

## Ковалентная полярная химическая связь

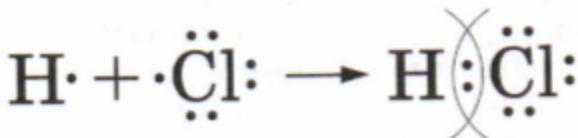
При взаимодействии двух атомов одного и того же элемента-неметалла между ними образуется ковалентная химическая связь с помощью общих электронных пар. Эту ковалентную связь называют *неполярной*, так как общие электронные пары принадлежат обоим атомам в одинаковой степени и ни на одном из них не будет из-

бытка или недостатка отрицательного заряда, который несут электроны.

Однако если ковалентная связь образуется между атомами разных элементов-неметаллов, то картина будет несколько иной. Рассмотрим, например, образование молекулы хлороводорода HCl из атомов водорода и хлора.

1. Атом водорода имеет на единственном уровне один электрон, и до его завершения ему не хватает ещё одного электрона. У атома хлора на внешнем уровне — семь электронов, и ему также недостает до завершения одного электрона.

2. Атомы водорода и хлора объединяют свои непарные электроны и образуют одну общую электронную пару, т. е. возникает ковалентная связь:



Структурная формула молекулы хлороводорода H—Cl.

3. Так как ковалентная связь образуется между атомами различных элементов-неметаллов, то общая электронная пара будет принадлежать взаимодействующим атомам уже не в равной степени. Для того чтобы качественно определить, какому из этих атомов общая электронная пара будет принадлежать в большей мере, используют понятие **электроотрицательность**.

 Электроотрицательность (ЭО) — это способность атомов химического элемента смещать к себе общие электронные пары, участвующие в образовании химической связи.

ЭО можно охарактеризовать как меру неметалличности химических элементов. В порядке уменьшения ЭО химические элементы располагаются в следующий ряд:

F, O, N, Cl, Br, I, S, C, Si, P, H.

ЭО уменьшается

Самый электроотрицательный элемент в таблице Д. И. Менделеева — фтор. Это, так сказать, «золотой призёр» электроотрицательности. «Серебряным призёром» является кислород, а «бронзовым» — азот.

Величина ЭО элемента зависит от его положения в таблице Д. И. Менделеева: *в каждом периоде она обычно возрастает с увеличением порядкового номера элемента, а в каждой подгруппе — уменьшается*.

Пользуясь рядом ЭО, можно определить, куда смещаются общие электронные пары. Они всегда смещены к атомам элемента с большей ЭО. Например, в молекуле хлороводорода HCl общая электронная пара смещена к атому хлора, так как его ЭО больше, чем у водорода. В результате на атомах образуются частичные заряды  $H^{+0,18}Cl^{-0,18}$ ; в молекуле возникают два полюса — положительный и отрицательный. Поэтому такую ковалентную связь называют **полярной**.

Смещение общих электронных пар в случае ковалентной полярной связи иногда обозначают стрелками, а частичный заряд — греческой буквой  $\delta$  («дельта»):  $H^{\delta+} \rightarrow Cl^{\delta-}$ .

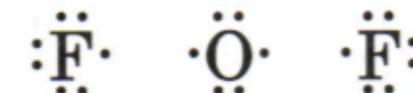
В формулах соединений химический знак менее электроотрицательного элемента пишут первым. Так как ковалентная полярная связь является разновидностью ковалентной связи, то алгоритм рассуждений для её схематического изображения такой же, как и для ковалентной неполярной связи (см. § 11), только в этом случае добавится ещё один шаг — четвёртый: по ряду ЭО определим более электроотрицательный элемент и отразим полярность связи в структурной формуле стрелкой и обозначением частичных зарядов.

Например, рассмотрим алгоритм схематического изображения образования связи для соединения  $OF_2$  — фторида кислорода.

