

# Лекция 7

## Зависимость свойств веществ от их строения. Химическая связь. Основные виды химической связи.

Рассматриваемые вопросы:

1. Уровни организации вещества. Иерархия структуры.
2. Вещества молекулярного и немолекулярного строения.
3. Разнообразии химических структур.
4. Причины возникновения химической связи.
5. Ковалентная связь: механизмы образования, способы перекрывания атомных орбиталей, полярность, дипольный момент молекулы.
6. Ионная связь.
7. Сравнение ковалентной полярной и ионной связи.
8. Сравнение свойств веществ с ковалентными полярными и ионными связями.
9. Металлическая связь.
10. Межмолекулярные взаимодействия.

# Вещество (более 70 млн.)

Что надо знать о каждом

ве

1. **Формула** (из чего состоит)
2. **Структура** (как устроено)
3. **Физические** свойства
4. **Химические** свойства
5. Способы **получения**  
(лаб. и промышл.)
6. Практическое **применение**

# Иерархия структуры вещества

Все вещества  
состоят из  
атомов, но не  
все – из  
молекул.

Атом

У всех веществ

Молекула

Только у веществ  
молекулярного  
строения

Наноуровень

У всех веществ

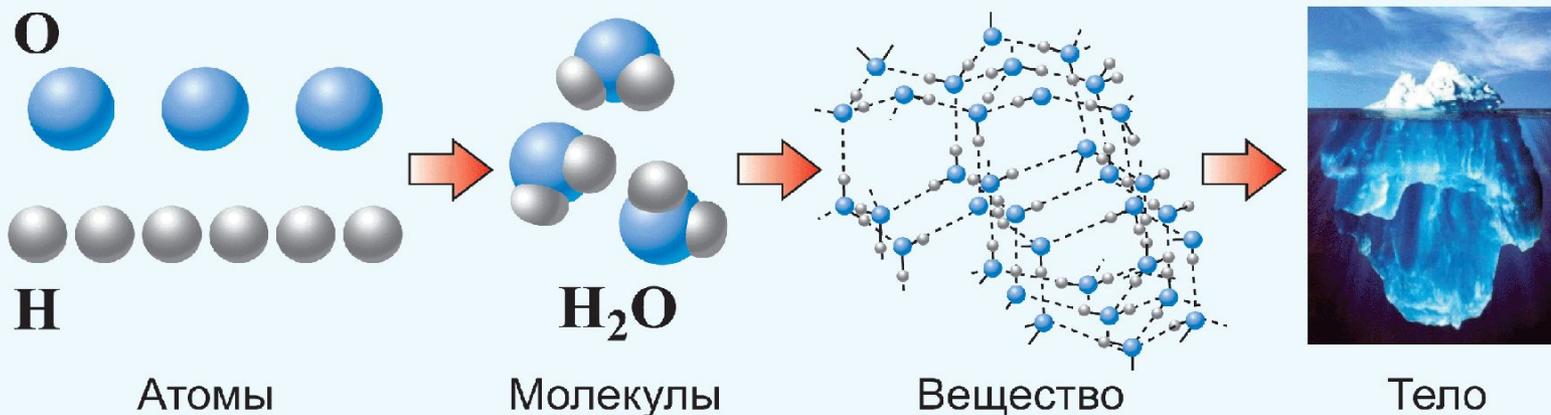
Объемный (макро)  
уровень

У всех веществ

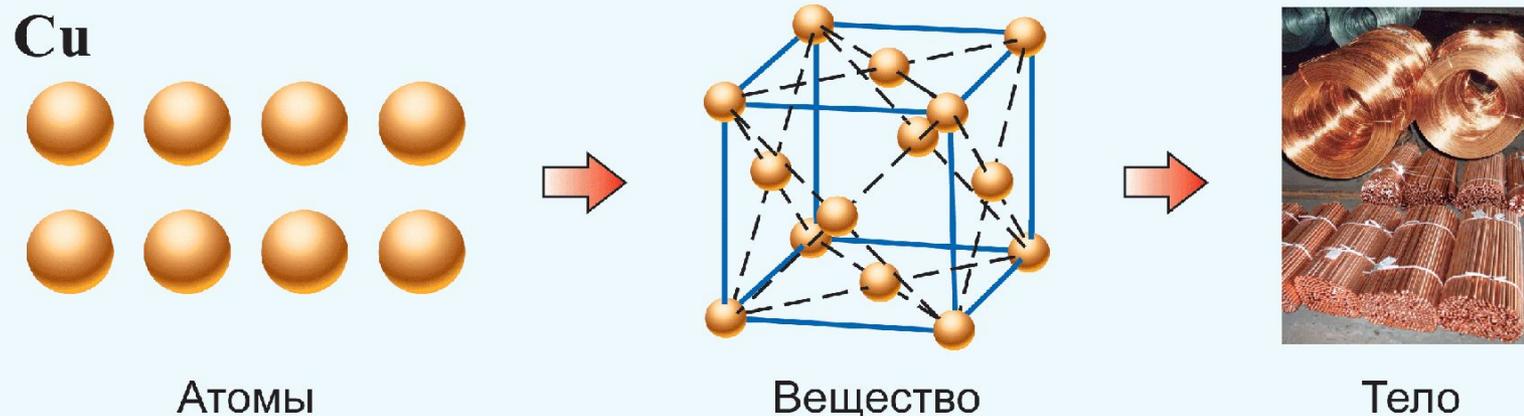
Все 4 уровня – объект изучения химии

# Вещества молекулярного и немолекулярного строения

## МОЛЕКУЛЯРНОЕ СТРОЕНИЕ



## НЕМОЛЕКУЛЯРНОЕ СТРОЕНИЕ



# Вещества

**Молекулярного**  
строения

Состоят из молекул

$H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $HNO_3$ ,  $C_{60}$ ,  
почти все орг. вещества

