



НАУКА В РЕГИОНЫ

Методические материалы по
ХИМИИ
(справочные материалы)



Иннопрактика

2017

В условиях современного развития общества, возрастает значение умения правильно ориентироваться в постоянно растущем потоке информации. Применительно к школьному образовательному процессу это, в первую очередь, определяет приоритет формирования метапредметных результатов обучения.

Изучение химии на любом уровне связано с постоянным использованием таблиц, графиков, диаграмм, схем и т.д. В данном издании приводятся основные физико-химические величины и примеры их использования для решения задач разной сложности. Многие данные представлены в виде периодической таблицы Д.И. Менделеева: значения относительной электроотрицательности элементов, их атомных и ионных радиусов, энергии ионизации и энергии сродства к электрону, данные о распространенности элементов в природе, происхождении их названий и времени открытия, значения температур плавления и кипения простых веществ и др. Это позволяет легко находить необходимую информацию, переводить ее из одной наглядно-символической формы в другую (формулы, графики, диаграммы, таблицы), выявлять закономерности изменения свойств химических элементов и их соединений.

Автор
Е.М. Снигирёва

Использование
справочных материалов
ПО ХИМИИ

Корректоры: И.Л. Киндяк, А.П. Рыбаков
Компьютерная верстка: А.П. Рыбаков

Использование справочных данных при изучении химии

В условиях современного развития общества, возрастает значение умения правильно ориентироваться в постоянно растущем потоке информации. Применительно к школьному образовательному процессу это, в первую очередь, определяет приоритет формирования метапредметных результатов обучения.

Изучение химии на любом уровне связано с постоянным использованием таблиц, графиков, диаграмм, схем и т.д. В данном издании приводятся основные физико-химические величины и примеры их использования для решения задач разной сложности.

Так, огромным дидактическим потенциалом обладает периодическая таблица Д.И. Менделеева, предоставляя прекрасные возможности для составления заданий, направленных на формирование познавательных универсальных учебных действий, обозначенных в Федеральном государственном образовательном стандарте.

Многие свойства атомов химических элементов и их соединений можно представить в периодической таблице Д.И. Менделеева. Например, кроме названий элементов и значений их относительных атомных масс можно включить в таблицу Д.И. Менделеева величины относительной электроотрицательности элементов, их атомных и ионных радиусов, энергии ионизации и энергии сродства к электрону, данные о распространенности элементов в природе, происхождении их названий и времени открытия, значения температур плавления и кипения простых веществ и др. Это позволяет легко находить необходимую информацию, переводить ее из одной наглядно-символической формы в другую (формулы, графики, диаграммы, таблицы), выявлять закономерности изменения свойств химических элементов и их соединений.

Таблица 1

Фундаментальные физические постоянные

| Постоянная | Числовое значение |
|---|--|
| Атомная единица массы | $1 \text{ а.е.м.} = 1.6605655 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ |
| Постоянная Авогадро | $N_A = 6.022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ |
| Масса покоя электрона | $m_e = 9.109534 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ |
| Масса покоя протона | $m_p = 1.6726485 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ |
| Масса покоя нейтрона | $m_n = 1.6749543 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ |
| Заряд электрона | $e^- = 1.6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ |
| Постоянная Фарадея | $F = 96484.56 \text{ Кл/моль}$ |
| Постоянная Больцмана | $k = R/N = 1.380662 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ |
| Универсальная газовая постоянная | $R = 8.31441 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ $0.082 \text{ л} \cdot \text{атм/(моль} \cdot \text{К)}$ $62360 \text{ мл} \cdot \text{мм рт.ст./ (моль} \cdot \text{К)}$ |
| Объем моля идеального газа при н.у. ($T = 273,15 \text{ К}$, $p_0 = 101325 \text{ Па}$) | $V_m = 22.41383 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$ |

Таблица 2

Относительные атомные массы и названия элементов

| | | | | | | | |
|---|--|--|--|---|--|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| H ¹ водород 1,0079 | | | | | | | He ² гелий 4,0026 |
| Li ³ литий 6,941 | Be ⁴ бериллий 9,0122 | B ⁵ бор 10,811 | C ⁶ углерод 12,011 | N ⁷ азот 14,0067 | O ⁸ кислород 15,9994 | F ⁹ фтор 18,9984 | Ne ¹⁰ неон 20,179 |
| Na ¹¹ натрий 22,9898 | Mg ¹² магний 24,305 | Al ¹³ алюминий 26,9815 | Si ¹⁴ кремний 28,0855 | P ¹⁵ фосфор 30,9738 | S ¹⁶ сера 32,066 | Cl ¹⁷ хлор 35,453 | Ar ¹⁸ аргон 39,948 |
| K ¹⁹ калий 39,0983 | Ca ²⁰ кальций 40,078 | Sc ²¹ скандий 44,9559 | Ti ²² титан 47,86 | V ²³ ванадий 50,9415 | Cr ²⁴ хром 51,9961 | Mn ²⁵ марганец 54,9380 | Fe ²⁶ железо 55,847 |
| Co ²⁷ кобальт 58,9332 | Ni ²⁸ никель 58,69 | | | | | | Co ²⁷ кобальт 58,9332 |
| Zn ²⁹ цинк 65,38 | Ga ³⁰ галлий 69,723 | Ge ³² германий 72,59 | As ³³ мышьяк 74,9216 | Se ³⁴ селен 78,96 | Br ³⁵ бром 79,904 | Kr ³⁶ криптон 83,80 | |
| Rb ³⁷ рубидий 85,4678 | Sr ³⁸ стронций 87,62 | Y ³⁹ иттрий 88,906 | Zr ⁴⁰ цинк 91,224 | Nb ⁴¹ ниобий 92,906 | Mo ⁴² молибден 95,94 | Tc ⁴³ технеций 98 | Ru ⁴⁴ рутений 101,07 |
| Rh ⁴⁵ родий 102,905 | Pd ⁴⁶ палладий 106,42 | | | | | | |
| Ag ⁴⁷ серебро 107,868 | Cd ⁴⁸ кадмий 112,41 | In ⁴⁹ индий 114,82 | Sn ⁵⁰ олово 118,71 | Sb ⁵¹ сурьма 121,75 | Te ⁵² теллур 127,60 | I ⁵³ йод 126,905 | Xe ⁵⁴ ксенон 131,29 |
| Cs ⁵⁵ цезий 132,905 | Ba ⁵⁶ барий 137,33 | La ⁵⁷ лантан 138,905 | Hf ⁷² гафний 178,49 | Ta ⁷³ тантал 180,948 | W ⁷⁴ вольфрам 183,85 | Re ⁷⁵ рений 186,207 | Os ⁷⁶ осмий 190,2 |
| Ir ⁷⁷ иридий 192,22 | Pt ⁷⁸ платина 195,08 | | | | | | |
| Au ⁷⁹ золото 196,967 | Hg ⁸⁰ ртуть 200,59 | Tl ⁸¹ таллий 204,38 | Pb ⁸² свинец 207,2 | Bi ⁸³ висмут 208,980 | Po ⁸⁴ полоний 209 | At ⁸⁵ астат 209 | Rn ⁸⁶ радон 222,018 |
| Fr ⁸⁷ франций 223,02 | Ra ⁸⁸ радий 226,025 | Ac ⁸⁹ актиний 227,028 | Rf ¹⁰⁴ рутерфордий (261) | Db ¹⁰⁵ дубний (262) | Sg ¹⁰⁶ сборерий (263) | Bh ¹⁰⁷ борий (264) | Hs ¹⁰⁸ хассий (265) |
| Mt ¹⁰⁹ мейтнерий (268) | Ds ¹¹⁰ дэвисоний (271) | | | | | | |
| Rg ¹¹¹ рогений (281) | Cn ¹¹² коперниций 285 | Nh ¹¹³ нигелий (286) | Fl ¹¹⁴ флеровий (289) | Mc ¹¹⁵ мекензиум (291) | Lv ¹¹⁶ лэнгедорфий (293) | Ts ¹¹⁷ теннессиум (294) | Og ¹¹⁸ оганесон (294) |
| *Лантаноиды | | | | | | | |
| Ce ⁵⁸ церий 140,12 | Pr ⁵⁹ приманий 140,908 | Nd ⁶⁰ ниобий 144,24 | Pm ⁶¹ прометий 144,913 | Sm ⁶² самарий 150,36 | Eu ⁶³ европий 151,96 | Gd ⁶⁴ гадолиний 157,25 | Tb ⁶⁵ тербий 158,925 |
| Dy ⁶⁶ дишмий 162,50 | Ho ⁶⁷ гольмий 164,93 | Er ⁶⁸ эрибий 167,26 | Tm ⁶⁹ титулий 168,934 | Yb ⁷⁰ ytterbium 173,04 | Lu ⁷¹ лютеций 174,967 | | |
| **Актиноиды | | | | | | | |
| Th ⁹⁰ торий 232,038 | Pa ⁹¹ перибий 231,036 | U ⁹² уран 238,029 | Np ⁹³ нептуний 237,048 | Pu ⁹⁴ плутоний 244,064 | Am ⁹⁵ америций 243,061 | Cm ⁹⁶ камериум 247,070 | Bk ⁹⁷ берклий 247,070 |
| Cf ⁹⁸ калфорний 251,080 | Es ⁹⁹ эйнштейний 252,083 | Fm ¹⁰⁰ фермиум 257,095 | Md ¹⁰¹ мэнделеев 258,10 | No ¹⁰² нобеллий 259,101 | Lr ¹⁰³ лоуренс 260,105 | | |

Классическая таблица химических элементов позволяет определять строение атома любого элемента: состав ядра и электронной оболочки, число электронных слоёв, валентные возможности, диапазон изменений степени окисления, составлять формулы простых веществ и соединений, определять характер простых веществ, сравнивать, рассчитывать молекулярные и молярные массы.

Пример: Каковы валентность и степень окисления азота в азотной кислоте?

Азот – элемент второго периода, и поэтому имеет только 4 валентные орбитали (одну - s и три - p). Значит, максимальная валентность его не может быть больше четырёх! Другое дело – степень окисления: внешних электронов 5, все они могут быть смещены к более электроотрицательному атому, и степень окисления +5 для него возможна. Механизмы образования ковалентной связи: обменный (в обобществлении участвует по одному электрону от каждого атома) и донорно-акцепторный (один атом, донор, предоставляет орбиталь с парой электронов, а второй только свободную орбиталь).

Атомные радиусы, нм

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | | | |
| H ¹ 0,046 | | | | | | | He ² 0,128 | | | | | | |
| Li ³ 0,157 | Be ⁴ 0,113 | B ⁵ 0,097 | C ⁶ 0,077 | N ⁷ 0,071 | O ⁸ 0,066 | F ⁹ 0,058 (ков.) | Ne ¹⁰ 0,16 | | | | | | |
| Na ¹¹ 0,192 | Mg ¹² 0,160 | Al ¹³ 0,143 | Si ¹⁴ 0,133 | P ¹⁵ 0,134 | S ¹⁶ 0,104 | Cl ¹⁷ 0,099 (ков.) | Ar ¹⁸ 0,174 | | | | | | |
| K ¹⁹ 0,231 | Ca ²⁰ 0,197 | Sc ²¹ 0,164 | Ti ²² 0,149 | V ²³ 0,134 | Cr ²⁴ 0,127 | Mn ²⁵ 0,124 | Fe ²⁶ 0,126 | Co ²⁷ 0,125 | Ni ²⁸ 0,124 | | | | |
| Cu ²⁹ 0,128 | Zn ³⁰ 0,139 | Ga ³¹ 0,139 | Ge ³² 0,139 | As ³³ 0,148 | Se ³⁴ 0,160 | Br ³⁵ 0,119 | Kr ³⁶ 0,198 | | | | | | |
| Rb ³⁷ 0,248 | Sr ³⁸ 0,215 | Y ³⁹ 0,181 | Zr ⁴⁰ 0,160 | Nb ⁴¹ 0,145 | Mo ⁴² 0,14 | Tc ⁴³ 0,1358 | Ru ⁴⁴ 0,134 | Rh ⁴⁵ 0,134 | Pd ⁴⁶ 0,137 | | | | |
| Ag ⁴⁷ 0,145 | Cd ⁴⁸ 0,146 | In ⁴⁹ 0,166 | Sn ⁵⁰ 0,158 | Sb ⁵¹ 0,161 | Te ⁵² 0,17 | I ⁵³ 0,136 | Xe ⁵⁴ 0,218 | | | | | | |
| Cs ⁵⁵ 0,266 | Ba ⁵⁶ 0,221 | La ⁵⁷ 0,187 | Hf ⁷² 0,159 | Ta ⁷³ 0,146 | W ⁷⁴ 0,1368 | Re ⁷⁵ 0,137 | Os ⁷⁶ 0,135 | Ir ⁷⁷ 0,135 | Pt ⁷⁸ 0,138 | | | | |
| Au ⁷⁹ 0,144 | Hg ⁸⁰ 0,155 | Tl ⁸¹ 0,171 | Pb ⁸² 0,175 | Bi ⁸³ 0,182 | Po ⁸⁴ 0,153 | At ⁸⁵ 0,145 | Rn ⁸⁶ 0,214 | | | | | | |
| Fr ⁸⁷ 0,29 | Ra ⁸⁸ 0,235 | Ac ⁸⁹ 0,188 | Rf ¹⁰⁴ Д.о.* | Db ¹⁰⁵ Д.о. | Sg ¹⁰⁶ | Bh ¹⁰⁷ | Hs ¹⁰⁸ | Mt ¹⁰⁹ | | | | | |
| *Лантаноиды | | | | | | | | | | | | | |
| Ce ⁵⁸ 0,183 | Pr ⁵⁹ 0,182 | Nd ⁶⁰ 0,182 | Pm ⁶¹ 0,182 | Sm ⁶² 0,181 | Eu ⁶³ 0,202 | Gd ⁶⁴ 0,179 | Tb ⁶⁵ 0,177 | Dy ⁶⁶ 0,177 | Ho ⁶⁷ 0,176 | Er ⁶⁸ 0,175 | Tm ⁶⁹ 0,174 | Yb ⁷⁰ 0,193 | Lu ⁷¹ 0,174 |
| **Актиноиды | | | | | | | | | | | | | |
| Th ⁹⁰ 0,1798 | Pa ⁹¹ 0,163 | U ⁹² 0,156 | Np ⁹³ 0,155 | Pu ⁹⁴ 0,160 | Am ⁹⁵ 0,174 | Cm ⁹⁶ 0,175 | Bk ⁹⁷ 0,177 | Cf ⁹⁸ 0,169 | Es ⁹⁹ 0,203 | Fm ¹⁰⁰ Д.о. | Md ¹⁰¹ Д.о. | (No) ¹⁰² Д.о. | (Lr) ¹⁰³ Д.о. |

Изменение радиусов атомов элементов (увеличение по группе и уменьшение по периоду) определяет закономерный характер изменения таких свойств атомов, как энергия ионизации, энергия сродства к электрону и электроотрицательность. Их значения увеличиваются с уменьшением радиуса. Очевидно, что чем дальше от ядра происходит отрыв электрона, тем меньше требуется для этого энергии (энергия ионизации) и меньше выделяется атомом при присоединении электрона (энергия сродства к электрону). Соответственно, для простых веществ, состоящих из атомов с большими радиусами характерны восстановительные свойства, и наоборот. При присоединении к атому неметалла электронов образуются анионы, при отдаче электронов – катионы (реально существуют из простых катионов лишь катионы металлов).