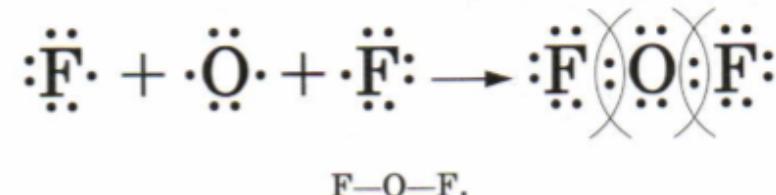
1. Кислород — это элемент главной подгруппы VI группы (VIA группы) Периодической системы Д. И. Менделеева. Его атомы имеют по шесть электронов на внешнем электронном слое. Непарных электронов будет:  $8 - 6 = 2$ .

Фтор — элемент главной подгруппы VII группы (VIIA группы) Периодической системы Д. И. Менделеева. Его атомы содержат по семь электронов на внешнем электронном слое. Непарным является один электрон.

2. Запишем знаки химических элементов с обозначением внешних электронов:

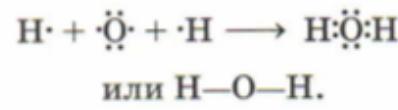


3. Запишем электронную и структурную формулы образовавшихся молекул:



4. По ряду ЭО определим, что общие электронные пары будут смещены от кислорода к фтору, как к более электроотрицательному элементу, т. е. связь будет ковалентной полярной:  $F^{\delta-} \rightarrow O^{\delta+} \rightarrow F^{\delta-}$ .

Аналогично образуются молекулы воды:



В действительности молекула воды имеет не линейную, а угловую форму ( $\angle H-O-H = 104^\circ 27'$ ). Строение молекулы воды можно изобразить различными способами (рис. 40).

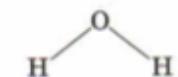
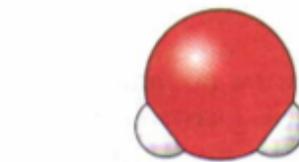
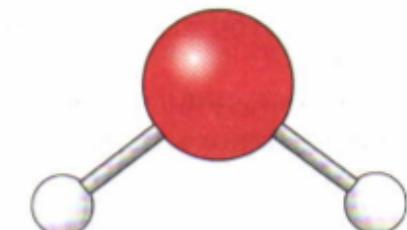


Рис. 40. Различные модели молекулы воды

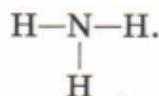


Число ковалентных связей, которыми атом одного химического элемента связан с атомами этого же или других элементов, называется **валентностью**.

Атом водорода образует только одну ковалентную связь с другими атомами. Поэтому говорят, что водород одновалентен. Атом кислорода связан с другими атомами двумя химическими связями — он двухвалентен. При образовании молекул атомы соединяются таким образом, чтобы все их валентности были задействованы. Понятно, что двухвалентный кислород должен соединиться с двумя атомами одновалентного водорода. Если обозначить валентность чёрточкой, то схему образования молекулы воды можно представить так:

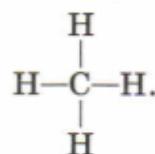


Аналогично трёхвалентный азот соединяется с тремя атомами одновалентного водорода в молекулу аммиака



Формулы, в которых валентности элементов обозначены чёрточками, как вы знаете, называют *структурными*.

Структурная формула метана  $\text{CH}_4$  — соединение четырёхвалентного углерода с водородом — будет следующей:



А каким образом соединяются в молекулу углекислотного газа  $\text{CO}_2$  атомы четырёхвалентного углерода и двухвалентного кислорода? Очевидно, этот способ может отразить только следующая структурная формула:



Является ли валентность постоянной величиной? Оказывается для водорода и кислорода это утверждение верно, а вот для азота и углерода нет, так как эти элементы могут проявлять и другие значения валентности. Например, азот может быть одно-, двух-, трёх-, четырёхвалентен. Его соединения с кислородом будут иметь разный состав. Следовательно, различают:

- элементы с *постоянной валентностью* (например, одновалентные: H, F; двухвалентные: O, Be; трёхвалентные: B, Al);

- элементы с *переменной валентностью* (например, S проявляет валентности II, IV, VI; Cl — валентности I, III, V и VII).

Давайте научимся выводить формулы двухэлементных соединений по валентности.