Формула отражает  
состав молекулы

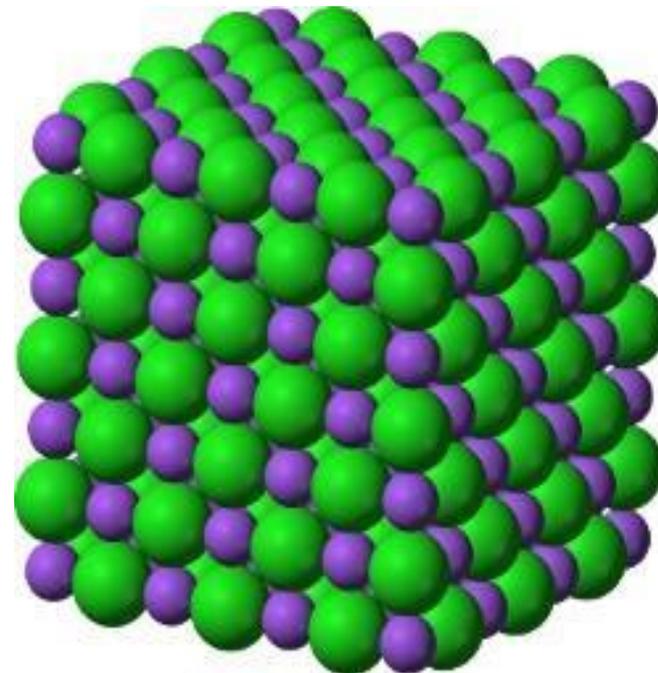
**Немолекулярного**  
строения

Состоят из атомов  
или ионов

Алмаз, графит,  $SiO_2$ ,  
металлы, соли

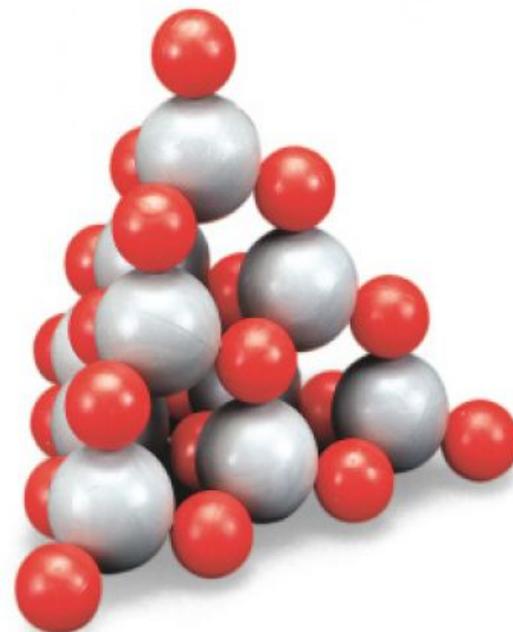
Формула отражает состав  
формульной единицы

# Вещества



Хлорид натрия  
Формульная единица  $\text{NaCl}$

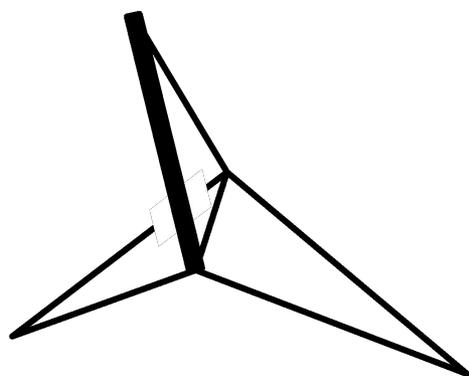
# Вещества



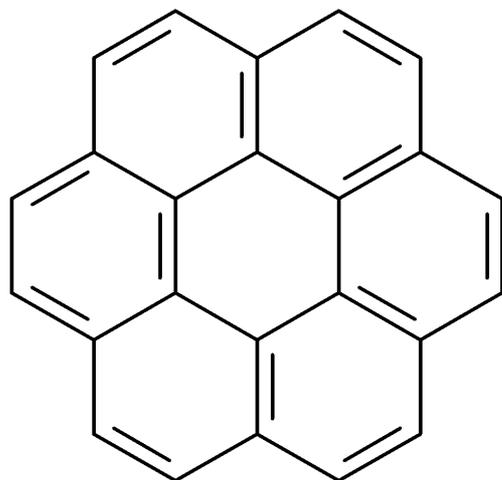
Диоксид кремния  
Формульная единица  $\text{SiO}_2$

Минералогический музей имени Ферсмана находится возле входа в Нескучный сад.  
Адрес: Москва, Ленинский проспект, дом 18, корпус 2.

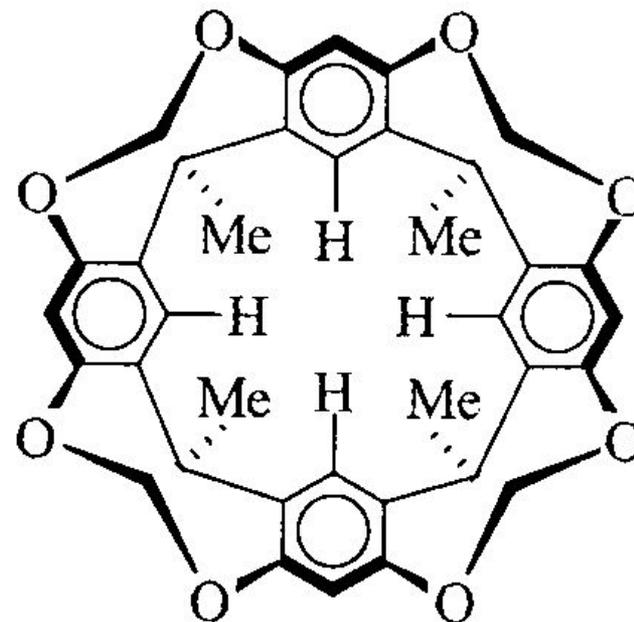
# Разнообразие химических структур.