Пример: Как меняется сила галогеноводородных кислот от HF к HI?

С ростом радиуса галогена увеличивается длина связи в молекулах галогеноводородах, а, значит, и её прочности. Уменьшение энергии связи приводит к лёгкому её разрыву, например, при диссоциации. Поэтому и сила соответствующих кислот увеличивается от HF к HI .

Таблица 4

Энергия ионизации, эВ

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--|--|--|--|--|---|---|--|
| H ¹ 13,598 | | | | | | | He ² 24,6 54,4 |
| Li ³ 5,392 75,6 122,4 | Be ⁴ 9,323 18,211 153,9 | B ⁵ 8,298 25,16 37,92 | C ⁶ 11,26 24,38 47,87 | N ⁷ 14,53 29,60 47,45 | O ⁸ 13,618 35,118 | F ⁹ 17,423 34,98 62,66 | Ne ¹⁰ 21,56 41,0 |
| Na ¹¹ 5,139 | Mg ¹² 7,646 | Al ¹³ 5,98 | Si ¹⁴ 8,152 | P ¹⁵ 10,486 | S ¹⁶ 10,360 | Cl ¹⁷ 12,97 | Ar ¹⁸ 15,8 |
| K ¹⁹ 4,341 | Ca ²⁰ 6,113 | Sc ²¹ 6,562 | Ti ²² 6,82 | V ²³ 6,74 | Cr ²⁴ 6,766 | Mn ²⁵ 7,435 | Fe ²⁶ 7,89 |
| | | | | | | | Co ²⁷ 7,866 |
| | | | | | | | Ni ²⁸ 7,634 |
| Cu ²⁹ 7,726 | Zn ³⁰ 9,39 | Ga ³¹ 5,998 | Ge ³² 7,90 | As ³³ 9,82 | Se ³⁴ 9,752 | Br ³⁵ 11,84 | Kr ³⁶ 14,00 |
| Rb ³⁷ 4,18 | Sr ³⁸ 5,69 | Y ³⁹ 6,22 | Zr ⁴⁰ 6,84 | Nb ⁴¹ 6,882 | Mo ⁴² 7,10 | Tc ⁴³ 7,28 | Ru ⁴⁴ 7,366 |
| | | | | | | | Rh ⁴⁵ 7,46 |
| | | | | | | | Pd ⁴⁶ 8,336 |
| Ag ⁴⁷ 7,576 | Cd ⁴⁸ 8,994 | In ⁴⁹ 5,786 | Sn ⁵⁰ 7,344 | Sb ⁵¹ 8,64 | Te ⁵² 9,01 | I ⁵³ 10,451 | Xe ⁵⁴ 12,130 |
| Cs ⁵⁵ 3,89 | Ba ⁵⁶ 5,21 | La* ⁵⁷ 5,577 | Hf ⁷² 7,49 | Ta ⁷³ 7,89 | W ⁷⁴ 7,98 | Re ⁷⁵ 7,88 | Os ⁷⁶ 8,50 |
| | | | | | | | Ir ⁷⁷ 9,10 |
| | | | | | | | Pt ⁷⁸ 9,00 |
| Au ⁷⁹ 9,226 | Hg ⁸⁰ 10,438 | Tl ⁸¹ 6,108 | Pb ⁸² 7,417 | Bi ⁸³ 7,289 | Po ⁸⁴ 8,416 | At ⁸⁵ 9,2 | Rn ⁸⁶ 10,75 |
| Fr ⁸⁷ 4,146 | Ra ⁸⁸ 5,28 | Ac** ⁸⁹ 6,9 | Rf ¹⁰⁴ Д.о. | Db ¹⁰⁵ Д.о. | Sg ¹⁰⁶ | Bh ¹⁰⁷ | Hs ¹⁰⁸ |
| | | | | | | | Mt ¹⁰⁹ |

Данные для первой и последующих энергий ионизации позволяют сопоставить эти значения с позицией электронов на электронной оболочке атома и иона соответственно.

Пример: Первая энергия ионизации (E_1) элемента – это энергия, необходимая для удаления внешнего электрона из электронной оболочки атома. У какого из следующих элементов наибольшая E_1 ?

(a)B (b)C (c)N (d)O

Изменение радиуса – не единственный фактор, от которого зависят указанные выше свойства. Значение имеет также состояние электронной оболочки атома. Наиболее энергетически устойчивыми состояниями являются такие, когда электронный подуровень свободный, наполовину и полностью заполненный. Убедитесь в этом, например, по справочным данным для атомов элементов второго периода.

Таблица 5

Энергия сродства к электрону, эВ

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | |
|--|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|---------------------------------|---------------------------------|--|
| H ¹ 0,75 | | | | | | | He ² ≈ 0 | | | |
| Li ³ 0,591 | Be ⁴ -0,19 | B ⁵ 0,30 | C ⁶ 1,27 | N ⁷ -0,21 | O ⁸ 1,467 | F ⁹ 3,397 | Ne ¹⁰ -0,3 (расчѐт) | | | |
| Na ¹¹ 0,34 | Mg ¹² -0,22 | Al ¹³ 0,5 | Si ¹⁴ 1,22 | P ¹⁵ 0,6 | S ¹⁶ 2,0772 | Cl ¹⁷ 3,614 | Ar ¹⁸ -0,37 (расчѐт) | | | |
| K ¹⁹ 0,47 | Ca ²⁰ -1,93 | Sc ²¹ -0,73 | Ti ²² 0,39 | V ²³ 0,53 | Cr ²⁴ 1,6 | Mn ²⁵ -0,97 | Fe ²⁶ 0,58 | Co ²⁷ 0,94 | Ni ²⁸ 1,62 | |
| Cu ²⁹ 1,8 | Zn ³⁰ 0,09 | Ga ³¹ 0,31 | Ge ³² 1,20 | As ³³ 0,81 | Se ³⁴ 2,02 | Br ³⁵ 3,37 | Kr ³⁶ -0,4 (расчѐт) | | | |
| Rb ³⁷ 0,49 | Sr ³⁸ -1,51 | Y ³⁹ 0,31 | Zr ⁴⁰ 0,426 | Nb ⁴¹ 1,13 | Mo ⁴² 0,746 | Tc ⁴³ 1,00 | Ru ⁴⁴ 1,05 | Rh ⁴⁵ 1,68 | Pd ⁴⁶ 0,56 | |
| Ag ⁴⁷ 1,301 | Cd ⁴⁸ -0,27 | In ⁴⁹ ≈ 0,3 | Sn ⁵⁰ 1,2 | Sb ⁵¹ 0,94 | Te ⁵² ≈ 2 | I ⁵³ -3,08 | Xe ⁵⁴ -0,42 (расчѐт) | | | |
| Cs ⁵⁵ 0,47 | Ba ⁵⁶ -0,48 | La ⁵⁷ 0,52 | Hf ⁷² ≈ 0 | Ta ⁷³ 0,145 | W ⁷⁴ 0,5 | Re ⁷⁵ 0,15 | Os ⁷⁶ 1,44 | Ir ⁷⁷ 1,56 | Pt ⁷⁸ 2,13 | |
| Au ⁷⁹ 2,8 | Hg ⁸⁰ -0,19 | Tl ⁸¹ ≈ 0,2 | Pb ⁸² 0,36 | Bi ⁸³ 0,7 | Po ⁸⁴ 1,90 | At ⁸⁵ 2,81 | Rn ⁸⁶ -0,42 (расчѐт) | | | |
| Fr ⁸⁷ 0,456(расч) | Ra ⁸⁸ Д.о. | Ac ⁸⁹ Д.о. | Rf ¹⁰⁴ Д.о. | Db ¹⁰⁵ Д.о. | Sg ¹⁰⁶ | Bh ¹⁰⁷ | Hs ¹⁰⁸ | Mt ¹⁰⁹ | | |

Пример: Какое простое вещество обладает самой высокой окислительной активностью? Как это согласуется с данными таблицы?

Из простых веществ – фтор. По таблице: энергия сродства к электрону у хлора больше, чем у фтора.

Причина несоответствия – межэлектронное отталкивание атома фтора (очень маленький радиус) несколько снижает значение энергии сродства к электрону, и атомарный хлор активнее атомарного фтора. Для сравнения окислительных свойств веществ молекулярного строения важна также энергия разрыва связи, а она для хлора выше (159 и 239,2 кДж/моль, соответственно).

Таблица 6

Энергия разрыва химических связей в некоторых молекулах и молекулярных ионах, кДж/моль

| Молекула (ион) | ΔH^0_{298} | Молекула (ион) | ΔH^0_{298} | Молекула (ион) | ΔH^0_{298} | Молекула | ΔH^0_{298} |
|------------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|----------|--------------------|
| H ₂ | 436,0 | C ₂ | 605,0 | F ₂ ⁺ | 320 | HF | 568,5 |
| H ₂ ⁺ | 255,7 | N ₂ | 945,3 | F ₂ | 159 | HCl | 431,6 |
| H ₂ ⁻ | 15 | N ₂ ⁺ | 845,3 | Cl ₂ | 239,2 | HBr | 366,1 |
| He ₂ ⁺ | 230 | O ₂ | 498,4 | Br ₂ | 201 | HI | 298,3 |
| Li ₂ | 101,7 | O ₂ ⁺ | 646,3 | I ₂ | 151,1 | NO | 632 |
| B ₂ | 278 | O ₂ ⁻ | 397 | H-O (вH ₂ O) | 463 | CO | 1076,4 |

Таблица 7

Растворимость некоторых веществ в воде (t=25°С)

| $\begin{matrix} + \\ - \end{matrix}$ | H ⁺ | NH ₄ ⁺ | Li ⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Rb ⁺ | Ba ²⁺ | Sr ²⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Be ²⁺ | Al ³⁺ | Mn ²⁺ | Zn ²⁺ | Cr ³⁺ | Fe ²⁺ | Fe ³⁺ | Cd ²⁺ | Co ²⁺ | Ni ²⁺ | Sn ²⁺ | Pb ²⁺ | Cu ²⁺ | Ag ⁺ |
|--------------------------------------|---|------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| OH ⁻ | ∞ | р | р | р | р | р | р | м | м | м | н | н | н | н | н | н | н | н | н | н | н | н | н | — |
| F ⁻ | ∞ | р | м | р | р | р | м | н | н | н | р | м | м | р | н | м | м | р | р | р | р | н | р | р |
| Cl ⁻ | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | н |
| Br ⁻ | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | м | р | н |
| I ⁻ | ∞ | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | реар. | р | реар. | р | р | р | р | м | н | реар. |
| CH ₃ COO ⁻ | ∞ | р | р | р | р | р | р | р | р | р | н | — | р | р | р | р | — | р | н | р | — | р | р | р |
| NO ₃ ⁻ | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р |
| NO ₂ ⁻ | р | р | р | р | р | р | р | р | р | н | ? | — | — | ? | ? | ? | ? | м | р | ? | ? | р | — | м |
| S ²⁻ | м | р | р | р | р | р | р | м | м | н | р | — | н | н | — | н | реар. | н | н | н | н | н | н | н |
| SO ₄ ²⁻ | ∞ | р | р | р | р | р | н | н | м | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | р | н | р | м |
| SO ₃ ²⁻ | р | р | р | р | р | р | н | н | н | м | р | р | н | м | — | н | ? | н | н | н | н | н | н | н |
| CO ₃ ²⁻ | р | р | р | р | р | р | н | н | н | н | м | ? | н | н | ? | н | — | н | н | н | — | н | н | н |
| SiO ₃ ²⁻ | н | ? | н | р | р | р | н | н | н | н | н | — | н | н | — | н | — | н | ? | ? | н | н | — | н |
| CrO ₄ ²⁻ | р | р | р | р | р | р | н | н | р | р | — | ? | н | н | ? | ? | ? | н | н | н | н | н | н | н |
| PO ₄ ³⁻ | р | р | м | р | р | р | н | н | н | н | н | н | н | н | н | н | н | н | н | н | н | н | н | н |
| р | растворяется (>1 г на 100 г воды) | | | | | | | | | | | — | | разлагается в воде или нет данных о растворимости | | | | | | | | | | |
| м | мало растворяется (от 0,1 г до 1 г на 100 г воды) | | | | | | | | | | | ? | | нет данных о существовании вещества | | | | | | | | | | |
| н | не растворяется (<0,1 г на 100 г воды) | | | | | | | | | | | реар. | | катион окисляет анион | | | | | | | | | | |

Пример: Идёт ли реакция между растворами

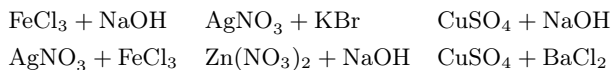
а) сульфата алюминия и хлорида бария (соль + соль =?)

б) хлорида натрия и сульфата алюминия?

Обменное взаимодействие в растворе происходит в сторону связывания ионов в виде осадка, газа, другого малодиссоциирующего соединения. Решить вопрос о возможности протекания реакции в водном растворе можно по возможным продуктам ионного обмена. Реакция идёт, если в результате образуется нерастворимая соль (ионы связываются в виде осадка). В данном примере это BaSO₄.

