 20 mol $\text{O}_2(\text{g})$ در 25°C در یک ظرف یک لیتری مخلوط شود، واکنش در چه جهتی پیش می‌رود؟

حل

$$Q = \frac{[\text{SO}_4]^2}{[\text{SO}_3]^2[\text{O}_2]} = \frac{(0.125\text{ mol/L})^2}{(0.0500\text{ mol/L})^2(0.0300\text{ mol/L})} = 208\text{ L/mol}$$

چون $Q < K_c$ (۲۰۸ L/mol) بزرگ‌تر از 50 L/mol (۳۶ L/mol) است، واکنش از راست به چپ می‌رود (نفکیک می‌شود).

تعادل‌های ناهنجمن

تعادل بین مواد موجود در دو یا چند فاز را تعادل ناهنجمن گویند. غلظت یک ماده جامد خالص یا یک مایع خالص در فشار و دمای ثابت، ثابت است. به این ترتیب، در یک تعادل ناهنجمن، مقدار غلظت مواد جامد یا مایع در گزینه K_c منظور می‌شوند و عبارت‌های مربوط به غلظت این اجزاء به طور مشخص در معادله ثابت تعادل ظاهر نمی‌شود. مثلاً برابر واکنش



مقدار غلظت CaO و CO_2 در مقدار K_c منظور می‌شوند، و معادله ثابت تعادل به صورت زیر است:

$$K_c = [\text{CO}_2]$$

درنتیجه در یک دمای ثابت، غلظت تعادلی CO_2 بر روی مخلوطی از جامدات، مقدار معینی است. ثابت تعادل واکنش



به صورت زیر بیان می‌شود:

$$K_c = \frac{[\text{H}_2]^4}{[\text{H}_2\text{O}]^4}$$

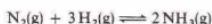
برخی از واقعیت‌های تجربی مربوط به ثابت‌های تعادل را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- عبارت‌های غلظت‌های اجمامی که در سمت راست معادله شیمیایی قرار دارند، در صورت تعادل K_c نوشته می‌شوند. عبارت‌های غلظت موادی که در سمت چپ مستندند، در مخرج کسر آمدند.
- عبارت‌های مربوط به غلظت جامدات و مایعات خالص منظور نمی‌شوند. مقدار K_c شامل این عبارت‌هاست.
- مقدار K_c برای یک تعادل معین در صورت ثابت ماندن

ثابت تعادل بر حسب فشار جزئی،

$$K_p = p_{\text{CO}_2}$$

برای تعادل زیر،



مقدار K_p برابر است با،

$$K_p = \frac{(p_{\text{NH}_3})^2}{(p_{\text{N}_2})(p_{\text{H}_2})^3}$$

بین K_p یک واکنش و ثابت تعادل به دست آمده از غلظت، رابطه ساده‌ای برقرار است. واکنش زیر را در نظر بگیرید



اگر همه این مواد، گازی باشند،

$$K_p = \frac{(p_Y)^y(p_Z)^z}{(p_W)^w(p_X)^x} \quad (۱۵ - ۱۵)$$

فرض کنید که همه این گازها از قانون گاز ایده‌آل پیروی کنند

$$PV = nRT$$

در آن صورت، فشار جزئی هر گاز، معنی p ، برابر است با

$$p = \frac{n}{V} RT$$

غلظت یک گاز بر حسب n/V برابر با n/V است. در نتیجه، برای گاز W

$$p_W = [\text{W}]RT \quad (۱۶ - ۱۵)$$

$$(p_W)^w = [\text{W}]^w(RT)^w \quad (۱۷ - ۱۵)$$

اگر معادله‌هایی مانند معادله ۱۷ - ۱ را به جای عبارت‌های فشار جزئی در معادله K_p (معادله ۱۵ - ۱) قرار دهیم، داریم

$$\begin{aligned} K_p &= \frac{[\text{Y}]^y(RT)^y[\text{Z}]^z(RT)^z}{[\text{W}]^w(RT)^w[\text{X}]^x(RT)^x} \quad (۱۸ - ۱۵) \\ &= \frac{[\text{Y}]^y[\text{Z}]^z}{[\text{W}]^w[\text{X}]^x} (RT)^{y+z-w-x} \end{aligned}$$

عبارت کسری معادله آخر، برابر با K_e است:

$$K_p = K_e(RT)^{y+z-w-x} \quad (۱۹ - ۱۵)$$

اگر معادله شیمیایی واکنش را به صورت زیر بخوانیم



بر حسب مقادیر مولی،

عده مول‌های گازهای سمت راست =

عده مول‌های گازهای سمت چپ =

مثال ۱۵ - برای واکنش



مقدار K_e در دمای 0°C ، برابر با ۷۷۱ است. اگر ۱۰۰ mol H_2 و ۱۰۰ mol CO_2 در یک ظرف یک لیتری، در 0°C ، مخلوط شوند، غلظت مواد موجود در تعادل را بدست آورید.

حل

چون حجم ظرف یک لیتر است، مقادیر عددی غلظت‌ها (برحسب mol/L) برابر با تعداد مول‌های به کار رفته است. اگر $x\text{ mol}$ H_2 با $x\text{ mol}$ CO_2 واکنش دهد، H_2O با $x\text{ mol}$ CO در تعادل می‌شود. در نتیجه

	$\text{H}_2(\text{g})$	$+$	$\text{CO}_2(\text{g})$	\rightleftharpoons	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	$+$	$\text{CO}(\text{g})$	
در آغاز	0.0100 mol/L	$+$	0.0100 mol/L	$-$	$-$	$-$	$-$	
نیز	$-x$	$-$	$-x$	$+x$	$+x$	$+x$	$+x$	

(در تعادل) $\frac{0.0100\text{ mol/L} - x}{(0.0100\text{ mol/L} - x)} = \frac{x}{x}$

$$K_e = \frac{[\text{H}_2\text{O}][\text{CO}]}{[\text{H}_2][\text{CO}_2]} = 0.771$$

$$K = \frac{x^2}{(0.0100\text{ mol/L} - x)^2} = 0.771$$

با گرفتن جذر از دو طرف معادله، داریم:

$$\frac{x}{(0.0100\text{ mol/L} - x)} = 0.878$$

$$x = 0.0878\text{ mol/L} - 0.878x$$

$$x = 0.00468\text{ mol/L}$$

بنابراین، در حالت تعادل،

$$[\text{H}_2] = [\text{CO}_2] = 0.0100\text{ mol/L} - 0.00468\text{ mol/L} = 0.0053\text{ mol/L}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = [\text{CO}] = 0.00468\text{ mol/L}$$

۳ - ثابت تعادل

فشار جزئی یک گاز، بیانگر غلظت آن است. بنابراین غلظت‌های تعادلی برای واکنش‌های گازی را می‌توان بر حسب فشار جزئی گازهای واکنش دهنده نوشت. چنین ثابت تعادلی را نامد K_p نشان می‌دهند.

برای تعادل کلسیم کربنات



اگر Δn برابر با تغییر تعداد مول های گازها هنگام خواندن معادله از چپ به راست باشد:

$$\Delta n = (y + z) - (w + x) = +y + z - w - x \quad (۲۰ - ۱۵)$$

بنابراین

$$K_p = K_c(RT)^{\Delta n} \quad (۲۱ - ۱۵)$$

فشار جزئی بر حسب جو، غلظت بر حسب مول بر لیتر، R برابر با $۸۳۰۶ \text{ L.atm}/(\text{K.mol})$ و T دمای مطلق بر حسب K است.

برای واکنش



در ۰°C به دست آوریده در صورتی که مقدار K_p در این دما، $۱ \times ۱۰^{-۵} /\text{atm}^۴$ باشد.

حل

در سمت چپ معادله شیمیایی، چهار مول گاز و در سمت راست آن دو مول گاز وجود دارد. در نتیجه

$$\Delta n = -2$$

دماي ۰°C ، برابر است با

$$T = 773 \text{ K}$$

بنابراین،

$$K_p = K_c(RT)^{\Delta n}$$

$$(1.50 \times 10^{-5} /\text{atm}^۴) = K_c[(0.0821 \text{ L.atm}/(\text{K.mol}))(773 \text{ K})]^{-2}$$

$$(1.50 \times 10^{-5} /\text{atm}^۴) = \frac{K_c}{(63.5 \text{ L.atm/mol})^۲}$$

$$K_c = (1.50 \times 10^{-5} /\text{atm}^۴)(4.03 \times 10^۳ \text{ L}^۲ \cdot \text{atm}^۲/\text{mol}^۲) \\ = 6.04 \times 10^{-۲} \text{ L}^۲/\text{mol}^۲$$

مثال ۱۵

برای واکنش



مقدار K_p در دماي ۱۰۰°C برابر با ۱۷۵ atm است. فشار جزوی CO(g) در یک سیستم تعادلی که در آن، فشار جزوی $\text{CO}_2(\text{g})$ برابر با ۱ atm باشد، چقدر است؟

حل

$$K_p = \frac{(p_{\text{CO}})^2}{p_{\text{CO}_2}} = 167.5 \text{ atm}$$

$$\frac{(p_{\text{CO}})^2}{0.100 \text{ atm}} = 167.5 \text{ atm}$$

$$(p_{\text{CO}})^2 = 16.8 \text{ atm}^2$$

$$p_{\text{CO}} = 4.10 \text{ atm}$$

مثال ۱۵

مقدار K_p برای تعادل

در ۱۱۰°C ، مقدار K_p برابر با ۲۷۱ mol/L است. مقدار K_p در این دما به دست آورید.

حل

از دو مول $\text{SO}_3(\text{g})$ ، جمماً ۳ مول گاز تولید می شود. بنابراین،

$$\Delta n = +1$$

$$K_p = K_c(RT)^{\Delta n}$$

$$= (0.0271 \text{ mol/L})[(0.0821 \text{ L.atm}/(\text{K.mol}))(1100 \text{ K})] \\ = 2.45 \text{ atm}$$

و با افزودن H_2 بیشتر به سیستم، غلظت H_2 را افزایش می‌دهیم، تعادل به هم می‌خورد، و سیستم چنان وقایر می‌کند که غلظت H_2 را کاهش دهد. این کار را با معرفت مقداری از H_2 و همچنین مقداری از I_2 و تشکیل مقداری HI می‌توان انجام داد، وقیتی تعادل جدید برقرار می‌شود، غلظت HI بالاتر از مقدار اولیه آن می‌گردد، در این حالت گفته می‌شود که موقعیت تعادل به سمت راست جا به جا شده است.

اگر با افزایش HI به سیستم، غلظت را افزایش دهیم، موقعیت تعادل به سمت چپ جا به جا می‌شود، به این ترتیب مقداری از HI به مصرف می‌رسد، پس از برقراری تعادل جدید، غلظت I_2 و H_2 بالاتر از مقدار اولیه می‌شود.

حذف یکی از مواد از یک سیستم در حال تعادل نیز موجب جا به جا شدن موقعیت تعادل می‌شود، مثلاً اگر HI را بتوان حذف کرد، موقعیت تعادل به راست جا به جا می‌گردد، مقداری بیشتری تولید می‌شود و غلظت H_2 و I_2 کاهش می‌یابد.

با حذف مستمر یک فراورده می‌توان پرسخی از واکنش‌های برگشت‌پذیر را «کامل» کرد. در مای تنسیتاً بالا، تبدیل کامال (۶) $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$

را می‌توان با حذف CO_2 به محض تولید آن، عملی ساخت.

۲ - تغییرات فشار، اصل لوشاتلیه را برای انجام پیش‌بینی‌های کیفی در خورد اثر تغییرات فشار بر سیستم‌های در حال تعادل نیز به کاربرد، اثر افزایش فشار بر یک مخلوط در حال تعادل از SO_2 , O_2 , و SO_3 در نظر گیرید:



در واکنش رفت، دو مولکول گاز $(2SO_2)$ در اثر تابیدن سه مولکول گاز $(O_2 + 2SO_2)$ تولید می‌شود، فشار اعمال شده به وسیله دو مولکول گاز به اندازه فشار سه مولکول گاز نیست، وقتی فشار وارد شده بر یکی مخلوط در حال تعادل افزایش یابد (با حجم سیستم کاهش یابد)، موقعیت تعادل به سمت راست جا به جا می‌شود، به این ترتیب، سیستم با تغییر وارد شده بر آن مقابله می‌کند. از سوی دیگر، کاهش فشار (با افزایش حجم) سبب جا به جا شدن موقعیت این تعادل به چپ می‌شود، برای واکنش‌هایی که در آنها $\Delta n < 0$ است، تغییر فشار افری برو موقعیت تعادل ندارد، تعادل‌های مربوط به سیستم‌های



تحت تأثیر تغییر فشار نرم‌گیرنده، زیرا تفاوت در حجم کل، نه در جهت رفت و نه در جهت برگشت، وجود ندارد. برای سیستم‌که فقط شامل مایعات و جامدات باشد، اثر فشار بر موقعیت تعادل، تأثیری است و در اغلب موارد از تغییرات معمولی فشار

در $CO(g)$ در فشار atm در $CO_2(g)$ در $FeO(s)$ در ظرفی قرار داده شوند، فشار در حال تعادل چقدر است؟

حل

فشار جزئی CO_2 پس از برقرار شدن تعادل را x می‌گیریم، چون به ازای هر مول CO مصرف شده، یک مول CO تولید می‌شود، فشار جزئی CO_2 برابر با کاهش فشار CO است:

$FeO(s)$	$+ CO(g) \rightleftharpoons Fe(s) + CO_2(g)$
: در آغاز	1.000 atm
: تغییر	$-x$
: در تعادل	$1.000 \text{ atm} - x$

$$\frac{P_{CO_2}}{P_{CO}} = \frac{x}{1.000 - x} = 0.403$$

$$\frac{x}{1.000 - x} = 0.403$$

$$x = P_{CO_2} = 0.287 \text{ atm}$$

$$1.000 - x = P_{CO} = 0.713 \text{ atm}$$

۱۵-۳ اصل لوشاتلیه

راستی، تغییر در یکی از شرایط آزمایش (مانند فشار یا دما)، سبب چه تغییری در یک سیستم در حال تعادل می‌شود؟ اگر این تغییرات، در ۱۸۸۴ میلادی توسعه هزاری لوشاتلیه بررسی شد. اصل لوشاتلیه می‌گوید که یک سیستم در حال تعادل، در مقابل فشارهای وارد شده بر آن، مقابله می‌کند و حالت تعادلی جدیدی به وجود می‌آورد. کاربرد این تعمیم مهم، بسیار ساده است:

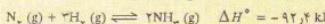
۱ - تغییرات غلظت. اگر غلظت چشم افزایش یابد، فرض کنید که یک تغییر می‌کند که غلظت جسم اضافه شده کاهش یابد، فرض کنید که سیستم در حال تعادل دارد،



هانری لوشاتلیه (۱۸۵۰ تا ۱۹۳۶)

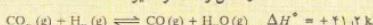
جدول ۱۵ - ۲ - تغییر ثابت‌های تعادل با دما

واکنش رفت، گرمایانز



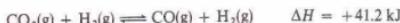
K_c (L/mol)	دما (°C)
۶	۳۰۰
۰.۵	۴۰۰
۰.۰۶	۵۰۰
۰.۰۱۴	۶۰۰

واکنش رفت، گرمایانز



$K_c = K_p$	دما (°C)
۰.۳	۷۰۰
۰.۹۳	۸۰۰
۱.۲۹	۹۰۰
۱.۶	۱۰۰۰

به سمت چپ جا به جا می‌گردد، یعنی در جهتی که گرمای جذب می‌شود. اگر مخلوط سرد شود، تعادل به سمت راست، یعنی در جهتی که گرمای تولید می‌شود، جا به جا می‌گردد. بالاترین پاره ΔH° برای پایین ترین دما به دست آید. متأسفانه اگر دما بسیار پایین باشد، واکنش بین نهایت آهسته می‌شود. در این فرایند صنعتی، افزارهای بالا و دمایایی در حدود 50°C استفاده می‌شود. واکنش زیز را در نظر نگیرید.



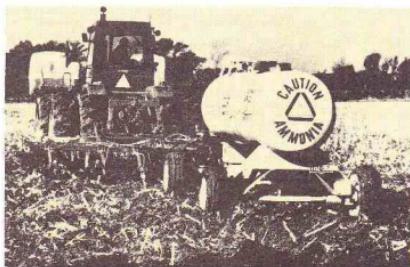
واکنش رفت، به دلیل مثبت بودن ΔH ، گرمایانز است. معادله زیر را نویسیم.



افزایش دما، همواره با تغییرات گرمایانز و کاهش دما همواره با تغییرات گرمایانزگار است. در این مورد، با افزایش دما، واکنش به سمت راست رانده می‌شود. کاهش دما موجب جا به جاشدن تعادل به چپ می‌گردد.

مقادیر عددی ثابت تعادل در اثر تغییر دما، تغییر می‌کند. در جدول ۱۵ - ۱، مقادیر مربوط به دو سیستم تعادلی آمده است. واکنش بین N_2 و H_2 برای تشکیل NH_3 ، در چهت رفت گرمایانز است و در اثر افزایش دما به سمت چپ جا به جا می‌شود. به این ترتیب، غلظت مواد موجود در سمت چپ (یعنی $[N_2]$ و $[H_2]$)، که در مسخر K_c قرار دارد (افزایش می‌باشد)، غلظت ماده سمت راست این معادله (یعنی $[NH_3]$) که صورت کسر K_c را تشکیل می‌دهد، کاهش می‌باشد. در نتیجه افزایش دما سبب کاهش مقدار K_c می‌شود.

واکنش بین CO و H_2 در چهت رفت گرمایانز است و با افزایش دما به سمت راست جا به جا می‌شود. غلظت مواد سمت راست (صورت



تولید آمونیاک یکی از مهم‌ترین فرایندهای صنعتی است. این عکس شاند هندنه بکی از موارد مصرف آن به عنوان کود شیمیایی است.

صرف نظر می‌شود. ولی تغییرات زیرگ فشار می‌تواند چنین تعادل‌های را به صورت قابل ملاحظه‌ای تغییر دهد؛ در مواردی، حتی تغییرات چشمی در این تعادل‌ها، جالب توجه هستند. مثلاً موقعيت تعادل



با افزایش فشاره راست جایه‌جایی شود، زیرا حجم مقدار معینی از آب مابین کمتر از حجم آن در حالت جامد است (چنان‌که آن در حالت مایع بالاتر است). تغییرات فشار می‌تواند اثر شدیدی بر تعادل‌های شامل مواد کاری دارد. مثلاً فشار زیاد موجب تولید مقدار بیشتری آمونیاک طی تعادل زیر می‌شود:



به این ترتیب اصل لوشانیله اهمیت عملی فراوانی در تعیین شرایط مناسب واکنش‌ها برای تولید یک فراورده موردنظر دارد. در تعادل‌های نامنgunمن اثر فشار را می‌توان با شمارش تعادل مول‌های گازار در طرف واکنش پیش‌بینی کرد. مثلاً تغییر فشار بر موقعيت تعادل



اثر ندارد، زیرا در هر طرف معادله، چهار مولکول گاز وجود دارد. ۳ - تغییرات دما، برای پیش‌بینی اثر تغییر دما بر یک سیستم در حال تعادل، ماهیت اثر گرمایانی مربوط به واکنش یا بد شناخته شده باشد. در 25°C ، معادله گرامشیمیایی مربوط به ستون آمونیاک به صورت زیر است



چون مقدار ΔH منفی است، طی واکنش رفت، گرمای آزاد می‌شود. می‌توان معادله را به صورتی نوشت که گرمای را به عنوان یک فراورده نشان دهد:



واکنش رفت، گرمایانز و واکنش برگشت گرمایانز است. به بیان دیگر، واکنش رفت، گرمای تولید می‌کند، و واکنش برگشت گرمای را به صورت می‌رساند. اگر گرمای اضافه شود (دما سیستم بالا رود)، موقعيت تعادل

تعادل شیمیایی ندارد، زیرا کاتالیزور، به طور یکسان، بر سرعت و اکتشاف رفت و اکتشاف برگشت اثر می‌گذارد (بخش ۱۶ - ۷ را بینید). ولی یک کاتالیزور می‌تواند سیستمی را زودتر به حالت تعادل برساند.

(K) افزایش می‌باید، غلظت مواد سمت چپ (محجوب) کاهش می‌باید، و مقدار K_z زیاد می‌شود.
۴ - افزایش کاتالیزور، حضور کاتالیزور، اثری بر موقعیت یک

چکیده مطالب

بررسی، اگر Q برگر از K_p باشد، و اکتشاف به سمت چپ می‌رود.
تعادل های بین مواد موجود در دو یا چند فاز را تعادل های تامه مگن گویند.
در تعادل های K_p مربوط به این نوع سیستمها، عبارت های مربوط به جامدات و مایعات خالص متفاوت نمی شوند.
ثابت تعادل و اکتشاف های شامل گاز را می توان بر حسب فشار جزئی گازها (بر حسب جو) نوشت و با K_p نمایش داده می شوند. بین دو ثابت K_p و K_a
واسطه $\Delta n = K_p / (RT)$ است. عبارت Δn عبارت است از تغییر در مقدار مول های گازها، همگام که و اکتشاف از چپ به راست خواهد می شود. ثابت های K_p و K_a را می توان برای پیدا کردن غلطت های تعادلی به کار برد.
اصل لوسانه، پاسخ یک سیستم به تغییرات شرایط از میانش را پیش بینی می کند. افزایش غلطت یک گاز، سبب جا به چاشدن تعادل در چه کاهش غلطت آن گاز می شود. حافظ یک جسم، سبب جا به چاشدن تعادل در چه کاهش غلطت آن مول های گاز می شود. افزایش نشان، سبب جا به چاشدن تعادل در چه کاهش غلطت آن مول های گاز می شود. افزایش درجه حرارت به جا شدن در تعادل در چه کاهش غلطت آن مول های گاز می شود. و مقدار عادی K_p و K_a را تغییر دهد. افزودن یک کاتالیزور، سیستم را سریع تر به حالت تعادل می رساند، ولی موقعیت تعادل را تغییر نمی دهد.

Heterogeneous equilibrium تعادل نامه مگن (بخش ۱۵ - ۲).
تعادل بین مواد موجود در بین از یک فاز، مانند تعادل بین جامدات و گازها.
Homogeneous equilibrium تعادل همگن (بخش ۱۵ - ۲).
تعادل بین موادی که همه آنها در یک فاز باشند.
Le Chatelier's principle اصل لوشاتلی (بخش ۱۵ - ۳). یک سیستم در حال تعادل، به تغییر شرایط پاسخ می دهد و با ایجاد حالت تعادلی جدیدی، با تغییر اعمال شده مقابله می کند.
Reaction quotient, Q پهر و اکتشاف (بخش ۱۵ - ۴). مقدار به دست آمده با قراردادن غلطت مواد در مادله ثابت تعادل، K_a باشد، و اکتشاف به سمت راست می رود و اگر Q < K_a باشد، و اکتشاف به سمت چپ می رود.