пропеллан  
 $C_5H_6$

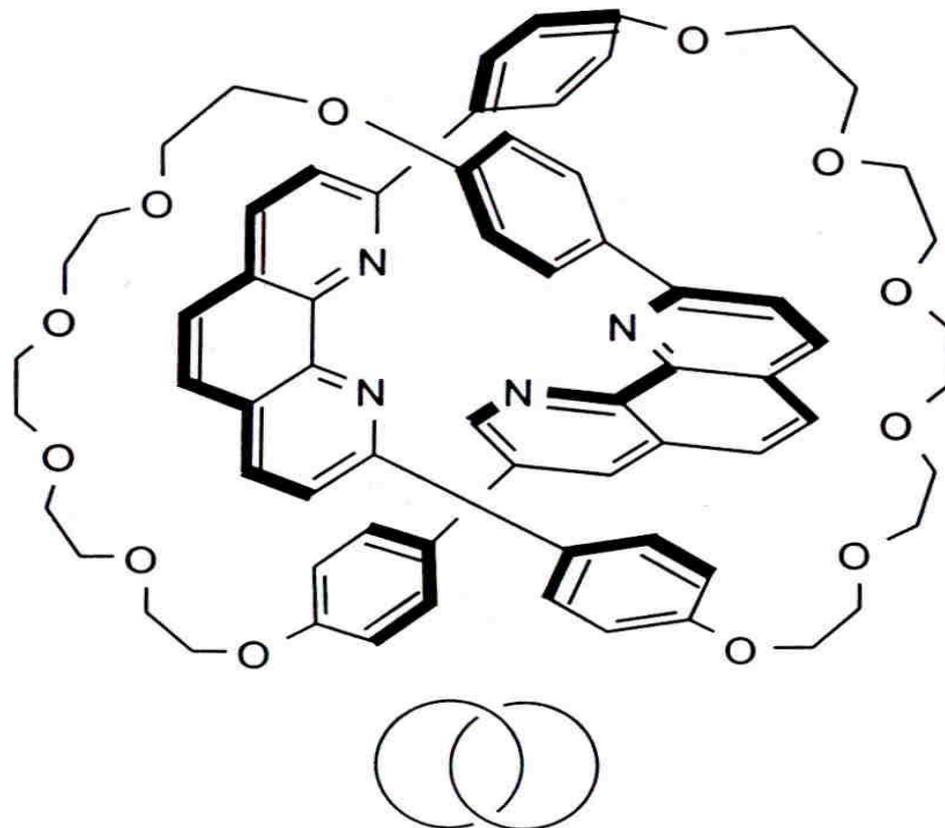


коронен  
(супербензол)  
 $C_{24}H_{12}$



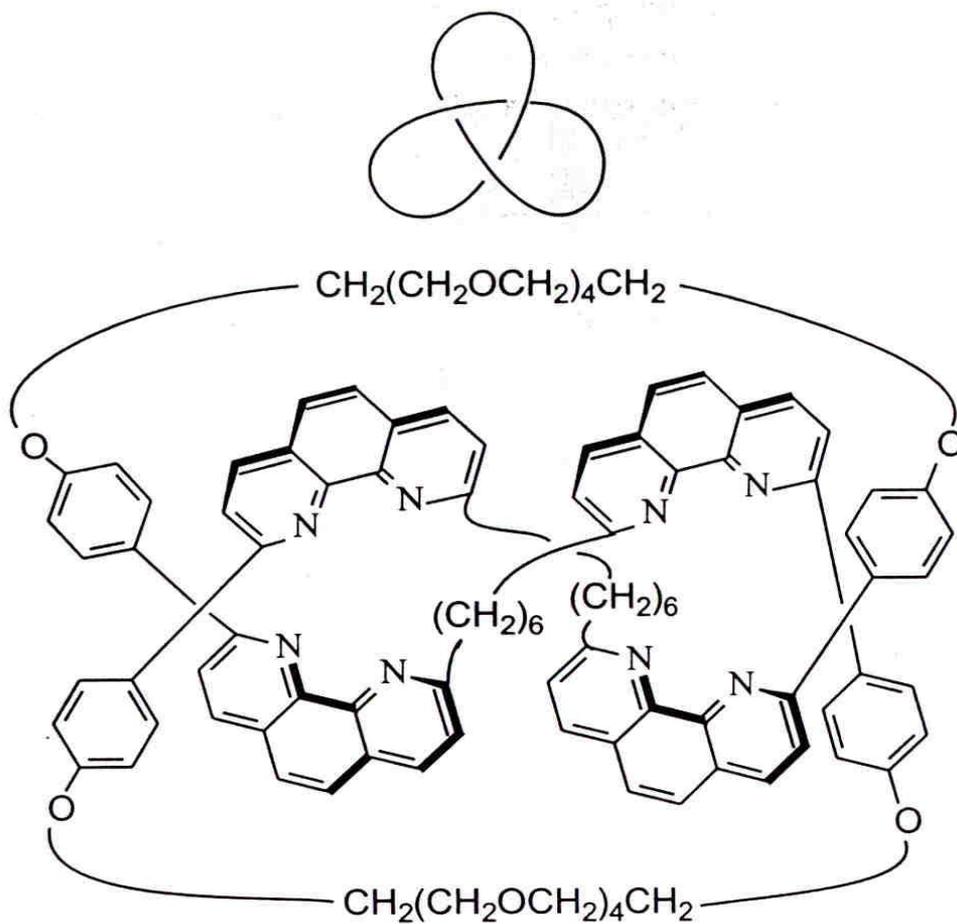
кавитанд  
 $C_{36}H_{32}O_8$

# Разнообразие химических структур.



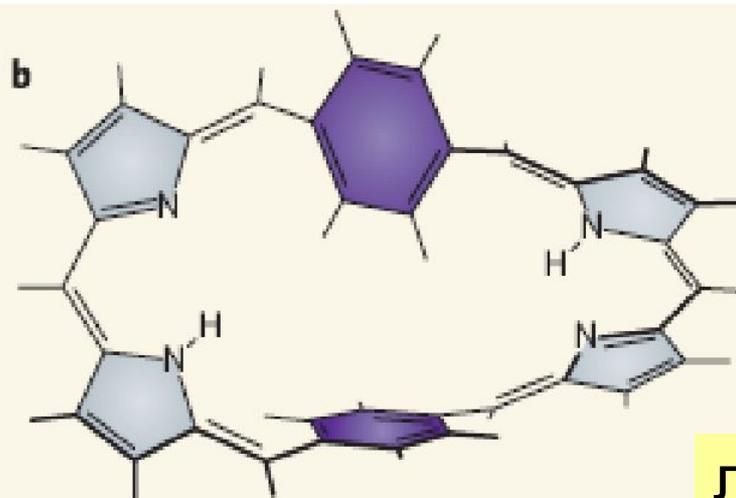
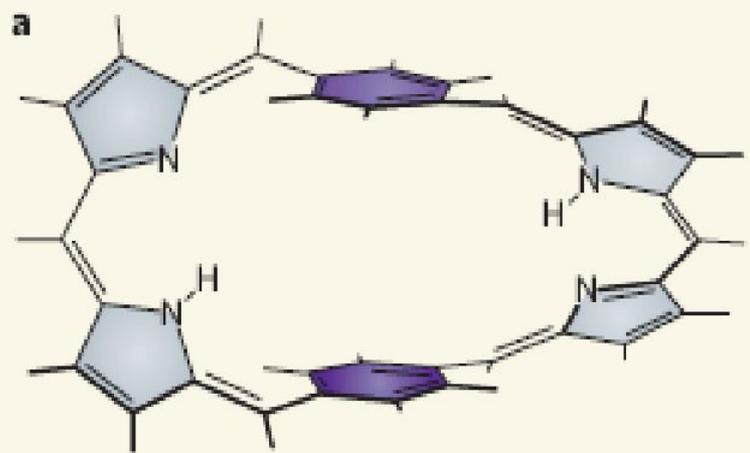
катенан

# Разнообразие химических структур.

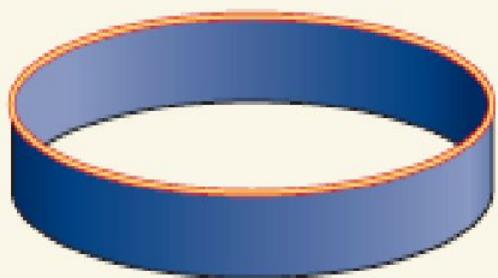


катенан

# Разнообразие химических структур.

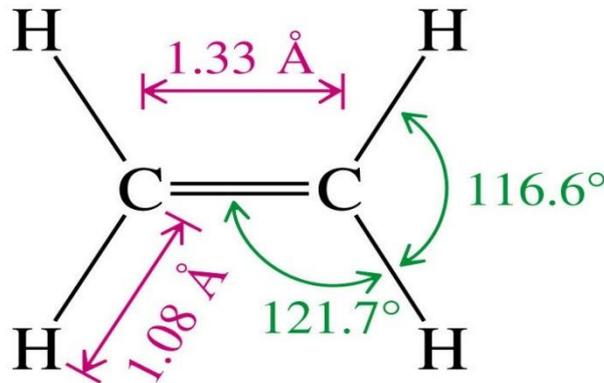


лист Мебиуса



# Молекула

- **Молекула** – устойчивая система, состоящая из нескольких атомных ядер и электронов.
- Атомы объединяются в молекулы путем образования **химических связей**.
- **Главная движущая сила образования молекулы из атомов – уменьшение общей энергии.**
- Молекулы имеют **геометрическую форму**, характеризующуюся расстояниями между ядрами и углами между связями.



