

2. Сравните свойства атомных, молекулярных, ионных и металлических кристаллов.
3. Объясните, почему ионные и молекулярные кристаллы практически не проводят электрический ток. Чем обусловлена хорошая электро- и теплопроводность металлических кристаллов?
4. Могут ли проводить ток вещества: а) с ионной связью; б) ковалентной связью? Приведите примеры и условия проявления этими веществами электропроводности.
5. Определите типы химической связи и типы кристаллов веществ, формулы которых: SO_2 , SiC , CsF , K_2SO_4 , Cu_6Sn_5 .
6. Конструктору понадобилось очень твёрдое вещество, устойчивое к действию высоких температур и растворителей. Какое из соединений, перечисленных в задаче 5, он может использовать в своих испытаниях?
7. Объясните, почему графит обладает электропроводностью, а алмаз — нет.
8. Сплав Розе ($T_{\text{пл.}} +94\text{ }^\circ\text{C}$) используется в плавких электрических предохранителях, а также в радиотехнике в качестве припоя. Состав сплава (по массе): свинец (25 %), висмут (50 %), олово (25 %). Укажите тип его кристаллов. Рассчитайте массу каждого компонента, необходимого для получения сплава массой 5 кг.
9. Рассчитайте мольное соотношение компонентов в сплаве Вуда. Сплав Вуда — тяжёлый легкоплавкий сплав, изобретённый в 1860 году американским дантистом Вудом. Температура плавления — $68,5\text{ }^\circ\text{C}$. Состав (массовые доли): олово — 12,5 %, свинец — 25 %, висмут — 50 %, кадмий — 12,5 %. Какими другими физическими свойствами может, по вашему мнению, обладать этот сплав?
10. Определите число атомов в порции массой 1 г одного из самых твёрдых синтетических веществ, представляющего собой бинарное соединение бора и азота BN.

§ 17. Межмолекулярное взаимодействие и водородная связь



Межмолекулярное взаимодействие

Вещества молекулярного строения могут существовать в трёх агрегатных состояниях — твёрдом, жидком и газообразном. Но температурные условия того или иного состояния для каждого из веществ индивидуальны.

Причина здесь одна — различие в силе взаимодействия между молекулами. Это взаимодействие называют *межмолекулярным*. Как и химическая связь, межмолекулярное взаимодействие осуществляется за счёт сил электростатического притяжения, но в десятки и сотни раз более слабых. Чем сильнее межмолекулярное взаимодействие в веществе, тем выше его температура плавления и кипения. Сила межмолекулярного взаимодействия — индивидуальная характеристика вещества, она зависит от электронного строения его молекул.

Молекула в целом является электронейтральной частицей, но внутри молекулы находятся положительно заряженные ядра, окружённые электронами. В зависимости от полярности и направленности химических связей внутри

молекулы на атомах могут возникать заряды. Так, в молекуле HCl связь между атомами полярная и общая электронная пара смещена к более электроотрицательному атому хлора. В результате в одной части молекулы — на атоме хлора — возникает частичный отрицательный заряд, в другой — на атоме водорода — частичный положительный заряд. Образуются диполи $\overset{\delta+}{\text{H}}-\overset{\delta-}{\text{Cl}}$. Между ними возникает электростатическое притяжение (рис. 40, а; 41, а).

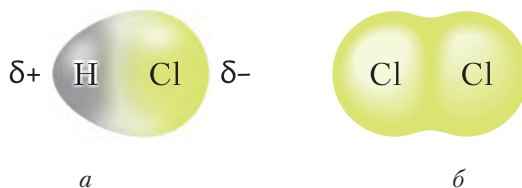


Рис. 40. Модели полярной молекулы HCl и неполярной молекулы Cl_2

Слабое электростатическое притяжение существует и между неполярными молекулами, например хлора. Оно объясняется образованием мгновенных диполей в результате движения электронов в атомах, принадлежащих соседним молекулам (рис. 40, б; 41, б).