اگر مواد را که در تعادل و اکتشاف برگشت می کنند در ظرفی مخلوط کنیم، چنان رفتار می کنند که یک حالت تعادل پر از این میکس (K_m) بوجود آید. در حالت تعادل، سرعت و اکتشاف رفت برای برآورده سرعت و اکتشاف برگشت است. بنابراین، غلطت تمام مواد درگیر در تعادل، ثابت است. این غلطت ها را می توان برای به دست آوردن کسری مواد به ثابت تعادل، K_a به کار برد. برای و اکتشاف کلی ذهن داری:

$$wW + xX \rightleftharpoons yY + zZ$$

$$K = \frac{[Y]^y [Z]^z}{[W]^w [X]^x}$$

مقدار عددی K_a به دماستگی دارد. ولی با تغییر مقدار مواد به کار زنده برای ایجاد تعادل، تغییرات نشان، حضور یک کاتالیزور، تغییری نمی کند.
ثابت تعادلی در آن، غلطت ها بر حسب مول بر اینتری بین شوند، با K_a
نشان داده می شود. اگر K_a بک عدد برگر باشد، و اکتشاف رفت، سیستما کامل است.
اگر K_a عددی کوچک باشد، و اکتشاف برگشت، سیستما کامل است.
هر یارا خارج قسمت و اکتشاف، Q، دارای معانی قدر K_a است اما برای تعیین چگونگی و اکتشاف دسته ای مواد و ایجاد تعادل بین آنها به کار می رود. اگر Q کوچک بر از K_a باشد، و اکتشاف برگشت پذیر به سمت راست می رود تا به تعادل

مفاهیم کلیدی

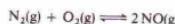
Chemical equilibrium تعادل شیمیایی (بخش ۱۵ - ۱). حالات که در آن، سرعت و اکتشاف در هجت رفت با سرعت و اکتشاف در هجت برگشت، برای برگشت می شود.
Equilibrium constant, K ثابت تعادل (بخش ۱۵ - ۱ - ۱ - ۱۵ - ۱). ثابت تعادل که برای اکتساری است که صورت آن را حاصل نسب غلطت های مواد سمت راست مادله شیمیایی رسانیده، هر یک به توان ضرب خود در مادله شیمیایی رسانیده باشد، و محصول آن را حاصل غلطت های مواد سمت نسب غلطت های مواد سمت راست مادله شیمیایی رسانیده باشد، شکل می دهد. مقدار به دست آمده با پیان غلطت های بر حسب مول بر اینتری با تعادل K_a (بخش ۱۵ - ۲) شان می دند؛ ثابت تعادل شده بر حسب فشار جزئی (بر حسب جو) نمایش داده می شود (بخش ۱۵ - ۳).

مسائل

- ۱ - در هر یک از اکتشاف های زیر، رابطه ثابت تعادل، K_a را بنویسید:
(الف) $CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g)$
(ج) $2CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g) + O_2(g)$
(ز) $2Ag_2O(s) \rightleftharpoons 4Ag(s) + O_2(g)$
(ه) $4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons 4NO(g) + 6H_2O(g)$
- ۲ - در هر یک از اکتشاف های زیر، رابطه ثابت تعادل را بنویسید:
(الف) $2H_2S(g) + CH_4(g) \rightleftharpoons CS_2(g) + 4H_2(g)$
(ب) $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$
(ج) $2Pb_3O_4(s) \rightleftharpoons 6PbO(s) + O_2(g)$
(د) $C(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g)$
(ه) $2NO(g) \rightleftharpoons N_2(g) + O_2(g)$
- ۳ - در هر یک از اکتشاف های که در مسئله ۱۵ - ۱ آمده است در اثر افزایش

* مسائل مشکل تر با * مشخص شده اند. پاسخ مسائل فرده در پیرست آخر کتاب آمده است.

K_c در 150°C برابر $7 \times 10^{-7} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ است. اگر 2摩尔 $\text{CH}_3\text{O}(g)$ و 2摩尔 $\text{H}_2\text{O}(g)$ داشته باشیم، مول $\text{CO}(g)$ و 2摩尔 $\text{NO}(g)$ در یک ظرف پیش از تعادل در 15°C مخلوط شوند، و اکنون به کدام سمت پیش می رود؟



K_c در 180°C برابر 3×10^{-1} است. اگر 2摩尔 $\text{NO}(g)$ و 2摩尔 $\text{O}_2(g)$ داشته باشیم، مول $\text{H}_2\text{S}(g)$ و 2摩尔 $\text{NH}_3\text{HS}(g)$ جامد در 180°C در یک ظرف پیش از تعادل در 180°C مخلوط شوند، و اکنون به کدام سمت پیش می رود؟



K_c در 22°C برابر $7 \times 10^{-4} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ است. اگر 2摩尔 $\text{NO}(g)$ و 2摩尔 $\text{O}_2(g)$ داشته باشیم، مول $\text{H}_2\text{S}(g)$ و 2摩尔 $\text{NH}_3\text{HS}(g)$ جامد در 22°C در یک ظرف پیش از تعادل در 22°C مخلوط شوند، و اکنون به کدام سمت پیش می رود؟

ثابت تعادل K_c مقدار K_c سیستم تعادلی زیر را



در 395°C با غلظت های تعادلی $[\text{H}_2] = 16 \text{ mol/L}$ ، $[\text{I}_2] = 25 \text{ mol/L}$ و $[\text{HI}] = 40 \text{ mol/L}$ مقدار K_c حسابی کنید.

وارد شده و تعادل زیر برقار شده است.



غلظت تعادلی $\text{PCl}_4(g)$ براساس 100°C است. (الف) غلظت های تعادلی $\text{PCl}_3(g)$ و $\text{Cl}_2(g)$ چقدر است؟ (ب) مقدار K_c این تعادل در 100°C چقدر است؟ (ج) مقدار K_c این تعادل در 26°C چقدر است؟ (د) اگر 2摩尔 $\text{SO}_2(g)$ در 100°C در یک ظرف پیش از تعادل قرار داده شود، به هنگام برقاری تعادل در 77°C 26% $\text{SO}_2(g)$ تفکیک شده است:



(الف) غلظت های تعادلی $\text{SO}_{2\text{d}}(g)$ و $\text{O}_2(g)$ چقدر است؟ (ب) مقدار K_c این تعادل در 100°C چقدر است؟ (ج) این تعادل در 26°C چقدر است؟ (د) اگر 2摩尔 $\text{NO}(g)$ در 26°C در یک ظرف پیش از تعادل قرار داده شود، به هنگام برقاری تعادل در 77°C 22% $\text{NO}(g)$ تفکیک شده است:



(الف) غلظت های تعادلی $\text{NO}(g)$ و $\text{O}_2(g)$ چقدر است؟ (ب) مقدار K_c این تعادل در 26°C چقدر است؟ (ج) این تعادل در 77°C چقدر است؟



(الف) غلظت های تعادلی $\text{CH}_3\text{OH}(g)$ و $\text{H}_2\text{O}(g)$ چقدر است؟ (ب) مقدار K_c این تعادل در 22°C چقدر است؟ (ج) این تعادل در 42°C چقدر است؟



(الف) غلظت های تعادلی $\text{NO}(g)$ و $\text{O}_2(g)$ چقدر است؟ (ب) مقدار K_c این تعادل در 180°C چقدر است؟

شاری به کدام قسمت جا به جا می شوند.

۱۵ - ۴ هر یک از تعادل هایی که در مسئله ۱۵ - ۲ آمده است، در اثر افزایش فشار به کدام سمت جا به جا می شوند؟

۱۵ - ۵ در هر یک از اوقات هایی که در مسئله ۱۵ - ۱ آمده است، معادله ثابت تعادل K_c را بتوسیله در هر مورد معادله ای به دست آورید که بیانگر رابطه بین K_c و K_p باشد.

۱۵ - ۶ در هر یک از واکنش هایی که در مسئله ۱۵ - ۱ آمده است، معادله ثابت تعادل K_c را بتوسیله در هر مورد معادله ای به دست آورید که بیانگر رابطه بین K_c و K_p باشد.

۱۵ - ۷ در تعادل $\text{N}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightleftharpoons 2\text{NO}(g)$

K_c در 20°C برابر 1.5×10^{-34} و در 25°C برابر 1×10^{-36} است. آیا واکنش به صورتی که نوشت شده گرمایزا یا گرمایگیر است؟

۱۵ - ۸ در تعادل $\text{Ni}(s) + \text{CO}(g) \rightleftharpoons \text{Ni}(s) + \text{CO}_2(g)$

K_c در 936°K برابر 9×10^{-3} و در 1125°K برابر 1×10^{-3} است. آیا واکنش به صورتی که نوشت شده گرمایزا یا گرمایگیر است؟

۱۵ - ۹ واکنش:



از چپ به راست گرمایگیر است. اعمال هر یک از تغییرات زیر بر این سیستم

تعادل چه تأثیری بر موقوعت تعادل دارد؟ (الف) افزایش دما؛ (ب) کاهش فشار

(ج) افزودن $\text{H}_2\text{O}(g)$ ؛ (د) حذف (e) افزایش فشار؛ (f) افزودن کاتالیزور.

۱۵ - ۱۰ واکنش:



از چپ به راست گرمایگیر است. اعمال هر یک از تغییرات زیر بر این سیستم

تعادل چه تأثیری بر موقوعت تعادل دارد؟ (الف) کاهش دما؛ (ب) کاهش فشار

(ج) افزودن $\text{HCl}(g)$ ؛ (د) افزودن $\text{CO}(g)$ ؛ (e) حذف (f) افزایش فشار؛ (g) افزودن $\text{CO}_2(g)$ ؛ (h) حذف (i) کاهش دما؛ (j) کاهش فشار؛ (k) افزایش فشار.

۱۵ - ۱۱ واکنش:



از چپ به راست گرمایگیر است. اعمال هر یک از تغییرات زیر بر این سیستم

تعادل چه تأثیری بر موقوعت تعادل دارد؟ (الف) افزایش دما؛ (ب) کاهش فشار

(ج) افزایش فشار؛ (د) کاهش دما؛ (e) حذف (f) افزایش فشار؛ (g) افزایش دما؛ (h) حذف (i) کاهش دما؛ (j) کاهش فشار؛ (k) افزایش فشار.

۱۵ - ۱۲ در تعادل:



از چپ به راست گرمایگیر است. اعمال هر یک از تغییرات زیر بر این سیستم

تعادل چه تأثیری بر موقوعت تعادل دارد؟ (الف) افزایش $\text{CO}_2(g)$ ؛ (ب) حذف

(ج) افزایش دما؛ (د) کاهش فشار؛ (e) حذف (f) افزایش فشار؛ (g) افزایش دما؛ (h) حذف (i) کاهش دما؛ (j) کاهش فشار؛ (k) افزایش فشار.

۱۵ - ۱۳ در تعادل:



K_c در 22°C برابر 8.8×10^{-2} است. اگر 2摩尔 $\text{H}_2\text{O}(g)$ در یک ظرف پیش از تعادل باشد، مول $\text{O}_2(g)$ و 2摩尔 $\text{Cl}_2(g)$ در یک ظرف پیش از تعادل باشند.

۱۵ - ۱۴ در تعادل:



K_p این تعادل در 22°C قدر است؟ (ب) مقدار K_p این تعادل در 20°C قدر است؟ (ج) NH_4HS چگام در 22°C به یک ظرف تخلیه شده وارد شده است. به هنگام برقراری تعادل:



شارک (مریبوط به گازهای NH_3 و H_2S با هم) 14 atm است. مقدار K_p این تعادل در 22°C قدر است؟ (ج) HgO چگام در 45°C به یک ظرف تخلیه شده وارد شده است. به هنگام برقراری تعادل:



شارک (مریبوط به گازهای Hg و O_2 با هم) 7 atm است. مقدار K_p این تعادل در 45°C قدر است؟ (ج) H_2O چگام در 80°K در یک ظرف شامل 1 mol $\text{CO}(\text{g})$ و 1 mol $\text{O}_2(\text{g})$ در حالت تعادل، 65°K مول $\text{CO}_2(\text{g})$ و 0.95 mol $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ وجود دارد:



(الف) غلظت‌های تعادل هریک از این چهار گاز قدر است؟ (ب) مقدار K_p این تعادل در 80°K در یک ظرف 1 mol $\text{NOCl}(\text{g})$ به میزان 4 atm و نشار کل 1 mol $\text{NO}(\text{g})$ در 34°K قدر است؟ (ج) $\text{NOCl}(\text{g})$ به 0.56 mol $\text{NO}(\text{g})$ رسیده است:



فرض کنید پیش از نکته کی 1 mol $\text{NOCl}(\text{g})$ در ظرف وجود داشته است. (الف) در حالت تعادل چند مول $\text{NO}(\text{g})$ ، $\text{NOCl}(\text{g})$ و $\text{Cl}_2(\text{g})$ وجود دارد؟ (ب) شمارک مول‌های هر گاز موجود در حالت تعادل چقدر است؟ (ج) نشار بجزی این سه گاز در حالت تعادل چقدر است؟ (د) مقدار عددی K_p این تعادل در 80°K قدر است؟ (ه) $\text{PCl}_3(\text{g})$ به ظرف تخلیه شده‌ای وارد شده تا نشار آن در 35°C رسیده است. به هنگام برقراری تعادل:



شارک داخل ظرف 1 atm است. (الف) نشار جزوی $\text{Cl}_2(\text{g})$ و $\text{PCl}_3(\text{g})$ در 25°C در مخلوط تعادلی قدر است؟ (ب) مقدار K_p این تعادل در 25°C قدر است؟ (ج) این سه گاز در حالت تعادل چقدر است؟ (د) مقدار عددی K_p در 80°K رسیده است. به هنگام برقراری تعادل:



شارک داخل ظرف 1 atm است. (الف) نشار جزوی $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ و $\text{NO}_2(\text{g})$ در مخلوط تعادلی قدر است؟ (ب) مقدار K_p این تعادل در 55°C قدر است؟ (ج) این سه گاز در حالت تعادل چقدر است؟ (د) مقدار عددی K_p در 37°C رسیده است. به هنگام برقراری تعادل:



شارک در 20°C رسیده است. (الف) نشار جزوی $\text{Cl}_2(\text{g})$ در 48°C 1.88 atm است. (ب) مقدار K_p این تعادل در 48°C قدر است؟ (ج) این سه گاز در 30°C رسیده است. به هنگام برقراری تعادل:



شارک در 150°C رسیده است. (الف) این تعادل در 150°C قدر است؟ (ب) مقدار K_p این تعادل در 150°C قدر است؟

$\text{O}_2(\text{g})$ در 75°C رسیده است. اگر 6 mol $\text{N}_2(\text{g})$ و 6 mol $\text{O}_2(\text{g})$ را پیدا کنید، در تعادل:

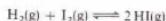


K_p در 75°C رسیده است. اگر 6 mol $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ و 6 mol $\text{CO}(\text{g})$ در 75°C در یک ظرف پیش‌بینی قرار داده شوند، غلظت هر چهار ترکیب به هنگام برقراری تعادل چقدر است؟

ترکیب به هنگام برقراری تعادل:

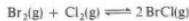


K_p در 150°C برابر 3×10^{-3} است. اگر 6 mol $\text{IBr}(\text{g})$ در 150°C در یک ظرف پیش‌بینی قرار داده شوند، غلظت هر چهار ترکیب به هنگام برقراری تعادل چقدر است؟ (ج) این سه گاز به هنگام برقراری تعادل:



K_p در 225°C رسیده است. اگر 1 mol $\text{H}_2(\text{g})$ در 225°C در یک ظرف پیش‌بینی قرار داده شوند، غلظت هر چهار ترکیب به هنگام برقراری تعادل چقدر است؟ (ج) این سه گاز به هنگام برقراری تعادل:

ترکیب به هنگام برقراری تعادل:



K_p در 40°K رسیده است. اگر 4 mol $\text{Br}_2(\text{g})$ در 40°K در یک ظرف پیش‌بینی قرار داده شوند، غلظت هر چهار ترکیب به هنگام برقراری تعادل چقدر است؟ (ج) این سه گاز به هنگام برقراری تعادل:



K_p در 100°K رسیده است. (الف) نشار جزوی $\text{CO}(\text{g})$ در 100°K در یک ظرف پیش‌بینی قرار داده شوند، غلظت $\text{CO}(\text{g})$ و $\text{CO}_2(\text{g})$ به $\text{FeO}(\text{s})$ رسیده است؟ (ب) جرم $\text{FeO}(\text{s})$ به هنگام برقراری تعادل چقدر است؟ (ج) این سه گاز به هنگام برقراری تعادل:



K_p در 90°K رسیده است. (الف) این سه گاز به هنگام برقراری تعادل:



نشار جزوی $\text{CH}_4(\text{g})$ در مخلوط تعادلی 1 atm است. (الف) نشار جزوی $\text{H}_2(\text{g})$ در مخلوط تعادلی چقدر است؟ (ب) مقدار K_p این تعادل در 100°C پیش‌بینی شده است؟ (ج) $\text{COCl}_2(\text{g})$ به $\text{H}_2(\text{g})$ و $\text{CO}(\text{g})$ رسیده است. به هنگام برقراری تعادل:



نشار جزوی $\text{CO}(\text{g})$ در مخلوط تعادلی 1 atm است. (الف) نشار جزوی

افزایش فشار موقعتی تعادل چگونه تغییر پیدا می‌کند؟ (ج) در این تعادل رابطهٔ K_p و K_c چیست؟

۱۵- واکنش $C_6H_6 + A(g) \rightleftharpoons C_6H_5A$ به صورتی که نوشته شده
گرامار است. فرض کنید میتوانیم بر این دست، در هر گز میتواند زیر
گرفت: $C_6H_6 + C(g) \rightleftharpoons C_6H_5C_6H_5$ چگونه تغییر می‌کند؟ (الف) افزایش دهن؛ (ب) افزایش فشار؛ (ج)
افزونه؛ (د) افزایش کاتالیزور؛ (ه) حذف. $B(g) + B(g) \rightleftharpoons 2B_2(g)$ به میزان دارد یعنی
که چگونه تغییر می‌کند؟ (و) افزایش دهن؛ (ز) افزایش فشار؛ (ح) افزودن
کاتالیزور؛ (ط) افزایش $A(g)$.

۱۵- مقداری $CaCO_3$ خامد در K به یک ظرف تخلیه شده وارد
شده و بعد از سه دقایق از آن جدا شد.



فشار تعادلی (g) CO_2 برابر atm در $22^\circ C$ است. مقدار K_p این تعادل در 800 K

$K_c = 1.5 \times 10^{-2}$ در 425°C برابر است.

فرض کنید این تعادل در 24.5°C با آغازوند HI(g) به دامان و اکتشاف برقرار شده باشد. (ب) غلطات های $\text{H}_2\text{S(g)}$ و I_2g در این تعادل ایجاد می شوند. (ج) HI(g) پیش از برقراری این تعادل چند قدر است؟ (د) اگر از $\text{H}_2\text{S(g)}$ افزوده شده تنشکی شده است؟



معادله‌ای بنویسید که بیانگر ارتباط بین K_c و K_p باشد.



K_p بر یک دسای مصنوع براساس PCl_3 در مداری است. مقداری (g) از PCl_3 را در $25^\circ C$ و $1 atm$ است. هنگام برقراری تعادل فشار جزوی (g) برابر PCl_3 است. (الف) فشار جزوی (g) از PCl_3 و $Cl_2(g)$ پیش از تغییر کشند به حالات تعادل چند است؟ (ب) فشار اولویه (g) از PCl_3 در این سیستم در حالات تعادل چند مقدار بوده است؟ (ج) در این سیستم در حالات تعادل چند

$$N_2O(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$$

در مخلوط تعادل، فشار جزئی (g) N_2O برای $\text{NO}_2(g)$ و فشار جزئی (g) Br_2 برای atm است. (الف) مقدار K_p در این دما مقدار است؟ (ب) اگر فشار کل از $\text{atm} + 1 \times 10^{-2}$ بررسد و دما ثابت نگهداشته شود، فشار جزئی هر یک از جزوی در مخلوط تعادل مقدار است؟ توجه کنید که برای حل این مسئله

۱۵-۳۹ با استفاده از داده‌های مسئله ۱۵-۳۷، K_c و K_p تعادل زیر را در 48°C تعیین کنید.



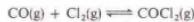
۱۵- ۴۰ با استفاده از داده های مسئله ۱۵- ۳۸- K_c و K_p تعادل زیر را در



Wkst. #10



K_p در 275°C برابر $14 \times 10^3 \text{ atm}$ است. این تعادل در 275°C چقدر است؟



K_p در ${}^{\circ}\text{C}$ در ${}^{\circ}\text{C}$ برابر $\times 10^4 \text{ atm}^{-1}$ است. این تعادل در ${}^{\circ}\text{C}$ چقدر است؟

۴۴- با استفاده از داده های مستلزم ۱۵- ۴۲- K_p و K_c تعادل زیر را در $25^{\circ}C$ بسنجی کنید.



• 100 - 40 - 10



$K_p = \frac{P_{NO}^2}{P_{N_2} P_{O_2}}$ در $K = 24 \times 10^{-3}$ است. در مخلوطی از دو گاز N_2 و O_2 فشار جزوی هر یک برابر 1 atm ۵۰٪ است. فشار جزوی (g) به هنگام برقراری تعادل در $K = 24 \times 10^{-3}$ چند است؟



باشد، شار جزئی (g) NH_3 پنجه است؟ (ب) شار کل پنجه است؟ (ج) کسر مولوی (g) NH_3 موج دارد. است؟

مسائل طبقه بندی نشده

پیوست‌ها

پیوست الف

دستگاه بین‌المللی واحدها (SI)

واحدهای اصلی SI		سنچش
نام	واحد	
m	متر	طول
kg	کیلوگرم	جرم
s	ثانیه	زمان
A	آمپر	جریان الکتریسیته
K	کلوین	* دما
mol	مول	مقدار جسم
cd	کاندلا (شمع)	شدت روشنایی

* دما را بر حسب درجه سلسیوس (نام C) نیز می‌توان بیان کرد.