Для вывода формулы соединения фосфора с кислородом, в котором фосфор пятивалентен, порядок действий следующий:

1) запишем рядом знаки элементов:



2) над знаками римскими цифрами обозначим валентности элементов:



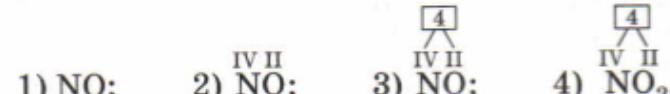
3) найдём наименьшее общее кратное между валентностями элементов:



4) разделим наименьшее общее кратное на валентность каждого элемента — определим индексы, т. е. число атомов каждого элемента в формуле данного вещества (для фосфора индекс равен 2, а для кислорода — 5):



Аналогично выведем формулу соединения азота с кислородом, в котором азот четырёхвалентен.



Индекс 1 в формулах не записывается.

Знание валентности химических элементов необходимо для того, чтобы верно записать формулу вещества. Однако справедливо и обратное: *по формуле вещества можно определить валентность одного из элементов, если известна валентность другого*. Например, определим валентность серы в соединении, формула которого  $\text{SO}_3$ :

1) над знаком кислорода в формуле обозначим его валентность, так как она постоянна, а потому известна:



2) определим общее число валентностей всех атомов кислорода:

$$\text{II} \cdot 3 = 6;$$

3) разделим полученное число на число атомов серы — это и будет значение её валентности:

$$6 : 1 = \text{VI};$$

4) запишем валентность серы над её знаком в формуле:



## Простые вещества — неметаллы

*Неметаллы — это химические элементы, которые образуют в свободном виде простые вещества, не обладающие физическими свойствами металлов. Из 114 химических элементов 92 относятся к металлам, 22 являются неметаллами.*



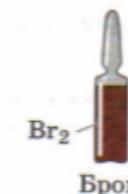
Кислород



Водород



Хлор



Бром



Иод



Алмаз



Графит



Сера

Рис. 46. Простые вещества — неметаллы

**Неметаллы** — простые вещества, при обычных условиях могут быть газами, жидкостями и твёрдыми веществами (рис. 46).



### Лабораторный опыт № 6

Ознакомление с коллекцией неметаллов

Ознакомьтесь с коллекцией неметаллов. Запишите химические формулы выданных вам неметаллов, расположите их в порядке возрастания:

- 1) плотности;
- 2) твёрдости;
- 3) блеска;
- 4) интенсивности изменения цвета.

Для выполнения задания используйте приложения 1 и 2, дополнительные источники информации.

Газами являются гелий He, неон Ne, аргон Ar, криптон Kr, ксенон Xe, радон Rn. Их называют инертными газами. Молекулы инертного газа состоят из одного атома. На внешнем электронном слое у атомов инертных газов (за исключением гелия) восемь электронов. У ге-



Рис. 47. Воздушные шары и дирижабли заполняют гелием

лия — два. Своей химической устойчивостью инертные газы напоминают благородные металлы — золото и платину, и у них есть второе название — благородные газы. Это название более подходит к инертным газам, которые всё-таки вступают иногда в химические реакции и образуют соединения. В 1962 г. появилось сообщение о том, что получено соединение ксенона с фтором. Сейчас известно уже более 150 соединений ксенона, криптона, радона с фтором, кислородом, хлором и азотом.

Представление о химической исключительности благородных газов оказалось не очень состоятельным, и поэтому вместо предполагаемой нулевой группы инертные газы были помещены в VIII группу (VIIIA группу) таблицы Д. И. Менделеева.

Гелием, по легкости уступающим только водороду, но, в отличие от последнего, негорючим, т. е. не представляющим пожарной опасности, заполняют аэростаты и дирижабли (рис. 47).

Неон используют для изготовления световой рекламы (рис. 48). Вспомни-



Рис. 48. Неоновая реклама

те образное выражение «улицы города были залиты неоном».

Газы водород, кислород, азот, хлор, фтор образуют двухатомные молекулы, соответственно —  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $Cl_2$ ,  $F_2$ .