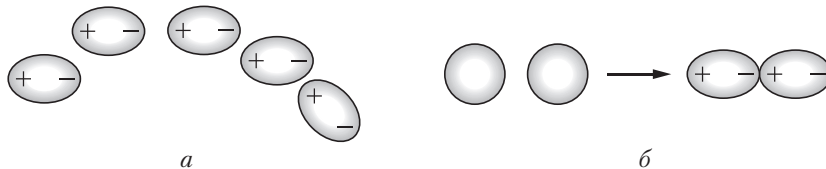
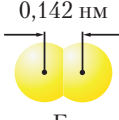
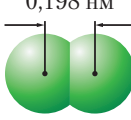
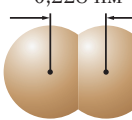
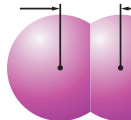


Рис. 41. Типы межмолекулярных взаимодействий: а — между полярными молекулами, б — между неполярными молекулами (образуются мгновенные диполи)

Следует иметь в виду, что молекулы с полярными связями могут быть в целом неполярными, то есть не представлять собой диполи. Например, молекулы $\overset{\delta-}{\text{O}}=\overset{\delta+}{\text{C}}=\overset{\delta-}{\text{O}}$ имеют линейное строение. Однако молекулы воды представляют собой диполи, так как имеют угловое строение (рис. 33, с. 81).

Величина сил межмолекулярного взаимодействия зависит от размеров молекул. Чем больше молекула, тем легче её внешние электроны притягиваются к другой молекуле и тем прочнее межмолекулярное взаимодействие. Этим объясняется переход от газообразного (F_2 , Cl_2) к жидкому (Br_2) и твёрдому (I_2) состояниям вещества в ряду галогенов. Как известно, от фтора к йоду по группе радиус атомов растёт. Соответственно, растут и размеры образуемых ими молекул (табл. 14).

Таблица 14. Характеристики молекул галогенов

Вещество	Фтор	Хлор	Бром	Йод
Модели молекул и их размеры	 F ₂	 Cl ₂	 Br ₂	 I ₂
Температуры кипения, °С	-188,2	-34,1	+58,8	+184,4

Водородная связь

При изучении органических веществ вы познакомились с закономерностью: чем больше масса и размер молекулы, тем выше температуры плавления и кипения молекулярного вещества. Если следовать этой логике, то между молекулами воды межмолекулярное взаимодействие должно быть слабее, чем между молекулами водородных соединений других элементов VIA-группы. В ряду H₂O, H₂S, H₂Se, H₂Te у молекулы воды самая маленькая молекулярная масса — 18 а.е.м. Вода должна была бы плавиться при температуре примерно -100 °С, а кипеть — при -80 °С. На самом деле температуры плавления (0 °С) и кипения (100 °С) воды аномально высокие (рис. 42). Разберёмся, в чём тут причина.

Объяснить это явление можно наличием, помимо обычных межмолекулярных связей между молекулами воды, дополнительного особого типа межмолекулярного взаимодействия, которое получило название *водородная связь*.

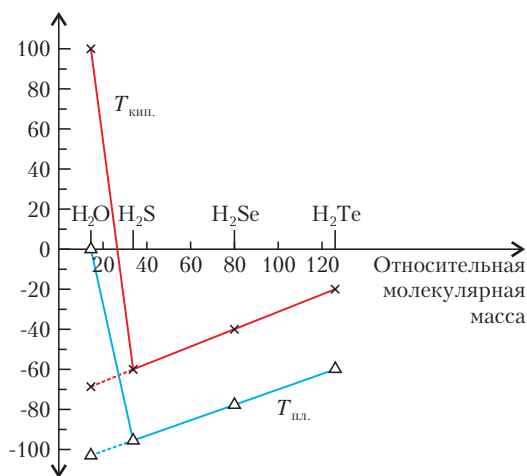


Рис. 42. Зависимость температур плавления и кипения водородных соединений элементов VIA-группы от относительной молекулярной массы молекул Э₂S. Пунктиром обозначена зависимость, которая могла бы существовать в отсутствие водородной связи