**Главная движущая сила  
образования химической связи  
между частицами вещества –  
уменьшение общей энергии  
системы.**

## **Основные типы химической связи:**

- 1.Ионная**
- 2.Ковалентная**
- 3.Металлическая**

## **Основные межмолекулярные взаимодействия:**

- 1.Водородные связи**
- 2.Ван-дер-Ваальсовы связи**

## Ионная связь

Если связь образуют атомы с резко различающимися значениями электроотрицательности ( $\Delta\text{ОЭО} \geq 1,7$ ), общая электронная пара практически полностью смещается в сторону более электроотрицательного атома.



Химическая связь между ионами, возникающая за счет их электростатического притяжения, называется ионной.

## **Ионная связь**

**Кулоновский потенциал сферически симметричен, направлен во все стороны, поэтому ионная связь ненаправлена.**

**Кулоновский потенциал не имеет ограничений на количество присоединяемых противоположно заряженных ионов — следовательно, ионная связь ненасыщаема.**

# **Ионная связь**

**Соединения с ионным типом связи твердые, хорошо растворимые в полярных растворителях, имеют высокие температуры плавления и кипения.**

# Ионная связь

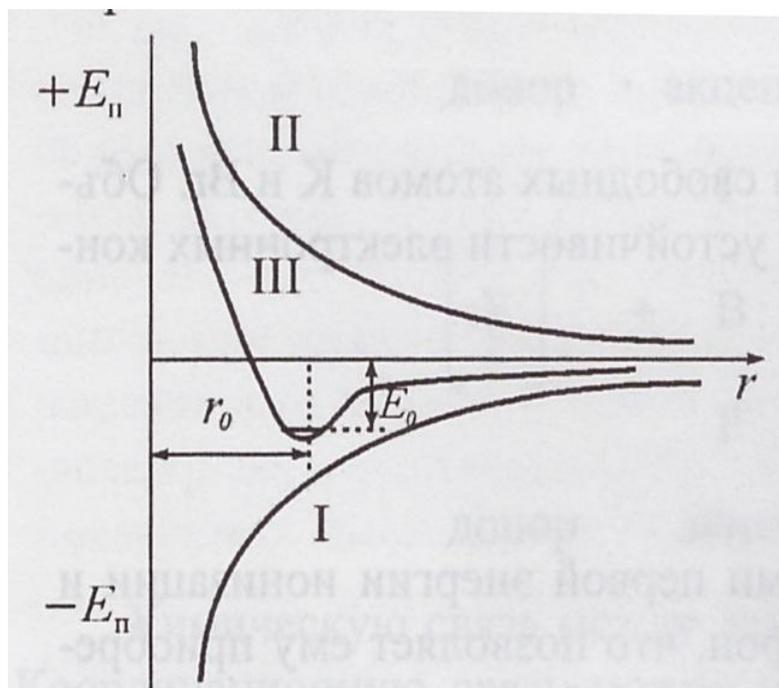


Рис. 5.1. Кривые потенциальной энергии образования ионной пары  $K^+A^-$

**Кривая I:** притяжение ионов, если бы они представляли собой точечные заряды.

**Кривая II:** отталкивание ядер в случае сильного сближения ионов.

**Кривая III:** минимум энергии  $E_0$  на кривой соответствует равновесному состоянию ионной пары, при котором силы притяжения электронов к ядрам скомпенсированы силами отталкивания ядер между собой на расстоянии  $r_0$ ,

## Химическая связь в молекулах

Химическую связь в молекулах можно описать с позиций двух методов:

- метода валентных связей, МВС
- метода молекулярных орбиталей, ММО

## **Метод валентных связей Теория Гейтлера-Лондона**

### **Основные положения метода ВС:**

- 1. Связь образуют два электрона с противоположными спинами, при этом происходит перекрывание волновых функций и увеличивается электронная плотность между ядрами.**
- 2. Связь локализована в направлении максимального перекрывания  $\Psi$ -функций электронов. Чем сильнее перекрывание, тем прочнее связь.**

## Образование молекулы водорода:

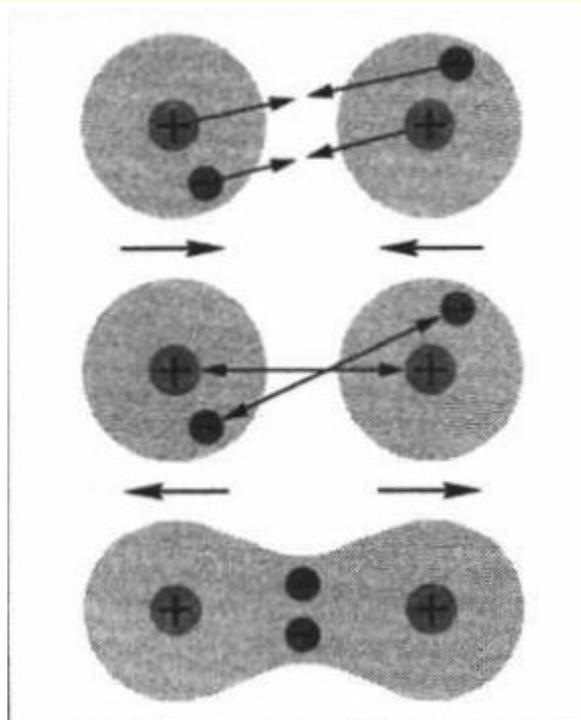
### Изменение энергии в молекуле водорода



Изменение средней потенциальной энергии взаимодействия двух сближающихся атомов водорода

$d_{\text{св}}$  — длина  
связи;  
 $E_{\text{св}}$  — энергия  
связи.