Состав вещества изображают на письме, используя химические знаки и цифры — индексы, с помощью **химической формулы**. По химической формуле, как вы уже знаете, вычисляют относительную молекулярную массу вещества ( $M_r$ ). Относительная молекулярная масса простого вещества равна произведению относительной атомной массы на число атомов в молекуле, например **кислорода**  $O_2$ :

$$M_r(O_2) = A_r(O) \cdot 2 = 16 \cdot 2 = 32.$$

Однако элемент кислород образует ещё одно газообразное простое вещество — озон, в состав молекул которого входят уже три атома кислорода. Химическая формула **оциона**  $O_3$ , а его относительная молекулярная масса:  $M_r(O_3) = 16 \cdot 3 = 48$ .

Способность атомов одного химического элемента образовывать несколько простых веществ называют **аллотропией**, а эти простые вещества — **аллотропными видоизменениями или модификациями**.

Свойства аллотропных модификаций химического элемента кислорода — простых веществ кислорода  $O_2$  и оциона  $O_3$  — различны. Кислород не имеет запаха, а озон пахнет (отсюда и его название — в переводе с греческого *озон* означает «пахнущий»). Этот запах, аромат свежести, можно почувствовать во время грозы, так как озон образуется в малых количествах в воздухе в результате электрических разрядов.

Кислород — газ без цвета, а озон имеет бледно-фиолетовый цвет. Озон более бактерициден (лат. *цидао* — убивать), чем кислород. Поэтому озон применяют для обеззараживания питьевой воды. Озон способен

удерживать ультрафиолетовые лучи солнечного спектра, губительные для всего живого на Земле, и потому **озоновый слой**, располагающийся в атмосфере на высоте 20—35 км, защищает жизнь на нашей планете (на рисунке 49 вы видите фотографию, сделанную из космоса с помощью искусственного спутника Земли, где области пониженного содержания озона в атмосфере («озоновые дыры») обозначены белым цветом).

Из простых веществ — неметаллов при обычных условиях жидкостью является только бром, молекулы которого двухатомны. Формула брома  $Br_2$ . Это тяжёлая бурая, с неприятным запахом жидкость (отсюда и название, так как *бромос* с древнегреческого переводится как «зловонный»).

Некоторые твёрдые вещества — неметаллы известны с древнейших времён — это сера и углерод (в форме древесного угля, алмаза и графита).

У твёрдых веществ — неметаллов также наблюдается явление аллотропии. Так, элемент углерод образует такие различные по внешнему виду простые вещества, как алмаз, графит (рис. 50). Причина отличия свойств алмаза и графита состоит в строении кристаллических решёток этих веществ, которые вы рассмотрите несколько позднее.

Элемент фосфор имеет две аллотропные модификации: фосфор красный (им покрывают боковую сторону спичечного коробка) и фосфор белый. Последний имеет четырёхатомную молекулу, состав его отражается формулой  $P_4$ .

Твёрдым веществом — неметаллом является кристаллический иод с двухатомной молекулой  $I_2$ . Не путайте его со спиртовым раствором иода — иодной настойкой, которая имеется в каждой домашней аптечке.