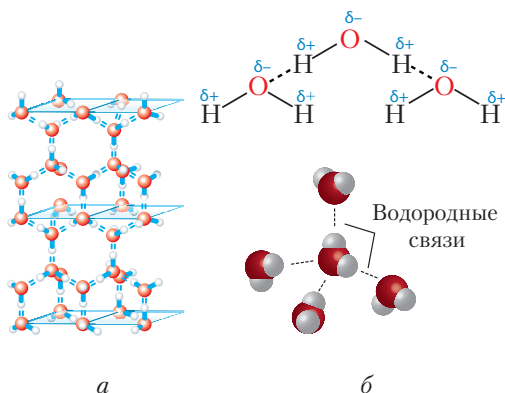


Рис. 43. Схема образования водородных связей между молекулами воды:
 а — водородные связи в структуре льда;
 б — строение молекулы воды и обозначение водородной связи

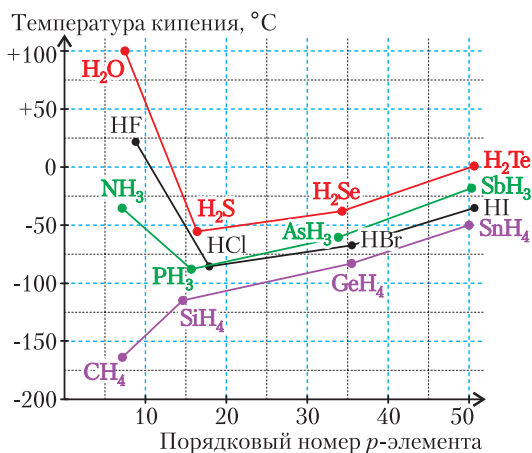


Рис. 44. Влияние водородной связи на температуру кипения водородных соединений *p*-элементов IVA–VIIA-групп

Под **водородной** понимают связь, образованную в результате электростатического взаимодействия между атомом водорода одной молекулы и более электроотрицательным атомом другой молекулы, несущим отрицательный заряд и имеющим неподелённую электронную пару.

Объясним механизм образования водородной связи с учётом электронного и пространственного строения молекул воды (рис. 43, а).

В силу полярности молекулы воды положительно заряженный атом водорода одной молекулы притягивается под действием электростатических сил к отрицательно заряженному атому кислорода другой молекулы (рис. 43, б). В этом взаимодействии присутствует и частичное ковалентное связывание между кислородом и водородом соседних молекул по механизму донорно-акцепторного взаимодействия. Оно возможно благодаря тому, что атом кислорода в молекуле воды в значительной степени оттягивает на себя общую электронную пару от водорода, как бы «опустошая» его атомную орбиталь. На этой «пустой» орбитали частично размещается неподелённая электронная пара атома кислорода соседней молекулы.

Водородная связь присутствует у всех веществ, содержащих атомы водорода, химически связанные с более электроотрицательным атомом. Но её проявление хорошо заметно при значительном различии электроотрицательностей водорода и связанного с ним ковалентной связью атома. Самые сильные водородные связи возникают в присутствии самых электроотрицательных элементов — фтора, кислорода и азота (рис. 44).

Водородная связь имеет энергию порядка 20–160 кДж/моль, что значительно ниже энергии химической связи (порядка 400–900 кДж/моль) и выше энергии межмолекулярного взаимодействия (2–10 кДж/моль).

Уникальность воды состоит в том, что молекулы H_2O способны образовывать разветвлённую сеть водородных связей — четыре на одну молекулу (рис. 43, б). Благодаря водородным связям вода обладает способностью существовать в условиях Земли сразу в трёх агрегатных состояниях — твёрдом, жидком и газообразном. При этом температурный диапазон от 0 до 100 °C благоприятен для существования всего живого на планете. Благодаря четырём водородным связям молекулы воды в твёрдом состоянии образуют ажурную кристаллическую структуру льда, похожую на структуру алмаза (рис. 43, а). Полости в этой структуре делают лёд менее плотным, чем жидкая вода, поэтому лёд не тонет и, покрывая водоёмы, не даёт им промёрзнуть до дна.

Прочные водородные связи образуются не только в воде, но и между молекулами неорганических и карбоновых кислот, фенолов, спиртов, аммиака, аминов.

Вещества, способные образовывать межмолекулярные водородные связи, обычно заметно растворимы в воде, имеют относительно высокие температуры плавления и кипения, а также значительную вязкость, например глицерин и фосфорная кислота.