واحدهای تكمیلی

واحد	نام	سنچش
rad	رادیان	زاویه مسطح
sr	استرadian	زاویه جسم

پیشوندهای SI

ضریب	پیشوند	نام
10^{12}	ترا-	T-
10^9	گیکا-	G-
10^6	مگا-	M-
10^3	کیلو-	k-
10^2	هکتا-	h-
10^1	دا-	da-
10^{-1}	دس-	d-
10^{-2}	سانتی-	c-
10^{-3}	میلی-	m-
10^{-6}	میکرو-	μ -
10^{-9}	نانو-	n-
10^{-12}	پیکو-	p-
10^{-15}	فتو-	f-
10^{-18}	آتو-	a-

مقادیر برخی ثابت‌ها و ضرایب تبدیل

ثابت‌های فیزیکی

ثابت	نماد	مقدار
عدد آورگادرو	N	$6.022 \times 10^{23} / \text{mol}$
شعاع بوهر	a_*	$5.9177 \times 10^{-11} \text{ m}$
جرم الکترون ساکن	m	$9.10535 \times 10^{-31} \text{ g}$
بار الکتریکی (واحد بار)	e	$1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
فرازده	F	$9.64846 \times 10^9 \text{ C}$
ثابت گاز ایده‌آل	R	$8.31441 \text{ J/(K.mol)}$
حجم مولی، گاز ایده‌آل در STP	—	22.418 L
جرم نوترون ثابت	—	$1.674952 \times 10^{-27} \text{ g}$
ثابت پلانک	\hbar	$1.60882675 \times 10^{-34} \text{ Js}$
برهم پروتون ساکن	—	$1.672649 \times 10^{-27} \text{ g}$
سرعت نور در خالی	c	$2.997925 \times 10^8 \text{ m/s}$

ضرایب تبدیل

واحد	نماد	تعریف یا همانز
انگستروم	\AA	$10^{-10} \text{ m} = 10^{-8} \text{ cm} = 10^{-11} \text{ nm} = 100 \text{ pm}$
جتو	atm	$10^{13.25} \times 10^{-5} \text{ Pa}$ (با N/m^2) ، 76 torr (با جبوه mm)
کالری	cal	4.184 J
کولان	C	$3.7 \times 10^{10} \text{ J}$
کوری	Ci	$1.67 \times 2 \times 10^{-19} \text{ J}$
الکترون ولت	eV	$3.75 \times 10^{-19} \text{ C}$
واحد الکترواستاتیکی	esu	1.6 J
ارگ	erg	$\text{N.m} = \text{kg.m}^2/\text{s}^2 = \text{V.C}$
ژول	J	10^3 erg
مقیاس دمای کلوین	K	$K = C + 273.15$
نقشه سه‌تایی آب (1°C) \neq (1°K) \neq (1°F) است.		
دماهی انجماد آب برابر 15 K است (0°C) .		
نیوتن	N	kg.m/s^2
پاسکال	Pa	$\text{N/m}^2 = \text{kg/(s.m)}$
تور (با جبوه mm)	torr	$10^{-3} \times 10^{-5} \text{ atm}$
واحد جرم اتمی همگانی	u	$1.660556 \times 10^{-27} \text{ g}$
ولت	V	$9.31 \times 10^{-31} \text{ MeV}$
		$J/C = \text{kg.m}^2/(\text{A.s}^2)$

به دست آورده، عدد را با شیوه نشانه‌گذاری علمی بیان می‌کنیم، مثلاً عدد زیر را در نظر بگیرید،

$$3.54 \times 10^{12}$$

چون لگاریتم، نما است و $a^m \cdot a^n = a^{m+n}$ و لگاریتم این مقدار را با افروزدن لگاریتم 3.54×10^{12} به لگاریتم 10 بدست می‌آوریم، به این ترتیب،

$$\begin{aligned} \log 3.54 \times 10^{12} &= \log 3.54 + \log 10^{12} \\ &= 0.5290 + 12 \\ &= 12.5290 \end{aligned}$$

مثال دیگر،

$$\begin{aligned} \log (2 \times 10^{-5}) &= \log 2 + \log 10^{-5} \\ &= 0.301 + (-5) \\ &= -4.699 \end{aligned}$$

توجه کنید که تعداد ارقام بعد از ممیز در لگاریتم بدست آمده، برابر با تعداد ارقام با معنی در مقدار اولیه است.

گاهی اوقات لازم است آتشی لگاریتم، یعنی عدد مربوط به یک لگاریتم را بدست آوریم، در این موارد، روش لگاریتم‌گیری را عکس می‌کنیم، لگاریتم داده شده را در دو بخش می‌نویسیم: یک بخش اعشاری (موسوم به مانتیس) و یک عدد صحیح مثبت یا منفی (موسوم به ممیز)، مثلاً

$$3.74 \times 10^{-3} \quad \text{آنچه لگاریتم} = 0.74 + 3$$

آنچه لگاریتم مانتیس (3.74×10^{-3}) را با پیدا کردن عدد مربوط به این لگاریتم در جدول (یعنی $5(5)$) بدست می‌آوریم، و آتشی لگاریتم مفسر (یعنی 3) نیز -3 است، بنابراین،

$$3.74 \times 10^{-3} \quad \text{آنچه لگاریتم}$$

یا

$$3.74 \times 10^{-3} = \log (5(5) \times 10^{-3})$$

تعداد مانتیس‌هایی که در جدول لگاریتم آمده است، مثبت‌اند، هنگام پیدا کردن آتشی لگاریتم یک مقدار منفی، باید به این واقعیت توجه کرد، مثلاً، برای گرفتن آتشی لگاریتم از 3.158×10^{-3} ، باید این عدد را چنان بنویسیم که مانتیس مثبت شود، به این ترتیب،

$$\begin{aligned} 3.158 \times 10^{-3} \quad \text{آنچه لگاریتم} &= 0.158 - 4 \\ &= 6.95 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

یا

$$-4.158 = \log (6.95 \times 10^{-4})$$

چون لگاریتم‌ها، نما هستند، عملیات ریاضی مربوط به آنها نیز تابع

منویسیم که نمای 10 کاملاً بر 2 بخش بذیر باشد، پاسخ را با گرفتن چذراً از قسمت اعشاری و بخش کردن توان 10 بر 2 به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} \sqrt[2]{2.21 \times 10^{-8}} &= \sqrt{2.21 \times 10^{-8}} \\ &= 2.47 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

هنگام گرفتن ریشه سوم (یا گعب)، ریشه سوم بخش اعشاری را گرفته و نمای 10 را بر 3 تقسیم می‌کنیم:

$$\begin{aligned} \sqrt[3]{1.86 \times 10^{-8}} &= \sqrt[3]{1.86 \times 10^{-8}} \\ &= 5.71 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

۵- به توان رسانند، هنگامی که یک عدد به توان 2 رسد، بخش اعشاری به توان 2 می‌رسد، بخش اعشاری به توان 3 می‌رسد، بخش اعشاری به توان 3 می‌رسد، بخش:

$$\begin{aligned} (1.36 \times 10^{+4})^2 &= (1.36 \times 10^{+4})^2 \\ &= 1.85 \times 10^8 \end{aligned}$$

موقعی که عددی به توان 3 می‌رسد، بخش اعشاری به توان 3 می‌رسد و نمای 10 نیز در 3 ضرب می‌شود:

$$\begin{aligned} (2.46 \times 10^{-5})^3 &= (2.46 \times 10^{-5})^3 \\ &= 8.74 \times 10^{-15} \end{aligned}$$

به طور کلی،

$$(a \times 10^n)^P = a^P \times 10^{nP}$$

ج- ۳ لگاریتم

لگاریتم یک عدد، عددی است که اگر پایه را به توان آن برسانیم، عدد اولیه به دست آید. در لگاریتم معمولی (با نماد \log نمایش داده می‌شود)، از پایه 10 استفاده می‌شود. اگر

$$a = 10^n$$

$$\log a = n$$

و، به این ترتیب،

$$\log 1000 = \log 10^3 = 3$$

$$\log 10^{-1} = \log 10^{-1} = -1$$

لگاریتم یا 10 یک عدد، برابر با عددی است که اگر 10 را به توان آن برسانیم، عدد اولیه به دست آید. بنابراین، لگاریتم عددی مانند 3.54×10^{-3} را نمی‌توان به آسانی به دست آورد. لگاریتم اعداد تا 10 را از جدول لگاریتم که در پیوست D آمده است، می‌توان به دست آورد، در این جدول، از ممیزها صرف نظر شده است، بعد از تخصیص رقم هر یک از اعداد، ممیز وجود دارد، هر یک از لگاریتم‌ها نیز دارای یک ممیز قبل از اولین رقم هستند. لگاریتم 3.54×10^{-3} برابر با 0.5290 است.

لگاریتم اعداد بزرگتر از 10 پاکوک تکر از 1 را به روش زیر می‌توان

$$e^n = \frac{n}{2^{303}}$$

مثالاً، مقدار 2^{x+9} را می‌توان به روش ذیر محاسبه کرد:

$$e^{2x+9} = \frac{2x+9}{2x+3} \text{ آنتی لگاریتم} \\ = 9.100$$

۲ - معاذلها، د. حمزة

عیاً ت حبیک ذ

$$ax^2 + bx + c = 0$$

را یک معادله درجه دوم نسبت به یک متغیر نامندا. این معادله‌ها دارای دو جواب اند که از فرمول درجه دوم زیر بدست مم آید.

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

هنگام استفاده از فرمول درجه دوم برای پیدا کردن پاسخ یک مسئله شیمیایی، دو جواب بدست می آید. ولی یکی از آنها را باید کنار گذاشت زیرا از نظر فیزیکی امکان ندارد.

$$x^2 + 2\sqrt{2}x - 2\sqrt{2} = 0$$

برابر با عدد مول های یک گاز باشد که در شرایط معینی تفکیک می شوند. مقدار ضرایب عبارتند از: $a = 1$, $b = 0.5$, $c = 0$

• 40 = - 0 . 1 0

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x = \frac{-0.50 \pm 0.92}{2}$$

$$x = + \circ_j \forall 1 - \circ_j \forall 1$$

جواب ۷۱ - راکنار می‌گذاریم، زیرا مقدار منفی یک جسم از لحاظ فیزیکی غیرممکن است.

قواعد استفاده از نمایه است. موقع انجام هر یک از عملیات زیر، لگاریتم مقدار مربوطه را پیدا می کنیم، لگاریتمها را به صورتی که نشان داده شده در آن دو دسته، و در سایر آنچه، لگاریتم تابعی حسابی را می گیریم.

$$\log(ab) = \log a + \log b$$

$$\log(a/b) = \log a - \log b$$

$$\log(a^{1/n}) = \frac{1}{n} \log a \quad \text{- جذرگیری}$$

$$\log(a^n) = n \log a$$

لگاریتم پایه ۱۰ را لگاریتم معمولی گویند. در لگاریتم طبیعی (با \ln نمایش، داده می شود) از پایه e استفاده می شود، که

$$e = \gamma_3 \gamma_1 \wedge \gamma_4 \dots$$

دانشگاه پیام نور

$$\ln a = \Sigma \delta T \circ T \log a$$

به این ترتیب، برای پیدا کردن لگاریتم 4^x ، لگاریتم معمولی $\log_4 x$ را بخواهیم.

$$\ln \nu_{\text{jet}} = 2.3 + 3 \log \nu_{\text{jet}}$$

$$= 2.3 + 3 (\nu_{\text{jet}})$$

$$= 1.98$$

لگاریتم را برای بیان عبارت‌هایی مانند $\log_b x$ که در آن، x پایه لگاریتم طبیعی است، نیز معرفی کرد. از این‌جا که

$$\log a = \frac{\ln a}{\ln e^{\pi}}$$

٦٣

$$\ln e^n = n$$

$$\log e^n = \frac{n}{\ln e}$$

سالہ ایکس

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0085	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	55	7404	7412	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474
11	0044	0045	0046	0059	0067	0075	0082	0091	0098	0107	56	7482	7507	7513	7520	7536	7543	7551	7559	7563
12	0792	0829	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1075	1106	57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7627
13	1159	1173	1221	1303	1345	1387	1403	1457	1487	1530	58	7634	7642	7650	7658	7666	7674	7682	7690	7701
14	1461	1492	1523	1553	1584	1644	1673	1703	1732	1776	59	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7768	7776	7774
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	60	7782	7789	7800	7810	7818	7825	7832	7839	7846
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	61	7853	7860	7867	7875	7882	7889	7896	7903	7910
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	62	7824	7831	7838	7845	7852	7859	7866	7873	7880
18	2563	2577	2601	2626	2648	2672	2695	2718	2742	2765	63	7863	7880	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048
19	2788	2810	2833	2856	2876	2900	2923	2945	2967	2989	64	8062	8089	8099	8075	8082	8098	8095	8102	8116
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	66	8195	8202	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	67	8261	8274	8287	8293	8309	8316	8323	8330	8339
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	68	8282	8311	8331	8357	8383	8370	8376	8382	8388
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	70	8451	8467	8483	8470	8476	8482	8488	8494	8500
26	4150	4176	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561
27	4330	4344	4362	4382	4393	4410	4425	4440	4456	4472	72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621
28	4472	4502	4518	4533	4549	4564	4580	4596	4612	4628	73	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686
29	4652	4674	4683	4698	4713	4728	4742	4757	4774	4789	74	8692	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745
30	4800	4814	4828	4843	4855	4869	4883	4897	4911	4926	75	8751	8762	8776	8787	8795	8801	8809	8815	8822
31	4974	5014	5028	5042	5056	5070	5084	5098	5112	5126	76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	77	8885	8891	8897	8886	8892	8897	8893	8899	8905
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5279	5292	5305	78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5426	79	8976	8981	8982	8987	8993	8998	9004	9015	9020
35	5541	5653	5675	5687	5699	5711	5723	5735	5747	5759	80	9085	9090	9096	9102	9407	9063	9058	9063	9069
36	5737	5752	5767	5781	5795	5809	5823	5837	5851	5865	81	9138	9143	9149	9154	9160	9165	9171	9175	9180
37	5898	5909	5921	5932	5943	5953	5965	5976	5988	5999	82	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232
38	5958	5969	5981	5992	6003	6014	6025	6036	6047	6058	83	9263	9273	9283	9293	9298	9308	9314	9320	9326
39	6011	6021	6042	6053	6064	6075	6076	6096	6107	6117	84	9317	9323	9329	9335	9340	9346	9352	9358	9363
40	6171	6180	6191	6201	6212	6222	6232	6242	6252	6262	85	9424	9429	9434	9439	9445	9450	9455	9460	9465
41	6218	6238	6253	6263	6274	6274	6284	6294	6314	6325	86	9485	9490	9495	9499	9504	9509	9514	9519	9524
42	6320	6343	6345	6355	6365	6385	6395	6405	6415	6425	88	9445	9450	9455	9460	9465	9470	9475	9480	9485
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	89	9445	9450	9455	9460	9465	9470	9475	9480	9485
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6523	90	9424	9429	9434	9439	9444	9449	9454	9459	9464
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	91	9524	9530	9535	9540	9545	9550	9555	9560	9565
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6676	6685	6694	6693	92	9638	9643	9648	9653	9658	9663	9668	9673	9678
47	6721	6730	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	6812	93	9765	9770	9775	9780	9785	9790	9795	9800	9805
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	94	9731	9736	9741	9745	9750	9755	9760	9765	9770
49	6892	6937	6946	6945	6955	6964	6974	6983	6992	6991	95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9810	9815
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	96	9865	9872	9877	9881	9886	9891	9896	9901	9906
51	7068	7084	7093	7101	7118	7126	7135	7143	7152	7161	97	9866	9871	9876	9881	9886	9891	9896	9901	9906
52	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	7243	98	9867	9872	9877	9881	9886	9891	9896	9901	9906
53	7243	7251	7259	7268	7276	7284	7292	7299	7308	7316	99	9891	9896	9901	9906	9911	9916	9921	9926	9931
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	99	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	9999

پتانسیل الکترودهای استاندارد در ۲۵°C

محلول اسیدی		محلول اسیدی	
نیم واکنش	(ولت)	نیم واکنش	(ولت)
$\text{Ag}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}$	+ ۰,۷۹۹۱	$\text{Li}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Li}$	- ۲,۳۰۴۵
$\text{NO}_3^- + \text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{N}_3\text{O}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	+ ۰,۶۰۳	$\text{K}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{K}$	- ۲,۹۵
$\text{Hg}^{۲+} + e^- \rightleftharpoons \text{Hg}$	+ ۰,۷۰۵	$\text{Rb}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Rb}$	- ۲,۹۵
$\gamma \text{Hg}^{۲+} + e^- \rightleftharpoons \text{Hg}_{\gamma}^{۱+}$	+ ۰,۷۲۰	$\text{Cs}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Cs}$	- ۲,۹۲۳
$\text{NO}_2^- + \text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	+ ۰,۹۶	$\text{Ra}^{۲+} + e^- \rightleftharpoons \text{Ra}$	- ۲,۹۱۶
$\text{Br}_2 + e^- \rightleftharpoons ۲\text{Br}^-$	+ ۱,۰۶۵۲	$\text{Ba}^{۲+} + e^- \rightleftharpoons \text{Ba}$	- ۲,۹۰۶
$\text{O}_7^- + \text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{H}_7\text{O}$	+ ۱,۰۲۹	$\text{Sr}^{۲+} + e^- \rightleftharpoons \text{Sr}$	- ۲,۹۸۸
$\text{MnO}_4^- + \text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{۲+} + \text{H}_2\text{O}$	+ ۱,۰۲۳	$\text{Ca}^{۲+} + e^- \rightleftharpoons \text{Ca}$	- ۲,۹۶۶
$\text{Ti}^{۴+} + e^- \rightleftharpoons \text{Ti}^{۳+}$	+ ۱,۰۲۵	$\text{Na}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Na}$	- ۲,۹۷۴
$\text{Cr}_7\text{O}_7^- + ۱\frac{۱}{۲}\text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \gamma \text{Cr}^{۳+} + \gamma \text{H}_7\text{O}$	+ ۱,۰۳۳	$\text{Ce}^{۴+} + e^- \rightleftharpoons \text{Ce}$	- ۲,۹۸۷
$\text{Cl}_7^- + e^- \rightleftharpoons \gamma \text{Cl}^-$	+ ۱,۰۵۹۵	$\text{Mg}^{۲+} + e^- \rightleftharpoons \text{Mg}$	- ۲,۹۳
$\text{Au}^{۳+} + e^- \rightleftharpoons \text{Au}^+$	+ ۱,۰۹۲	$\text{Be}^{۲+} + e^- \rightleftharpoons \text{Be}$	- ۱,۸۷
$\text{PbO}_7^- + \text{H}^{۱+} + e^- \rightleftharpoons \text{Pb}^{۲+} + \gamma \text{H}_7\text{O}$	+ ۱,۰۵۵	$\text{Al}^{۳+} + e^- \rightleftharpoons \text{Al}$	- ۱,۶۶۲
$\text{Au}^{۳+} + e^- \rightleftharpoons \text{Au}$	+ ۱,۰۹۸	$\text{Mn}^{۲+} + e^- \rightleftharpoons \text{Mn}$	- ۱,۰۱۸۰
$\text{Mn}^{۴+} + e^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{۳+}$	+ ۱,۰۵۱	$\text{Zn}^{۲+} + e^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	- ۰,۹۶۷۸
$\text{MnO}_4^- + \lambda \text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{۳+} + \gamma \text{H}_7\text{O}$	+ ۱,۰۵۱	$\text{Cr}^{۳+} + e^- \rightleftharpoons \text{Cr}$	- ۰,۷۴۲
$\text{Ce}^{۴+} + e^- \rightleftharpoons \text{Ce}^{۳+}$	+ ۱,۰۶۱	$\text{Ga}^{۳+} + e^- \rightleftharpoons \text{Ga}$	- ۰,۷۹
$\gamma \text{HOCl} + \text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Cl}_7^- + \gamma \text{H}_7\text{O}$	+ ۱,۰۶۳	$\text{Fe}^{۲+} + e^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	- ۰,۷۴۰۲
$\text{PbO}_7^- + \text{SO}_4^{۲-} + \text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{PbSO}_7^- + \text{H}_7\text{O}$	+ ۱,۰۶۸۲	$\text{Cr}^{۳+} + e^- \rightleftharpoons \text{Cr}^{۲+}$	- ۰,۷۰۸
$\text{Au}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Au}$	+ ۱,۰۹۱	$\text{Cd}^{۲+} + e^- \rightleftharpoons \text{Cd}$	- ۰,۷۰۲۹
$\text{MnO}_4^- + \text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{MnO}_4^- + \gamma \text{H}_7\text{O}$	+ ۱,۰۹۵	$\text{PbSO}_7^- + e^- \rightleftharpoons \text{Pb} + \text{SO}_4^{۲-}$	- ۰,۷۰۸۸
$\text{H}_7\text{O}_7^- + \gamma \text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \gamma \text{H}_7\text{O}$	+ ۱,۰۷۶	$\text{Ti}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Ti}$	- ۰,۷۳۳
$\text{Co}^{۳+} + e^- \rightleftharpoons \text{Co}^{۲+}$	+ ۱,۰۸۰	$\text{Co}^{۲+} + e^- \rightleftharpoons \text{Co}$	- ۰,۷۷۷
$\text{S}_7\text{O}_8^{۲-} + e^- \rightleftharpoons \gamma \text{SO}_7^-$	+ ۱,۰۹۱	$\text{H}_7\text{PO}_7^- + \text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{H}_7\text{PO}_7^- + \text{H}_7\text{O}$	- ۰,۷۷۶
$\text{O}_7^- + \text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{O}_7^- + \text{H}_7\text{O}$	+ ۱,۰۹۷	$\text{Ni}^{۲+} + e^- \rightleftharpoons \text{Ni}$	- ۰,۷۰۰
$\text{F}_7^- + e^- \rightleftharpoons \gamma \text{F}^-$	+ ۱,۰۹۷	$\text{Sn}^{۲+} + e^- \rightleftharpoons \text{Sn}$	- ۰,۷۱۳
 محلول قلیایی		$\text{Pb}^{۲+} + e^- \rightleftharpoons \text{Pb}$	- ۰,۷۱۲۶
 محلول قلیایی		$\gamma \text{H}^+ + \gamma \text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_7\text{T}$	- ۰,۷***
نیم واکنش	(ولت)	$\text{S} + \text{H}^+ + \gamma \text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_7\text{S}$	+ ۰,۱۲
$\text{Zn}(\text{OH})_7^- + e^- \rightleftharpoons \text{Zn} + \gamma \text{OH}^-$	- ۰,۱۲۱	$\text{Sn}^{۲+} + \gamma \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Sn}^{۳+}$	+ ۰,۱۵
$\text{Fe}(\text{OH})_7^- + e^- \rightleftharpoons \text{Fe} + \gamma \text{OH}^-$	- ۰,۱۰۷	$\text{SO}_4^{۲-} + \text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{H}_7\text{SO}_4^- + \text{H}_7\text{O}$	+ ۰,۱۷۷
$\gamma \text{H}_7\text{O} + e^- \rightleftharpoons \text{H}_7\text{O} + \gamma \text{OH}^-$	- ۰,۱۲۸۰۷	$\text{AgCl} + e^- \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{Cl}^-$	+ ۰,۱۲۲
$\text{Cd}(\text{OH})_7^- + e^- \rightleftharpoons \text{Cd} + \gamma \text{OH}^-$	- ۰,۱۰۹	$\text{Cu}^{۲+} + e^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	+ ۰,۱۳۷
$\text{S} + e^- \rightleftharpoons \text{S}^{۲-}$	- ۰,۱۴۷۴	$\text{H}_7\text{SO}_4^- + \text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{S} + \gamma \text{H}_7\text{O}$	+ ۰,۱۵۰
$\text{CrQ}_7^- + \text{H}_7\text{O} + e^- \rightleftharpoons \text{Cr}(\text{OH})_7^- + \delta \text{OH}^-$	- ۰,۱۱۳	$\text{Cu}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	+ ۰,۰۷۱
$\text{NO}_3^- + \text{H}_7\text{O} + e^- \rightleftharpoons \text{NO}_2^- + \gamma \text{OH}^-$	- ۰,۱۰۱	$\text{I}_7^- + e^- \rightleftharpoons \gamma \text{I}^-$	+ ۰,۰۳۰۵
$\text{O}_7^- + \text{H}_7\text{O} + e^- \rightleftharpoons \gamma \text{OH}^-$	- ۰,۱۰۱	$\text{MnO}_4^- + e^- \rightleftharpoons \text{MnO}_4^{۲-}$	+ ۰,۰۶۴
$\text{NO}_3^- + \text{H}_7\text{O} + e^- \rightleftharpoons \text{Ni}(\text{OH})_7^- + \gamma \text{OH}^-$	- ۰,۱۰۹۰	$\text{O}_7^- + \text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{H}_7\text{O}_7^-$	+ ۰,۰۷۸۰۴
$\text{HO}_7^- + \text{H}_7\text{O} + e^- \rightleftharpoons \gamma \text{OH}^-$	+ ۰,۱۰۷۸	$\text{Fe}^{۲+} + e^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{۳+}$	+ ۰,۰۷۷۱