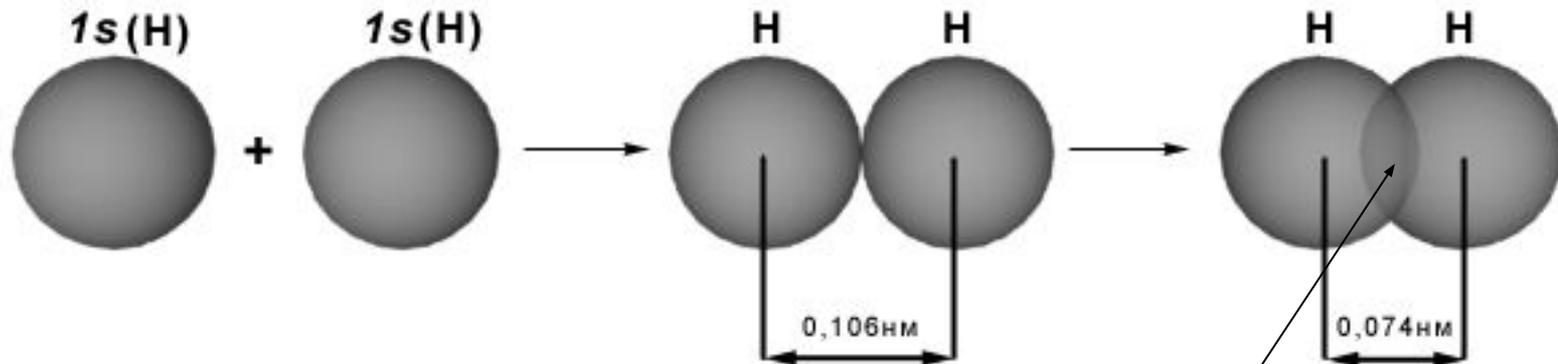
## Образование молекулы водорода:



При сближении двух атомов возникают силы притяжения и отталкивания:

- 1) притяжения: «электрон-ядро» соседних атомов;
- 2) отталкивания: «ядро-ядро», «электрон-электрон» соседних атомов.

## Образование молекулы водорода:



**Молекулярное  
двухэлектронное облако,  
обладающее максимальной  
электронной плотностью.**

**Химическая связь, осуществляемая общими электронными парами, называется ковалентной.**

Общая электронная пара может образоваться двумя способами:

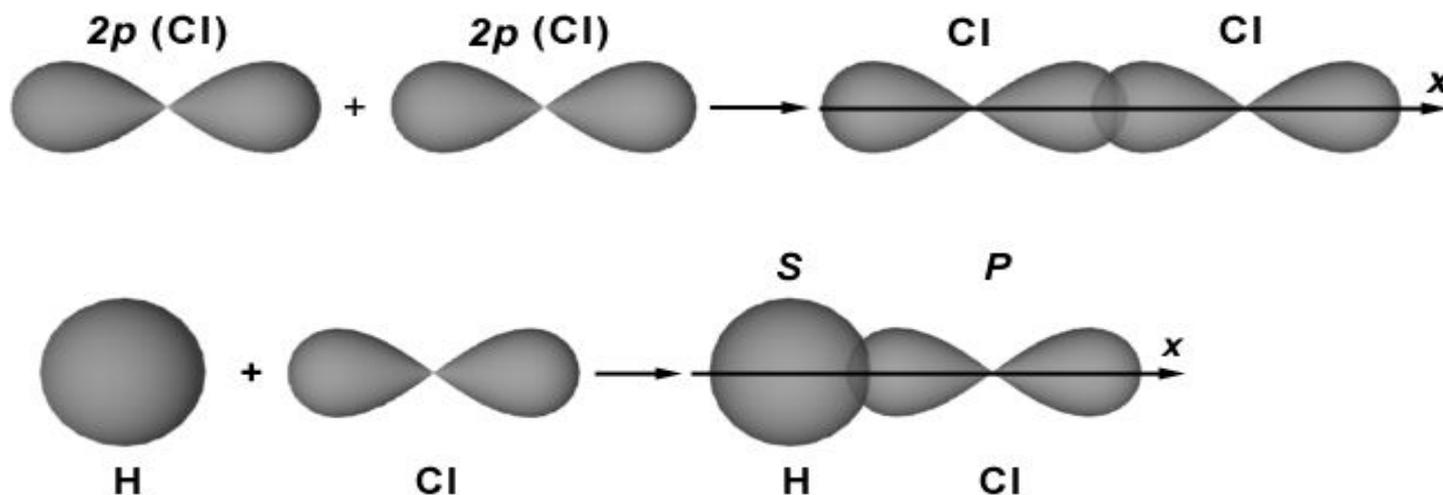
1) в результате объединения двух непарных электронов:

2) в результате обобществления неподеленной электронной пары одного атома (донора) и пустой орбитали другого (акцептора).

**Два механизма образования ковалентной связи: обменный и донорно-акцепторный.**

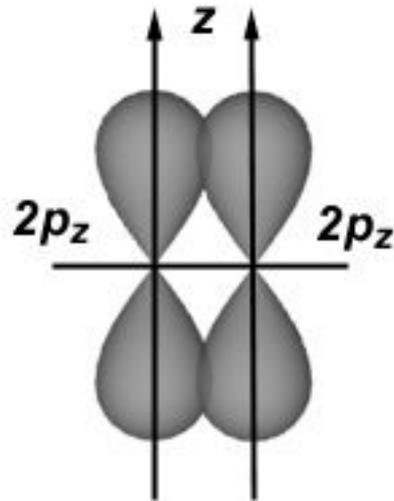
## Способы перекрывания атомных орбиталей при образовании ковалентной связи

Если образование максимальной электронной плотности связи происходит по линии, соединяющей центры атомов (ядра), то такое перекрывание называется  $\sigma$ -связью:



## Способы перекрывания атомных орбиталей при образовании ковалентной связи

Если образование максимальной электронной плотности связи происходит по обе стороны линии, соединяющей центры атомов (ядра), то такое перекрывание называется  $\pi$ -связью:



## Полярная и неполярная ковалентная связь

1) Если связь образуют одинаковые атомы, двухэлектронное облако связи распределяется в пространстве симметрично между их ядрами — такая связь называется неполярной:  $H_2$ ,  $Cl_2$ ,  $N_2$ .