Водородные связи могут быть не только *межмолекулярными*, но и *внутримолекулярными*. Так, макромолекулы целлюлозы представляют собой длинные цепи с *внутримолекулярными* водородными связями, уложенные параллельно и соединённые между собой множеством *межмолекулярных водородных связей*. Это придаёт целлюлозе механическую прочность при сохранении эластичности (рис. 45, а). Водородные связи определяют формирование вторичной структуры макромолекул белка (рис. 45, б).

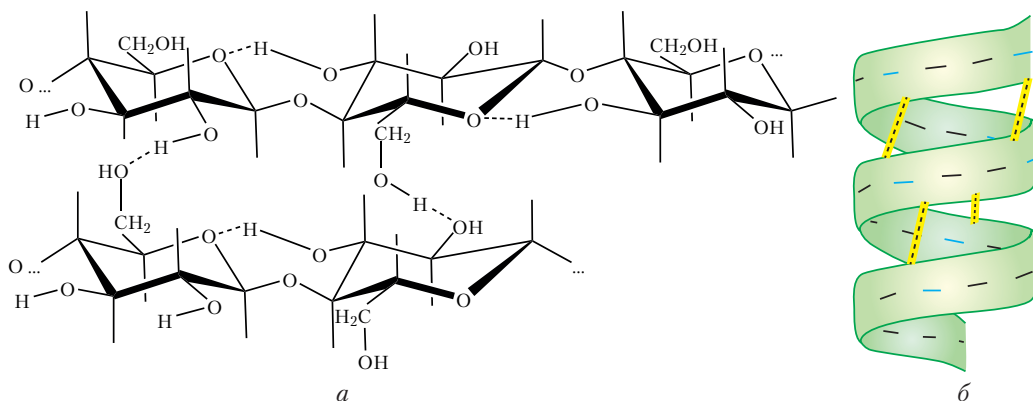


Рис. 45. Водородные связи в структуре: а — целлюлозы, б — белка

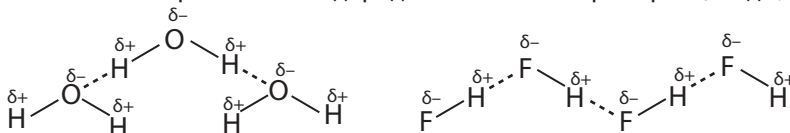
Агрегатное состояние молекулярных веществ определяется силами межмолекулярного взаимодействия.

Силы межмолекулярного взаимодействия имеют электростатическую природу, но значительно слабее химической связи.

Водородная связь — это электростатическое взаимодействие между атомом водорода одной молекулы и более электроотрицательным атомом другой молекулы, несущим отрицательный заряд и имеющим неподелённую электронную пару. Водородные связи могут быть и внутримолекулярными.

Вопросы, задания, задачи

1. Опишите образование водородных связей на примере: а) воды; б) фтороводорода:



2. Приведите примеры веществ, при растворении которых в воде образуются водородные связи между молекулами воды и этого вещества.

3. Учитывая, что образование водородных связей характерно для молекул веществ, содержащих группы OH, объясните малую летучесть и сравнительно высокую вязкость серной и фосфорной кислот.

4. Расположите следующие молекулы в порядке увеличения сил межмолекулярного взаимодействия: H_2 , He, F_2 , Br_2 , H_2O . Сравните эти вещества по температурам кипения.

5. Укажите вещества, для которых возможно существование:

- а) межмолекулярной водородной связи — фтороводород, метан, уксусная кислота, пропанол-1, пропан;

- б) внутримолекулярной водородной связи — этиленгликоль, этанол, этан, полипептид, целлюлоза.

6. Объясните, почему температура кипения аммиака выше, чем температура кипения фосфина.

7. Объясните характер зависимости температуры кипения водородного соединения ЭН_x от порядкового номера p -элемента Э, используя данные рисунка 44.

8. Почему молекулярные кристаллические вещества, в отличие от ионных, после плавления практически не проводят электрический ток?

9. Рассчитайте количество вещества в бруске льда объёмом 1 дм^3 . Плотность льда — $0,917 \text{ г/см}^3$.

10. Определите простейшую формулу вещества и изобразите схему образования водородных связей между молекулами вещества, в котором массовая доля углерода — 0,375, водорода — 0,125, кислорода — 0,500.