Молекулярное уравнение: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{BaCl}_2 = 3\text{BaSO}_4 \downarrow + 2\text{AlCl}_3$

Сокращённое ионное уравнение: $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} = \text{BaSO}_4 \downarrow$ Связывания ионов в виде осадка является причиной и многих других взаимодействий, например:



Примеры некоторых веществ, которые нужно записывать без разложения на ионы (т.е. одинаково и в молекулярном, и в ионных уравнениях):

| | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------|---|---|
| Cl ₂ | N ₂ | O ₂ | H ₂ | Na | Потому, что это простые вещества |
| K ₂ O | Al ₂ O ₃ | CO ₂ | ZnO | Na ₂ O | Потому, что это оксиды |
| CaCO ₃ | Al(OH) ₃ | BaSO ₄ | CaCO ₃ | Ca ₃ (PO ₄) ₂ | Потому, что это нерастворимые в воде соединения (см. таблицу растворимости) |
| H ₃ PO ₄ | H ₂ O | H ₂ S | NH ₄ OH | H ₂ SO ₃ | Потому, что это слабые электролиты |

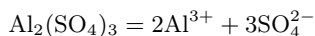
Таблица 8

Константы диссоциации кислот (298,15 К)

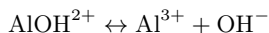
| Название | Формула | K ₁ | K ₂ | K ₃ |
|--------------------|--|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|
| азотистая | HNO ₂ | 6,9•10 ⁻⁴ | | |
| азотная | HNO ₃ | 4,36•10 | | |
| бромная | HBrO ₄ | ~10 ⁸ | | |
| бромноватая | HBrO ₃ | 2,0•10 ⁻¹ | | |
| бромноватистая | HBrO | 2,2•10 ⁻⁹ | | |
| бромоводородная | HBr | 1•10 ⁹ | | |
| вода | H ₂ O | 1,8•10 ⁻¹⁶ | < 10 ⁻³² (выч.) | |
| иодоводородная | HI | 1•10 ¹¹ | | |
| кремневая | H ₄ SiO ₄ | 1,3•10 ⁻¹⁰ | 1,6•10 ⁻¹² | 2,0•10 ⁻¹⁴ |
| марганцовая | HMnO ₄ | ~10 ⁸ | | |
| пероксид водорода | H ₂ O ₂ | 2,0•10 ⁻¹² | | |
| серная | H ₂ SO ₄ | 1•10 ³ | 1,15•10 ⁻² | |
| сернистая | H ₂ SO ₃ | 1,4•10 ⁻² | 6,2•10 ⁻⁸ | |
| сероводородная | H ₂ S | 1,0•10 ⁻⁷ | 2,5•10 ⁻¹³ | |
| угольная | H ₂ CO ₃ | 4,4•10 ⁻⁷ | 5,6•10 ⁻¹¹ | |
| уксусная | CH ₃ COOH | 1,74•10 ⁻⁵ | | |
| фосфорная (орто) | H ₃ PO ₄ | 7,1•10 ⁻³ | 6,2•10 ⁻⁸ | 5,0•10 ⁻¹³ |
| фтороводородная | HF | 6,8•10 ⁻⁴ | | |
| хлористая | HClO ₂ | 1,1•10 ⁻² | | |
| хлорная | HClO ₄ | ~10 ⁸ | | |
| хлорноватая | HClO ₃ | ~10 ³ | | |
| хлорноватистая | HClO | 2,95•10 ⁻⁸ | | |
| хлоруксусная | CH ₂ ClCOOH | 1,6•10 ⁻³ | | |
| хлороводородная | HCl | 10 ⁷ | | |
| хромовая | H ₂ CrO ₄ | 1,6•10 ⁻¹ | 3,2•10 ⁻⁷ | |
| цианистоводородная | HCN | 5,0•10 ⁻¹⁰ | | |
| щавелевая | H ₂ C ₂ O ₄ | 3,8•10 ⁻² | 4,9•10 ⁻⁵ | |

Практически все **соли** являются сильными электролитами.

Уравнения **диссоциации** для средних солей:



Для кислых и основных солей :



К сильным кислотам относятся: из бескислородных: HCl, HBr, HI; из кислородсодержащих такие, в которых элемент находится в высоких степенях окисления: +7, +6, азотная и хлорноватая (+5).

Сильные основания образуют щелочные и щелочноземельные металлы. Слабые кислоты и основания находятся в растворе преимущественно в недиссоциированном состоянии.

Гидролиз

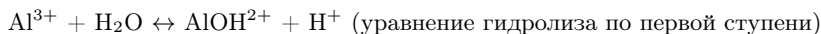
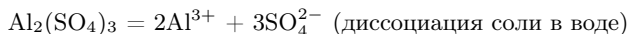
(Если в растворе лишь соль и вода – Нейтральная среда далеко не всегда!)

Гидролиз – обратимая реакция аниона слабой кислоты или катиона слабого или малорастворимого основания с водой. Например, при растворении в воде соли KCN, образующиеся при диссоциации ионы CN^- взаимодействуют с водой (HCN-слабая кислота):

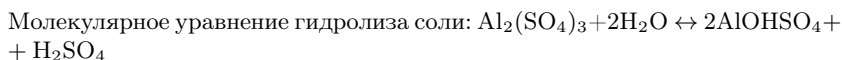


Ионы OH^- способствуют образованию щелочной среды. Гидролиз усиливается при разбавлении раствора, повышении температуры и нейтрализации среды, образующейся в этом процессе. Характер среды в растворе при гидролизе определяется природой находящихся в нём катионов и анионов:

- при гидролизе солей сильного основания и слабой кислоты (гидролиз по аниону) образуется щелочная среда. Пример: $\text{CN}^- + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCN} + \text{OH}^-$
- при гидролизе солей слабого основания и сильной кислоты (гидролиз по катиону) образуется кислая среда. Пример:



Теоретически гидролиз данной соли трёхступенчатый, но реально протекает лишь первая ступень и уравнение гидролиза $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4$ является очень грубой, но, к сожалению, типичной ошибкой!



- при гидролизе солей слабого основания и слабой кислоты (гидролиз по катиону и аниону) характер среды зависит от силы кислоты и основания (кто из них сильнее, такая и среда).

Примеры задач:

- В каком из растворов каждой пары солей равной концентрации pH больше. Ответ обосновать. NaClO_4 и NaClO ; Na_2SO_3 и NaHSO_3 ; CH_3COOK и $\text{CH}_3\text{COONH}_4$; K_2S и K_2Te .
- Найти pH водного раствора:

а) щавелевой кислоты $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ с $C_0 = 0,1$ моль/литр

б) содержащего $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ с $C_0(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,1$ моль/литр и HCl с $C_0(\text{HCl}) = 0,1$ моль/литр

Ответ: а) $\text{pH}=1,34$; б) $\text{pH}=0,91$.

- Определите характер среды (кислый, щелочной, нейтральный) водных растворов следующих солей: KBr , $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, Na_2CO_3 ; FeCl_3 , Na_2SO_3 , K_2SO_4 ; CuSO_4 , NaCl , Na_2SiO_3 ; Na_2S , AlCl_3 , NaNO_3 .

Напишите сокращённые ионные и молекулярные уравнения гидролиза по первой ступени.

Рассмотрим на примере хлорида цинка:

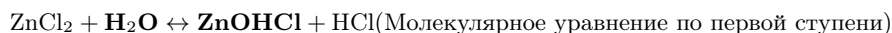
1) Соль при растворении в воде полностью диссоциирует на ионы по уравнению:



2) Соль образована нерастворимым основанием и сильной кислотой, а значит идёт гидролиз по катиону (по слабому). Сокращённое ионное уравнение по первой ступени:



Поскольку малодиссоциирующие частицы есть и в левой, и в правой частях уравнения (выделены жирным шрифтом), то реакция является обратимой.



Вывод: В растворе накапливаются ионы H^+ , следовательно, среда кислая.

Задание: Закончите уравнения реакций:



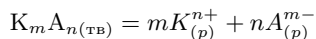
Ответ: Взаимное усиление гидролиза в растворе (указаны продукты без коэффициентов): $\rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + \text{SO}_2 + \text{NaBr}$; $\rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{CO}_2 + \text{NaCl}$.

Таблица 9

Произведение растворимости малорастворимых электролитов

| Сульфаты | | Хроматы | | Фосфаты | |
|--------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|
| Ag_2SO_4 | $1,6 \cdot 10^{-5}$ | CaCrO_4 | $7,1 \cdot 10^{-4}$ | $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ | $1 \cdot 10^{-13}$ |
| CaSO_4 | $9,1 \cdot 10^{-6}$ | SrCrO_4 | $3,6 \cdot 10^{-5}$ | Ag_3PO_4 | $1,8 \cdot 10^{-18}$ |
| Hg_2SO_4 | $6,8 \cdot 10^{-7}$ | CuCrO_4 | $3,6 \cdot 10^{-6}$ | FePO_4 | $1,1 \cdot 10^{-26}$ |
| SrSO_4 | $3,2 \cdot 10^{-7}$ | Hg_2CrO_4 | $5,0 \cdot 10^{-9}$ | $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ | $2,0 \cdot 10^{-29}$ |
| PbSO_4 | $1,6 \cdot 10^{-8}$ | BaCrO_4 | $1,2 \cdot 10^{-10}$ | $\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2$ | $1 \cdot 10^{-31}$ |
| BaSO_4 | $1,1 \cdot 10^{-10}$ | Ag_2CrO_4 | $1,1 \cdot 10^{-12}$ | $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ | $9,1 \cdot 10^{-33}$ |
| | | PbCrO_4 | $1,8 \cdot 10^{-14}$ | $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$ | $1,3 \cdot 10^{-37}$ |
| Карбонаты | | Гидроксиды | | Галогениды | |
| MgCO_3 | $2,1 \cdot 10^{-5}$ | $\text{Mg}(\text{OH})_2$ | $5,0 \cdot 10^{-12}$ | PbCl_2 | $1,6 \cdot 10^{-5}$ |
| NiCO_3 | $1,3 \cdot 10^{-7}$ | $\text{Cd}(\text{OH})_2$ | $2,4 \cdot 10^{-13}$ | PbBr_2 | $6,3 \cdot 10^{-6}$ |
| BaCO_3 | $5,1 \cdot 10^{-9}$ | $\text{Mn}(\text{OH})_2$ | $4,0 \cdot 10^{-14}$ | BaF_2 | $1,6 \cdot 10^{-6}$ |
| CaCO_3 | $4,8 \cdot 10^{-9}$ | $\text{Ni}(\text{OH})_2$ | $1,6 \cdot 10^{-14}$ | CuCl | $1,2 \cdot 10^{-6}$ |
| CuCO_3 | $2,5 \cdot 10^{-10}$ | $\text{Fe}(\text{OH})_2$ | $4,8 \cdot 10^{-16}$ | PbF_2 | $3,2 \cdot 10^{-8}$ |
| SrCO_3 | $1,1 \cdot 10^{-10}$ | $\text{Zn}(\text{OH})_2$ | $1,0 \cdot 10^{-17}$ | PbI_2 | $8,7 \cdot 10^{-9}$ |
| FeCO_3 | $3,5 \cdot 10^{-11}$ | $\text{Co}(\text{OH})_2$ | $1,6 \cdot 10^{-18}$ | SrF_2 | $3,0 \cdot 10^{-9}$ |
| MnCO_3 | $1,8 \cdot 10^{-11}$ | $\text{Cu}(\text{OH})_2$ | $5,6 \cdot 10^{-20}$ | MgF_2 | $1,7 \cdot 10^{-9}$ |
| ZnCO_3 | $1,5 \cdot 10^{-11}$ | $\text{Sn}(\text{OH})_2$ | $5,0 \cdot 10^{-26}$ | AgCl | $1,6 \cdot 10^{-10}$ |
| Ag_2CO_3 | $8,2 \cdot 10^{-12}$ | $\text{Pb}(\text{OH})_2$ | $3,4 \cdot 10^{-28}$ | CaF_2 | $3,4 \cdot 10^{-11}$ |
| CdCO_3 | $5,2 \cdot 10^{-12}$ | $\text{Cr}(\text{OH})_3$ | $5,4 \cdot 10^{-31}$ | CuI | $1,1 \cdot 10^{-12}$ |
| CoCO_3 | $1,4 \cdot 10^{-13}$ | $\text{Bi}(\text{OH})_3$ | $4,3 \cdot 10^{-31}$ | AgBr | $7,7 \cdot 10^{-13}$ |
| PbCO_3 | $7,5 \cdot 10^{-14}$ | $\text{Al}(\text{OH})_3$ | $1,9 \cdot 10^{-33}$ | AgI | $1,5 \cdot 10^{-15}$ |
| Hg_2CO_3 | $8,9 \cdot 10^{-17}$ | $\text{Fe}(\text{OH})_3$ | $3,8 \cdot 10^{-38}$ | | |

Применим закон действующих масс к гетерогенной системе – насыщенному раствору малорастворимого соединения в равновесии с твердой фазой. Если малорастворимое соединение K_mA_n распадается на катионы K^{n+} и анионы A^{m-} , то между твердой фазой и раствором установится равновесие:



Константа равновесия такой реакции называется произведением растворимости данной соли K_mA_n и обозначается ПР (произведение растворимости):

$$ПР = [K^{n+}]^m [A^{m-}]^n$$

Из понятия ПР вытекает условие образования и растворения осадка. Когда $[K^{n+}]^m [A^{m-}]^n = ПР$, система находится в равновесии. Если же $[K^{n+}]^m [A^{m-}]^n > ПР$ или $[K^{n+}]^m [A^{m-}]^n < ПР$, то система стремится к новому состоянию равновесия, приводящему в первом случае к образованию осадка, во втором – к его растворению. То есть труднорастворимый электролит выпадает в осадок, когда произведение концентраций его ионов в растворе становится больше значения ПР. Растворение осадка происходит, когда произведение концентраций его ионов в растворе станет меньше значения ПР.

Пример: Найти растворимость (L) $PbCl_2$ в 0,1 молярном растворе HCl . Сравнить с растворимостью в чистой воде. Гидролизом и образованием комплексов пренебречь.

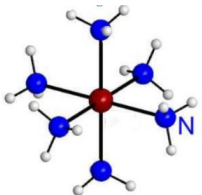
Ответ: $1,6 \cdot 10^{-3}$ М (в HCl) и $1,6 \cdot 10^{-2}$ М (в чистой воде).

Задачи для самостоятельного решения:

- Растворимость (максимальная концентрация) Ag_2CrO_4 равна $1,31 \cdot 10^{-4}$ моль/мл. Чему равно произведение растворимости этой соли?
- Как изменится растворимость $PbSO_4$ в 0,01 М р-ре $MgSO_4$ по сравнению с растворимостью в чистой воде? $ПР_{MgSO_4} = 1 \cdot 10^{-8}$.
- Смешали равные объёмы 0,008 М раствора сульфита натрия и 0,01 М р-ра бромида бария. Определите молярную концентрацию веществ в новом растворе, используя справочные данные.