ثابت‌های تعادل در ۲۵°C

و ۱- ثابت‌های یونش

و ۲- حاصل ضرب‌های افلاک پذیری

برمدها	
PbBr _۴	۴۰۶ × 10 ^{-۵}
Hg _۲ Br _۴	۱۰۳ × 10 ^{-۱۲}
AgBr	۵۰۰ × 10 ^{-۱۳}
کربنات‌ها	
BaCO _۳	۲۰۶ × 10 ^{-۹}
CdCO _۳	۵۰۰ × 10 ^{-۱۲}
CaCO _۳	۴۰۷ × 10 ^{-۹}
CuCO _۳	۲۰۰ × 10 ^{-۱۰}
FeCO _۳	۲۰۱ × 10 ^{-۱۱}
PbCO _۳	۱۰۰ × 10 ^{-۱۰}
MgCO _۳	۱ × 10 ^{-۵}
MnCO _۳	۸۰۰ × 10 ^{-۱۱}
Hg _۲ CO _۳	۹۰۰ × 10 ^{-۱۷}
NiCO _۳	۱۰۰ × 10 ^{-۷}
Ag _۲ CO _۳	۸۰۰ × 10 ^{-۱۲}
SrCO _۳	۱ × 10 ^{-۱۰}
ZnCO _۳	۱ × 10 ^{-۱۰}
کلریدها	
PbCl _۴	۱۰۶ × 10 ^{-۵}
Hg _۲ Cl _۴	۱۰۱ × 10 ^{-۱۸}
AgCl	۱۰۰ × 10 ^{-۱۰}
کرومات‌ها	
BaCrO _۴	۸۰۰ × 10 ^{-۱۱}
PhCrO _۴	۲ × 10 ^{-۱۶}
Hg _۲ CrO _۴	۲ × 10 ^{-۹}
Ag _۲ CrO _۴	۱۰۰ × 10 ^{-۱۲}
SrCrO _۴	۲۰۰ × 10 ^{-۵}
فلوریدها	
BaF _۴	۲۰۶ × 10 ^{-۵}
CaF _۴	۳۰۹ × 10 ^{-۱۱}
PhF _۴	۲ × 10 ^{-۸}
MgF _۴	۱ × 10 ^{-۸}
SrF _۴	۷۰۹ × 10 ^{-۱۰}
هیدروکسیدها	
Fe(OH) _۴	۱۰۰ × 10 ^{-۱۵}
Fe(OH) _۳	۶ × 10 ^{-۷۸}
Ph(OH) _۴	۷۰۰ × 10 ^{-۱۰}
Mg(OH) _۴	۸۰۰ × 10 ^{-۱۷}
Mn(OH) _۴	۲ × 10 ^{-۱۳}
Hg(OH) _۴ (HgO)	۳ × 10 ^{-۷۶}

اسیدهای یک پروتونی	
$K_a = ۱۰۰ \times 10^{-۰}$	$\text{HC}_۲\text{H}_۲\text{O}_۷ \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{C}_۲\text{H}_۲\text{O}_۷^-$ آرسیک
۶×۱۰^{-۵}	$\text{HC}_۲\text{H}_۲\text{O}_۷ \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{C}_۲\text{H}_۲\text{O}_۷^-$ بینزولیک
۱۰۰×10^{-۷}	$\text{HClO}_۷ \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{ClO}_۷^-$ کلر
۱۰۰×10^{-۷}	$\text{HOCN} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OCN}^-$ سیانیک
۱۰۰×10^{-۷}	$\text{HCHO}_۷ \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CHO}_۷^-$ فرمیک
۱۰۰×10^{-۷}	$\text{HN}_۷ \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{N}_۷^-$ هیدروازوپریک
۱۰۰×10^{-۷}	$\text{HCN} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CN}^-$ هیدروسیانیک
۱۰۰×10^{-۷}	$\text{HF} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{F}^-$ هیدروفلوئوریک
۱۰۰×10^{-۷}	$\text{HOBr} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OBr}^-$ هیپر بروم
۱۰۰×10^{-۷}	$\text{HOCl} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OCl}^-$ هیپر کلر
۱۰۰×10^{-۷}	$\text{HNO}_۷ \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{NO}_۷^-$ نیترو
اسیدهای چند پروتونی	
$K_{a1} = ۲۰۰ \times 10^{-۰}$	$\text{H}_۲\text{AsO}_۷ \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{H}_۲\text{AsO}_۷^-$ آرسیک
$K_{a2} = ۰۵۰ \times 10^{-۸}$	$\text{H}_۲\text{AsO}_۷^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HAsO}_۷^{2-}$
$K_{a3} = ۳ \times 10^{-۱۲}$	$\text{HAsO}_۷^{2-} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{AsO}_۷^{3-}$
$K_{a1} = ۲۰۰ \times 10^{-۷} \text{CO}_۷ + \text{H}_۲\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_۷^-$	کربنیک
$K_{a2} = ۲۰۰ \times 10^{-۱۱} \text{HCO}_۷^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_۷^-$	هیدروسلوفوریک
$K_{a1} = ۱۰۰ \times 10^{-۷} \text{H}_۲\text{S} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HS}^-$	آگرالیک
$K_{a2} = ۱۰۰ \times 10^{-۱۴} \text{HS}^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{S}^{2-}$	فسفریک
$K_{a1} = ۰۵۰ \times 10^{-۷} \text{H}_۲\text{C}_۲\text{O}_۷ \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HC}_۲\text{O}_۷^-$	فسفریک
$K_{a2} = ۵۰۰ \times 10^{-۵} \text{HC}_۲\text{O}_۷^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{C}_۲\text{O}_۷^{4-}$	فسفریک
$K_{a1} = ۰۰۰ \times 10^{-۷} \text{H}_۲\text{PO}_۷ \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{H}_۲\text{PO}_۷^-$	فسفریک
$K_{a2} = ۰۵۰ \times 10^{-۸} \text{H}_۲\text{PO}_۷^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HPO}_۷^{2-}$	فسفریک
$K_{a1} = ۱۰۰ \times 10^{-۷} \text{HPO}_۷^{2-} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{PO}_۷^{3-}$	فسفری
$K_{a1} = ۱۰۰ \times 10^{-۷} \text{H}_۲\text{PO}_۷ \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{H}_۲\text{PO}_۷^-$	(دو پروتونی)
$K_{a2} = ۰۰۰ \times 10^{-۷} \text{H}_۲\text{PO}_۷^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HPO}_۷^{2-}$	سوکلوریک
$K_{a1} = ۱۰۰ \times 10^{-۷} \text{H}_۲\text{SO}_۷ \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSO}_۷^-$	سوکلوریک
$K_{a2} = ۱۰۰ \times 10^{-۷} \text{HSO}_۷^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{SO}_۷^{2-}$	سوکلوریک
$K_{a1} = ۱۰۰ \times 10^{-۷} \text{SO}_۷^{2-} + \text{H}_۲\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSO}_۷^-$	سوکلوریک
$K_{a2} = ۰۵۰ \times 10^{-۸} \text{HSO}_۷^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{SO}_۷^{3-}$	سوکلوریک
بازها	
۱۰۰×10^{-۰}	$\text{NH}_۷ + \text{H}_۲\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_۷^+ + \text{OH}^-$ آمریک
$۱۰۰ \times 10^{-۱۰} \text{C}_۲\text{H}_۲\text{NH}_۷ + \text{H}_۲\text{O} \rightleftharpoons \text{C}_۲\text{H}_۲\text{NH}_۷^+ + \text{OH}^-$	آتلین
$۱۰۰ \times 10^{-۱۰} (\text{CH}_۷)_۷ \text{NH}_۷ + \text{H}_۲\text{O} \rightleftharpoons (\text{CH}_۷)_۷\text{NH}_۷^+ + \text{OH}^-$	متیل آتلین
$۰۰۰ \times 10^{-۷} \text{N}_۷\text{H}_۷ + \text{H}_۲\text{O} \rightleftharpoons \text{N}_۷\text{H}_۷^+ + \text{OH}^-$	هیدرازین
$۰۰۰ \times 10^{-۷} \text{CH}_۷\text{NH}_۷ + \text{H}_۲\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_۷\text{NH}_۷^+ + \text{OH}^-$	متیل آمن
$۱۰۰ \times 10^{-۷} \text{C}_۲\text{H}_۲\text{N}_۷ + \text{H}_۲\text{O} \rightleftharpoons \text{C}_۲\text{H}_۲\text{N}_۷^+ + \text{OH}^-$	پروپیدن
$۰۰۰ \times 10^{-۷} (\text{CH}_۷)_۷\text{N} + \text{H}_۲\text{O} \rightleftharpoons (\text{CH}_۷)_۷\text{N}^+ + \text{OH}^-$	تری متیل آمن

متفرقه	
NaHCO_3	1.2×10^{-7}
KClO_4	8.9×10^{-7}
$\text{K}(\text{PtCl})$	1.4×10^{-8}
$\text{AgC}_2\text{H}_3\text{O}_2$	2.3×10^{-7}
AgCN	1.2×10^{-12}
AgCNS	1.0×10^{-12}

Ni(OH)_2	1.6×10^{-16}
$\text{AgOH(Ag}_2\text{O)$	2.0×10^{-8}
Sr(OH)_2	2.2×10^{-4}
Sn(OH)_2	3×10^{-17}
Zn(OH)_2	2.5×10^{-17}
پلیپردازها	
PbI_2	8.3×10^{-9}
Hg_2I_2	2.5×10^{-19}
AgI	8.5×10^{-17}
گزالتها	
BaC_2O_4	1.5×10^{-8}
CaC_2O_4	1.3×10^{-9}
PbC_2O_4	8.3×10^{-12}
MgC_2O_4	8.6×10^{-9}
$\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4$	1.1×10^{-11}
SrC_2O_4	5.5×10^{-8}
فسفاتها	
$\text{Ba}_{\text{sp}}(\text{PO}_4)_2$	5×10^{-14}
$\text{Ca}_{\text{sp}}(\text{PO}_4)_2$	1.3×10^{-10}
$\text{Pb}_{\text{sp}}(\text{PO}_4)_2$	1×10^{-12}
$\text{Ag}_{\text{sp}}\text{PO}_4$	1.8×10^{-18}
$\text{Sr}_{\text{sp}}(\text{PO}_4)_2$	1×10^{-11}
سولفاتها	
BaSO_4	1.5×10^{-9}
CaSO_4	2.8×10^{-5}
PbSO_4	1.3×10^{-8}
Ag_2SO_4	1.2×10^{-9}
SrSO_4	7.5×10^{-7}
سولفیدها	
Bi_2S_3	1×10^{-77}
CdS	1.0×10^{-78}
CoS	5×10^{-77}
CuS	8×10^{-77}
FeS	7×10^{-19}
PtS	7×10^{-79}
MnS	7×10^{-16}
HgS	1.6×10^{-54}
NiS	7×10^{-71}
AgS	5.5×10^{-51}
SnS	1×10^{-75}
ZnS	2.5×10^{-77}

و ۳- ثابت‌های تاباًدَّاری

AlF_6^{3-}	1.2×10^{-70}
Al(OH)_4^-	1.3×10^{-79}
Al(OH)_3^+	7.1×10^{-10}
$\text{Cd(NH}_3)_6^{2+}$	7.5×10^{-8}
Cd(CN)_4^{2-}	1.3×10^{-19}
Cr(OH)^{3+}	5×10^{-11}
$\text{Co(NH}_3)_6^{2+}$	1.3×10^{-50}
$\text{Cu(NH}_3)_6^{2+}$	2.2×10^{-79}
$\text{Cu(NH}_3)_2^+$	1.3×10^{-11}
$\text{Cu(NH}_3)_3^+$	2.3×10^{-10}
$\text{Cu(NH}_3)^{-}$	1×10^{-16}
Cu(OH)^+	1×10^{-8}
Fe(CN)_6^{4-}	1×10^{-70}
Fe(CN)_6^{3-}	1×10^{-72}
Ph(OH)^+	1.5×10^{-8}
HgBr_2^{2-}	2.3×10^{-77}
HgCl_2^{2-}	1.1×10^{-12}
Hg(CN)_4^{2-}	7×10^{-77}
HgI_2^{2-}	5.3×10^{-71}
$\text{Ni(NH}_3)_6^{2+}$	1×10^{-8}
$\text{Ni(NH}_3)_5^+$	1.3×10^{-9}
$\text{Ag(NH}_3)^+$	6×10^{-8}
Ag(CN)_2^-	1.8×10^{-15}
Ag(SO_4^{2-}	5×10^{-18}
Ag(SO_4^{2-}	9.9×10^{-10}
$\text{Zn(NH}_3)_2^{2+}$	2.2×10^{-10}
Zn(CN)_4^{2-}	1.2×10^{-18}
Zn(OH)_2^{2-}	3.6×10^{-16}
Zn(OH)^+	4.1×10^{-50}

داده‌های ترمودینامیکی (۲۵°C)

ترکیب	ΔH_f° (kJ/mol)	ΔG_f° (kJ/mol)	S° (J/K mol)	ترکیب	ΔH_f° (kJ/mol)	ΔG_f° (kJ/mol)	S° (J/K mol)
Ag(s)	0.0	0.0	42.72	HgS(s)	-58.16	-48.82	77.8
AgBr(s)	-99.50	-93.68	10.71	I(s)	0.0	0.0	116.7
AgCl(s)	-127.0	-109.70	96.11	K(s)	0.0	0.0	63.6
AgI(s)	-62.38	-66.32	114.2	KBr(s)	-369.2	-379.2	96.44
Ag ₂ O	-30.6	-10.8	121.7	KCl(s)	-435.89	-408.32	82.68
Al(s)	0.0	0.0	28.9	KClO ₄ (s)	391.2	-269.9	142.96
Al ₂ O ₃ (s)	-1669.8	-1576.4	51.00	KF(s)	-562.6	-533.1	66.57
Ba(s)	0.0	0.0	67	KNO ₃ (s)	-492.7	-393.1	132.93
BaCO ₃ (s)	-460.06	-410.9	126	La ₂ O ₃ (s)	0.0	0.0	57.3
BaCO ₃ (s)	-1218.6	-1138.9	112	Li(g)	0.0	0.0	28.0
BaO(s)	-588.1	-528.4	70.3	Li ₂ CO ₃ (s)	-1216.6	-1132.4	90.37
BaSO ₄ (s)	-1465.2	-1353.1	132.2	LiOH(s)	-487.2	-443.9	50
Br ₂ (l)	0.0	0.0	152.3	Mg(s)	0.0	0.0	32.51
C(diamond)	+1.88	+2.89	2.43	MgCl ₂ (s)	-641.8	-592.33	89.54
C(graphite)	0.0	0.0	5.69	MgCO ₃ (s)	-1113.	-1029.	65.69
Cl ₂ (l)	-139.3	-68.6	214.4	Mg(OH) ₂ (s)	-601.8	-569.6	26.8
CF ₄ (g)	-679.9	-635.1	262.3	Mn(s)	-924.7	-835.7	63.14
CH ₄ (g)	-74.85	-59.79	186.2	Mn(O)s	0.0	0.0	31.8
CH ₄ H ₂ (g)	+226.7	+209.20	200.8	Mn(O)s	-384.9	-363.2	60.2
CH ₄ H ₂ (g)	+52.3	+68.12	219.5	Mn(O)s	+520.9	-466.1	53.1
CH ₄ H ₂ (g)	-84.68	-32.89	229.5	N ₂ (g)	0.0	0.0	191.5
CH ₃ H ₆ (l)	+49.04	+129.66	159.8	NH ₃ (g)	-46.19	-16.7	192.5
CH ₃ COOH(l)	-487.0	-392.5	159.8	NH ₄ Cl(s)	315.4	203.9	94.6
CH ₃ Cl(g)	-82.0	-56.6	234.2	NO(g)	+90.36	-86.69	210.6
CH ₃ Cl ₂ (l)	-132.0	-71.5	202.9	NO ₂ (g)	+30.8	-51.84	240.6
CH ₃ NH ₂ (g)	-28.0	-27.6	241.5	N ₂ O(g)	+81.55	+103.60	220.0
CH ₃ OH(g)	-201.2	-161.9	237.7	N ₂ O ₃ (g)	-9.67	-99.28	304.3
CH ₃ OH(l)	-238.6	-166.2	126.8	NO ₂ (g)	+52.59	+66.36	263.6
C ₁ H ₁ OH(l)	-277.63	-174.77	160.7	Na(s)	0.0	0.0	51.0
CO(g)	-110.5	-137.28	197.9	NaCl(s)	411.0	-384.05	72.38
CO ₂ (g)	-393.5	-394.39	213.6	Na ₂ CO ₃ (s)	-1130.9	-1047.7	136.0
COCl ₂ (g)	-223.0	-210.5	289.2	NaF(s)	-569.0	-541.0	58.6
CS ₂ (l)	+87.86	+63.6	151.0	NaHCO ₃ (s)	-947.7	-851.9	102.1
Ca(s)	0.0	0.0	41.6	NaNO ₃ (s)	-424.8	-365.9	115.3
CaCl ₂ (s)	-795.0	-750.2	113.8	NaOH(s)	-426.7	377.1	52.3
CaCO ₃ (s)	-1206.9	-1128.76	92.9	Ni(s)	0.0	0.0	30.1
CaO(s)	-635.5	-604.2	38.8	NiO(s)	-244.3	-216.3	38.6
Ca(OH) ₂ (s)	-986.59	-896.76	76.1	NO(g)	0.0	0.0	205.03
CaSO ₄ (s)	-1432.7	-1320.3	106.7	O ₂ (g)	0.0	0.0	44.4
Cl ₂ /I ₂ (g)	0.0	0.0	223.0	P ₄ (s, white)	-306.4	-286.3	311.7
Co(s)	0.0	0.0	28.5	PCl ₃ (g)	-398.9	-324.6	352.7
Cr(s)	0.0	0.0	23.8	PH ₃ (g)	-9.25	+10.24	210.0
Cr ₂ O ₃ (s)	-1128.4	-1046.8	81.2	POCl ₃ (l)	-590.0	-545.2	324.6
Cr ₃ (s)	0.0	0.0	33.3	Ph(s)	0.0	0.0	64.9
CrO(s)	-155.2	-127.2	43.5	PhBr ₂ (s)	-277.0	-260.4	161.5
Cu ₂ (s)	-166.7	-148.4	106.8	PhCl ₃ (s)	-359.2	314.0	136.4
CuS(s)	-48.5	-49.0	86.5	PhCO ₃ (s)	700.0	626.3	131.0
CuSO ₄ (s)	-789.9	-661.9	113.4	PhO ₂ (s)	-17.9	-188.5	69.5
F ₂ (g)	0.0	0.0	203.3	PhO ₃ (s)	278.6	219.0	76.6
Fe(s)	0.0	0.0	27.2	Ph ₃ O ₂ (s)	734.7	817.6	211.3
FeO(s)	-271.9	-255.2	60.75	PhSO ₃ (s)	918.4	-811.2	147.5
Fe ₂ O ₃ (s)	-822.2	-741.0	90.0	Si(rhomboic)	0.0	0.0	31.9
Fe ₃ O ₄ (s)	-1117.1	-1014.2	146.4	SO ₂ (g)	-298.9	-300.37	248.5
H ₂ (g)	0.0	0.0	130.6	SO ₃ (g)	395.2	370.4	256.2
HBr(g)	-36.2	-53.22	198.5	Si(s)	0.0	0.0	18.7
HCl(g)	+92.30	-95.27	186.7	SiCl ₄ (g)	640.2	-572.8	239.3
HCN(g)	+130.5	+120.1	201.79	SiF ₄ (g)	-1548	-1506	284.5
Hf(g)	-269	-270.7	173.5	SiO ₂ (s, quartz)	-859.4	-805.0	41.8
Hg(l)	+25.9	+1.30	206.3	Sn(s)	0.0	0.0	51.5
HNO ₃ (l)	-173.2	-79.91	155.6	SnCl ₄ (l)	-545.2	-474.0	258.6
H ₂ O(g)	-241.8	-226.61	188.7	SnO(s)	-296.2	-257.3	56.5
H ₂ O(l)	-285.9	-237.19	69.96	SnO ₂ (s)	580.7	-519.7	52.3
H ₂ S(g)	-20.2	-33.0	205.6	Zn(s)	0.0	0.0	41.6
H ₂ SO ₄ (l)	-811.32	-587.5	156.9	ZnO(s)	-348.0	-318.19	43.9
Hg(l)	0.0	0.0	77.4	ZnS(s)	-202.9	-198.3	57.7
HgO(s)	-90.7	-58.5	72.0	ZnSO ₄ (s)	-878.6	-871.6	124.7

پیوست ح

* انرژی پیوند متوسط (kJ/mol)

انرژی پیوند متوسط	انرژی پیوند	انرژی پیوند متوسط	
Br—Br	193	I—I	151
Br—Cl	216	N—Br	243
Br—F	249	N—Cl	201
Br—I	175	N—F	283
C—Br	285	N—H	389
C—C	347	N—N	159
C≡C	619	N≡N	418
C≡C	812	N≡N	941
C—Cl	326	N—O	201
C—F	485	N—O	607
C—H	414	O—Br	201
C—I	213	O—Cl	205
C—N	293	O—F	184
C≡N	616	O—H	463
C≡N	879	O—I	201
C—O	335	O—O	138
C=O	707	O ₂ **	494
C≡O	1072	P—Cl	326
C—S	272	P—H	318
C=S	573	S—Br	217
Cl—Cl	243	S—Cl	276
Cl—F	249	S—F	285
Cl—I	208	S—H	339
F—F	155	S—S	213
H—Br	364	Si—Cl	301
H—Cl	431	Si—C	381
H—F	565	Si—F	565
H—H	435	Si—H	323
H—I	297	Si—O	368
I—F	278	Si—Si	226

* واکنش دهنده‌ها و فراورده‌ها در حالت گازی

** پیوند دوگانه اکسیژن مولکولی.

پاسخ مسائل

(مسائیہ فد)

- ٥١- (الف) $412 \times 10^{-7} \text{ m}^3$
 ٥٣- (الف) $4913 \times 10^{-3} \text{ g}$
 ٥٥- (الف) 856 g/mL
 ٥٧- (الف) 53 Mm
 ٥٩- (الف) $3 \times 10^{-3} \text{ cm}$

فصل ۲ مقدمه‌ای بر نظریه اتمی

- ۱- قانون بقایی جرم واللون: چون واکنش‌های شیمیایی شامل جدا شدن و مفصل شدن آنهاست، و چون در این فرایندان آنها نه به موجود می‌آیند و نه ازین میان می‌روند، جرم کل تمام انتها موجود در واکنش‌های شیمیایی ثابت است و چگونگی گروه‌بندی آنها به یکدیگر مهم نیست. سپس قانون نسبتی از معنی «اللون» چون یکیک می‌توان تأثیر انتها در یا چند عنصر به نسبت یکی میان است، نسبت جرمی ناشار در این ترکیب ثابت است.
 - ۲- پنجه‌داریه $\text{Fe} + \text{CuSO}_4 \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{Cu}$: در این واکنش Fe از Cu خود را از CuSO_4 برداشت که با جرم معین از عصر B (هر ۵۰ گرم Cu) ترکیب می‌شوند. سپس نسبت این درجه اکسیژن FeSO_4 و Cu بر اساس نتیجه عده‌محضی 2 است. در ترکیب نخست، مواد اکسیژن به یک اتم O_2 مفصل هستند.