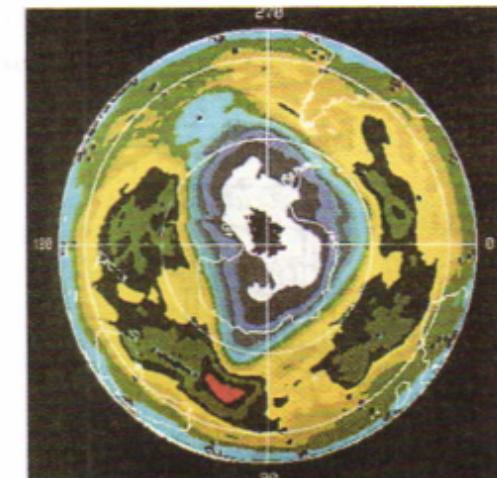


Рис. 49. «Озоновые дыры» в атмосфере Земли

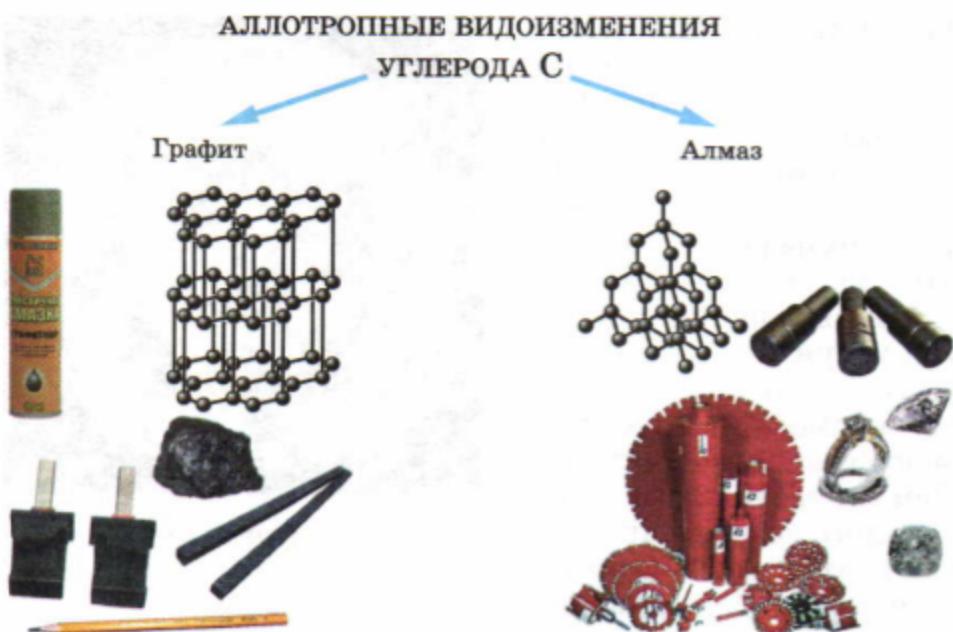


Рис. 50. Аллотропные видоизменения углерода и области их применения

Кристаллический иод и графит не похожи на остальные простые вещества — неметаллы, они имеют металлический блеск.

Чтобы показать относительность деления простых веществ на основании их физических свойств на металлы и неметаллы, рассмотрим аллотропию химического элемента олова Sn. При комнатной температуре обычно существует бета-олово ( $\beta$ -Sn). Это всем известное белое олово — металл, из которого раньше отливали оловянных солдатиков (рис. 51, а) (вспомните сказку Х. К. Андерсена «Стойкий оловянный солдатик»). Оло-



Рис. 51. Области применения олова: а — игрушки; б — производство консервных банок; в — припой

вом покрывают изнутри консервные банки (рис. 51, б). Оно входит в состав такого известного сплава, как бронза, а также припоя (рис. 51, в).

При температуре ниже  $+13,2^{\circ}\text{C}$  более устойчиво альфа-олово ( $\alpha$ -Sn) — серый мелкокристаллический порошок, имеющий скорее свойства неметалла. Процесс превращения белого олова в серое быстрее всего идет при температуре, равной  $-33^{\circ}\text{C}$ . Это превращение получило образное название «оловянная чума».

Сравним теперь простые вещества — металлы и неметаллы с помощью таблицы 3.

### ПРОСТЫЕ ВЕЩЕСТВА

Таблица 3

Металлы	Неметаллы
1. Твёрдые вещества (кроме ртути Hg)	1. Твёрдые (серпа S, фосфор красный и фосфор белый $P_4$ , иод $I_2$ , алмаз и графит C); газообразные вещества (кислород $O_2$ , озон $O_3$ , азот $N_2$ , водород $H_2$ , хлор $Cl_2$ , фтор $F_2$ , благородные газы); жидкость (бром $Br_2$ )
2. Имеют металлический блеск	2. Не имеют металлического блеска (исключение составляют иод $I_2$ , графит C)
3. Электро- и теплопроводны	3. Большинство не проводит электрический ток (проводниками являются, например, кремний, графит)
4. Ковкие, пластичные, тягучие	4. В твёрдом состоянии — хрупкие

1. Благородные газы.
2. Аллотропия и аллотропные видоизменения, или модификации.
3. Кислород и озон.
4. Алмаз и графит.
5. Фосфор красный и белый.
6. Белое и серое олово.
7. Относительность деления простых веществ на металлы и неметаллы.