Таблица 10

Константы устойчивости комплексных ионов

| Аммиачные | | Бромидные | | Иодидные | |
|-----------------------------------|----------------------|--|-----------------------|---|----------------------|
| $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ | $1,62 \cdot 10^7$ | $[\text{AgBr}_4]^{3-}$ | $2,02 \cdot 10^7$ | $[\text{AgI}_4]^{3-}$ | $1,0 \cdot 10^{14}$ |
| $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ | $3,63 \cdot 10^6$ | $[\text{BiBr}_6]^{3-}$ | $5,01 \cdot 10^9$ | $[\text{AgI}_2]^-$ | $5,5 \cdot 10^{11}$ |
| $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ | $2,45 \cdot 10^4$ | $[\text{CdBr}_4]^{2-}$ | $5,01 \cdot 10^3$ | $[\text{BiI}_6]^{3-}$ | $1,26 \cdot 10^{19}$ |
| $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ | $4,57 \cdot 10^{33}$ | $[\text{HgBr}_4]^{2-}$ | $4,37 \cdot 10^{21}$ | $[\text{CdI}_4]^{2-}$ | $2,57 \cdot 10^5$ |
| $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$ | $5,51 \cdot 10^8$ | $[\text{PtBr}_4]^{2-}$ | $3,20 \cdot 10^{19}$ | $[\text{HgI}_4]^{2-}$ | $1,51 \cdot 10^{30}$ |
| $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ | $1,07 \cdot 10^{12}$ | $[\text{PbBr}_4]^{2-}$ | $2,01 \cdot 10^3$ | $[\text{PbI}_4]^{2-}$ | $2,95 \cdot 10^4$ |
| $[\text{Fe}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ | $5,01 \cdot 10^3$ | $[\text{SnBr}_3]^-$ | 22,4 | | |
| $[\text{Hg}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ | $1,82 \cdot 10^{19}$ | $[\text{ZnBr}_4]^{2-}$ | $3,12 \cdot 10^2$ | | |
| $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ | $1,02 \cdot 10^8$ | | | | |
| $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ | $5,02 \cdot 10^8$ | | | | |
| Гидроксидные | | Тиосульфатные | | Фторидные | |
| $[\text{Ag}(\text{OH})_3]^{2-}$ | $1,59 \cdot 10^5$ | $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ | $2,88 \cdot 10^{13}$ | $[\text{AlF}_6]^{3-}$ | $4,68 \cdot 10^{20}$ |
| $[\text{Ag}(\text{OH})_2]^-$ | $1,00 \cdot 10^4$ | MnS_2O_3 | $5,62 \cdot 10^{-15}$ | $[\text{BeF}_4]^{2-}$ | $4,22 \cdot 10^{15}$ |
| $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ | $1,00 \cdot 10^{33}$ | FeS_2O_3 | $3,71 \cdot 10^{-19}$ | $[\text{FeF}_6]^{3-}$ | $1,26 \cdot 10^{16}$ |
| $[\text{Bi}(\text{OH})_4]^-$ | $1,59 \cdot 10^{35}$ | NiS_2O_3 | $3 \cdot 10^{-21}$ | $[\text{FeF}_4]^-$ | $5,51 \cdot 10^{15}$ |
| $[\text{Cd}(\text{OH})_4]^{2-}$ | $3,98 \cdot 10^8$ | CoS_2O_3 | $3,10 \cdot 10^{-23}$ | | |
| $[\text{Co}(\text{OH})_3]^-$ | $3,16 \cdot 10^{10}$ | ZnS_2O_3 | $6,90 \cdot 10^{-26}$ | | |
| $[\text{Cr}(\text{OH})_4]^-$ | $7,94 \cdot 10^{29}$ | SnS_2O_3 | $1 \cdot 10^{-27}$ | | |
| $[\text{Cu}(\text{OH})_4]^{2-}$ | $3,16 \cdot 10^{18}$ | CdS_2O_3 | $7,11 \cdot 10^{-28}$ | | |
| $[\text{Fe}(\text{OH})_4]^{2-}$ | $3,63 \cdot 10^8$ | $[\text{Pb}(\text{S}_2\text{O}_3)_4]^{6-}$ | $1,60 \cdot 10^7$ | | |
| $[\text{Ni}(\text{OH})_3]^-$ | $2,14 \cdot 10^{11}$ | $\text{Sb}_2\text{S}_2\text{O}_3$ | $1,01 \cdot 10^{-30}$ | | |
| $[\text{Sb}(\text{OH})_4]^-$ | $2,01 \cdot 10^{38}$ | $[\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{2-}$ | $1,86 \cdot 10^{12}$ | | |
| $[\text{Sn}(\text{OH})_3]^-$ | $1,35 \cdot 10^{25}$ | $[\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ | $1,66 \cdot 10^{12}$ | | |
| $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$ | $4,57 \cdot 10^{14}$ | $[\text{Hg}(\text{S}_2\text{O}_3)_4]^{6-}$ | $4,11 \cdot 10^{33}$ | | |
| Хлоридные | | Цианидные | |  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ | |
| $[\text{AgCl}_4]^{3-}$ | $1,38 \cdot 10^6$ | $[\text{Ag}(\text{CN})_4]^{3-}$ | $1,38 \cdot 10^6$ | | |
| $[\text{AgCl}_2]^-$ | $1,74 \cdot 10^5$ | $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ | $1,74 \cdot 10^5$ | | |
| $[\text{BiCl}_6]^{3-}$ | $2,63 \cdot 10^6$ | $[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$ | $2,63 \cdot 10^6$ | | |
| $[\text{CdCl}_4]^{2-}$ | $7,94 \cdot 10^2$ | $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{4-}$ | $7,94 \cdot 10^2$ | | |
| $[\text{HgCl}_4]^{2-}$ | $1,66 \cdot 10^{16}$ | $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$ | $1,66 \cdot 10^{16}$ | | |
| $[\text{PbCl}_4]^{2-}$ | 10,0 | $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{3-}$ | 10,0 | | |
| $[\text{PtCl}_4]^{2-}$ | $1 \cdot 10^{16}$ | $[\text{Cu}(\text{CN})_2]^-$ | $1 \cdot 10^{16}$ | | |
| $[\text{SnCl}_4]^{2-}$ | 30,20 | $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ | 30,20 | | |
| $[\text{SnCl}_6]^{2-}$ | 6,61 | $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ | 6,61 | | |
| $[\text{SnCl}_6]^{3-}$ | $1,29 \cdot 10^4$ | $[\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-}$ | $1,29 \cdot 10^4$ | | |

Пример: Объясните почему не образуется комплексное соединение по реакции: $\text{AgI} + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \neq$, но образуется по реакциям: $\text{AgI} + \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$; $\text{AgCl} + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (закончите уравнения).

Сопоставление ПР галогенидов серебра и констант устойчивости соответствующих координационных соединений показывает, что большее связывание ионов происходит в соответствующих реакциях. Можно посчитать и сравнить

равновесные концентрации ионов серебра в растворах комплексных соединений и в растворах над осадком.

Таблица 11

**Стандартные энтальпии образования и стандартные энтропии
некоторых веществ**

| Вещество | Состояние | $\Delta H_{\text{f}, 298}^{\circ}$, кДж/моль | S_{298}° , Дж/(моль·К) |
|---|-----------|--|------------------------------------|
| Ag | к | 0 | 42,69 |
| AgBr | к | – 99,16 | 107,1 |
| AgCl | к | – 126,8 | 96,07 |
| AgI | к | – 64,2 | 114,2 |
| AgF | к | – 202,9 | 83,7 |
| AgNO ₃ | к | – 120,7 | 140,9 |
| Ag ₂ O | к | – 30,56 | 121,7 |
| Al | к | 0 | 28,35 |
| Al ₂ O ₃ | к | – 1676 | 50,92 |
| Al(OH) ₃ | к | – 1275,7 | 71,1 |
| AlCl ₃ | к | – 697,4 | 167 |
| Al ₂ (SO ₄) ₃ | к | – 3434,0 | 239,2 |
| As | к | 0 | 35,1 |
| As ₂ O ₃ | к | – 656,8 | 107,1 |
| As ₂ O ₅ | к | – 918,0 | 105,4 |
| Au | к | 0 | 47,65 |
| B ₂ H ₆ | г | 31,4 | 232,9 |
| Ba | к | 0 | 64,9' |
| BaO | к | – 558,1 | 70,3 |
| BaCO ₃ | к | – 1219 | 112,1 |
| Be | к | 0 | 9,54 |
| BeO | к | – 598,7 | 14,1 |
| BeCO ₃ | к | – 981,57 | 199,4 |
| Bi | к | 0 | 56,9 |
| Br ₂ | г | 30,92 | 245,35 |
| HBr | г | – 36,23 | 198,48 |
| C (графит) | к | 0 | 5,74 |
| C (алмаз) | к | 1,897 | 2,38 |
| C | г | 716 | |
| CO | г | – 110,5 | 197,5 |
| CO ₂ | г | – 393,5 | 213,7 |
| COCl ₂ | г | – 223,0 | 289,2 |
| CS ₂ | г | 115,3 | 237,8 |
| CS ₂ | ж | 87,8 | 151 |
| CCl ₄ | ж | – 135,44 | 214,6 |
| CH ₄ | г | – 74,86 | 186,19 |

| Вещество | Состояние | $\Delta H_{f, 298}^{\circ}$, кДж/моль | S_{298}° , Дж/(моль·К) |
|---|-----------|---|------------------------------------|
| CHO | к | – 1207,0 | 88,7 |
| C ₂ H ₂ | г | 218,2 | 200,6 |
| C ₂ H ₄ | г | 52,25 | 219 |
| C ₂ H ₆ | к | – 84,6 | 229,1 |
| C ₆ H ₆ | ж | 49,04 | 173,2 |
| CH ₃ OH | ж | – 227,6 | 160,7 |
| C ₂ H ₅ OH | ж | – 277,6 | 160,7 |
| CH ₃ COOH | ж | – 484,9 | 159,8 |
| Ca | к | 0 | 41,62 |
| CaO | к | – 635,5 | 39,7 |
| CaF ₂ | к | – 1214,0 | 68,87 |
| CaCl ₂ | к | – 785,8 | 113,8 |
| CaC ₂ | к | – 62,8 | 70,3 |
| Ca ₃ N ₂ | к | – 431,8 | 104,6 |
| Ca(OH) ₂ | к | – 986,6 | 83,4 |
| CaSO ₄ | к | – 1424,0 | 106,7 |
| CaSiO ₃ | к | – 1579,0 | 87,45 |
| Ca ₃ (PO ₄) ₂ | к | – 4125,0 | 240,9 |
| CaCO ₃ (кальцит) | к | – 1206,0 | 92,9 |
| Cl ₂ | г | 0 | 223 |
| HCl | г | – 92,30 | 186,7 |
| HCl | ж | – 167,5 | 55,2 |
| HClO | ж | – 116,4 | 129,7 |
| Cr | к | 0 | 23,76 |
| Cr ₂ O ₃ | к | – 1141,0 | 81,1 |
| Cr(CO) ₆ | к | – 1075,62 | 359,4 |
| Cs | к | 0 | 84,35 |
| Cs ₂ O | к | – 317,6 | 123,8 |
| CsOH | к | – 406,5 | 77,8 |
| Cu | к | 0 | 33,15 |
| Cu | г | 339,32 | 166,27 |
| Cu ₂ O | к | – 167,36 | 93,93 |
| CuO | к | – 162 | 42,63 |
| Cu(OH) ₂ | к | – 444,3 | 79,5 |
| CuF ₂ | к | – 530,9 | 84,5 |
| CuCl ₂ | к | – 205,9 | 113 |
| CuBr | к | – 141,42 | 142,34 |
| CuI ₂ | к | – 21,34 | 159 |
| Cu ₂ S | к | – 82,01 | 119,24 |
| CuS | к | – 48,5 | 66,5 |
| CuSO ₄ | к | – 771,1 | 133,3 |
| CuSO ₄ · 5H ₂ O | к | – 2279,4 | 300 |
| CuCO ₃ | к | – 594,96 | 87,9 |

| Вещество | Состояние | $\Delta H_{f, 298}^{\circ}$, кДж/моль | S_{298}° , Дж/(моль·К) |
|---|-----------|---|------------------------------------|
| $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ | к | – 307,11 | 193 |
| $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ | к | – 1051 | 211,6 |
| Fe | к | 0 | 27,15 |
| FeO | к | – 264,8 | 60,75 |
| Fe_2O_3 | к | – 822,2 | 60,75 |
| Fe_3O_4 | к | – 1117,1 | 146,2 |
| $\text{Fe}(\text{OH})_2$ | к | – 561,7 | 88 |
| $\text{Fe}(\text{OH})_3$ | к | – 826,6 | 105 |
| FeS | к | – 100,4 | 60,29 |
| FeS_2 (пирит) | к | – 163,2 | 52,93 |
| FeSO_4 | к | – 929,47 | 121,04 |
| $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | к | – 3016 | 409,1 |
| $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ | к | – 2584 | 282,8 |
| FeCl_2 | к | – 341,0 | 119,66 |
| FeCl_3 | к | – 405,0 | 130,1 |
| FeCO_3 | к | – 744,75 | 92,9 |
| H_2 | г | 0 | 130,52 |
| H_2O | г | – 241,84 | 188,74 |
| H_2O | ж | – 285,84 | 69,96 |
| H_2O_2 | ж | – 187,36 | 105,86 |
| Hg | к | 0 | 76,1 |
| HgCl_2 | к | – 230,12 | 144,35 |
| Hg_2Cl_2 | к | – 264,85 | 185,81 |
| I_2 | к | 0 | 116,73 |
| I_2 | г | 62,24 | 260,58 |
| HI | г | 25,94 | 206,33 |
| HIO | ж | – 158,9 | 24,32 |
| K | к | 0 | 64,35 |
| K_2O | к | – 361,5 | 87 |
| KOH | к | – 425,8 | 59,41 |
| KNO_3 | к | – 493,2 | 123,93 |
| KNO_2 | к | – 370,28 | 117,17 |
| K_2SO_4 | к | – 1433,44 | 175,73 |
| KHSO_4 | к | – 1158,1 | 187,89 |
| KH | к | – 56,9 | 67,95 |
| Li | к | 0 | 28,03 |
| Li_2O | к | – 595,8 | 17,9 |
| NiOH | к | – 487,8 | 42,81 |
| Mg | к | 0 | 32,55 |
| MgO | к | – 601,24 | 26,94 |
| $\text{Mg}(\text{OH})_2$ | к | – 924,66 | 63,14 |
| MgCO_3 | к | – 1096,21 | 65,69 |
| MnSO_4 | к | – 1063,74 | 112,13 |

| Вещество | Состояние | $\Delta H_{f, 298}^{\circ}$, кДж/моль | S_{298}° , Дж/(моль·К) |
|----------------------------------|-----------|---|------------------------------------|
| N ₂ | г | 0 | 191,5 |
| N ₂ O | г | 81,55 | 220 |
| NO | г | 90,37 | 210,62 |
| NO ₂ | г | 33,89 | 240,45 |
| N ₂ O ₄ | г | 9,37 | 304,3 |
| NH ₃ | г | – 46,19 | 192,5 |
| HNO ₃ | ж | – 173,0 | 156,16 |
| NH ₄ Cl | к | – 315,39 | 94,56 |
| NH ₄ OH | ж | – 366,69 | 179,9 |
| Na | к | 0 | 51,42 |
| Na ₂ O | к | – 430,6 | 71,1 |
| NaOH | к | – 426,6 | 64,18 |
| NaCl | к | – 410 | 72,36 |
| Na ₂ CO ₃ | к | – 1129,0 | 136 |
| Na ₂ SO ₄ | к | –1384,0 | 149,4 |
| Na ₂ SiO ₃ | к | –1518,0 | 113,8 |
| O ₂ | г | 0 | 205,03 |
| O ₃ | г | 142,3 | 238,8 |
| P (красный) | к | –18,41 | 22,8 |
| PCl ₃ | г | –277,0 | 311,7 |
| PCl ₅ | г | –369,45 | 362,9 |
| HPO ₃ | ж | –82,4 | 150,6 |
| H ₃ PO ₄ | ж | –1271,94 | 200,83 |
| H ₃ PO ₄ | к | – 1279 | 110, 5 |
| Pb | к | 0 | 64,9 |
| PbO | к | –217,86 | 67,4 |
| PbO ₂ | к | –276,86 | 76,44 |
| PbCl | к | –359,2 | 136,4 |
| PbSO ₄ | к | –918,1 | 147,28 |
| PbS | к | –94,28 | 91,2 |
| Rb | к | 0 | 76,2 |
| Rb ₂ O | к | –330,12 | 109,6 |
| RbOH | к | –413,8 | 70,7 |
| S (ромб.) | к | 0 | 31,88 |
| SO ₂ | г | –296,9 | 248,1 |
| SO ₃ | г | –395,2 | 256,23 |
| H ₂ S | г | –20,15 | 205,64 |
| H ₂ S | ж | –39,33 | 122,2 |
| H ₂ SO ₄ | ж | –811,3 | 156,9 |

При химических превращениях освобождается часть содержащейся в веществах энергии. Измеряя количество теплоты, выделяющееся при реакции (так называемый *тепловой эффект* реакции), мы можем судить об изменении этого

запаса.