- ۵- پیاری از عناصر شامل چند نوع اتم (ایزو توب) هستند که از لحاظ جرم با هم متفاوتاند (در شمار توزن های موجود در هسته با هم متفاوتاند). تمام اتم های این عناصر از نظر شیمیایی مشابهند چون شمار بیرون های موجود در هسته و کثیر و کوچک های پیارمون هسته آنها با هم برابر است. بد علاوه، در حل مسائل متوالی از جرم متوسط اتم های هر عنصر استفاده کرد که اغلب موارد این عبارت است:

- ۷- (الف) H^+ بشتر محرف می شود چون حرم آن کمتر از Na^+ است: (ب) Ne^{+4} بشتر محرف می شود چون رآن بیشتر از Na^+ است.

۸- (الف) $1 \times 10^{-7} \text{ C/g}$: (ب) $9.58 \times 10^{-7} \text{ C/g}$: (ج) $4.21 \times 10^{-7} \text{ C/g}$.

- ۲-۱-۲ اجدور ۱-۱-۱ برابر.
 ۲-۱-۳ اس. قطر هسته Al^{+3} $17 \text{ cm} \times 10^{-13}$ cm^3 است.
 یک آتم به قطر 1 cm را باسیط 7 cm^3 پایش کند (که کمی بیشتر از ۱ اینچ است).
 ۲-۱-۴ 15 eV (الف) 22 بروتون و 22 نوترون در هسته و 33 الکترون در پیرامون آن، (ب) Hg^{+2} .

نظام	Z	A	الكترونيون بروتون	الكترونيون بوزترون
Cs	55	133	55	78
Bi	83	209	83	126
Ba	56	138	56	82
Sn	50	110	50	70
Kr	36	84	36	48
Se ⁺⁶	31	45	21	22

٤٥ مدد | فصل

- ۱- (الف) قانون بقای جرم می‌گوید رطوبت یک واکنش شیمیایی، تغییر مخصوص در جرم وجود ندارد. قانون استیت‌های معین می‌گوید یک جسم مخصوص همچنین شامل عناصر معین است که استیت‌های معین را با هم ترکیب شده‌اند: (پ) یک ترکیب، جسم خالص است که از دو یا چند عنصر با استیت‌های ثابت تشکیل شده باشد. یک عنصر، جسم خالص است که به تجزیه به اقسام ساده نباشد: (ج) وزن، نیروی چگالی گرانش اعمال شده بر روی یک جسم است، همچنین مقدار هاده است: (د) پیشی آفرین. طبقه‌بندی داده‌اند، پورتیوس (پرست شیمی)، شیمی هسته‌ای را که از زیرزمین گذارد و (گسیله و جاتوار) است: (ه) یک مگاگتر پرسارس برابر با 10^{-15} متر است.

۲- (الف) بند: (پ) آفون: (ج) فسفره: (د) تاسیمه: (ه) من: (و) کالت.

۳- (الف) (پ) Al: (ج) Ag: (د) Sb: (ه) Na: (و) Ne.

۴- (الف) (ب) : (ج) : (د) : (ه) : (و) .

۵- (الف) (ب) : (ج) : (د) : (ه) : (و) .

۶- (الف) 5.57×10^{-11} : (پ) 1.2×10^{-12} : (ج) 1.6×10^{-12} : (د) 1.4×10^{-12} : (ه) 2.2×10^{-12} : (و) 4.0×10^{-12} .

۷- (الف) 1.0×10^{-10} : (پ) 1.0×10^{-10} : (ج) 1.0×10^{-10} : (د) 1.0×10^{-10} : (ه) 1.0×10^{-10} : (و) 1.0×10^{-10} .

۸- (الف) 1.0×10^{-10} : (پ) 1.0×10^{-10} : (ج) 1.0×10^{-10} : (د) 1.0×10^{-10} : (ه) 1.0×10^{-10} : (و) 1.0×10^{-10} .

۹- (الف) 1.0×10^{-10} : (پ) 1.0×10^{-10} : (ج) 1.0×10^{-10} : (د) 1.0×10^{-10} : (ه) 1.0×10^{-10} : (و) 1.0×10^{-10} .

۱۰- (الف) 1.0×10^{-10} : (پ) 1.0×10^{-10} : (ج) 1.0×10^{-10} : (د) 1.0×10^{-10} : (ه) 1.0×10^{-10} : (و) 1.0×10^{-10} .

- ١٣ - Zr (الفل) روزنمياني/روزنمياني مار ٤٦
 ١٤ - Mm (الفل) Cg (الفل) Cg (الفل) Cg (الفل)
 Gg (الفل) Gg (الفل) Gg (الفل) Gg (الفل) Gg (الفل)
 L (الفل) L (الفل) L (الفل) L (الفل) L (الفل)
 M (الفل) M (الفل) M (الفل) M (الفل) M (الفل)
 R (الفل) R (الفل) R (الفل) R (الفل) R (الفل)
 T (الفل) T (الفل) T (الفل) T (الفل) T (الفل)
 U (الفل) U (الفل) U (الفل) U (الفل) U (الفل)
 V (الفل) V (الفل) V (الفل) V (الفل) V (الفل)
 W (الفل) W (الفل) W (الفل) W (الفل) W (الفل)
 Xe (الفل) Xe (الفل) Xe (الفل) Xe (الفل) Xe (الفل)
 Y (الفل) Y (الفل) Y (الفل) Y (الفل) Y (الفل)
 Zn (الفل) Zn (الفل) Zn (الفل) Zn (الفل) Zn (الفل)

λ μ-μκ λ μκ λ μλκ λ μλκ λ

- | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| ١-٢-٣ | ١-٢-٣ | ١-٢-٣ | ١-٢-٣ | ١-٢-٣ |
| ١-٢-٣ | ١-٢-٣ | ١-٢-٣ | ١-٢-٣ | ١-٢-٣ |
| ١-٢-٣ | ١-٢-٣ | ١-٢-٣ | ١-٢-٣ | ١-٢-٣ |
| ١-٢-٣ | ١-٢-٣ | ١-٢-٣ | ١-٢-٣ | ١-٢-٣ |
| ١-٢-٣ | ١-٢-٣ | ١-٢-٣ | ١-٢-٣ | ١-٢-٣ |

۲-۱ تناوب شامل عناصر موجود در یک ریدف افقی جدول است. عناصر یک گروه شامل عناصر موجود در سی سوتون عمودی جدول است. عناصر یک پاک خواص ازای خواص شیمیایی پسکسانند، در حالی که عناصر یک تناوب خواص پیشنهادی متفاوتاندارند.

۲-۲^۱ (الف) Kr، غیرفلز، (ب) K، فلز، (پ) P، غیرفلز؛ (د) Fe، فلز.

۲-۳^۲ ۰.۷۴۸۱۱۷Ag، ۰.۷۰۱۱۸Ag، ۰.۷۹۰۱۱۷Ag، ۰.۷۹۹۱۰۵Ag٪.

۲-۴ ۰.۵۰۷۷٪ و ۰.۵۱۰۷٪.

۲-۵ ۰.۷۴۸۱۱۷Ag٪.

۲-۶ ۰.۷۹۹۱۱۷Ag٪.

۲-۷ ۰.۵۱۰۷٪.

۲-۸ وزن اتس این عنصر ۶۶۷٪ است (این عنصر Ga است).

فصل ۳ استوکیومتری، بخش ۱: فرمول های شیمیایی

۳-۱ (الف) فرمول تجزیی فرمولی است که با استفاده از ساده ترین نسبت صحیح اتمهای یک ترکیب نوشته می شود. فرمول مولکولی یا یانگ شمار و اقیعه هر نوع از اتمهای موجود در مولکول یک ترکیب است: (ب) وزن مولکولی یا یانگ ترکیب اتنی مولکول است؛ این فرمول شمار هر نوع از اتمهای موجود در مولکول را نشان می دهد. فرمول ساختاری شناسانده چگونگی آرایش اتمهای تشکیل دهنده از شناسهای اینستاکن اینستاکن است؛ برای مشخص کردن هر یک از اتمها از شناسهای اینستاکن اینستاکن می شود و برای نشان دادن چگونگی اتمهای تشکیل دهنده مولکول در ساختار مولکولی است؛ برای مشخص کردن انسال اتمها از خط تیره استفاده می شود.

۳-۲

۳-۳

فصل ۳ استوکیومتری، بخش ۱: فرمول‌های شیمیابی

- ۱-۳ (الف) فرمول تجزیع فرمولی است که با استفاده از ساده‌ترین نسبت
تصحیح انتهاج یکی کریب نوشته شده است. فرمول مولکولی یا پایانگر شمار و افاضی
هر نوع از انتهاج مولکول در مولکول یک است. ترکیب اسیدی مولکولی
یا پایانگر شناسنامه مولکول است: (ب) فرمول مولکولی هر نوع از انتهاج موجود
مولکول را مشخص می‌کند. فرمول ساختاری شناسنامه‌هندگی چگونگی آرایش
انتهاج شکلی هستند مولکول در ساختار مولکولی است: برای مشخص کردن
مولکول را مشخص کنند. فرمول ساختاری شناسنامه‌هندگی آرایش
انتهاج یکی از انتهاج از انتهاج‌های مجزا شدن است: بروای مشخص کردن
مولکول را مشخص کنند. فرمول ساختاری شناسنامه‌هندگی آرایش
انتهاج اینها از خط تیره استفاده می‌شود و بروای شناس دادن چگونگی آرایش
انتهاج اینها از خط تیره استفاده می‌شود.

۲-۳

(الف) Na_2O اتم ۲ و بیون O^{2-} و YNa^+ :
(ب) ClC_2 اتم ۴ و بیون Cl^- و C_2^{2+} :
(ج) CuSO_4 اتم ۵ و بیون Cu^{2+} و SO_4^{2-} :
(د) Ba(OH)_2 اتم ۵ و بیون Ba^{2+} و OH^- :
(ه) MgCl_2 اتم ۲ و بیون Cl^- :
(ز) $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$ اتم ۷ و بیون CO_3^{2-} :
(ب) CaSO_4 اتم ۵ و بیون Ca^{2+} و SO_4^{2-} :
(ج) HPO_4^{2-} اتم ۵ و بیون H_3PO_4 :
(د) H_2SO_4 اتم ۶ و بیون H_2SO_4 :

۳-۳ (الف) H_2O اتم ۱ و بیون O^{2-} و H_2 :
(ب) H_2O_2 اتم ۲ و بیون O_2^{2-} و H_2 :
(ج) H_2O_3 اتم ۳ و بیون O_3^{2-} و H_2 :
(د) H_2O_4 اتم ۴ و بیون O_4^{2-} و H_2 :

۴-۳ (الف) $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ اتم ۷ و بیون $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}^-$:
(ب) $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$ اتم ۸ و بیون $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2^-$:
(ج) $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2\text{Cl}$ اتم ۹ و بیون $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2\text{Cl}^-$:

۵-۳ (الف) K_2CO_3 اتم ۵ و بیون CO_3^{2-} و K^+ :
(ب) MgSO_4 اتم ۴ و بیون SO_4^{2-} و Mg^{2+} :
(ج) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ اتم ۷ و بیون PO_4^{3-} و Ca^{2+} :

۶-۳ (الف) H_2S اتم ۲ و بیون S^{2-} و H_2 :
(ب) H_2S_2 اتم ۴ و بیون S_2^{2-} و H_2 :
(ج) H_2S_3 اتم ۵ و بیون S_3^{2-} و H_2 :

۷-۳ (الف) $\text{H}_2\text{O}_2\text{Cl}$ اتم ۴ و بیون O_2^{2-} و H_2O و Cl^- :

۸-۳ (الف) $\text{H}_2\text{O}_3\text{Cl}$ اتم ۵ و بیون O_3^{2-} و H_2O و Cl^- :

۹-۳ (الف) $\text{H}_2\text{O}_4\text{Cl}$ اتم ۶ و بیون O_4^{2-} و H_2O و Cl^- :

۱۰-۳ (الف) $\text{H}_2\text{O}_5\text{Cl}$ اتم ۷ و بیون O_5^{2-} و H_2O و Cl^- :

۱۱-۳ (الف) $\text{H}_2\text{O}_6\text{Cl}$ اتم ۸ و بیون O_6^{2-} و H_2O و Cl^- :

۱۲-۳ (الف) $\text{H}_2\text{O}_7\text{Cl}$ اتم ۹ و بیون O_7^{2-} و H_2O و Cl^- :

۱۳-۳ (الف) $\text{H}_2\text{O}_8\text{Cl}$ اتم ۱۰ و بیون O_8^{2-} و H_2O و Cl^- :

۱۴-۳ (الف) $\text{H}_2\text{O}_9\text{Cl}$ اتم ۱۱ و بیون O_9^{2-} و H_2O و Cl^- :

۱۵-۳ (الف) $\text{H}_2\text{O}_{10}\text{Cl}$ اتم ۱۲ و بیون O_{10}^{2-} و H_2O و Cl^- :

۱۶-۳ (الف) $\text{H}_2\text{O}_{11}\text{Cl}$ اتم ۱۳ و بیون O_{11}^{2-} و H_2O و Cl^- :

۱۷-۳ (الف) $\text{H}_2\text{O}_{12}\text{Cl}$ اتم ۱۴ و بیون O_{12}^{2-} و H_2O و Cl^- :

۱۸-۳ (الف) $\text{H}_2\text{O}_{13}\text{Cl}$ اتم ۱۵ و بیون O_{13}^{2-} و H_2O و Cl^- :

۱۹-۳ وزن ائمی مفترض ۱۲۶۹ است (ابن عثیر بد است).
(الف) PtCl_6 اتم ۱۶ و بیون Pt^{4+} و Cl^- :

۲۰-۳ (الف) IrCl_6 اتم ۱۶ و بیون Ir^{4+} و Cl^- :

۲۱-۳ (الف) $\text{PtCl}_4\text{Fe}_2\text{O}_3$ اتم ۲۲ و بیون Pt^{4+} و Cl^- و Fe^{3+} و O^{2-} :

۲۲-۳ (الف) $\text{PtCl}_4\text{Fe}_2\text{O}_3\text{X}$ اتم ۲۳ و بیون Pt^{4+} و Cl^- و Fe^{3+} و O^{2-} و X^- :

۲۳-۳ (الف) $\text{PtCl}_4\text{Fe}_2\text{O}_3\text{X}_2$ اتم ۲۴ و بیون Pt^{4+} و Cl^- و Fe^{3+} و O^{2-} و X_2^- :

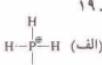
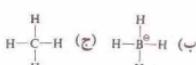
۲۴-۳ (الف) $\text{PtCl}_4\text{Fe}_2\text{O}_3\text{X}_3$ اتم ۲۵ و بیون Pt^{4+} و Cl^- و Fe^{3+} و O^{2-} و X_3^- :

۲۵-۳ مقدار آنتها به 10^{-18} km می‌رسد که بسیز از
۲۶-۳ پایه ابری این فاصله است.

$$\begin{aligned}
 & \text{S}^{2-}, \text{Cl}^-, \text{Se}^{2+}, \text{Ca}^{2+} \quad (\Delta) : \text{Ti}^{2+}, \text{Hg}^{2+} \quad (\Delta) : \text{Bi}^{3+}, \text{Pb}^{2+}, \text{Ti}^{3+} \quad (\Delta) \\
 & \text{P}^{3-} \\
 & ; \text{Au}^+, \text{Ag}^+, \text{d}^{1+}; \text{Br}^-, \text{Ba}^{2+}, \text{Al}^{3+}; \text{s}^2\text{p}^5; \text{Be}^{2+}; \text{s}^2 \text{p}^1 \rightarrow \text{V} \\
 & . \text{Bi}^{3+}, \text{As}^{3+}; \text{d}^{1+}; \text{V} \\
 & , \text{Na}_3\text{N} : \text{Al}_2\text{O}_3, \text{MgO}, \text{Na}_2\text{O} : \text{AlCl}_3, \text{MgCl}_2, \text{NaCl} \quad \text{V} \\
 & \text{AlN}, \text{Mg}_3\text{N}_2
 \end{aligned}$$

۷- ۳۵ در تشکیل کاتیون‌ها، بیرونی ترین الکترون‌ها حذف می‌شوند. با افزایش تعداد الکترون‌های حذف شده، اندیزه بین کااهش مر پایان.

فصل A سوند کو والا نی



(ب) $\Delta^{\text{op}} \text{Pb}^{\text{op}} \text{S}^{\text{op}} \text{Cl}^{\text{op}} \text{F}^{\text{op}} \text{O}^{\text{op}} \text{N}^{\text{op}} \text{H}^{\text{op}}$

$\Delta^{\text{op}} \text{S}^{\text{op}} \text{Cl}^{\text{op}} \text{F}^{\text{op}}$ (ج)

(ج) $\text{Xe}^{\text{op}} \text{Y}^{\text{op}} \text{Zr}^{\text{op}} \text{Ti}^{\text{op}} \text{Ta}^{\text{op}} \text{D}^{\text{op}} \text{I}^{\text{op}} \text{Te}^{\text{op}} \text{P}^{\text{op}}$

(د) $\text{Yb}^{\text{op}} \text{La}^{\text{op}} \text{Ce}^{\text{op}} \text{Pr}^{\text{op}} \text{Nd}^{\text{op}} \text{Eu}^{\text{op}} \text{Gd}^{\text{op}} \text{Dy}^{\text{op}} \text{Ho}^{\text{op}} \text{Er}^{\text{op}} \text{Tm}^{\text{op}} \text{Yb}^{\text{op}}$

(د) $\text{Te}^{\text{op}} \text{Pb}^{\text{op}} \text{S}^{\text{op}} \text{Cl}^{\text{op}} \text{F}^{\text{op}} \text{O}^{\text{op}} \text{N}^{\text{op}} \text{H}^{\text{op}}$

٦٥١. (الف) دیامناتپیس؛ (ب) پارامناتپیس؛ (ج) سارامناتپیس؛ (د) دیامناتپیس؛ (ه) سارامناتپیس؛ (و) دیامناتپیس؛ (ز) امانتپیس.

٦٥٣. (الف) فلز ناموده؛ (ب) غیرفلز ناموده؛ (ج) فلز واسطه داخلی؛ (د) واسطه (ه) غیرفلز گاز توجیب.

٦٥٤. (الف) $\text{Cu}^{\text{op}} \text{Cr}^{\text{op}} \text{K}^{\text{op}}$ (د) $\text{F}^{\text{op}} \text{B}^{\text{op}}$ (ج) $\text{Zn}^{\text{op}} \text{Ca}^{\text{op}}$ (ز) As^{op}

فصل ۷ خواص اتم‌ها و پیوند یونی

۷- در یک تناوب شعاع انتی از چپ به راست کاهش می‌یابد.
الکترون‌ها به همان تراز اضافه شده و بار هسته افزایش پیدا می‌کند (بدون افراحت، لایه به لایه جدید).

٣ - ٧ (الف) P; (ب) Sb; (ج) Ga; (د) Si; (هـ) Na; (ـ) Al (و)

۵-۷ ساعت اتمی N برابر ۷۵ pm است.

٧-٧ (الف) حفظ الكلمات و دارواي بار منفه، است، حذف الكترون از يك

بن ۱ + مشکل ترا اتم خنثی است. به علاوه، یک یون ۱ + از اتم مشتق شده از

کوچک‌تر است و الکترون‌ها محکم‌تر به هسته چسبیده‌اند چون به هسته دیگ‌ترند. (ب) لایه‌ای فرعی بیرونی تر از آرایش الکترونی این دو اتم به صورت

بر این نتیجه می توان براساس منشاء الکترون های حذف شده تعیین کرد. در مورد Ca، برای K، $4s^1$ برای $3p^6 3s^2$...؛ برای Ca، $4s^2 3p^6 3s^2$... اثر اشاره شده

کنترن‌های اول و دوم، هر دو، از اوریتال ۴۵ (لایه طرفیت) حذف شده‌اند).
ای، ک، الکترون اول از اوریتال ۴۵ (لایه ظرفیت). جدا شده، در حال که

کترن دوم از اوریتال ۳۷ آرایش گاز نجیب p^{α} لایه داخلی جدا شده است.
۷-۱۱ فانوس اتم است: که، حگا مارکت و لایه ظرفت آن

۱۰۲۰- فلورور سیستم مولکولی و پرتوگرافی پر-فلوروری دارای سروبری اسید است. انرژی آزاد شده از افزایش یک الکترون به فلورور به دلیل دافعه‌ای که باشد.

۷- ۱۳ الکترون خواهی، دوم گوگد دیوار 522 kJ/mol + است.

۱۵-۷ اثری شبکه CsCl برابر 669 kJ/mol است.

۱۶-۷ اثری شبکه CaO برابر 3514 kJ/mol است.

۱۹-۷ آنالپی تشکیل Rb_2O برابر -329 kJ/mol است.

۲۳-۷ NaBr < Na₂S < MgS. انرژی آزاد شده از Na₂S بیشتر از NaBr است.

باد شده از MgS بیشتر از Na_2S است چون مقدار بار Mg^{2+} بیشتر است و اندازه

کوچک‌تر از Na^+ است.

$$\text{Cu}^+ \quad 1s^1 \ 2s^1 \ 2p^2 \ 3s^1 \ 3p^2 \ 3d^1, \quad (\text{الف})$$

$$\text{Cr}^{7+} \quad 1s^1 \ 2s^1 \ 2p^6 \ 3s^1 \ 3p^6 \ 3d^1, \quad (\text{بـ})$$

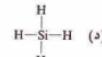
$$\text{Cs}^+ 1s^1 2s^1 2p^6 3s^1 3p^6 3d^{10} 4p^6 4d^{10} 5s^1 5p^6, \quad (3)$$

$$\begin{array}{l} \text{Cd}^{++} \ 1s^2 \ 2s^2 \ 2p^6 \ 3s^2 \ 3p^6 \ 3d^10 \ 4s^2 \ 4p^6 \ 4d^10, \\ \text{Co}^{++} \ 1s^2 \ 2s^2 \ 2p^6 \ 3s^2 \ 3p^6 \ 3d^6 \end{array} \quad (g)$$

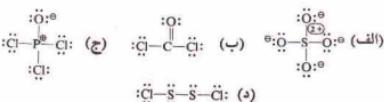
٧-٢٧ (الف) Cl^- , Cu^{+} ; (ب) دیامگناطیسی: Co^{2+} , Cr^{3+} ; (ج) امگناطیسی: Cd^{2+} , Cs^+

٢٩ - **الف**) H^- , Li^+ , Be^{++} , Sc^{+-} (ب) Rb^+ , Sr^{++} , Y^{++} , Y^+

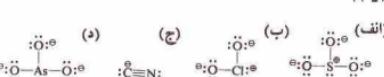
۲۱ - ۸



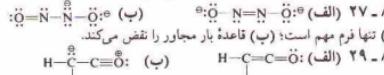
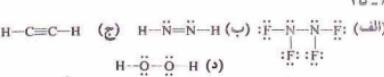
(A)



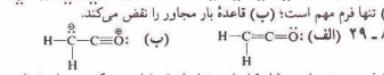
۲۳ - ۸



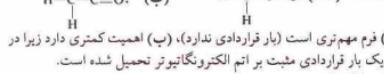
۲۵ - ۸



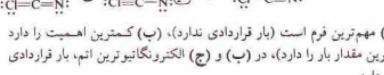
۲۷ - ۸



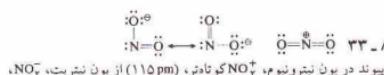
۲۹ - ۸



۳۱ - ۸

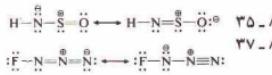


۳۱ - ۸

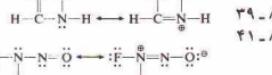


۳۳ - ۸

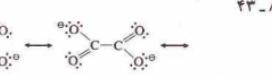
طول پیوند در بین نیتروزونیوم NO_2^+ کوتاه‌تر، (۱۱۵ pm) از بین نیتریت، NO_3^- (۲۲ pm) است. در NO_2^+ پیوندهای N-سے O دوگانه‌اند: NO_2^+ یک هیبریدیزوریونیسی با درجه پیوند N به O، تقریباً ۱۵ است.