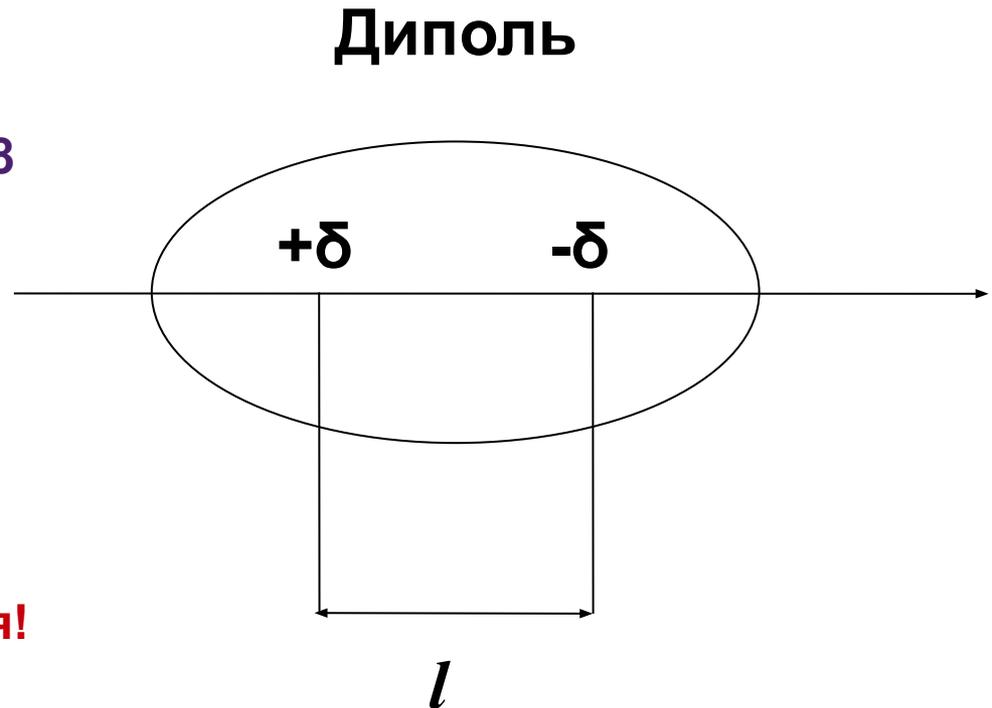
2) если связь образуют разные атомы, облако связи смещено в сторону более электроотрицательного атома — такая связь называется полярной:  $HCl$ ,  $NH_3$ ,  $CO_2$ .

## Полярная ковалентная связь Дипольный момент связи



Где  $\pm\delta$  — эффективный заряд атома, доля абсолютного заряда электрона.

Не путать со степенью окисления!



Произведение эффективного заряда на длину диполя называется электрическим моментом диполя:  $\mu = \delta l$

Это векторная величина: направлен от положительного заряда к отрицательному.

## Полярная ковалентная связь Дипольный момент молекулы

Дипольный момент молекулы равен сумме векторов дипольных моментов связей с учетом неподеленных электронных пар.

Единицей измерения дипольного момента является Дебай:  $1D = 3,3 \cdot 10^{-30}$  Кл·м.

## Полярная ковалентная связь Дипольный момент молекулы

В произведении  $\mu = \delta l$  обе величины разнонаправлены.  
Поэтому надо внимательно отслеживать причину  
изменения  $\mu$ .

Например,

<b>CsF</b>	<b>CsCl</b>	<b>CsI</b>
<b>24</b>	<b>31</b>	<b>37</b>

$\delta$  «проиграл»  $l$

<b>HF</b>	<b>HCl</b>	<b>HBr</b>	<b>HI</b>
<b>5,73</b>	<b>3,24</b>	<b>2,97</b>	<b>1,14</b>

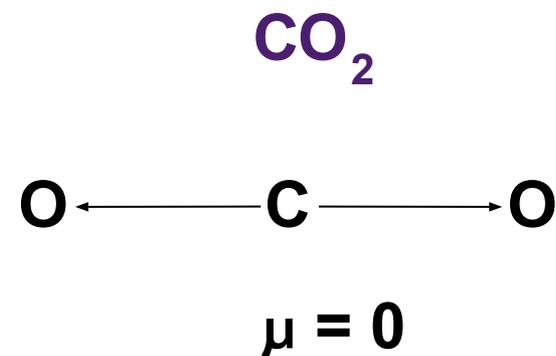
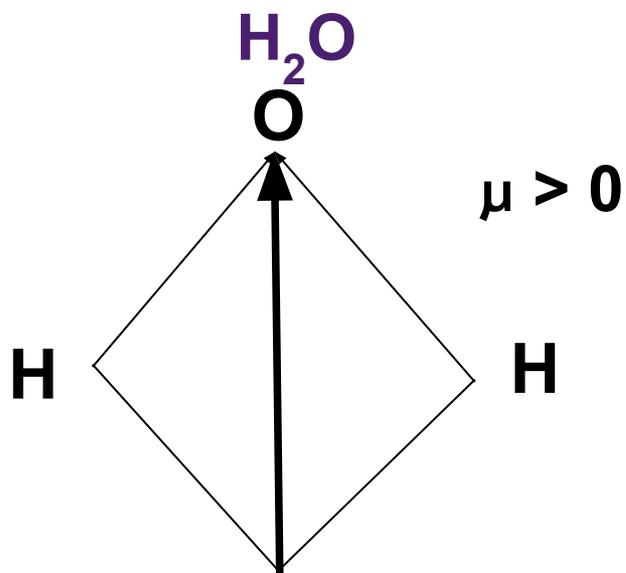
наоборот

## Полярная ковалентная связь Дипольный момент молекулы

Может ли молекула быть неполярной, если все связи в ней полярные?

Молекулы типа АВ всегда полярны.

Молекулы типа АВ<sub>2</sub> могут быть и полярными, и неполярными...



## Полярная ковалентная связь

Молекулы, состоящие из трех атомов и более  
( $AB_2$ ,  $AB_3$ ,  $AB_4$ ,  $AB_5$ ,  $AB_6$ ),  
могут быть неполярными, если они симметричны.

На что влияет наличие дипольного момента молекулы?

Имеются межмолекулярные взаимодействия, а, следовательно, увеличиваются плотность вещества,  $t^\circ$  плавления и  $t^\circ$  кипения.