При некоторых реакциях наблюдается выделение или поглощение лучистой энергии. Обычно в тех случаях, когда при реакции испускается свет, внутренняя энергия превращается в излучение не непосредственно, а через теплоту. Например, появление света при горении угля является следствием того, что за счет выделяющейся при реакции теплоты уголь раскаляется и начинает светиться. Но известны процессы, в ходе которых внутренняя энергия превращается в лучистую непосредственно. Эти процессы носят название холодного свечения или *люминесценции*. Большое значение имеют процессы взаимного превращения внутренней и электрической энергии. При реакциях, протекающих со взрывом, внутренняя энергия превращается в механическую — частью непосредственно, частью переходя сначала в теплоту.

Итак, при химических реакциях происходит взаимное превращение внутренней энергии веществ, с одной стороны, и тепловой, лучистой, электрической или механической энергии, с другой. Реакции, протекающие с выделением энергии, называют *экзотермическими*, а реакции, при которых энергия поглощается — *эндотермическими*. Часто энтальпию системы называют *теплосодержанием*, поскольку она равна теплоте изобарного процесса. Поскольку в экзотермической реакции теплота выделяется, то это происходит за счет уменьшения теплосодержания системы. Значит, энтальпия системы в конечном состоянии становится меньше энтальпии системы в исходном состоянии. Тогда $\Delta H = H_1 - H_2 < 0$. Аналогичные рассуждения показывают, что в эндотермической реакции $\Delta H > 0$.

Энергетические изменения, сопровождающие протекание химических реакций, имеют большое практическое значение. Иногда они даже важнее, чем происходящее при данной реакции образование новых веществ. В качестве примера достаточно вспомнить реакции горения топлива. Поэтому тепловые эффекты реакций уже давно тщательно изучаются. Раздел химии, посвященный количественному изучению тепловых эффектов реакций, получил название *термохимии*.

В зависимости от конкретного процесса различают и конкретные тепловые эффекты. *Тепловым эффектом химического процесса называется изменение энтальпии, произошедшее при осуществлении этого процесса, отнесенное к одному моллю вещества или одному моллю эквивалентов вещества*. Поэтому тепловые эффекты химических реакций указывают в виде изменения энтальпии системы. Тепловые эффекты химических реакций принято относить к одному моллю образующегося вещества.

Первый закон термохимии утверждает, что *если при образовании какого-либо соединения выделяется (или поглощается) некоторое количество теплоты, то при разложении этого соединения в тех же условиях такое же количество теплоты поглощается (или выделяется)*:

$$\Delta H(\text{реакции образования}) = \Delta H(\text{реакции разложения}).$$

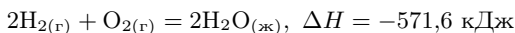
Это положение вытекает из закона сохранения энергии. Из него следует, что чем больше теплоты выделяется при образовании того или иного соединения, тем больше энергии надо затратить на его разложение. Поэтому вещества, при

образовании которых выделяется большее количество теплоты, весьма прочны и трудно разлагаются.

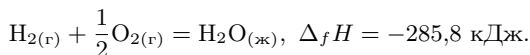
Изменение энтальпии при образовании одного моля сложного вещества из простых называется энтальпией (теплотой) образования данного соединения. Например, выражение «энтальпия образования жидкой воды равна $-285,5$ кДж/моль» означает, что при образовании 18 г жидкой воды из 2 г водорода и 16 г кислорода выделяется $-285,5$ кДж теплоты. Обозначают изменение энтальпии в конкретном процессе с помощью подстрочного индекса. Для процесса образования для этой цели используется буква f (от англ. formation): $\Delta_f H$.

Если элемент может существовать в виде нескольких простых веществ, то при расчете теплоты образования этот элемент берется в виде того простого вещества, которое при данных условиях наиболее устойчиво. Энтальпии образования наиболее устойчивых при данных условиях простых веществ принимаются равными нулю. Энтальпии же образования менее устойчивых простых веществ равны энтальпиям их образования из устойчивых. Например, при обычных условиях наиболее устойчивой формой кислорода является молекулярный кислород O_2 , энтальпия образования которого считается равной нулю. Энтальпия же образования озона O_3 равна $+142$ кДж/моль, поскольку при образовании из молекулярного кислорода одного моля озона поглощается 142 кДж.

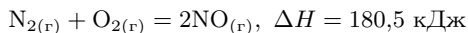
Тепловые эффекты можно включать в уравнения реакций. Химические уравнения, в которых указано изменение энтальпии, называются термохимическими уравнениями. Изменение энтальпии (тепловой эффект) указывается обычно в правой части уравнения после запятой со знаком минус в случае экзотермической реакции, и со знаком плюс в случае эндотермической реакции. Например, термохимическое уравнение реакции образования жидкой воды имеет вид ¹:



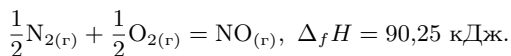
или



Термохимическое уравнение теряет смысл, если в нем отсутствуют стехиометрические коэффициенты и не указаны агрегатные состояния веществ. При изменении этих величин меняется и рассчитываемый тепловой эффект реакции. Еще один пример: энтальпия образования оксида азота (II) положительна и равна $+90,25$ кДж/моль. Соответствующее термохимическое уравнение имеет вид:

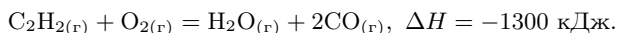


или

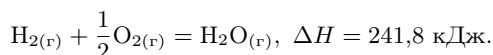


¹В некоторых источниках в термохимическом уравнении реакции в качестве теплового эффекта указывают не изменения энтальпии, а количество выделившейся или поглотившейся теплоты Q . Выделяющаяся теплота записывается положительной, а поглощающаяся — отрицательной, т. е. противоположным по знаку изменения энтальпии значению

Важнейшей характеристикой веществ, применяемых в качестве топлива, является их *энтальпия (теплота) сгорания*. Эту величину также принято относить к одному молю вещества. Таким образом, выражение «энтальпия сгорания ацетилена равна -1300 кДж/моль» эквивалентно термохимическому уравнению:



Величина теплового эффекта зависит от природы исходных веществ и продуктов реакции, их агрегатного состояния и температуры. Для удобства сравнения различных реакций по величинам их тепловых эффектов последние обычно указывают для стандартного состояния. Для надежности получаемых результатов при расчетах в термохимических уравнениях всегда указываются агрегатные состояния веществ. При этом, кристаллическое состояние обозначается знаком (к) около формулы вещества, жидкое – (ж), газообразное – (г). Так, энтальпия образования водяного пара равна $\Delta_f H_{298}^\circ(\text{H}_2\text{O}_{(\text{г})}) = -241,8$ кДж/моль, соответствующее термохимическое уравнение имеет вид:



Ясно, что разность между энтальпиями образования водяного пара ($-241,8$ кДж/моль) и жидкой воды ($-285,8$ кДж/моль) представляет собой отнесенную к одному молю (18 г) энтальпию испарения воды при 25°C .

Закон Гесса

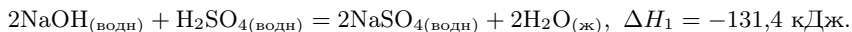
Все термохимические расчеты основываются на законе Гесса (Г. И. Гесс, 1840 г), являющимся частным случаем закона сохранения энергии: *тепловой эффект химического процесса зависит только от начального и конечного состояния веществ и не зависит от промежуточных стадий процесса*.

Рассмотрим пример, поясняющий закон Гесса. Раствор сульфата натрия можно приготовить из растворов серной кислоты и гидроксида натрия двумя способами:

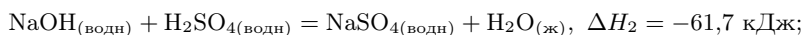
1. Смешать раствор, содержащий два моля NaOH, с раствором, содержащим один моль H_2SO_4 .
2. Смешать раствор, содержащий один моль NaOH, с раствором, содержащим один моль H_2SO_4 и к полученному раствору кислой соли (NaHSO_4) добавить раствор, содержащий еще один моль NaOH.

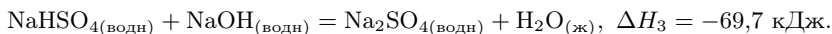
Запишем термохимические уравнения этих реакций.

Первый способ:



Второй способ:





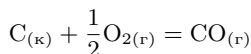
Символ (водн) означает, что вещество взято в виде водного раствора.

Согласно закону Гесса, тепловой эффект в обоих случаях должен быть одним и тем же. Действительно, суммируя тепловые эффекты, отвечающие двум стадиям второго способа, получаем тот же суммарный тепловой эффект, который наблюдается при первом способе проведения процесса:

$$\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3 = -61,7 + (-69,7) = -131,4 \text{ кДж}.$$

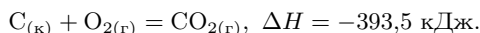
Таким образом, подобно обычным уравнениям химических реакций, термохимические уравнения можно суммировать.

Закон Гесса дает возможность вычислять тепловые эффекты реакции в тех случаях, когда их непосредственное измерение почему-либо неосуществимо. В качестве примера такого рода расчетов рассмотрим вычисление энтальпии образования оксида углерода (II) из графита и кислорода. Измерить тепловой эффект реакции

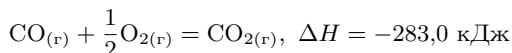
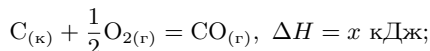


очень трудно, потому что при сгорании графита в ограниченном количестве кислорода получается не оксид углерода (II), а его смесь с диоксидом углерода. Но энтальпию образования CO можно вычислить, зная его энтальпию сгорания ($-283,0 \text{ кДж/моль}$) и энтальпию образования диоксида углерода ($-393,5 \text{ кДж/моль}$).

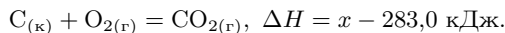
Горение графита выражается термохимическим уравнением:



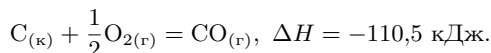
Для вычисления энтальпии образования CO запишем эту реакцию в виде двух стадий



и просуммируем термохимические уравнения, отвечающие этим стадиям. Получим суммарное уравнение:

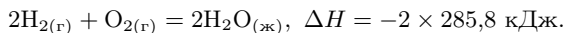
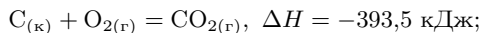
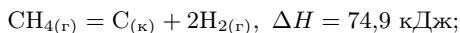
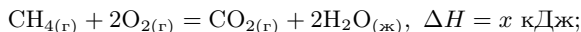


Согласно закону Гесса, тепловой эффект этой суммарной реакции равен тепловому эффекту реакции непосредственного сгорания графита. Отсюда $x = -110,5 \text{ кДж}$ или

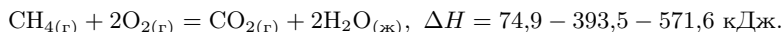


Пример: Вычислить тепловой эффект реакции сгорания метана CH_4 , зная энтальпии образования метана (см. табл.11) и продуктов его сгорания – диоксида углерода и воды (см. табл.12).

Для вычисления запишем реакцию горения метана сначала непосредственно, а затем разбив на стадии. Соответствующие термохимические уравнения будут иметь вид:



Суммируя последние три термохимические уравнения, отвечающие проведению реакции по стадиям, получим уравнение горения метана:



Согласно закону Гесса получаем, что энтальпия сгорания метана $x = -890,2 \text{ кДж/моль}$. Рассмотренный пример иллюстрирует практически важное следствие закона Гесса: тепловой эффект химической реакции равен сумме энтальпий образования получающихся веществ за вычетом суммы энтальпий образования исходных веществ. Оба суммирования производятся с учетом числа молей участвующих в реакции веществ в соответствии с ее уравнением:

$$\Delta H = \sum \nu_j \cdot \Delta_f H_j - \sum \nu_i \cdot \Delta_f H_i$$

где j – продукты; i –исходные вещества.