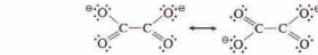
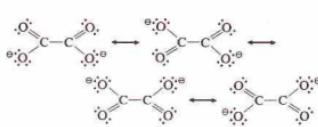
۳۵ - ۸



۴۱ - ۸



۴۳ - ۸



فصل ۹ شکل هندسی موکول: اوریتال‌های موکولی

۱ - شمار الکترون‌های طرفیت موکولی فرد است (۱۱ الکترون).

۲ - اتم P در موکول PCl₅ در تراز طرفیت خود ۱۰ الکترون طرفیت دارد (و با ۵ اتم Cl پیوند شکل می‌دهد). اتم Cl فقط ۴ اوریتال در تراز طرفیت است (۶) و پیاران حداکثر می‌تواند ۴ پیوند شکل مدد از سوی دیگر اتم P در تراز طرفیت خود دارد اوریتال است (۲۶، ۳۷، ۴۰).

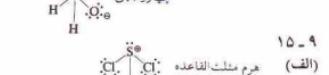
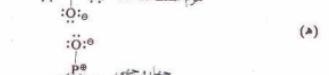
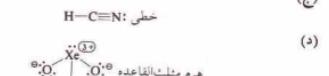
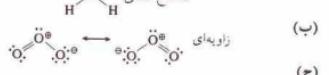
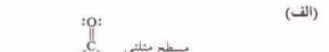
۳ - AB₄: خم، AB₃: سطح مثلثی، AB₂: زاویه‌ای، AB: خطی، AB₂: هرم مثلثی القاعده، AB₂: زاویه‌ای، AB₂: هرم مثلثی القاعده، AB₂: ت، AB: شکل، AB₂: خم، AB₂: خطی، AB: هرم مثلثی القاعده، AB₂: هرم مثلثی القاعده، AB₂: سطح مریع.

۴ - (الف) AB₅: خم، (ب) AB₅: خطی، (ج) AB₅: هرم مثلثی القاعده، (د) AB₅: سطح مریع، (ه) AB₅: هرم مثلثی القاعده، (ب) AB₅: خطی، (ج) AB₅: هرم مثلثی القاعده، (د) AB₅: سطح مریع، (ه) AB₅: هرم مثلثی القاعده، (ب) AB₅: خطی، (ج) AB₅: هرم مثلثی القاعده، (د) AB₅: سطح مریع، (ه) AB₅: هرم مثلثی القاعده، (ب) AB₅: خطی، (ج) AB₅: هرم مثلثی القاعده، (د) AB₅: سطح مریع.

۵ - (الف) AB₆: خم، (ب) AB₆: خطی، (ج) AB₆: هرم مثلثی القاعده، (د) AB₆: سطح مریع، (ه) AB₆: هرم مثلثی القاعده، (ب) AB₆: خطی، (ج) AB₆: هرم مثلثی القاعده، (د) AB₆: سطح مریع، (ه) AB₆: هرم مثلثی القاعده، (ب) AB₆: خطی، (ج) AB₆: هرم مثلثی القاعده، (د) AB₆: سطح مریع.

۶ - (الف) AB₇: خم، (ب) AB₇: خطی، (ج) AB₇: هرم مثلثی القاعده، (د) AB₇: سطح مریع، (ه) AB₇: هرم مثلثی القاعده، (ب) AB₇: خطی، (ج) AB₇: هرم مثلثی القاعده، (د) AB₇: سطح مریع.

۷ - (الف) AB₈: خم، (ب) AB₈: خطی، (ج) AB₈: هرم مثلثی القاعده، (د) AB₈: سطح مریع، (ه) AB₈: هرم مثلثی القاعده، (ب) AB₈: خطی، (ج) AB₈: هرم مثلثی القاعده، (د) AB₈: سطح مریع.



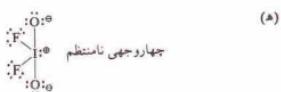
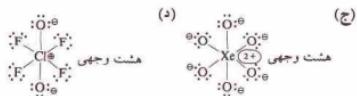
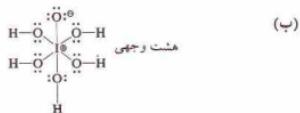
۱۳ - ۹

(الف)



۱۵ - ۹

(الف)



۹ - ۲۳. زوج الکترون پیوند $\text{Cl}-\text{F}$ نسبت به زوج الکترون پیوند $\text{Cl}-\text{C}_6\text{H}_5$ کمتر است. بنابراین اتم های Cl موقیعیت های استوایی را اشغال می کنند. با قرارگرفتن یک زوج الکترون پیوندی در موقعیت استوایی، دو زوج الکترون پیوندی دیگر بر آن عدمود می شوند. سه زوج الکترون پیوندی نیز بر زوج الکترون پیوندی موقیعت محوری عمودند. این پیش بینی ها با شواهد تجربی مطابقت دارد.

۹ - ۲۵. زاویه پیوندی در CCl_4 برابر $108^\circ 28'$ است (زاویه چهاروجهی). اثر یک زوج الکترون غیرپیوندی در NCl_3 (یک مولکول هرمس مثلث القاعده) سبب کاهش زاویه نسبت به چهاروجهی و اثر دو زوج الکترون غیرپیوندی در Cl_2O (یک مولکول زاویه ای) سبب کاهش بیشتر زاویه می شود.

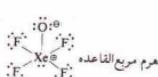
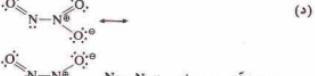
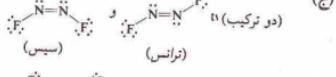
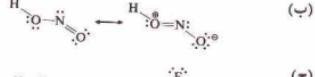
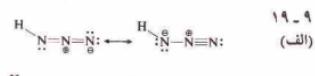
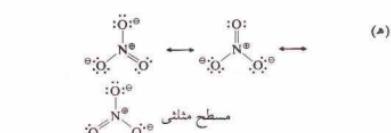
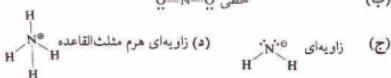
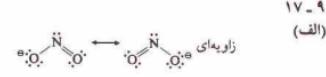
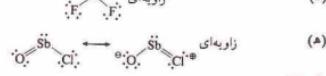
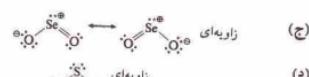
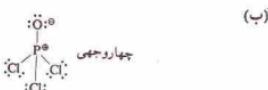
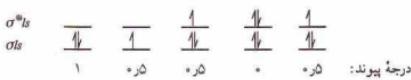
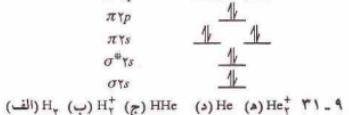
۹ - ۲۷. (الف) $10^\circ 90'$; (ب) $10^\circ 28'$; (ج) $10^\circ 49'$.

۹ - ۲۸. (د) dsp^2 , (ه) d^2sp^3 , (آ) d^3sp^3 , (آ) d^2 .

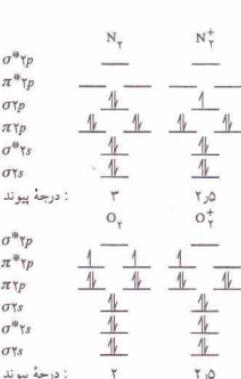
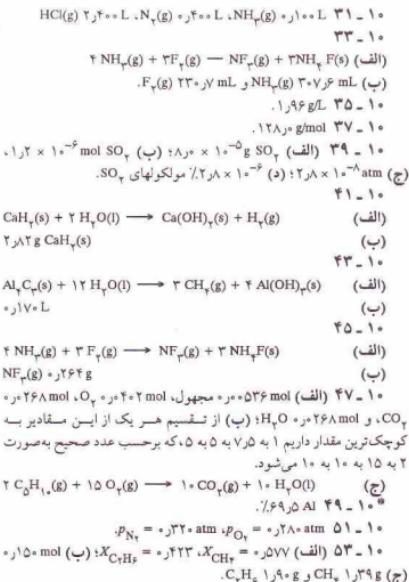
۹ - ۲۹. در ساختار لوریس یک پیوند سه گانه ($\text{N}=\text{N}=\text{N}$) وجود دارد.

نمودار تراز انرژی اوریتیان مولکولی N_3 (ارده شده، در زیر درجه پیوند را به

شان مندد. این پیوندها شاخص یک پیوند σ و دو پیوند π هستند.



۳۵ - ۹



درجه پیوند N_γ⁺ (۲.۵) کمتر از N_γ (۳) است چون مل شکل این بین یک الکترون پیوندی حذف شده است، بنابراین، طول پیوند (۱۱۲ pm) N_γ⁺ (۱۰.۹ pm) N_γ (۱۰.۹ pm) N_γ⁺ (۸.۶ kl/mol) کمتر از (۸.۶ kl/mol) است. درجه پیوند O_γ (۲.۵) پیشتر از O_γ (۱۱۲ pm) خواهد شد، است، بنابراین طول پیوند O_γ (۱۱۲ pm) کمتر از O_γ (۱۰.۹ pm) و انرژی پیوندی O_γ (۲.۵ kl/mol) از O_γ (۸.۶ kl/mol) است. درجه پیوند SiO_γ (۲.۷) در پون ۳۷ در پون ۳۷، بر همکن dπ-dπ افزایش همپوشانی اورتیتال های Si پر اتمهای O با اورتیتال های خالی ۲d اتم Si حاصل شده است.

فصل ۱۱ گازها

۱ - ۱ (الف) در دمای ثابت، حجم یک نمونه گاز متناسب با عکس فشار است: (ب) در فشار ثابت، حجم یک نمونه گاز متناسب با دمای مطلق آن است: (ج) در حجم ثابت، فشار یک نمونه گاز متناسب با دمای مطلق آن است.

۱ - ۲ (الف) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm)

۱ - ۳ (الف) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm)

۱ - ۴ (الف) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm)

۱ - ۵ (الف) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm)

۱ - ۶ (الف) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm)

۱ - ۷ (الف) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm)

۱ - ۸ (الف) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm)

۱ - ۹ (الف) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm) (۱۰.۷ atm : ۱۰.۷ atm)

P	V	n	T
۱۰۰ * atm	۲۳۰ L	۱۰۵ mol	۱۰۰ °C
۱۰۰ * atm	۱۰۰ L	۱۰۵ mol	۱۰۰ K
۱۰۰ * atm	۵۰۰ mL	۱۰۵ mol	- ۱۰۰ °C
۱۰۰ * atm	۲۵ L	۱۰۵ mol	۷۵.۰ °C
			۱۷۸ mL ۱۳ - ۱۰
			۳۳۶ °C ۱۵ - ۱۰
			۰.۳۵۱ L ۱۷ - ۱۰
			۰.۲۰۵۴ g ۱۹ - ۱۰
			۰.۹۱ g/L ۲۱ - ۱۰
			۰.۵۴۱ atm ۲۳ - ۱۰
			(Ne) ۰.۲ g/mol ۲۵ - ۱۰

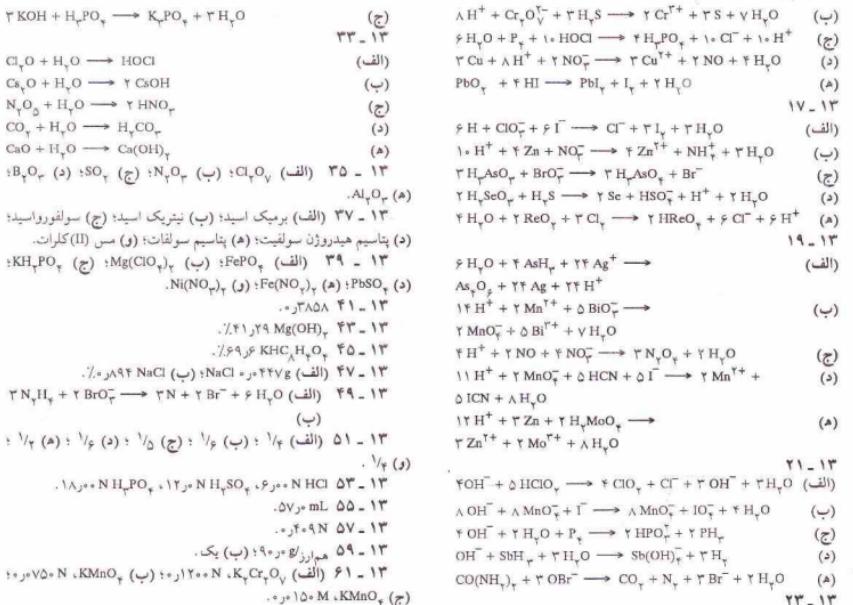
۱ - ۱۰ (الف) کاز در (Ne) مورد نیاز است: (ب) ۰.۴۵ mol H₂O_γ (۱۵.۰ L) مورد نیاز تولید شده است.

۱ - ۱۱ (الف) ۴ NH₃(g) + 5 O₂(g) → 4 NO(g) + 6 H₂O(g)

۱ - ۱۲ (الف) ۱.۲۸ L NO(g)

فصل ۱۱ مایعات و جامدات

۱ - ۱ (الف) OF_۷ پک مولکول زاریهای است، BeF_۷ پک مولکول خطي است: (ب) PF_۷ پک مولکول هرمی مخلط القاعده است، BeF_۷ سطحی مخلط است: (ج) SF_۷ پک مولکول چهاروجهی سامنظظم است، SnF_۷ پک مولکول چهاروجهی است.



فصل ۱۴ سینتیک شیمیا

$$14 - 1) \text{ سرعت تشکیل } C \text{ برابر است با } k[A][B] ; \quad (b)$$

四-14

(الف) mol/(L.s) سرعت = mol/(L.s) \times mol/(L.s)

$$k = 100 \text{ L/(mol.s)} \quad (\text{ج})$$

١٤ - ٥ (الف) $\frac{1}{16}$ سرعت اوليه؛ (ب) صفر؛ (ج) $\frac{1}{27}$ سرعت اوليه؛

(۵) ۴ برابر سرعت اولیه؛ (۶) ۸ برابر سرعت اولیه.
 ۱۴ - ۷ مولکلهای، واکنش دهنده مسکن: است بدین معترض نامناسب.

جهت‌گیری کرده باشد یا برخورد چنان آرام باشد که مولکول‌ها بدون هیچ

١٤-٩ (الف) 3 mol/L ; (ب) 87°C ; (ج) ٢٤ ساعت.

١٤-١٢٥ ساعت.

$$14 - 15 \text{ (الف) } 10^{-2} \text{ mol/L} = 0.04 \text{ ملغم/لتر} \quad 15 - 16 \text{ (ب) } 10^{-2} \text{ s}$$

$$0.5 \text{ m} \times 10^{-3} / \text{s} = 1 \text{ V} - 1 \text{ F}$$

۱۴- نمودار $\log[\text{SO}_4^{2-}\text{Cl}_2]$ بر حسب [K^+ یک خط راست است؛ واکنش آزاد ممکن باشد.

$$Cl + H_2 \longrightarrow HCl + HI ; \quad 21 - مرحله$$

$$HI + ICl \longrightarrow HCl + I_2$$

مرحله ۲

$$\text{Rate} = k_2 k_3 [I]_2 [HCl] = k_2 k_3 [I]^2 [A]^{\frac{1}{2}} = k_2 k_3 [I]^2 \sqrt{[A]} = k_2 k_3 \sqrt{k_1 [A]^2} = k_2 k_3 \sqrt{k_1} \cdot \sqrt{[A]^2}$$

$$NO_2 \text{ سرعت مصرف} = NO \text{ سرعت تشكيل} \quad ٢٥ - ١٤^{\circ}$$

$$k_1 [NO][O_2] = k_T [NO_T] + k_{T'} [NO_{T'}][NO]$$

$\text{H}_2\text{O} + \text{P}_4 + 1 \rightarrow \text{HOCl} \longrightarrow$	١٥ - ١١
$\text{H}_3\text{PO}_4 + 1 + \text{Cl}^- + 1 \rightarrow \text{H}^+$	(الف)
$\text{H}^+ + \text{TeO}_4^- + 9 \overset{\text{I}}{\text{I}}^- \longrightarrow \text{Te}^- + 9 \text{H}_2\text{O}$	(ب)
$\text{H}^+ + 2 \text{UO}_4^{2-} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \longrightarrow$	(ج)
$2 \text{UO}_4^{2-} + 2 \text{Cr}^{3+} + 4 \text{H}_2\text{O}$	
$2\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{BrO}_3^- \longrightarrow 2\text{CO}_2 + \text{Br}^- + 2\text{H}_2\text{O}$	(د)
$2\text{H}^+ + 2\text{Te} + 4 \text{NO}_3^- \longrightarrow 2\text{TeO}_4^- + 4\text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	(إ)
اکسیدهای آنفوتری دارای هر دو خواص اسیدی و بازی هستند.	٢٧ - ٣
Zn(OH) ²⁺ در محلول اسیدی Zn ²⁺ و در محلول قلیایی Zn(OH) ⁻ شکل می دهد.	Zn(OH) ²⁺ در محلول اسیدی Zn ²⁺ و در محلول قلیایی Zn(OH) ⁻ شکل می دهد.
KOH + HNO ₃ \longrightarrow KNO ₃ + H ₂ O	٢٩ - ١٣
Ca(OH) ₂ + 2 HNO ₃ \longrightarrow Ca(NO ₃) ₂ + 2 H ₂ O	(الف)
Al(OH) ₃ + 2 HNO ₃ \longrightarrow Al(NO ₃) ₃ + 2 H ₂ O	(ب)
	(ج)

$$\text{KOH} + \text{H}_2\text{PO}_4^- \longrightarrow \text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$$

(الف)

از جمله آنچه $[NO_p][NO]$ ممکن است صرف نظر کرد چون k_p کوچک است.

$$[NO_p] = (k_r/k_p) [NO] [O_2]$$

پسون مرحله ۳ تعیین کننده سرعت است:

$$= k_p [NO] [NO]$$

با توجه دادن عبارت مربوط به غلط k_p در معادله سرعت:

$$= \text{سرعت} = (k_r k_p k_{O_2}) [NO]^2 [O_2]$$

۷ - ۱۴ شکل ۱۴ - ۷ را ببینید. کاتالیزور میر جدیدی، رای ای و اکتش

فراهم می‌کند. در این مکانیسم انرژی عمل اسازی کمتر است چون کسر پیشتری از برخورد ها مؤثر بوده و اکتشن سریع تر است. مقادیر ΔH به وسیله کاتالیزور تغییر نمی‌کند. تغییر انتقالی مستقیم از ارتقای E_p بین اکتشن دهنده به فراورده هاست و فقط به ترازهای انرژی آنهاستگن دارد. پسون میر کاتالیزور همواره رای ای و اکتشن باز است. کاتالیزور نمی‌تواند با افزایش E_p سبب اکتشن شدن و اکتشن شود. E_p و E_r به یک اندازه تحت تأثیر کاتالیزور قرار می‌گیرند. در تجربه اکتشن های رفت و برگشت به یک میزان تحت تأثیر قرار می‌گیرند.

۷ - ۱۴ $24 \times 10^{-5} \text{ L/mol.s}$

$.267 \text{ kJ/mol}$

$.47 \times 10^{-7} \text{ L/mol.s}$

$.667 \text{ K}$ (۴۵ °C)

$.52 \text{ kJ/mol}$

$.37 \text{ kJ/mol}$

فصل ۱۵ تعادل شیمیایی

۱ - ۱۵

$$\frac{[N_2O_4]}{[NO]^2} = K_c \quad (\text{الف}) \quad \frac{[CS_2][H_2]}{[H_2S][CH_4]} = K_c \quad (\text{الف})$$

$$\frac{[N_2][O_2]}{[NO]^2} = K_c \quad (\text{ب}) \quad \frac{[CO]^2}{[CO_2]} = K_c \quad (\text{ز}) \quad [O_2] = K_c \quad (\text{ج})$$

۳ - ۱۵ (الف) چپ: (ب) راست: (ج) چپ: (د) بدون تغيير.

$$\frac{(PSC_2)(PH_2)}{(PH_2S)^2(PCH_4)} = K_p \quad K_p = K_c (RT)^{+1} \quad (\text{الف})$$

$$\frac{(PN_2O_4)}{(PN_2O)^2} = K_p \quad K_p = K_c (RT)^{-1} \quad (\text{ب})$$

$$PO_2 = K_p \quad K_p = K_c (RT)^{+1} \quad (\text{ج})$$

$$\frac{(PCO)^2}{(PCO_2)^2} = K_p \quad K_p = K_c (RT)^{-1} \quad (\text{د})$$

$$\frac{(PCO_2)^2}{(PCO)^2} = K_p \quad K_p = K_c (RT)^{-1} \quad (\text{ه})$$

۷ - ۱۵ گامگیر

۹ - ۱۵ (الف) راست: (ب) راست: (ج) راست: (د) چپ: (ه) بدون تغيير.

۱۱ - ۱۵ (الف) راست: (ب) بدون تغيير: (ج) بدون تغيير: (د) راست: (ه) راست.

۱۳ - ۱۵ چپ.

۱۵ - ۱۵ راست.