## Сравнение ионной и ковалентной полярной связей

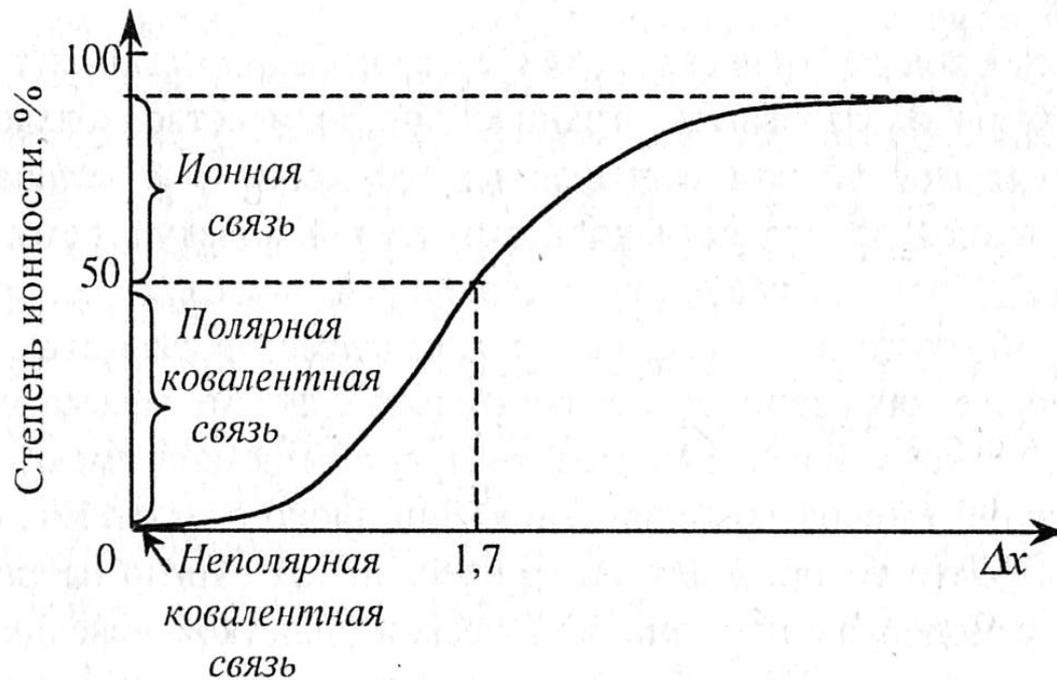


Рис. 5.15. Зависимость степени ионности связи

от разности электроотрицательностей взаимодействующих атомов.

**Общее:** образование общей электронной пары.

**Отличие:** степень смещения общей электронной пары (поляризация связи).

**Ионную связь следует рассматривать как крайний случай ковалентной полярной связи.**

## Сравнение характеристик ионной и ковалентной полярной связей

**Ковалентная связь: насыщена и направлена**

Насыщаемость (максимальная валентность) — определяется способностью атома образовывать ограниченное количество связей (с учетом обоих механизмов образования).

Направление связи задает валентный угол, зависящий от типа гибридизации орбиталей центрального атома.

**Ионная связь: ненасыщена и ненаправлена.**

## **Сравнение характеристик ионной и ковалентной полярной связей**

**Направленность связи задают валентные углы. Валентные углы определяют экспериментально или предсказывают на основе теории гибридизации атомных орбиталей Л. Поллинга либо теории Гиллеспи.**

**Подробно об этом на семинарах.**

# Сравнение свойств веществ с ионными и ковалентными связями

## Ковалентные связи

### Атомные кристаллы

Между атомами  
в самом кристалле

Высокая твердость  
высокие  $t^{\circ}_{\text{плав}}$ ,  $t^{\circ}_{\text{кип}}$   
плохие тепло- и  
электропроводность

### Молекулярные кристаллы

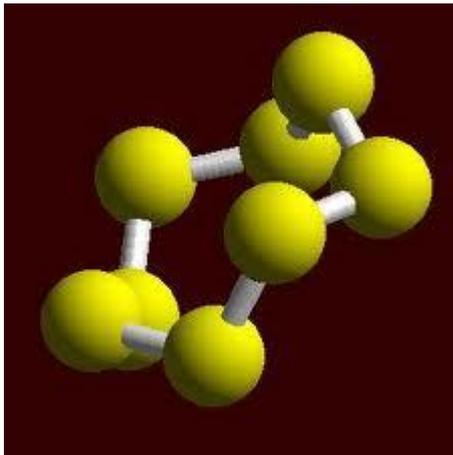
Между атомами  
в молекуле

Умеренная мягкость  
достаточно низкие  
 $t^{\circ}_{\text{плав}}$ ,  $t^{\circ}_{\text{кип}}$   
плохие тепло- и  
Электропроводность

**Нерастворимы в воде**

# Сравнение свойств веществ с ионными и ковалентными связями

## Молекулярный кристалл



Температура плавления  $112,85\text{ }^{\circ}\text{C}$

## Сравнение свойств веществ с ионными и ковалентными связями

### Атомный ковалентный кристалл



Температура плавления  $\approx 3700\text{ }^{\circ}\text{C}$

# Сравнение свойств веществ с ионными и ковалентными связями

**Ионные связи**



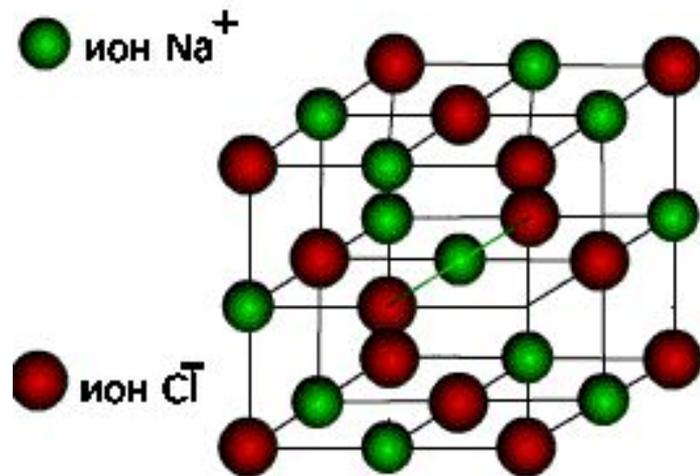
**между ионами  
в кристалле**

**твердость и хрупкость  
высокая температура плавления  
плохие тепло- и электропроводность**

**Растворимы в воде**

# Сравнение свойств веществ с ионными и ковалентными связями

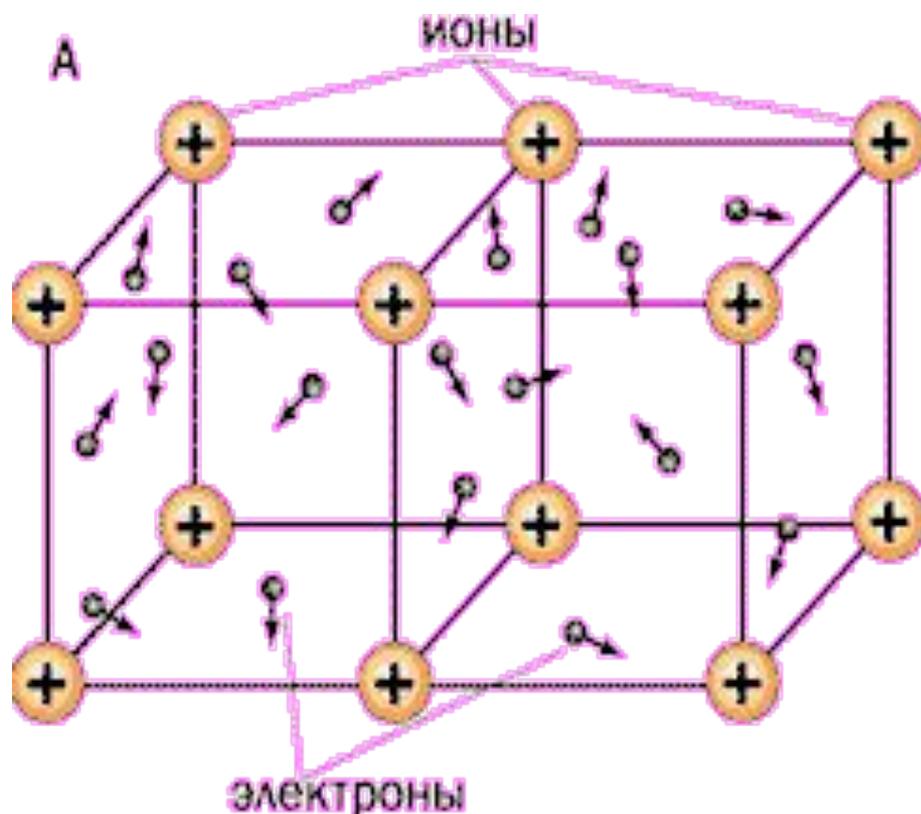
## Ионный кристалл



Температура плавления  $\approx 800\text{ }^\circ\text{C}$

## Металлическая связь

Металлическая связь осуществляется электронами, принадлежащими всем атомам одновременно.