Таблица 12

Энтальпии сгорания некоторых веществ в стандартных условиях

| Вещество | | ΔH_{298}^0 , кДж/моль | Вещество | | ΔH_{298}^0 , кДж/моль |
|-------------------------------------|-----------------|----------------------------------|---|----------------|----------------------------------|
| формула | название | | формула | название | |
| CH_4 | Метан | -890,31 | $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$ | Бензойная к-та | -3227,54 |
| C_2H_2 | Ацетилен | -1299,63 | $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ | Глюкоза | -2815,8 |
| C_2H_4 | Этилен | -1410,97 | $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ | Сахароза | -5648,0 |
| C_2H_6 | Этан | -1559,88 | $\text{C}_3\text{H}_9\text{N}$ | Триметиламин | -2442,92 |
| C_6H_6 | Бензол | -3267,70 | CCl_4 | Тетрахлорметан | -260,65 |
| C_7H_8 | Толуол | -3910,28 | $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_2\text{N}$ | Нитробензол | -3057,01 |
| CH_3OH | Метиловый спирт | -726,64 | $\text{C}_6\text{H}_7\text{N}$ (ж) | Анилин | -3396,2 |
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | Этиловый спирт | -1366,91 | C_5H_{10} | Циклопентан | -3319,54 |
| $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ | Этиленгликоль | -1192,86 | H_2S | Сероводород | -517 |
| $\text{C}_3\text{H}_8(\text{OH})_3$ | Глицерин | -1664,40 | C | Графит | -393,51 |
| $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ | Этилацетат | -2254,21 | C | Алмаз | -395,7 |
| $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$ | Диэтиловый эфир | -2730,90 | S | Сера | -296,9 |
| CH_3COOH | Уксусная к-та | -873,79 | H_2 | Водород | -285,83 |

Пример: Вычислить тепловой эффект химической реакции $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} = \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Fe}$ при 298 К и постоянном давлении:

Решение: Находим в табл.12 $\Delta_f H_{298}^\circ(\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{к})}) = -822,2 \text{ кДж/моль}$ и $\Delta_f H_{298}^\circ(\text{Al}_2\text{O}_{3(\text{к})}) = -1676 \text{ кДж/моль}$ при 298 К и производим алгебраическое суммирование, в соответствии со следствием из закона Гесса:

$$\Delta_r H_{298}^\circ = 1 \times (-1676) - 1 \times (-822,2) = -853,8 \text{ кДж}.$$

Термохимическое уравнение реакции запишется следующим образом:

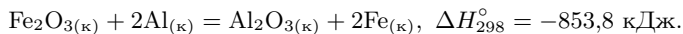


Таблица 13

Стандартные электродные потенциалы систем в водных растворах при 298 К

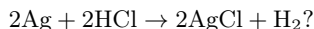
| Уравнение процесса | $E^{\circ}, \text{В}$ | Уравнение процесса | $E^{\circ}, \text{В}$ |
|--|-----------------------|---|-----------------------|
| $\text{Ag}^+ + e \leftrightarrow \text{Ag}$ | 0.7996 | $\text{Ge}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Ge}$ | 0.24 |
| $\text{Ag}^{2+} + e \leftrightarrow \text{Ag}^+$ | 1.980 | $\text{Ge}^{4+} + 4e \leftrightarrow \text{Ge}$ | 0.124 |
| $\text{AgBr} + e \leftrightarrow \text{Ag} + \text{Br}^-$ | 0.07133 | $2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{H}_2$ | 0.00000 |
| $\text{AgBrO}_3 + e \leftrightarrow \text{Ag} + \text{BrO}_3^-$ | 0.546 | $\text{H}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{H}^-$ | -2.23 |
| $\text{AgCl} + e \leftrightarrow \text{Ag} + \text{Cl}^-$ | 0.22233 | $2\text{H}_2\text{O} + 2e \leftrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ | -0.8277 |
| $\text{Ag}^{3+} + 2e \leftrightarrow \text{Ag}^+$ | 1.9 | $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ | 1.776 |
| $\text{Ag}^{3+} + e \leftrightarrow \text{Ag}^{2+}$ | 1.8 | | |
| $\text{Al}^{3+} + 3e \leftrightarrow \text{Al}$ | -1.662 | $\text{Hf}^{4+} + 4e \leftrightarrow \text{Hf}$ | -1.55 |
| $\text{Al}(\text{OH})_3 + 3e \leftrightarrow \text{Al} + 3\text{OH}^-$ | -2.31 | $\text{Hg}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Hg}$ | 0.851 |
| $\text{Al}(\text{OH})_4^- + 3e \leftrightarrow \text{Al} + 4\text{OH}^-$ | -2.328 | $2\text{Hg}_2^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Hg}_2^{2+}$ | 0.920 |
| $\text{AlF}_6^{3-} + 3e \leftrightarrow \text{Al} + 6\text{F}^-$ | -2.069 | $\text{Hg}_2^{2+} + 2e \leftrightarrow 2\text{Hg}$ | 0.7973 |
| $\text{Ba}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Ba}$ | -2.912 | $\text{I}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{I}^-$ | 0.5355 |
| $\text{Be}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Be}$ | -1.847 | $\text{I}_3^- + 2e \leftrightarrow 3\text{I}^-$ | 0.536 |
| $\text{Bi}^{3+} + 3e \leftrightarrow \text{Bi}$ | 0.308 | $2\text{HIO} + 2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{I}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ | 1.439 |
| $\text{Br}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{Br}^-$ | 1.066 | $\text{K}^+ + e \leftrightarrow \text{K}$ | -2.931 |
| $\text{BrO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2e \leftrightarrow \text{Br}^- + 2\text{OH}^-$ | 0.761 | $\text{Li}^+ + e \leftrightarrow \text{Li}$ | -3.0401 |
| $\text{BrO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6e \leftrightarrow \text{Br}^- + 6\text{OH}^-$ | 0.61 | $\text{Mg}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Mg}$ | -2.372 |
| $\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{HCOOH}$ | -0.199 | $\text{Mn}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Mn}$ | -1.185 |
| $\text{Ca}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Ca}$ | -2.868 | $\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ | 1.224 |
| $\text{Cd}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Cd}$ | -0.4030 | $\text{MnO}_4^- + e \leftrightarrow \text{MnO}_4^{2-}$ | 0.558 |
| $\text{Ce}^{3+} + 3e \leftrightarrow \text{Ce}$ | -2.336 | $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5e \leftrightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$ | 1.507 |
| $\text{Ce}^{4+} + e \leftrightarrow \text{Ce}^{3+}$ | 1.72 | $\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e \leftrightarrow \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$ | 0.595 |
| | | $\text{MnO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e \leftrightarrow \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$ | 0.60 |
| $\text{Cl}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{Cl}^-$ | 1.359 | $\text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 6\text{H}^+ + 6e \leftrightarrow 2\text{NH}_4\text{OH}$ | 0.092 |
| $\text{HClO} + \text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ | 1.482 | $\text{N}_2\text{O} + 2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | 1.766 |
| $\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2e \leftrightarrow \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$ | 0.81 | $\text{HNO}_2 + \text{H}^+ + e \leftrightarrow \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ | 0.983 |
| $\text{ClO}_2 + \text{H}^+ + e \leftrightarrow \text{HClO}_2$ | 1.277 | $\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + e \leftrightarrow \text{NO} + 2\text{OH}^-$ | -0.46 |
| $\text{ClO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2e \leftrightarrow \text{ClO}^- + 2\text{OH}^-$ | 0.66 | $\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | 0.934 |
| $\text{ClO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6e \leftrightarrow \text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ | 1.451 | $\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3e \leftrightarrow \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$ | 0.957 |
| $\text{ClO}_4^- + 8\text{H}^+ + 8e \leftrightarrow \text{Cl}^- + 4\text{H}_2\text{O}$ | 1.389 | $2\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{N}_2\text{O}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ | 0.803 |
| $\text{Co} + 2e \leftrightarrow \text{Co}$ | -0.28 | $\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2e \leftrightarrow \text{NO}_2^- + 2\text{OH}^-$ | 0.01 |
| $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+} + e \leftrightarrow [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ | 0.108 | $2\text{NO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2e \leftrightarrow \text{N}_2\text{O}_4 + 4\text{OH}^-$ | -0.85 |
| $\text{Co}(\text{OH})_3 + e \leftrightarrow \text{Co}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$ | 0.17 | | |
| $\text{Cr}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Cr}$ | -0.913 | $\text{Na}^+ + e \leftrightarrow \text{Na}$ | -2.71 |
| $\text{Cr}^{3+} + e \leftrightarrow \text{Cr}^{2+}$ | -0.407 | $\text{Ni}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Ni}$ | -0.257 |
| $\text{Cr}^{3+} + 3e \leftrightarrow \text{Cr}$ | -0.744 | $\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{H}_2\text{O}_2$ | 0.695 |
| $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6e \leftrightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$ | 1.232 | $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ | 1.229 |
| $\text{CrO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e \leftrightarrow \text{Cr} + 4\text{OH}^-$ | -1.2 | $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2e \leftrightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{OH}^-$ | -0.146 |
| $\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3e \leftrightarrow \text{Cr}(\text{OH})_3 + 5\text{OH}^-$ | -0.13 | $\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} + 2e \leftrightarrow \text{O}_2 + 2\text{OH}^-$ | 1.24 |
| $\text{Cs}^+ + e \leftrightarrow \text{Cs}$ | -2.923 | $\text{P} + 3\text{H}_2\text{O} + 3e \leftrightarrow \text{PH}_3 + 3\text{OH}^-$ | -0.87 |
| $\text{Cu}^+ + e \leftrightarrow \text{Cu}$ | 0.521 | $\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{H}_3\text{PO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ | -0.276 |
| $\text{Cu}^{2+} + e \leftrightarrow \text{Cu}^+$ | 0.153 | $\text{PO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e \leftrightarrow \text{HPO}_3^{2-} + 3\text{OH}^-$ | -1.05 |
| $\text{Cu}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Cu}$ | 0.3419 | $\text{Pb}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Pb}$ | -0.1262 |
| $\text{Cu}^{2+} + \text{I}^- + e \leftrightarrow \text{CuI}$ | 0.84 | $\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ | 1.455 |
| $\text{F}_2 + 2e \leftrightarrow 2\text{F}^-$ | 2.866 | $\text{PbO}_2 + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow$ | 1.6913 |
| $\text{F}_2 + 2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow 2\text{HF}$ | 3.053 | $\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ | |
| | | $\text{PbSO}_4 + 2e \leftrightarrow \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$ | -0.3588 |
| $\text{Fe}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Fe}$ | -0.447 | $\text{Pd}^{2+} + 2e \leftrightarrow \text{Pd}$ | 0.951 |
| $\text{Fe}^{3+} + 3e \leftrightarrow \text{Fe}$ | -0.037 | $\text{Rb}^+ + e \leftrightarrow \text{Rb}$ | -2.98 |
| $\text{Fe}^{3+} + e \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$ | 0.771 | $\text{S} + 2e \leftrightarrow \text{S}^{2-}$ | -0.4763 |
| $\text{FeO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 3e \leftrightarrow \text{Fe}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$ | 1.700 | $\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} + 2e \leftrightarrow \text{SO}_3^{2-} + 2\text{OH}^-$ | -0.93 |
| $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} + e \leftrightarrow [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ | 0.358 | $\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ | 0.22 |
| $\text{Fe}(\text{OH})_3 + e \leftrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$ | -0.56 | $\text{SO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 6e \leftrightarrow \text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$ | 0.357 |
| $\text{Fr}^+ + e \leftrightarrow \text{Fr}$ | -2.9 | $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2e \leftrightarrow 2\text{SO}_4^{2-}$ | 2.010 |
| $\text{Ga}^{3+} + 3e \leftrightarrow \text{Ga}$ | -0.549 | $\text{H}_4\text{XeO}_6 + 2\text{H}^+ + 2e \leftrightarrow \text{XeO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ | 2.42 |
| $\text{Gd}^{3+} + 3e \leftrightarrow \text{Gd}$ | -2.279 | $\text{XeO}_3 + 6\text{H}^+ + 6e \leftrightarrow \text{Xe} + 3\text{H}_2\text{O}$ | 2.10 |

Таблица 14

Ряд напряжений металлов

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Окислен. форма | Li ⁺ | Rb ⁺ | K ⁺ | Cs ⁺ | Ba ²⁺ | Sr ²⁺ | Ca ²⁺ | Ra ²⁺ | Na ⁺ | Ac ³⁺ | La ³⁺ | Y ³⁺ | Mg ²⁺ | Ce ³⁺ |
| Восстан. форма | Li | Rb | K | Cs | Ba | Sr | Ca | Ra | Na | Ac | La | Y | Mg | Ce |
| Окислен. форма | Al ³⁺ | Ti ³⁺ | Mn ²⁺ | Cr ²⁺ | Zn ²⁺ | Fe ²⁺ | Cd ²⁺ | In ³⁺ | Co ²⁺ | Ni ²⁺ | Sn ²⁺ | Pb ²⁺ | Sc ³⁺ | Be ²⁺ |
| Восстан. форма | Al | Ti | Mn | Cr | Zn | Fe | Cd | In | Co | Ni | Sn | Pb | Sc | Be |
| Окислен. форма | H ⁺ | Sb ³⁺ | Re | Bi ³⁺ | Cu ²⁺ | Ru ²⁺ | Rh ³⁺ | Ag ⁺ | Os ²⁺ | Hg ²⁺ | Pd ²⁺ | Ir ³⁺ | Pt ²⁺ | Au ³⁺ |
| Восстан. форма | H | Sb | Re | Bi | Cu | Ru | Rh | Ag | Os | Hg | Pd | Ir | Pt | Au |

Пример: Возможно ли окисление серебра ионами водорода, т.е. идёт ли реакция:



По таблицам окислительно-восстановительных потенциалов находим величины потенциалов для предполагаемого окислителя: $\phi_{2\text{H}^+/\text{H}_2}^\circ = 0$ В и восстановителя $\phi_{\text{Ag}^+/\text{Ag}}^\circ = 0,799$ В. Рассчитываем ЭДС реакции:

$$\varepsilon = \phi_{2\text{H}^+/\text{H}_2}^\circ - \phi_{\text{Ag}^+/\text{Ag}}^\circ = 0 - 0,799 = -0,799 < 0 \Rightarrow \text{реакция не идет.}$$

Известно, что при окислении металлов азотной кислотой продуктами восстановления являются соединения азота, поскольку эта кислота в ОВР «работает» нитрат-ионом. Действительно, справочные данные показывают, что потенциал этого иона (0,772 В) значительно больше такового для катиона водорода (0 В), и последний практически не имеет шансов на получение электронов в присутствии столь мощного окислителя.

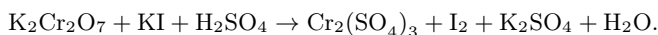
В отличие от азотной, поведение серной кислоты зависит от её концентрации: разбавленная серная кислота окисляет активные (стоящие в ряду напряжений до водорода) металлы катионом водорода, а концентрированная – серой сульфат-иона. Сравним потенциалы двух частей:

$$\phi_{2\text{H}^+/\text{H}_2}^\circ = 0 \text{ В и } \phi_{\text{SO}_4^{2-}/\text{SO}_2}^\circ = 0,159 \text{ В.}$$

Разница здесь гораздо меньше, чем в первом случае.

Остаётся вспомнить, что в разбавленном растворе серной кислоты происходит практически полная диссоциация её на ионы, и, таким образом, концентрация ионов водорода превышает концентрацию сульфат-иона в 2 раза. Направшивается естественное предположение о зависимости величины окислительно-восстановительного потенциала от концентрации (активности).

Любая окислительно-восстановительная реакция в водном растворе может быть представлена в виде двух полуреакций: окисления и восстановления. Рассмотрим на более сложном примере с участием других частиц, присутствующих в растворе:

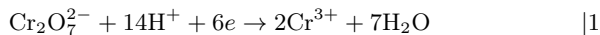


Хром восстанавливается (изменяется степень от +6 до +3), а йод окисляется (от -1 до 0).