۱۷ - ۱۵ .۶۱

: $[SO_4^2-] = ۰.۲۲ \text{ mol/L}$, $[SO_3^2-] = ۰.۲۸ \text{ mol/L}$, $[O_2] = ۰.۱ \text{ mol/L}$, $[O_3] = ۰.۳۶ \times ۱۰^{-3} \text{ mol/L}$

۲۱ - ۱۵ $.28 \text{ mol/L}$

: $[H_2O] = [CO] = ۰.۲۸ \text{ mol/L}$

: $[H_2] = [CO_2] = ۰.۳۲ \text{ mol/L}$

: $[H_2] = [I_2] = ۰.۷۱ \times ۰.۹ \text{ mol/L}$, $[HI] = ۰.۷۴ \times ۰.۷ \text{ mol/L}$

: $[CO] = ۰.۱۴ \text{ mol/L}$, $[CO] = ۰.۳۵ \text{ mol/L}$

.۰۸۰۴ g Fe (ب)

۲۹ - ۱۵ (الف) ۰.۷۴ atm (ب) ۰.۷۴ atm

.۰۹۲۲ atm

۳۱ - ۱۵

۳۳ - ۱۵ (الف) ۰.۳۳ mol/L

: $[CO] = [H_2O] = ۰.۳۳ \text{ mol/L}$

: $k_p = k_c = ۰.۷۴ \times ۱۰^{-7} \text{ mol/L} \cdot s$ (ج) : $k_c = ۰.۷۴ \times ۱۰^{-7} \text{ mol/L} \cdot s$ (ب) : $[CO_2] = [H_2] = ۰.۶۶ \text{ mol/L}$

: $P_{pCl_4} = P_{pCl_2} = ۰.۷۱ \times ۰.۷ \text{ atm}$, $P_{pCl_6} = ۰.۷ \times ۰.۷ \text{ atm}$

. $K_p = ۱.۰ \times ۰.۷ \text{ atm}$ (ب)

.۱۴۷ atm

۳۷ - ۱۵

. $K_c = ۱.۱ \times ۱۰^{-7} \text{ mol/L}$, $K_p = ۰.۶۹ \times ۰.۷ \text{ atm}$

.۰۷۶۳ mol^{۰.۷}/L^{۰.۷}

۴۱ - ۱۵

. $K_c = ۱.۱ \times ۱۰^{-7} \text{ mol}^2/\text{mol}^2$, $K_p = ۰.۷ \times ۰.۷ \text{ atm}^2$

۴۳ - ۱۵

. $K_c = ۱.۱ \times ۱۰^{-7} \text{ mol}^2/\text{mol}^2$, $K_p = ۰.۷ \times ۰.۷ \text{ atm}^2$

۴۵ - ۱۵

.۰۷۶۳ mol^{۰.۷}/L^{۰.۷}

۴۵ - ۱۵

Sublimation	تصمید	Reaction quotient, Q	پهروکشن،	Normality	نرمالیته
Subshell	لایه فرعی	پرتوژنی، رادیو اکتیویت	Nucleon	نوكلئون	هسته
Subsidiary quantum number	عدد کوانتومی فرعی	قانون راول	Nucleus		
Substance	جسم، ماده	مرحله تعیین کننده سرعت			
Surface tension	کشش سطحی	نایت سرعت	Orbit	مدار، اوربیت	
		ماده سرعت	Orbital	اوربیتال	
Temperature	دما	Reactant	(ماده) واکشن هدنه، ماده اولیه	Order of chemical reaction	مرتبه یک واکشن شیمیایی
Theoretical yield	بازده نظری	حد واسط واکشن			اسمز
Thermochemistry		مکانیسم واکشن			اکسایش
	گیرمایشی، شیمی گرامایی، ترمومیشی	سرعت واکشن			اعداد اکسایش
Third - order reaction	واکشن مرتبه سوم	عامل کاهنده	Osmosis	عمل اکسیدن، عامل اکسیدکننده	عمل اکسیدن، اسمز
Titration	تیتر کردن	کاهش	Oxidation	Oxidizing agent	اکسیدنگ
Transition element	عنصر واسطه	عنصرنومه، عنصر نمایند	Oxidation number	اکسیدنگ اسید	اکسی اسید
Transition state theory	نظریه حالت گذار	رزو ناس، شدید	Oxyacid		
Triple point	نقطه سه تابی	جذر میانگین میջو سرعت	Paramagnetic substance	ماده پارامغناطیسی، جسم پارامغناطیسی	
torr	تور	SI unit	SI	معادله چربن	
Uncertainty principle	اصل عدم قطعیت	STP molar volume	حجم مولی	خصوصیت بیرونی	
Unit cell	سلاول واحد	Salt	نک	فشار جزی	
Unit electrical charge, e	واحد بار الکترونیک	Second - order reaction	واکشن مرتبه دوم	Pascal	پاسکال
Valence - bond theory	نظریه پیوند ظرفی	Semimetal	شبی فلز	درصد بازده	
Valence - shell electron - pair repulsion theory	حرف انتقامی	Shielding	حفاظت، پوشاندن	تناوب، پیروز	
	نظریه دافعه زوج الکترون لایه ظرفی	Sigma bond	پیوند ساده، پیوند سیگما	قانون تتابعی	
Valence electrons	الکترون های ظرفی، الکترون های لایه ای	Significant figures	ارزاق با معنی	فاز	
		سیمپل کوبیک واحد	سیمپل واحد مکعبی واحد	نمودار فاز	
Vapor pressure	نشانه بخار	برون δ^2 ion	برون δ^2 ion	فوتون	
Viscosity	گرانیزی، پیسکو زیته	Solute	ماده حل شده، ماده حل شونده	پیوند پیوند	
Volumetric analysis	سنجش حجمی، الایزیوجرمی	Solution	محلول	پیوند کوایونی انس قطبی	
van der Waals equation	معادله وان دروالس	Solvent	حلال	بون چند اتمی	
van't Hoff factor	ضروب وات هوف	Specific heat	گرمای ویزه	مولکول چند اتمی	
Wave function	تابع موجی	Spectator ion	بون نمایانگر	اپسید چند پیوند	
Wave length	طول موج	Spectrum	طیف	اشمۀ میثت، پرتو های میثت	
Weak acids and bases	اسیدها و بازهای ضعیف	Speed of light	سرعت نور	p π - d π bond	
Weight	وزن	$s^2 p^6$ ion	بون $s^2 p^6$ ion	پیوند دادن، رسوب کردن	
X - ray diffraction		Standard solution	محلول استاندارد	Pressure	
	پراش پرتو - X		دما و فشار استاندارد	عد کواترموی اصلی	
	پراش اشعه - X			Product	فراورده، محصول
Zero - order reaction	واکشن مرتبه صفر	Stoichiometry	استوکیومتری	Quantum	کواترمو، کواترموی
		Strong acids and bases	اسیدها و بازهای قوی		
		Structural formula	فرمول ساختاری		

Limiting reactant	و اکتش دهنده محدودساز	Heat	گرما	عنصر
London forces	بینهای لندن	Heat capacity	ظرفیت گرمایی	فرمول تحریری
Lone pair of electrons	زوج الکترون‌های آزاد	Henry's law	قانون هنری	و اکشن گرمایش
Magnetic orbital quantum number	عدد کواتومی مغناطیسی اسپین	Heterogeneous catalyst	کاتالیزور ناهمگن	انرژی
	عدد کواتومی مغناطیسی اوربیتان	Heterogeneous equilibrium	تمادل نامهگن	تراز انرژی
Magnetic spin quantum number	عدد کواتومی مغناطیسی اسپین	Homogeneous catalyst	کاتالیزور همگن	انرژی فعالسازی
Mass	جرم	Homogeneous series	سری‌های همگن	لایه انرژی
Mass number	عدد جرمی	Hund's rule	قاعده هوند	آنالوگ
Mass spectrometer	طیف‌سنج چرمی	Hybridization	هیبرید شدن	آنالوگ تراکم (میمان)
Matter	ماده	Hydration	آبرپوش	آنالوگ تبلور
Maxwell - Boltzmann distribution		Hydrogen bond	پوند هیدروژنی	آنالوگ شکل
	توزیع ماکسول - بولتزمان	Ideal gas constant	ثابت گاز ایده‌آل	آنالوگ ذوب (گاز)
Mean free path	مسافت آزاد میانگین	Ideal gas law	قانون گاز ایده‌آل	آنالوگ اینحلال
Melting point	دماهی ذوب	Ideal solution	مولکول ایده‌آل	آنالوگ تخصیص
Metal	فلز	Indicator	شاساگر	آنژم
Metalloid	شبیه فلز	Inner - transition element	عنصر واسطه درونی	تعادل
Metathesis reaction	و اکشن تراساختنی	Instantaneous dipole	دونقطی لحظه‌ای	ثابت تعادل
Metric system	دستگاه متری	Intermolecular forces	نیروهای بین مولکولی	نقطه هم رزی
Mixture	مخلط	Internal energy	انرژی درونی	وزن هم رز
Molal boiling - point elevation constant		Interstitial position	موقعیت درون شبکه‌ای	تبخیر
	ثابت افزایش دمای جوش مولی	Ion	پون	حالات برائگینخته
Molal freezing - point depression constant		Ionic bonding	پوند یونی	اصل طرد بازی
Molality	مولالیته	Ionic compound	ترکیب یونی	و اکشن گرمایزا
Molarity	مولاریته	Ionic radius	شعاع یونی	
Mole	مول	Ionic reaction	و اکشن یونی	
Mole fraction	کسر مولی	Ionization energy	انرژی بروش	
Molecular formula	فرمول مولکولی	Isoelectronic	ایزوکلر	
Molecular orbital	اوربیتان مولکولی	Isotope	ایزوتوپ	
Molecular weight	وزن مولکولی	Joule	ژول	
Molecularity	مولکولاریته	Kelvin temperature scale	مقیاس دمای کلوین	
Molecule	مولکول	Kinetic theory of gases	نظریه جنبش گازها	مقیاس دمای فارنهایت
Monatomic ion	یون یک اتمی	Lanthanides	لانثانیدها	
Monoprotic acid	اسید یک پرتوانی	Lattice energy	انرژی شبکه	
		Law of Hess	قانون هیس	
Net - ionic reaction	و اکشن یونی خالص	Law of conservation of mass	قانون تغایر جرم	
Neutralization	ختنی ساری	Law of constant heat summation	قانون مجموع ثابت گرما	
Neutron	نوترون	Law of definite proportions	قانون نسبت‌های معین	
Noble - gas ion	یون گاز نجیب	Law proportion of multiple	قانون نسبت‌های مضاعف	
Noble gases	گازهای نجیب	Le Chatelier's principle	اصل لشارلیه	
Nonbonding pair of electrons		Lewis structure	ساختار لوویس	
	زوج الکترون‌های ناپیوندی			
Nonmetal	نافلز			نیمه عمر
Nonstoichiometry	غیراستوکیومتری			نیمه و اکشن
Normal salt	نمک نرمال			هالوژن

Reducing agent	عامل کاهنده	Aufbau method	روش بنایکردن (آنبا)	تابت گاهش دمای انجماد مولی
Atomic number	عدد اتمی	Lone pair of electrons	زوج الکترون‌های آزاد	Molar freezing - point depression constant
Oxidation number	عدد اکسایشن		زوج الکترون‌های پیوندی	Ideal gas constant
Mass number	عدد جرمی	Bonding pair of electrons	زوج الکترون‌های ناپیوندی	ثابت گاز ایده‌آل
	عدد کوئندراتیسیون در پک بلور		Nonbonding pair of electrons	
Principal quantum number	عدد کوانتوم اصلی			جایه‌چایانها
Subsidiary quantum number	عدد کوانتوم فرعی			جاذبات می‌شکل
	عدد کوانتوم مغناطیسی اپین			جذب سطوح شمیابی
Magnetic spin quantum number	عدد کوانتوم مغناطیسی اوریتال	Joule	ژول	جذر میانگین مجدول سرعت
	عدد کوانتوم مغناطیسی اوریتال			Root - mean - square speed
Magnetic orbital quantum number		Lewis structure	ساختار لویس	جرم
Element	عنصر	Speed of light	سرعت نور	جسم - دامنه‌ناطبیس
Representative elements	عنصرنموده، عنصرنمایند	$s^2 p^6$ ion	یون p^6	جسم، ماده
Transition element	عنصر واسطه	Reaction rate	سرعت واکنش	جهت
Inner - transition element	عنصر واسطه درونی	Homogeneous series	سری‌های همگن	پرخشم بورن - هابر
Concentration	غلاظت	Unit cell	سلول واحد	پنگالی
		Simple cubic unit cell	سلول واحد مکعبی ساده	
Nonstoichiometry	غیراستوکیومتری	s^2 ion	یون s^2	
			سلول واحد مکعبی مرکز بر	
Phase	نماز	Body-centred cubic unit cell		حالات برانگیخته
Product	فرازده، محصول		سلول واحد مکعبی مرکز و چهار بر	حالات پایه
Frequency	فرکانس	Face - centered cubic unit cell		STP molar volume
Empirical formula	فرمول تجزیی	Volumetric analysis	سنجهن حجمی، آنالیز حجمی	حجم مواد
Structural formula	فرمول ساختاری	Chemical kinetics	سینتیک شمیابی	حد واطه واکنش
Chemical formula	فرمول شمیابی			حفاظت، پوشاندن
Molecular formula	فرمول مولکولی	Crystal lattice	شبکه بلوری	حلال
Pressure	فشار	Metalloid	شب‌فاز	
Critical pressure	دشوار بخارانی	Semimetal	شب فاز	
Vapor pressure	دشوار بخار	Atomic radius	شعاع اتمی	
Partial pressure	دشوار چیزی	Ionic radius	شعاع یونی	
Metal	فلز	Indicator	شناساگر	
Alkali metal	فلز قلایی	Chemistry	شیمی	
Photon	فوتون	Coefficient	ضریب	
Adjacent charge rule	قاعده بار مجاور	Conversion factor	ضریب تبدیل	دما و فشار استاندارد
Hund's rule	قاعده هوند			Standard temperature and pressure (STP)
Amonton's law	قانون آمونتون	Compressibility factor	ضریب تراکم پذیری	دمای انجماد
Law of conservation of mass	قانون بقای جرم	van't Hoff factor	ضریب وانت هووف	دمای بحرانی
Law of constant heat summation				دمای جوش
Boyle's law	قانون بول	Bond distance	طول پیوند	دمای ذوب
	قانون ترکیب حجمی گیلسوک	Wave length	طول موج	دو قطبی لحظه‌ای
Gay - Lussac's law of combining volumes	قانون تناوبی	Spectrum	طیف	
Periodic law	قانون تناوبی	Mass spectrometer	طیف سنجی جرمی	ذره آلفا
Raoult's law	قانون راوتل			ذره بتا
Charles' law	قانون شارل	Heat capacity	ظرفیت گرمایی	
	قانون شارهای جزئی دالتون			روزنائی، تشدید
Dalton's law of partial pressures		Oxidizing agent	عامل اکسیدکننده	رسوب دادن، رسوب کردن

واژه‌نامه فارسی - انگلیسی

Radioactivity	بروزایری، رادیو اکتیویته	الکترولایت	Hydration	آب پوش
Cathodic ray	پرتو کاتدی	الکترون	Electronic configuration	آرایش الکترونی
Proton	پروتون	الکترون خواهی	Actinoids	اکتینوئیدها
$p\pi - d\pi$ bond	$p\pi - d\pi$	پیوند سیگما	Actinides	اکتینیدها
Pi bond	پیوند پی	الکترون‌نگاری	Ampere	آمپر
Sigma bond	پیوند ساده، پیوند سیگما	الکترون‌های طرفی، الکترون‌های والنسی	Enthalpy	انالپی
Covalent bond	پیوند کووالانسی	انرژی	Enthalpy of hydration	انالپی آب پوشی
Polar covalent bond	پیوند کووالانسی قطبی	انرژی سنتگی	Enthalpy of solution	انالپی احلال
Hydrogen bond	پیوند هیدروژنی	انرژی پیوند	Enthalpy of vaporization	انالپی تغییر
Ionic bonding	پیوند بیونی	انرژی درونی	Enthalpy of crystallization	انالپی شکل
تاشن الکترون-مغناطیسی		انرژی شبک	Enthalpy of condensation	انالپی تراکم (میان)
Electro magnetic radiation		انرژی فعال‌سازی	Enthalpy of formation	انالپی شکل
Gamma radiation	تابش گاما	اوربیتال	Enthalpy of sublimation	انالپی تصفید
Wave function	تابع موجی	Molecular orbital	Enthalpy of fusion	انالپی ذوب (گذار)
Evaporation	تبخیر	اوربیتال مولکولی	Enzyme	آنزیم
Energy level	تلارز انرژی	اوربیتال مولکولی پیوندی	Anion	آنیون
Compound	ترکیب، جسم	Bonding molecular orbital	Atom	اتم
Binary compound	ترکیب دواین	اوربیتال مولکولی ضدپیوندی	Significant figures	ارقام با معنی
Ionic compound	ترکیب بیونی	ایزو الکترون	Stoichiometry	استوکیومتری
Disproportionation	تسهیم نامتناسب	ایزو توب	Osmosis	اسمز
Sublimation	تصعید		Acid	اسید
Equilibrium	تعادل	Formal charge	Arrhenius acid	اسید آرنهیوس
Chemical equilibrium	تعادل شیمیایی	بار هسته‌ای مؤثر	Polyprotic acid	اسید چند پروتوفن
Heterogeneous equilibrium	تعادل ناممگن	Base	Weak acids and bases	اسیدها و بازهای ضعیف
Distillation	تقطیر	Arrhenius base	Strong acids and bases	اسیدها و بازهای قوی
$d^{10} s^2$ ion	$d^{10} s^2$ برون	Actual yield	Monoprotic acid	اسید یک پروتوفن
Period	تداوی، پریود	Theoretical yield	Positive rays	اشعة مثبت، پرتوهای مثبت
torr	تور	Berthollide	Avogadro's principle	اصل اوگادرو
توزیع ماکسول - بولتزمان		برتو لاید	Exclusion principle of Pauli	اصل طرد پالی
Maxwell - Boltzmann distribution		برخورد مؤثر	Uncertainty principle	اصل عدم قطعیت
Titration	تیتر کردن	بلور	Le Chatelier's principle	اصل لو شاتلیر
تایت افزایش دمای جوش مویی		بلور تنگ چین	Oxidation	اکسایشن
Molal boiling - point elevation constant		پیرو راکشن، Q	Oxyacid	اکسید اسید
Equilibrium constant	تایت تعادل		Basic oxide	اکسید بازی
Rate constant	تایت سرعت	X - ray diffraction	Amphoteric oxide	اکسید دو خصائص (آمفوتری)

فهرست راهنمای

- آب پوشی ۲۰۱، ۱۸۸، ۱۸۷
 آب، دمای اتماد ۵۳
 آب، دمای جوش ۵۳
 آب شیرین ۱۹۷
 آرینوس، سوات ۲۳۹، ۱۹۹
 آزمایش شترن - گلخ ۸۰، ۷۹
 آکتینوپیدها ۲۶، ۲۳
 آکتینیدها ۲۶، ۲۳
 آتلیه شیمیابی ۳۵
 آنتالپی ۶۴، ۵۶
 آنتالپی استاندارد تشكیل ۵۹، ۵۸
 آنتالپی انحلال ۲۰۲، ۲۰۱، ۱۸۸
 آنتالپی تبخیر ۱۸۱، ۱۶۹
 آنتالپی تبلور مولی ۱۷۰
 آنتالپی تشكیل ۶۶، ۶۴، ۵۸
 آنتالپی تعیید ۱۰۴، ۹۸
 آنتالپی حلال پوش ۱۸۸
 آنتالپی مواد شیمیابی ۵۶
 آنتی فلوروریت ۱۸۰، ۱۷۹
 آنتی برد ۲۴۴، ۲۴۳
 آنتی زیم ۱۸۷، ۱۸۶
 آنتی ماد اتماد ۱۴۸، ۱۴۷
 آنتروپول ۱۰۷ - تامسون ۱۵۷
 ارشیداس ۱۱
 ارقام با معنی ۱۳، ۷
 استالاکتیت ۲۱۵
 استالاگمیت ۲۱۵
 استوکیومتری ۴۰، ۳۷، ۲۹
 استوکیومتری واکنش‌ها در محلول ۵۰، ۴۷
 استوکیومتری و حجم گازها ۱۶۰، ۱۴۹
 اسمر ۲۱، ۱۹۶
 اسمر مکوس ۱۹۷
 اسید ۲۲۰، ۲۱۳
 اسیدها و بازهای آرینوس ۲۲۰، ۲۱۳
 اسیدهای چند پروتونی ۲۲۰، ۲۱۴
- اوپریتال مولکولی ۱۲۹، ۱۲۲
 اوپریتال‌های هیریدی ۱۲۷
 اویزان اتمی ۲۷، ۲۴
 ایزوتوب‌ها ۲۷، ۲۳
 ایششین، آبرت ۲۴
 بازالتکترون ۱۷
 بازالتکریک ۱۸
 بازقردادی ۱۱۹، ۱۱۳، ۱۱۲
 باز مؤثر هسته ۱۰۴، ۹۳
 بازداری زنجیر ۲۴۴، ۲۳۸
 بازده نظری ۴۸، ۴۴
 بازده و اقصی ۴۰، ۳۶
 بال حجم‌منجی ۴۵
 برآگ، ویلام لورنس ۱۷۷
 برآگ، ویلام هنری ۱۷۷
 برتولید ۱۸۱، ۱۸۰
 بروخوردهای مؤثر ۲۴۴، ۲۳۳
 بلور شبکه‌ای کوارتز ۱۷۴
 بلور مکعبی ۱۷۵
 بلورها ۱۸۳، ۱۷۴
 بلورهای سدیم کلرید ۹۸
 بلورهای شبکه‌ای ۱۷۳
 بلورهای مولکولی ۱۷۳
 بلورهای یونی ۱۷۳، ۱۷۸
 بسب گرماستن ۵۶
 بوه، نیلس ۷۰
 بولیل، رابرт ۱۴۰، ۱۶
 بهرا و اکشن ۲۵۸، ۲۵۱
 بیوشیمی ۳
 پاریتال، لینوس ۱۱۰
 پارولی، ولنگانگ ۸۰
 پراش پرتوهای X ۱۸۳۰، ۱۸۲۰، ۱۷۷۷
 پروتون ۱۹، ۱۸
- اسیدهای یک پروتونی ۲۲۰، ۲۱۴
 اشمعه‌کاتنی ۱۷
 اصل آووگادرو ۱۶۰، ۱۵۸، ۱۴۸
 اصل طرد پاولی ۸۹، ۸۰
 اصل عدم قطبیت هایزنبرگ ۸۹، ۷۶، ۷۵
 اصل لوشانیه ۲۰۱، ۱۸۹
 اعداد کانتوری ۹۱، ۷۷
 اکسیدهای آمفوری ۲۲۰، ۲۱۵
 اکسیدهای اسیدی و بازی ۲۲۲، ۲۱۴
 الکتروولت‌ها ۲۰۱، ۱۹۹
 الکتروولت‌های ضعیف ۲۰۷، ۱۹۹
 الکتروولت‌های قوی ۲۰۷، ۱۹۹
 الکترون ۱۷
 الکترون خواهی ۹۶، ۹۵
 الکترون خواهی، اولین ۹۶
 الکترون خواهی، دومین ۹۶
 الکترونگابیوی ۱۱۹، ۱۱۰
 الکترون تمایزگذار ۸۹، ۸۲
 الگوی انتی وارفارود ۲۰
 الگوی یک آنزیم ۲۲۳
 انحراف مثبت ۱۹۲
 انحراف منفی ۱۹۷
 انرژی ۴۲، ۵۲
 انرژی اندازه‌گیری ۵۲
 انرژی بستگی ۲۴
 انرژی پیوند ۶۶، ۶۳، ۶۱
 انرژی پیوندهای شیمیابی ۶۱
 انرژی تفکیک پیوند ۶۳، ۶۱
 انرژی شبکه ۹۸
 انرژی فعال‌سازی ۲۴۴، ۲۳۴
 انرژی پوئن ۱۰۴، ۹۵، ۹۴
 انواع پونهای ۱۰۰
 اوپریتال ۸۹، ۸۵
 اوپریتال پیوندی سیگما ۱۳۶، ۱۳۰، ۱۲۹
 اوپریتال پیوندی سیگما ۱۳۶، ۱۲۰، ۱۲۹