Можно составить уравнения процессов окисления и восстановления без учёта реального существования частиц (всем хорошо известный метод электронного балланса), но мы сделаем это методом полуреакций, который имеет ряд неоспоримых преимуществ перед первым.

Формулы *реальных* частиц (результат диссоциации), в состав которых входят элементы, изменившие степень окисления: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$; Cr^{3+} ; I^- ; I_2 .

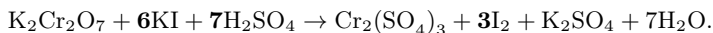
Записываем процессы окисления и восстановления в виде полуреакций с участием этих частиц: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \rightarrow 2\text{Cr}^{3+}$; $2\text{I}^- \rightarrow \text{I}_2$. Уравниваем левые и правые части полуреакций, используя для этого молекулы воды (этот метод применим только для реакций в водных растворах) и ионов H^+ , поскольку среда кислая (в нашем случае реакция протекает в присутствии серной кислоты): $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$; $2\text{I}^- \rightarrow \text{I}_2$. Считаем общий заряд слева и справа и дописываем число отданных или принятых электронов:



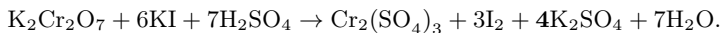
Суммируем процессы с учётом количества электронов:



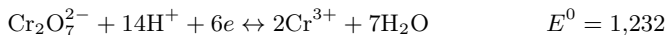
и переносим в молекулярное уравнение полученные соотношения частиц в виде соответствующих коэффициентов:



Осталось поставить коэффициенты перед частицами, которые не участвовали в окислительно-восстановительных процессах (обычным подбором):



Можно определить ЭДС данной реакции по данным табл.6



Так как разность потенциалов окислителя и восстановителя: $\text{ЭДС} = 1,232 - 0,536 > 0$, то реакция идёт.

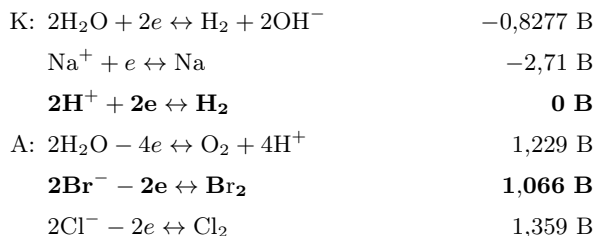
Если предположить, что Cr^{3+} может быть окислен молекулярным йодом (обратный процесс $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{I}_2 \rightarrow \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{KI}$), то расчёт показывает, что этот процесс невозможен: $\text{ЭДС} = 0,536 - 1,232 < 0$.

Электролиз водных растворов

Последовательность окислительных и восстановительных процессов на электродах в процессе электролиза также зависит от значений потенциалов частиц, находящихся в растворе или расплаве электролита или входящих в состав материала электродов.

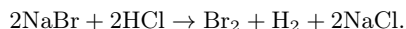
По значениям стандартных потенциалов можно легко сделать вывод о предпочтительности протекания соответствующих реакций на аноде и катоде.

Рассмотрим теоретически возможные процессы, протекающие на инертных электродах в растворе, содержащем NaBr и HCl:



Очевидно, что на катоде будут восстанавливаться в первую очередь те частицы, значения потенциала которых больше (процесс выделен жирным курсивом), и , наоборот, на аноде отдают электроны частицы, у которых «любовь к электронам» имеет наименьшее значение.

Суммарно процесс электролиза в системе сводится к уравнению:

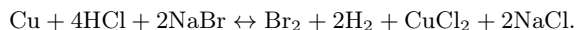


Заметим, что к инертным электродам относятся такие, частицы материала которых не участвуют в окислительно-восстановительных процессах. Это, обычно, платиновые или графитовые электроды.

Приведённый выше пример электролиза раствора солей, например, на медных электродах будет проходить иначе. Процессы на катоде останутся без изменений, но на аноде добавится ещё одна конкурирующая реакция, связанная с окислением медного анода:



Сравнивая значение потенциала этого процесса с таковыми других возможных процессов окисления в этой системе, видим, что он является минимальным, а, следовательно, приоритетным на аноде. Суммарное уравнение электролиза в данном случае:



Массы продуктов восстановления и окисления, выделившиеся на электродах могут быть вычислены по закону Фарадея: $m = M_{\text{Э}} \cdot I \cdot t / F$, где $M_{\text{Э}}$ - молярная масса эквивалента (часть молярной массы, приходящаяся на один моль

принятых или отданных электронов, например для процесса $\text{Cu} - 2e \leftrightarrow \text{Cu}^{2+}$
 $M_{\Xi}(\text{Cu}) = 64/2$; I – сила тока; t – продолжительность электролиза; F – постоянная Фарадея.

Таблица 15

Температуры плавления и кипения простых веществ

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|--|--|---|---|---|
| H ¹ 20,28 14,01 | | | | | | | He ² 4,215 2,0 (3,76 МПа) |
| Li ³ 1613 453,69 | Be ⁴ 2744 1560 | B ⁵ 3931 2347 | C (алмаз) ⁶ 5100 (субл) 3820 | N ⁷ 77,35 63 | O ⁸ 90,188 54,8 | F ⁹ 85,0 53,3 | Ne ¹⁰ 27,07 24,48 |
| Na ¹¹ 1156,3 371,0 | Mg ¹² 1378 923 | Al ¹³ ≈2725 883 | Si ¹⁴ 3522 1688 | P (белый) ¹⁵ 553 317,3 | S ¹⁶ 717,75 (α) 386 | Cl ¹⁷ 239,18 172,17 | Ar ¹⁸ 87,29 83,78 |
| K ¹⁹ 1034 336,7 | Ca ²⁰ 1768 1115 | Sc ²¹ 3110 1814 | Ti ²² 3533 1944 | V ²³ 3673 2193 | Cr ²⁴ 2953 2163 | Mn ²⁵ 2235 1517 | Fe ²⁶ 3023 1808 |
| Cu ²⁹ 2840 1356,6 | Zn ³⁰ 1179 692,73 | Ga ³¹ 2676 303 | Ge ³² 3123 1211 | As ³³ 889 (субл) (α)1090 (P) | Se ³⁴ 958,1 494 | Br ³⁵ 332,35 165,9 | Kr ³⁶ 119,80 116,6 |
| Rb ³⁷ 960 312,4 | Sr ³⁸ 1663 1041 | Y ³⁹ ≈3590 1801 | Zr ⁴⁰ 4623 2128 | Nb ⁴¹ 5033 2750 | Mo ⁴² ≈5000 2896 | Tc ⁴³ 4873 2473 | Ru ⁴⁴ 4350 2607 |
| Ag ⁴⁷ 2440 1235,08 | Cd ⁴⁸ 1039 594,2 | In ⁴⁹ 429 | Sn ⁵⁰ 2543 505,05 | Sb ⁵¹ 1907 903,7 | Te ⁵² 1263 723 | I ⁵³ 457,5 386,7 | Xe ⁵⁴ 165,05 161,3 |
| Cs ⁵⁵ 942,35 301,59 | Ba ⁵⁶ 1910 1000 | La ⁵⁷ 3730 1194 | Hf ⁷² 5673 2503 | Ta ⁷³ ≈5700 3287 | W ⁷⁴ 5930 3650 | Re ⁷⁵ 5873 3453 | Os ⁷⁶ 5300 3300 |
| Au ⁷⁹ 3153 1337,5 | Hg ⁸⁰ 629,73 234,28 | Tl ⁸¹ 1748 576 | Pb ⁸² 2024 600,65 | Bi ⁸³ 1837 544,5 | Po ⁸⁴ 1235 527 | At ⁸⁵ 536 517 | Rn ⁸⁶ 211 202 |
| Fr ⁸⁷ 950 300 | Ra ⁸⁸ 1780 1242 | Ac ⁸⁹ 3570 1320 | Rf ¹⁰⁴ Д.о. | Db ¹⁰⁵ Д.о. | Sg ¹⁰⁶ | Bh ¹⁰⁷ | Hs ¹⁰⁸ |
| | | | | | | | Mt ¹⁰⁹ |

В данной таблице представлены температурные константы простых веществ. Их величины определяются прочностью металлической связи (для элементов -металлов), прочностью ковалентных (так называемых, атомных) решёток (для элементов – неметаллов, образующих таковые) и силой межмолекулярного взаимодействия (для неметаллов молекулярного строения)

Последние имеют заметно более низкие температуры плавления и кипения.

В твёрдом состоянии вещества могут иметь кристаллическую или аморфную структуру. Для кристаллических веществ характерно строго упорядоченное расположение структурных единиц (атомов, ионов, молекул), так называемый «дальний порядок». Для аморфных, соответственно, «ближний порядок», такой, как в жидкости, но с характерным для твёрдого состояния, колебанием частиц, т.е. с отсутствием значительных перемещений частиц в объёме. В конденсированных состояниях (твёрдом и жидком) между частицами наблюдаются разные по природе силы взаимодействия, они и определяют данные константы.

Ниже представлены таблицы, которые, скорее всего, могут использоваться для тематических сообщений, подготовки к олимпиадам, создания кроссвордов, проведения викторин, составления диаграмм.

Таблица 16

Происхождение названий элементов

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|--|--|---|--|
| H ¹ Рождающий воду (греч.) | | | | |
| Li ³ Камень (греч.) | Be ⁴ Берилл (греч.) (минерал) | B ⁵ Бура(арабск.) (минерал) | C ⁶ Уголь (лат.) | N Образующий селитру(греч.) |
| Na ¹¹ «Натрун» (араб.) минер. | Mg ¹² Магнезия (п-о в Греции) | Al ¹³ Квасцы(лат) | Si ¹⁴ Кремень(лат) | P ¹⁵ Несущий свет (греч) |
| K ¹⁹ «Аль-кали» (араб.) минер. | Ca ²⁰ Известь (лат) (минерал) | ²¹ Sc Скандинавия | ²² Ti (древнегреч. мифология) | ²³ V скандинавск. мифология) |
| ²⁹ Cu Кипр (лат.) | ³⁰ Zn историч. | ³¹ Ga Франция(лат.) | ³² Ge Германия | ³³ As Жёлтый пигмент(греч.) |
| Rb ³⁷ Тёмно-красн. (лат.) | Sr ³⁸ Шотландия | ³⁹ Y Иттербит (название минер.) | ⁴⁰ Zr Цвета золота (арабск.) | ⁴¹ Nb (древнегреч. мифология) |
| ⁴⁷ Ag историч. | ⁴⁸ Cd Цинковая руда(лат.) | ⁴⁹ In Индиго (синяя линия в пектре) | ⁵⁰ Sn историч. | ⁵¹ Sb Не единственный |
| Cs ⁵⁵ Небесно-голубой (лат.) | Ba ⁵⁶ Тяжёлый (греч.) | ⁵⁷ La* Скрывающийс я (греч.) | ⁷² Hf Копенгаген (лат.) | ⁷³ Ta Тантал (древнегреч. мифология) |
| ⁷⁹ Au историч. | ⁸⁰ Hg Жидкое серебро (лат.) | Tl ⁸¹ Зелёный | Pb ⁸² историч. | Pb ⁸³ Белый металл (нем.) |
| Fr ⁸⁷ Франция | Ra ⁸⁸ Луч(лат.) | ⁸⁹ Ac** Луч(греч.) | ¹⁰⁴ Rf Эрнест Резерфорд | ¹⁰⁵ Db Дубна |

Таблица 16

Происхождение названий элементов(продолжение)

| | | | | |
|--|---|--|---|---|
| 6 | 7 | 8 He ² Солнце (греч.) | | |
| O ⁸ Образующий кислоты (греч.) | F ⁹ Текущий (лат.) | Ne ¹⁰ Новый(греч.) | | |
| S ¹⁶ историч. | Cl ¹⁷ Зеленоватый (греч) | Ar ¹⁸ Неактивный | | |
| Cr ²⁴ Цвет (греч.) | Mn ²⁵ Магнит (минерал) (лат.) | Fe ²⁶ историч. | Co ²⁷ Гном (нем.) | Ni ²⁸ Дьявол. руда (нем.) |
| Se ³⁴ Луна (греч.) | Br ³⁵ Зловоние (греч.) | Kr ³⁶ Скрытый(греч) | | |
| Mo ⁴² Свинец (греч) | Tc ⁴³ Искусственный (греч.) | Ru ⁴⁴ Россия | Rh ⁴⁵ Розовый (греч.) | Pd ⁴⁶ Паллад (астероид) |
| Te ⁵² Теллус – древнерим. богиня.(лат.) | I ⁵³ Фиолетовый (греч.) | Xe ⁵⁴ Незнакомец(греч.) | | |
| W ⁷⁴ Волчья пена(нем.) | Re ⁷⁵ Рейн (название реки) | Os ⁷⁶ Запах (греч.) | Ir ⁷⁷ Радуга (лат.) | Pt ⁷⁸ Серебро (исп.) |
| Po ⁸⁴ Польша | At ⁸⁵ Неустойчивый (греч.) | Rn ⁸⁶ Луч(лат.) | | |
| Sg ¹⁰⁶ Гленн Сиборг | Bh ¹⁰⁷ Бор Нильс | Hs ¹⁰⁸ (местн. в Герман.) | Mt ¹⁰⁹ Лиза Мейтнер | |

| | | | | | | |
|---|--|---|---|--|---|--|
| Ce ⁵⁸ Цецера (планета) | Pr ⁵⁹ Зелёный близнец (греч.) | Nd ⁶⁰ Новый близнец (греч.) | Pm ⁶¹ Прометей (Древнегр герой) | Sm ⁶² Самарскит (название минер.) | Eu ⁶³ Европа | Gd ⁶⁴ Гадолин (финскийхим ик) |
| Tb ⁶⁵ Иттербит (название минерала) | Dy ⁶⁶ Получ. с трудом (греч.) | Ho ⁶⁷ Стокгольм (лат.) | Er ⁶⁸ Иттерби (мест. в Швеции) | Tm ⁶⁹ Древнее назв.Скандина вии | Yb ⁷⁰ Иттербит (название минерала) | Lu ⁷¹ Париж (лат.) |
| Th ⁹⁰ Тор -сканд. бог | Pa ⁹¹ Первый (греч.) | U ⁹² Уран (планета) | Np ⁹³ Нептун (планета) | Pu ⁹⁴ Плутон (планета) | Am ⁹⁵ Америка (англ) | Cm ⁹⁶ М. Кюри |
| Bk ⁹⁷ Беркли (город в США) | Cf ⁹⁸ Калифор-ния (англ.) | Es ⁹⁹ Альберт Эйнштейн | Fm ¹⁰⁰ Энрико Ферми | Md ¹⁰¹ Менделеев Д.И. | No ¹⁰² Альфред Нобель | Lr ¹⁰³ Эрнест Лоуренс |

Таблица 17

Открытие элементов

| | | | | | | | | | | |
|---|---|--|---|--|--|--|--|---|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | |
| H ¹ Кавендиш 1766 г | | | | | | | He ² Рамзай 1895 г. | | | |
| Li ³ Арфедсон 1817 г. | Be ⁴ Воклен 1797 г. | B ⁵ Гей-Люссак, 1808 г. | C ⁶ Известен с древности | N ⁷ Резерфорд 1772 г. | O ⁸ Пристли, Шееле 1774г. | F ⁹ Муасан (Ф.) 1886 г. | Ne ¹⁰ Рамзай ,Траверс 1898 г. | | | |
| Na ¹¹ Дэви 1807 г | Mg ¹² Блэк, Дэви 1808 г. | Al ¹³ Эрстед 1825 г. | Si ¹⁴ Берцелиус 1824 г. | P ¹⁵ Бранд (Герм.) 1669 г. | S ¹⁶ Известна с древности | Cl ¹⁷ Шееле (Шв.) 1774г. | Ar ¹⁸ Рэлей, Рамзай 1894 | | | |
| K ¹⁹ Дэви 1807 г. | Ca ²⁰ Дэви 1808 г. | Sc ²¹ Нильсон (Шв.) 1879 г. | Ti ²² Грегер, Клапрот 1791 | V ²³ Рио (Мексика) 1801 г. | Cr ²⁴ Воклен (Фр.) 1780 г. | Mn ²⁵ Ганн (Шв.) 1774 г. | Fe ²⁶ Известно с древн. | Co ²⁷ Брандт 1735 г. | Ni ²⁸ Кронштгедт (Шв.)1751 | |
| Cu ²⁹ Известна древн. цивилиз. | Zn ³⁰ Известен до1500 г. | Ga ³¹ Буабодра н 1875 г. | Ge ³² Винклер 1886 г. | As ³³ Альберт Великий XIII в. | Se ³⁴ Берцелиу с 1817 г. | Br ³⁵ Балар 1826 г. | Kr ³⁶ Рамзай,Траверс 1989 г. | | | |
| Rb ³⁷ Бунзен, Кирхгоф 1861г. | Sr ³⁸ Кроффор д,Дэви 1790 г. | Y ³⁹ Гадолин 1794 г. | Zr ⁴⁰ Клапрот 1789 г. | Nb ⁴¹ Хатчетт 1801 г. | Mo ⁴² Гьельм (Шв.)178 1г. | Tc ⁴³ Перье 1937 г. | Ru ⁴⁴ Снядец кий 1828 г. | Rh ⁴⁵ Волластон 1803 г. | Pd ⁴⁶ Волластон 1803 г. | |
| Ag ⁴⁷ Известно с древности | Cd ⁴⁸ Штром ейер 1817 г. | In ⁴⁹ Райх,Рихт ер 1863 г. | Sn ⁵⁰ Известно с древности | Sb ⁵¹ Известна алхимикам | Te ⁵² Рейхенште йн 1783 г. | I ⁵³ Куртуа 1811 г. | Xe ⁵⁴ Рамзай 1898 г. | | | |
| Cs ⁵⁵ Бунзен, Кирхгоф 1860 | Ba ⁵⁶ Дэви 1808 г. | La ⁵⁷ Мосандер 1839 г. | Hf ⁷² Костер, Хевеши 1923 г. | Ta ⁷³ Экерберг 1802 г. | W ⁷⁴ Элуяр 1783 г. | Re ⁷⁵ Ноддак, 1925г. | Os ⁷⁶ Теннант 1803г. | Ir ⁷⁷ Теннант 1803 г. | Pt ⁷⁸ Известна с 1750 г. | |
| Au ⁷⁹ Известно с древности | Hg ⁸⁰ Известна с древности. | Tl ⁸¹ Крукс 1861 г. | Pb ⁸² Известен с древности | Bi ⁸³ Упомянется в XV в. | Po ⁸⁴ М.Кюри 1898 г. | At ⁸⁵ Корсон, Макензи 1940 | Rn ⁸⁶ Дорн (Герм.)1900 г. | | | |
| Fr ⁸⁷ Перей (Фр.) 1939 г. | Ra ⁸⁸ П. и М. Кюри 1898 г. | Ac ⁸⁹ Дебьер 1899 г. | Rf ¹⁰⁴ Группа из Дубны 1964г. | Db ¹⁰⁵ Группа из Дубны 1967г | Sg ¹⁰⁶ Группа из Дубны 1974г. | Bh ¹⁰⁷ Группа из Дубны 1976г. | Hs ¹⁰⁸ Группа из Дубны 1976г. | Mt ¹⁰⁹ Дармштадт, (Герм) 1982 | Ds ¹¹⁰ дармштадтский [271] | |
| Rg ¹¹¹ Рентгеней [281] | Cn ¹¹² Коперничий 285 | Nh ¹¹³ Нихоний [286] | Fl ¹¹⁴ Флеровий 289 | Mc ¹¹⁵ Московский 289 | Lv ¹¹⁶ Ливерморий 293 | Ts ¹¹⁷ Теннессин [294] | Og ¹¹⁸ Оганесон [294] | | | |
| Ce ⁵⁸ Берцелиус 1803 г. | Pr ⁵⁹ Вельсбах 1885 г. | | Nd ⁶⁰ Вельсбах 1885 г. | Pm ⁶¹ Маринский, 1945 | Sm ⁶² Буабодран 1879 г. | Eu ⁶³ Демарсе 1901 г. | | Gd ⁶⁴ Мариньяк 1880 г. | | |
| Tb ⁶⁵ Мосандер 1843 г. | Dy ⁶⁶ Буабодран 1886 г. | | Ho ⁶⁷ Клеве 1878 г. | Er ⁶⁸ Мосандер (Шв.)1842 | Tm ⁶⁹ Клеве 1879 г. | Yb ⁷⁰ Мариньяк 1878 г. | | Lu ⁷¹ Урбан, 1907 г. | | |
| Th ⁹⁰ Берцелиус 1824 г. | Pa ⁹¹ Ганн 1917 г. | | U ⁹² Клапрот 1789 г. | Np ⁹³ Макмиллан 1940г. | Pu ⁹⁴ Сиборг 1940 г. | Am ⁹⁵ Сиборг 1944 г. | | Cm ⁹⁶ Сиборг 1944 г. | | |
| Bk ⁹⁷ Сиборг 1949 г. | Cf ⁹⁸ Сиборг 1950 г. | | Es ⁹⁹ Гиорсо 1952 г. | Fm ¹⁰⁰ Томпсон, Гиорсо | Md ¹⁰¹ Томпсон, Гиорсо | No ¹⁰² Сиборг Гиорсо | | Lr ¹⁰³ Гиорсо 1961 г. | | |

Таблица 18

Распространенность элементов в земной коре, % по массе

(в скобках указано какое место занимает элемент по распространенности)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | |
|---|--|--|---|--|---|--|--|---|--|--|
| H ¹ 1(10) | | | | | | | He ² 8 10 ⁷ | | | |
| Li ³ 6,5 10 ⁻³ | Be ⁴ 6 10 ⁻⁴ | B ⁵ 5 10 ⁻³ | C ⁶ 0,48(15) | N ⁷ 10 ⁻² | O ⁸ 47(1) | F ⁹ 0,065(12) | Ne ¹⁰ 7 10 ⁻⁵ | | | |
| Na ¹¹ 2,64(6) | Mg ¹² 2,35(7) | Al ¹³ 8,8(3) | Si ¹⁴ 27,6(2) | P ¹⁵ 0,105(11) | S ¹⁶ 0,05(17) | Cl ¹⁷ 1,7 10 ⁻² (20) | Ar ¹⁸ 4 10 ⁻⁶ | | | |
| K ¹⁹ 2,41(8) | Ca ²⁰ 3,38(5) | Sc ²¹ 10 ⁻³ | Ti ²² 0,57(9) | V ²³ 1,9 10 ⁻² | Cr ²⁴ 0,035(21) | Mn ²⁵ 0,1(13) | Fe ²⁶ 4,65(4) | Co ²⁷ 4 10 ⁻³ | Ni ²⁸ 8 10 ⁻³ (23) | |
| Cu ²⁹ 5 10 ⁻³ | Zn ³⁰ 7 10 ⁻³ | Ga ³¹ 1,8 10 ⁻³ | Ge ³² 1,5 10 ⁻⁴ | As ³³ 1,7 10 ⁻⁴ | Se ³⁴ 1,4 10 ⁻⁵ | Br ³⁵ 1,6 10 ⁻⁴ | Kr ³⁶ 10 ⁻⁹ | | | |
| Rb ³⁷ 1,5 10 ⁻² | Sr ³⁸ 3,4 10 ⁻² (16) | Y ³⁹ 2 10 ⁻³ | Zr ⁴⁰ 0,02(18) | Nb ⁴¹ 2 10 ⁻³ (20) | Mo ⁴² 3 10 ⁻⁴ | Tc ⁴³ 0 | Ru ⁴⁴ 5 10 ⁻⁷ | Rh ⁴⁵ 10 ⁻⁷ | Pd ⁴⁶ 10 ⁻⁶ | |
| Ag ⁴⁷ 7 10 ⁻⁶ | Cd ⁴⁸ 1,35 10 ⁻⁵ | In ⁴⁹ 10 ⁻⁵ | Sn ⁵⁰ 8 10 ⁻³ | Sb ⁵¹ 5 10 ⁻⁵ | Te ⁵² 10 ⁻⁶ | I ⁵³ 4 10 ⁻⁵ | Xe ⁵⁴ 2 10 ⁻¹⁰ | | | |
| Cs ⁵⁵ 3,7 10 ⁻⁴ | Ba ⁵⁶ 5 10 ⁻² | La* ⁵⁷ 2,9 10 ⁻³ | Hf ⁷² 4 10 ⁻⁴ | Ta ⁷³ 2,5 10 ⁻⁴ | W ⁷⁴ 10 ⁻⁴ | Re ⁷⁵ 7 10 ⁻⁸ | Os ⁷⁶ 5 10 ⁻⁶ | Ir ⁷⁷ 10 ⁻⁷ | Pt ⁷⁸ 5 10 ⁻⁷ | |
| Au ⁷⁹ 4,3 10 ⁻⁷ | Hg ⁸⁰ 7 10 ⁻⁶ | Tl ⁸¹ 3 10 ⁻⁴ | Pb ⁸² 1,6 10 ⁻³ | Bi ⁸³ 2 10 ⁻⁵ | Po ⁸⁴ 2 10 ⁻¹⁴ | At ⁸⁵ следы | Rn ⁸⁶ следы | | | |
| Fr ⁸⁷ 0 | Ra ⁸⁸ 10 ⁻¹⁰ | Ac** ⁸⁹ 6 10 ⁻¹⁰ | Rf ¹⁰⁴ 0 | Db ¹⁰⁵ 0 | Sg ¹⁰⁶ 0 | Bh ¹⁰⁷ 0 | Hs ¹⁰⁸ 0 | Mt ¹⁰⁹ 0 | | |

*Лантаноиды

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ce ⁵⁸ 7 10 ⁻³ | Pr ⁵⁹ 7 10 ⁻⁴ | Nd ⁶⁰ 2,5 10 ⁻³ | Pm ⁶¹ следы | Sm ⁶² 7 10 ⁻⁴ | Eu ⁶³ 1,3 10 ⁻⁴ | Gd ⁶⁴ 5,4 10 ⁻⁴ | Tb ⁶⁵ 4,3 10 ⁻⁴ | Dy ⁶⁶ 5 10 ⁻⁴ | Ho ⁶⁷ 1,3 10 ⁻⁴ | Er ⁶⁸ 3,3 10 ⁻⁴ | Tm ⁶⁹ 2,7 10 ⁻⁵ | Yb ⁷⁰ 3,3 10 ⁻⁵ | Lu ⁷¹ 8 10 ⁻⁵ |
|---|---|---|----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

**Актиноиды

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Th ⁹⁰ 8 10 ⁻⁴ | Pa ⁹¹ 10 ⁻¹⁰ | U ⁹² 3 10 ⁻⁴ | Np ⁹³ 0 | Pu ⁹⁴ следы | Am ⁹⁵ 0 | Cm ⁹⁶ 0 | Bk ⁹⁷ 0 | Cf ⁹⁸ 0 | Es ⁹⁹ 0 | Fm ¹⁰⁰ 0 | Md ¹⁰¹ 0 | (No) ¹⁰² 0 | (Lr) ¹⁰³ 0 |
|---|--|--|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|

Список таблиц

Таблица 1

Фундаментальные физические постоянные 1

Таблица 2

Относительные атомные массы и названия элементов 6

Таблица 3

Атомные радиусы 7

Таблица 4

Энергия ионизации 8

Таблица 5

Энергия сродства к электрону 9

Таблица 6

Энергия разрыва химических связей в некоторых молекулах и молекулярных ионах 9

Таблица 7

Растворимость некоторых веществ в воде 10

Таблица 8

Константы диссоциации кислот 11

Таблица 9

Произведение растворимости малорастворимых электролитов 13

Таблица 10

Константы устойчивости комплексных ионов 15

Таблица 11

Стандартные энтальпии образования и стандартные энтропии некоторых веществ 16 – 19

Таблица 12

Энтальпии сгорания некоторых веществ в стандартных условиях 24

Таблица 13

Стандартные электродные потенциалы систем в водных растворах 25

Таблица 14

Ряд напряжений металлов 26

Таблица 15

Температуры плавления и кипения простых веществ 29

Таблица 16

Происхождение названий элементов 30 – 31

Таблица 17

Открытие элементов 32

Таблица 18

Распространенность элементов в земной коре, % по массе 33

Литература

1. Химическая энциклопедия: В 5 т. М.: Сов.энцикл., 1988.
2. Ахметов Н.С., Азизова М.К., Балдыгина Л.И. Лабораторные и семинарские занятия по неорганической химии. М.: Высшая школа, 1988.
3. Зеленцов В.В., Зеленцова С.А., Латышева Л.А. Практический курс общей химии. М.: МФТИ, 2002.
4. Лидин Р.А. Справочник по общей и неорганической химии. М.: Просвещение, 1997.
5. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1989.
6. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. Л.: Химия, 1978.
7. Рэмстен Э.Н. Начала современной химии. Л.: Химия, 1989.
8. Турова Н.Я. Неорганическая химия в таблицах. М.: Высший химический колледж РАН, 1997.
9. Эмсли Дж. Элементы. М.: Мир, 1993.
10. CRC Hand book of Chemistry and Physics. 82 издание. 2001–2002.

Оглавление

| | |
|--|----|
| Использование справочных данных при изучении химии | 5 |
| Гидролиз | 12 |
| Закон Гесса | 22 |
| Электролиз водных растворов | 27 |
| Список таблиц | 34 |
| Литература | 35 |