Normal salt	نمک نرمال	Ideal solution	محلول ایده‌آل	قانون گاز ایده‌آل
Phase diagram	نمودار فاز	Mixture	مخلوط	Law of constant heat summation
Neutron	نوترون	Orbit	مدار، اوربیت	قانون مجموع ثابت گرما
Intermolecular forces	نیروهای بین مولکولی		مرتبه پاک و اکشن شیمیایی	قانون نسبت های مفاسع
Dispersion forces	نیروهای پراکنده‌گری	Order of chemical reaction	مرحله تعیین کننده سرعت	قانون نسبت های معین
London forces	نیروی لندن	Rate - determining step	مسافت آزاد میانگین	قانون نفوذ مولکولی گراهام
Dipole - dipole force	نیروی دوقطبی - دوقطبی	Mean free path	مسافت جزوی	Graham's law of effusion
d^{10} ion	d^{10} یون	Partial equation	معادله اجزئی	قانون هش
Half - life	نیمه عمر	Arrhenius equation	معادله آرنهیوس	قانون هنری
Half reaction	نیمه واکنش	Bragg equation	معادله برگ	
SI unit	واحد	Rate equation	معادله سرعت	
Unit electrical charge, e	واحد بار الکتریکی، e	Chemical equation	معادله شیمیایی	
Atomic mass unit	واحد جرم اتمی		معادله کلرایوس - کلایپرون	کاتالیزور
Metathesis reaction	واکنش تراویختی	Clausius - Clapeyron equation		کاتالیزور نامهنجان
Limiting reactant	واکنش محدود مدار	van der Waals equation	معادله وان دروالس	کاتالیزور همگن
Exothermic reaction	واکنش گرمایشی	Celsius temperature scale	مقایسه دمای سلسیوس	کاتیون
Endothermic reaction	واکنش گرمایشی	Fahrenheit temperature scale	مقایسه دمای فارنهایت	کالری
First - order reaction	واکنش مرتبه اول	Kelvin temperature scale	مقایسه دمای کلوین	کالری سنج
Second - order reaction	واکنش مرتبه دوم	Reaction mechanism	مکانیسم واکنش	کاهش
Third - order reaction	واکنش مرتبه سوم	Chain mechanism	مکانیسم زنجیری	کسر مول
Zero - order reaction	واکنش مرتبه صفر	Interstitial position	موقعیت درون شبکه‌ای	کشش سطحی
Ionic reaction	واکنش بیونی	Mole	مول	کمپلکس فعال شده
Net - ionic reaction	واکنش بیونی خالص	Molarity	مولاریته	کوانتوم، کوتاتوم
Weight	وزن	Molality	مولالیته	گازهای نجیب
Atomic weight	وزن اتمی	Molecule	مولکول	گرمازوری، ویسکوزیته
Formula weight	وزن فرمولی	Molecularity	مولکولاریته	گرما
Molecular weight	وزن مولکولی	Polyatomic molecule	مولکول چند اتمی	گراماشیم، شیمی گرمایی، ترموشیمی
Equivalent weight	وزن هم‌آرز	Diatomic molecule	مولکول دو اتمی	Thermochimistry
Halogen	هالوژن		نافلز	گرمای ویژه
Nucleon	هستک، نوکلیون	Nonmetal	نرمالیته	گشتوار دوقطبی
Nucleus	هسته	Normality	نرمالیته	
Azeotrope	(همجوش) (آزوتروپ)	Valence - bond theory	نظریه پیوند ظرفیتی	لاتانیدها
Crystal allotropes	هم شکل های بلور	Collision theory	نظریه برخورد	لایه انرژی
Barometer	هواسنج	Kinetic theory of gases	نظریه جنبشی گازها	لایه فرعی
Hybridization	هیبرید شدن	Transition state theory	نظریه حالتگذار	
			نظریه دائمی ذریعه کترون لایه ظرفیتی	ماده
		Valence - shell electron - pair repulsion theory		ماده پارامagnetیس، جسم پارامagnetیس
Ion	یون	Crystal defect	نقش بلور	
Spectator ion	یون تماثلگر	Triple point	نقطه سه تایی	Paramagnetic substance
Polyatomic ion	یون چند اتمی	Equivalence point	نقطه هم ارزی	(ماده) واکنش دهنده، ماده اولیه
Noble - gas ion	یون گاز تجیب	Chemical symbol	نماد شیمیایی	ماده آنفلوپریک
Hydronium ion	یون هیدروژنوم	Salt	نمک	ماده حل شده، ماده حل شونده
Monatomic ion	یون یک اتمی	Acid salt	نمک اسیدی	محلول
				محلول استاندارد

- کاتالیزور ناهمگن ۲۴۲
 کاتالیزورها ۲۴۶، ۲۴۴، ۲۴۱
 کاتالیزور همگن ۲۲۱
 کابین ۳۷، ۲۹
 کاکس ۲۱۰
 کالری ۶۳، ۵۲
 کالکس ۳
 کلابیرون، بتو ۱۶۹
 کلابیزوس، روالف ۱۶۹
 کلیپکس، فالشده ۲۴۴، ۲۳۴
 کوکاتا ۶۹
 کوهه بخ ۱۶۷
 کیمیاگر شکاک ۱۶
 کیمیاگری ۲
 کازها ۱۳۹
 کازهای ایده‌آل ۱۵۵، ۱۵۴
 کازهای نجیب ۸۸، ۲۶، ۲۲
 گالیله، گالیلو ۱۳۹
 گرایانه (پوکسوزیته) ۱۸۲، ۱۶۷
 گرایت، نامس ۱۵۴
 گرام، تامس ۱۵۴
 گرمای، بیوه ۶۲، ۵۳
 گشناور و دو قطبی ۱۱۹، ۱۰۹
 گلوبک ۲۶
 گیلوساک، ژوف ۱۶۰، ۱۴۸، ۱۴۱
 لانتونیدها ۲۶، ۲۲
 لانتانیدها ۲۶، ۲۲
 لاوازیه، آتسوان ۲
 لایه‌های پر ۸۷
 لایه‌های نیمه پر ۸۹، ۸۷
 لرد کلوبن، ویلام تامسون ۱۲۳
 لوشاپلیه، هانری ۲۵۶، ۱۸۹
 لوریس، گیلبرت ۱۰۸
 ماده ناهمگن ۵
 ماده همگن ۵
 مارپیچ مصافع DNA ۱۶۶
 مایعات ۱۶۳
 سایع شدن گازها ۱۵۷
- غلظت محلول‌ها ۱۹۰
 غلظت و زمان ۲۲۷
 غلظت و سرعت واکنش‌ها ۲۲۵
 غلظت‌های تعادلی ۲۵۳
 فاراده، میکاپل ۱۷
 فارنهایت، مقیاس ۵۳، ۶۴
 فاز ۱۳، ۴
 فراورده ۴۸، ۴۰
 فرایند اتحالن ۱۸۶
 فرانس ۶۸
 فشار ۱۳۹
 فشار بحرانی ۱۵۷
 فشار بخار ۱۸۱، ۱۶۸
 فشار بخار محولهای ۱۹۲
 فشار بخار یک جامد ۱۷۱
 فشار جزئی ۱۵۱، ۱۵۰
 فلز ۲۳
 فلزات قلایی ۲۶، ۲۲
 فلوریستون ۲
- قاعدۀ بار ماجور ۱۱۹، ۱۱۳
 قاعدۀ هشتادی ۱۲۲
 قانون هوند ۸۱، ۸۰
 قانون آموتون ۱۵۸، ۱۴۳
 قانون بقای جرم ۱۶، ۳
 قانون بولیل ۱۵۸، ۱۴۰
 قانون ترکیب حجمی ۱۵۸، ۱۴۸
 قانون تناوبی ۲۶، ۲۲
 قانون تناوبی موزلی ۷۲
 قانون راتول ۲۰۱، ۱۹۲
 قانون شارل ۱۲۱
 قانون شفارهای جزئی دالتون ۱۶۱، ۱۵۰
 قانون گاز ایده‌آل ۱۴۳، ۱۴۷، ۱۵۵، ۱۵۰
 قانون نسبتی چندگانه ۱۶
 قانون نفوذ مولکولی گرام ۱۶۱، ۱۵۴
 قانون هس ۶۵، ۶۴، ۵۷
 قانون هنری ۲۰۱، ۱۸۹
 قواعد اتحالن پذیری ۲۰۶
- شارل، ژاک ۱۴۱
 شرودینگر، اریین ۷۶
 شعاع اتمی عناصر ۹۳
 شعاع وان دروالس ۱۵۶
 شعاع یونی ۱۵۶، ۱۵۴، ۱۰۲
 شکل هندسی مولکول ۱۲۳، ۱۲۲
 شمارنده گایگر ۱۷
 شیشه رنگی ۲۱۵
 شیمی آلی ۳
 شیمی تجزیه ۳
 شیمی، تعریف ۱۳، ۱
 شیمی جدید ۳، ۱
 شیمی فیزیک ۲
 شیمی گرمایی ۵۲
 شیمی معدنی ۳
- ضریب تبدیل ۱۳، ۱۲، ۹
 ضرب وات هوف ۲۰۱، ۱۹۹
- طبقه‌بندی ماده ۶
 طول موج ۶۸
 طیف اتمی ۹۰، ۷۵
 طیف پیرسون ۷۵
 طیف‌نگار چرمی ۲۳
- ظرفیت گرمایی ۶۴، ۵۴
- عامل اکسیدان ۲۰۹
 عامل اکسید کننده ۲۰۹
 عامل کاهش ۲۰۹
 عامل کارنده ۲۰۹
 عدد آوگاردر ۷۷، ۳۲
 عدد اتمی ۲۲
 عدد اکسایش ۲۲۱، ۲۲۰، ۲۰۸، ۲۰۷
 عدد جرمی ۲۰
 عدد کواترمو اصلی ۷۸، ۷۷
 عدد کواترمو مغناطیسی ۷۸
 عدد کواترمو مغناطیسی اسپین ۸۹، ۷۹
 عناصر نمونه ۸۹، ۸۸
 عناصر واسطه ۸۸
 عناصر واسطه داخلی ۸۸، ۸۶
 عنصر ۱۳، ۳
- غلظت ۱۸۶، ۴۸، ۴۵

- دمای بحرانی، ۱۵۷
دمای جوش، ۱۶۸
دمای کلرین، ۱۴۲، ۱۲۱
دوپریو، لوپی، ۷۵
دو قطبی های لحظه ای، ۱۶۴، ۱۸۱
راپطة دوپریو، ۷۵
رادرفورود، ارنست، ۱۹
رادیو اکتیویته طبیعی، ۱۹
رزوانس، ۱۱۶، ۱۱۹، ۱۱۰
رزولتیل، ۱۸۵
رو آش، ۸۲، ۸۹
روش عدد اکسپاشن برای موازنه، ۲۱۲
روش بون - الکترون برون موازنه، ۲۱۰، ۲۱۱
روی سولفید طبیعی، ۱۸۰، ۱۷۹
زیوج های پیوندی، ۱۲۲، ۱۳۶، ۱۲۲
زیوج های ناپیوندی، ۱۲۶، ۱۲۲
ژول ورن، ۹
ساختر الکترونی، ۶۸، ۸۲، ۹۱
ساختر الکترونی عنصر، ۸۲
ساختر الکترونی فلزات، ۱۷۸
ساختر شش گوشه ای فشرده، ۱۷۸
ساخترهای پیوند ظرفیتی، ۱۰۷
ساخترهای تک چیزی، ۱۷۸، ۱۱۱
ساخترهای رزونانسی، ۱۱۷
ساخترهای لرویس، ۱۱۳، ۱۱۵، ۱۲۰، ۱۱۷
ساخترهای سکمی، ۱۷۵، ۱۸۱
ساخترهای ناقص، ۱۷۹، ۱۸۴
سانیگراد، مقیاس، ۵۳
سرعت واکنش ها، ۲۲۴
سرعت های مولکولی، ۱۵۲
سری بالمر، ۷۱
سری پاپن، ۷۱
سری لیمان، ۷۱
سلیسیوس، اندرس، ۵۳، ۶۴
سموم کاتالیزور، ۲۴۳
سمونش حجم، ۲۱۶، ۲۰۰، ۲۲۰، ۲۲۲
سوخن، ۴۱
سوختن در مجاورت اکسیژن، ۴۱
سیکلوبروپان، ۱۴۵
سیتیک شیمیابی، ۲۲۴
جادههای بین بونی در محلول، ۱۹۹
جامدات، ۱۶۳
جامدات بلوری، ۱۷۳، ۱۸۳
جامدات بی شکل، ۱۷۰، ۱۸۱
جدول تناوبی، ۲۲، ۲۷، ۷۲، ۷۳
جدب سطحی، ۲۲۴، ۲۲۲
جدب سطحی شیمیابی، ۲۴۴، ۲۴۲
جدب فیزیکی، ۲۴۴، ۲۴۲
جدر مانگنیک مذکور سرعت، ۱۵۲
جزم، ۱۳۰
جسم، ۱۴۰
جسم خالص، ۵
چرخه بورن - هایر، ۹۸، ۹۹، ۱۰۴، ۱۰۵
چگالی، ۱۱، ۱۵، ۱۳
چند شکلی (آلتوپی)، ۱۷۸
چهار و جهی، ۱۳۳
چهار و جهی نامنظم، ۱۲۴
حالات برانگیخته، ۷۱
حالات پایه، ۷۱
حالات مایع، ۱۶۶
حجم مولی کاری، ۱۴۹
حدود سطح و اکتش، ۲۲۲
حال، ۴۸، ۴۵
خلاصه بونی جزوی، ۱۱۹، ۱۱۱
خشش شدن، ۲۲۰، ۲۱۳
خواص کولیگاتور، ۱۹۶، ۲۰۱
داوی، همفری، ۱۷
دالتون، جان، ۱۶، ۱۷
دامنه موج، ۶۸
درجۀ پیوند، ۱۲۹، ۱۳۶
دروصد، ۱۰
دروصد اجزاء، ۳۸، ۳۴
دروصد بازده، ۴۸، ۴۴
دستگاه متري، ۱۳، ۶، ۵
دستگاه مکعب، ۱۷۵، ۱۷۶
دما، ۵۲، ۶۴
دما، اندازه گیری، ۵۰، ۵۲
دماست، ۵۴، ۶۴
دمای انجامداد، ۱۷۰، ۱۸۱، ۱۸۳
پیرینکیپیا، ۱۶
پریبورود، ۲۲
پلانک، ماکس، ۶۹
پوش آزاد متوسط، ۱۵۳، ۱۳۷، ۱۳۶، ۱۳۴ $p\sigma - d\tau$
پیوند برگشتی، ۱۳۴
پیوند پیوندی، ۱۲۹، ۱۳۶
پیوند دوگانه، ۱۰۸
پیوند ساده، ۱۰۷
پیوند سه گانه، ۱۰۸
پیوند فلزی، ۹۳
پیوند کووالانسی، ۹۳، ۱۵۷
پیوند هیدروژنی، ۱۶۰، ۱۸۱، ۱۸۲
پیوند یونی، ۹۷، ۹۳
تابش الکتا، ۲۶، ۱۹
تابش الکترو-مغناطیسی، ۶۸، ۶۹، ۹۰
تابش بتا، ۱۹، ۲۶
تابش گاما، ۲۰، ۲۶
تابمسون، جوزف، ۱۸
تبغیر، ۱۶۷
ترکیب، ۱۳، ۳
ترکیب دوتایی، ۱۱۹، ۱۱۱
تسهیم نامناسب، ۲۱۰، ۲۱۲
تشکیل پیوند برگشتی، ۱۳۴
تشکیل پیوند کووالانسی، ۱۰۷
تعادل شیمیابی، ۲۴۹، ۲۵۰
تعادل همگن، ۲۵۱، ۲۵۳
تعیین سرعت واکنش، ۲۲۵
تغيرات شیمیابی، ۵
تغيرات فیزیکی، ۵
تفطیر، ۱۹۸، ۲۰۱
تناوب، ۲۲
توريچل، اوچانجلیستا، ۱۳۹
توزيع ماسکول، بوئنیزمان، ۱۵۳، ۱۵۹
تيترکردن، ۲۱۶، ۲۲۰
ثابت افزایش دمای جوش مولی، ۱۹۴، ۲۰۱
ثابت پالنک، ۷۵
ثابت تعادل، ۲۰۱، ۲۰۴
ثابت کاهش دمای انجامداد مولی، ۱۹۴، ۲۰۱
جایه جایی، ۱۷۹، ۱۸۱، ۱۸۳

محاسبات شیمیایی ۴۴، ۹

محلول ۱۳، ۳

محلول استاندارد ۲۱۶

محلول اشاعه دهنده ۱۸۶

محلول ایندها ۲۰۱، ۱۹۲

محلول سیر شده ۱۸۶

محلول فوق سیر ۱۸۶

محلولها ۱۸۶

محلولها ماهیت ۱۸۶

محلولهای الکترولیت ۱۹۹

محلولهای رقته ۱۸۶

محلولهای موکارب ۴۵

مخلوط ۱۳، ۵

مخلوط تاچگن ۵

مخلوط همگن ۵

مرحله دو موکارب ۲۳۶

مرحله سه موکارب ۲۳۶

مرحله یک موکارب ۲۳۶

مرتبه یک واکنش ۲۲۶

مرحله انتشار زنجیر ۲۳۸

مرحله پایانی واکنش زنجیری ۲۴۴، ۲۳۸

مرحله تعیین کننده سرعت ۲۴۴، ۲۳۵

معادلات سرعت و دما ۲۳۸

معادله های شیمیایی ۴۹، ۴۸، ۴۴، ۴۰

معادله های گرماسیمایی ۵۵

معادله برگ ۱۸۱، ۱۷۷

معادله حالت برای کاز ایدهآل ۱۴۴

معادله سرعت یک واکنش ۲۲۶

معادله شودیدگر ۷۶

معادله کلازیوس - کالابیرون ۱۸۲، ۱۸۱، ۱۶۹

مفهوم آرئوس ۲۱۳

مقیاس کلوین ۱۴۲

مقایس زنجیری ۲۴۴، ۲۲۸

مقایس واکنش ۲۴۶، ۲۲۲

مکعب مراکز و جوچه پر ۱۷۵

مکعب مرکز پر ۱۸۱، ۱۷۵

مدلیف، دیستری ۷۲

مواد شیشه مانند ۱۷۵

موزائی، هنری ۷۳، ۷۲

موقعیت تعادل ۲۵۲

مول ۳۷، ۳۲

مولاریته ۵۰، ۴۸، ۴۵

مولالیته ۱۹۱، ۱۹۰

مولکولاریته ۲۴۵، ۲۳۵

میانگین ارزی پیوند ۶۳، ۶۲

واکنش دهنده های محدود ساز ۴۸، ۴۳

واکنش گرمایزا ۵۵، ۶۴

واکنش های اکسایشی - کاکتیو

۲۲۱، ۲۲۰، ۲۰۹

واکنش های تراساختی ۲۲۱، ۲۲۰، ۲۰۵

واکنش های دو موکارب ۲۴۵، ۲۳۵

واکنش های مرتبه اول ۲۲۸، ۲۲۷

واکنش های مرتبه دوم ۲۴۵، ۲۳۰

واکنش های مرتبه سفر ۲۴۵، ۲۳۱

واکنش های یک مرحله ای ۲۴۵، ۲۲۲

واکنش های یک موکارب ۲۴۵، ۲۲۵

واکنش یونی ۱۰۴، ۹۷

وان دروالس، پوهانس ۱۶۴، ۱۵۶

وزن ۱۴۰۳

وزن اتمی ۲۶، ۲۴

وزن فرمولی ۳۷، ۳۱

وزن موکارب ۳۷، ۳۱

وزن هم ارز و نرمایلته ۲۲۰، ۲۱۸

هالوژن ها ۲۶، ۲۲

هایزنبرگ، ورنر ۷۵

هرتز، هنریش ۶۸

هرم مثلت القاعده ۱۲۳

هسته اتم ۲۷، ۲۶

هشت و چهی متضخم ۱۲۵

همچووش ۲۰۱، ۱۹۸

همچووش با مادی جوش بیشتره ۲۰۱، ۱۹۸

همچووش با مادی جوش کمینه ۲۰۱، ۱۹۸

همچشار ۱۹۷

هنری، ولیام ۱۸۹

هواسنج ۱۳۹

هیبرید شدن ۱۳۶، ۱۲۸

یاتروشیمی ۲

یون ۳۰، ۲۶، ۲۱

یون تماشاگر ۲۲۰، ۲۰۵

یون های ۱۰۴، ۱۰۱، ۸۷

یون های ۱۰۴، ۱۰۱، ۸۴

یون های ۱۰۴، ۱۰۱، ۸۵

یون های آب پوشیده ۱۸۷

یون های گاز نجیب ۱۰۴، ۱۰۱

یون یک اتمی ۳۰، ۲۱

نامگذاری آبیون ها ۱۰۳

نامگذاری اسیدها ۲۱۶، ۲۱۵

نامگذاری ترکیبات کووالانسی ۱۲۱، ۱۱۸

نامگذاری ترکیبات یونی ۱۰۶، ۱۰۲

نامگذاری کاتیون ها ۱۰۲

نامگذاری نمکها ۲۱۶

نامگذاری هیدروکسیدها ۲۱۶

نرمایلته ۲۲۳، ۲۱۸

نظریه ۷SEPR ۱۳۷، ۱۳۶، ۱۳۳

نظریه اتمی ۱۶

نظریه اتمی دالتون ۲۷، ۱۶

نظریه بی خود ۲۴۴، ۲۳۳

نظریه بره ۷۰

نظریه جنبشی گازها ۱۴۷، ۱۴۶

نظریه حالت گذار ۲۳۴

نظریه کواترسوم ۶۹

نقص نظمی ۱۸۰

نقطه سه گانه ۱۸۱، ۱۷۲

نقطه هم ارز ۲۲۰، ۲۱۷

نماد شیمیایی ۱۳، ۹، ۴

نمادهای اتمی ۲۰

نمودارهای فاز ۱۸۱، ۱۷۱

نترتون ۲۶، ۱۹

نزکتمن ۲۰

نزدیکی های پراکنده ۱۶۳

نزدیکی های جاذبه بین موکارب ۱۶۳، ۱۵۵

نزدیکی های لندن ۱۶۳

نیم واکنش ۲۲۰، ۲۰۸

نیمه عمر ۲۴۴، ۲۲۷

نیمه قلل ۲۶، ۲۳

نیوتون، ایواک ۱۶

واحد اصلی ۶

واحد بار الکتریکی ۱۸

واحد تکمیلی ۶

واکنش برگشت پذیر ۲۵۰، ۲۴۹

واکنش برگشت ناپذیر ۲۴۹

واکنش دهنده ۴۸، ۴۰