Электронная плотность делокализована - «электронный газ».

Характерный металлический блеск

Пластичность

Ковкость

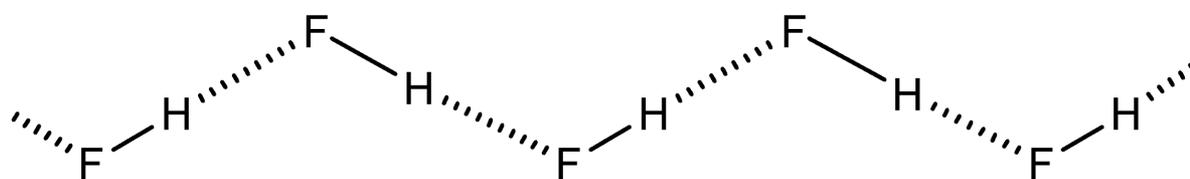
Высокие тепло- и электропроводность

Температуры плавления очень разные.

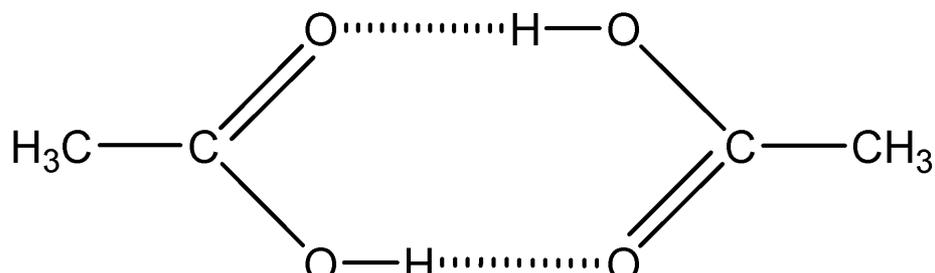
# Межмолекулярные связи.

## 1. Водородная связь

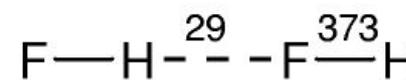
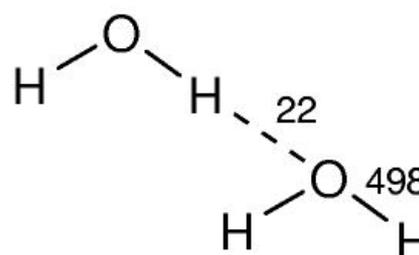
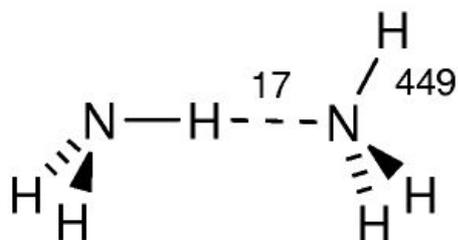
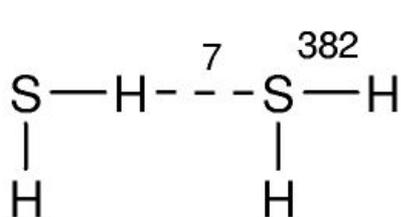
**Притяжение** между атомом водорода (+) одной молекулы и атомом F, O, N (–) другой молекулы



Полимер  
(HF)<sub>n</sub>



Димер  
уксусной кислоты

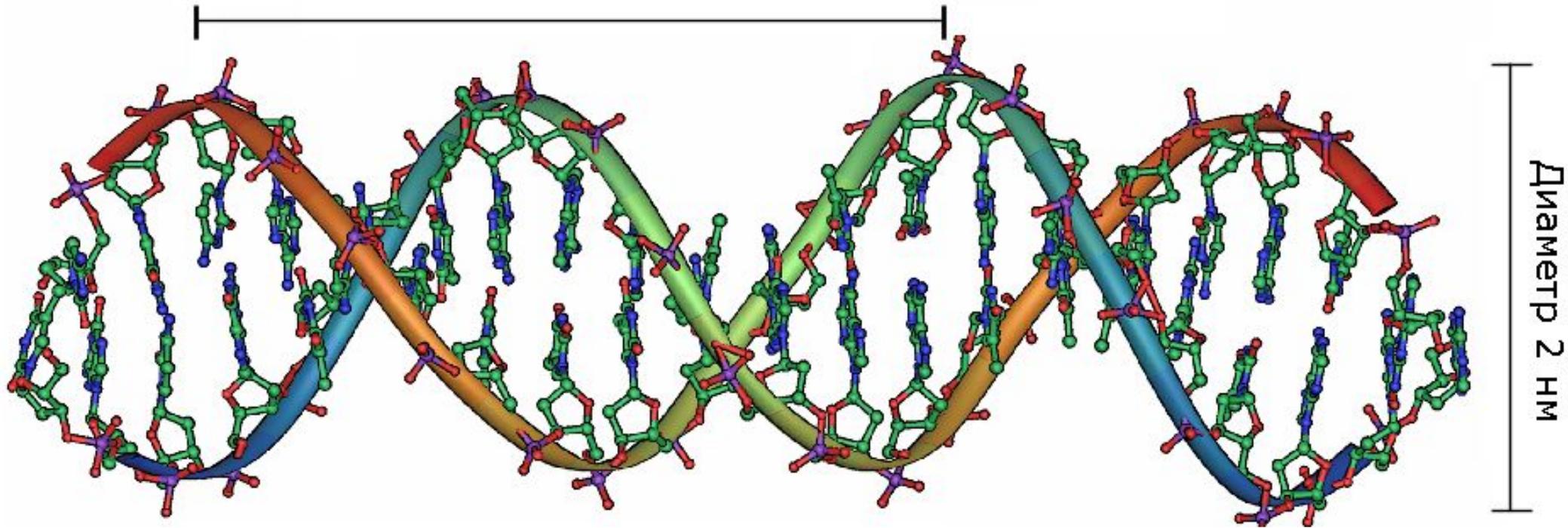


Водородные связи **слабы индивидуально**,  
но **сильны коллективно**

# Межмолекулярные связи.

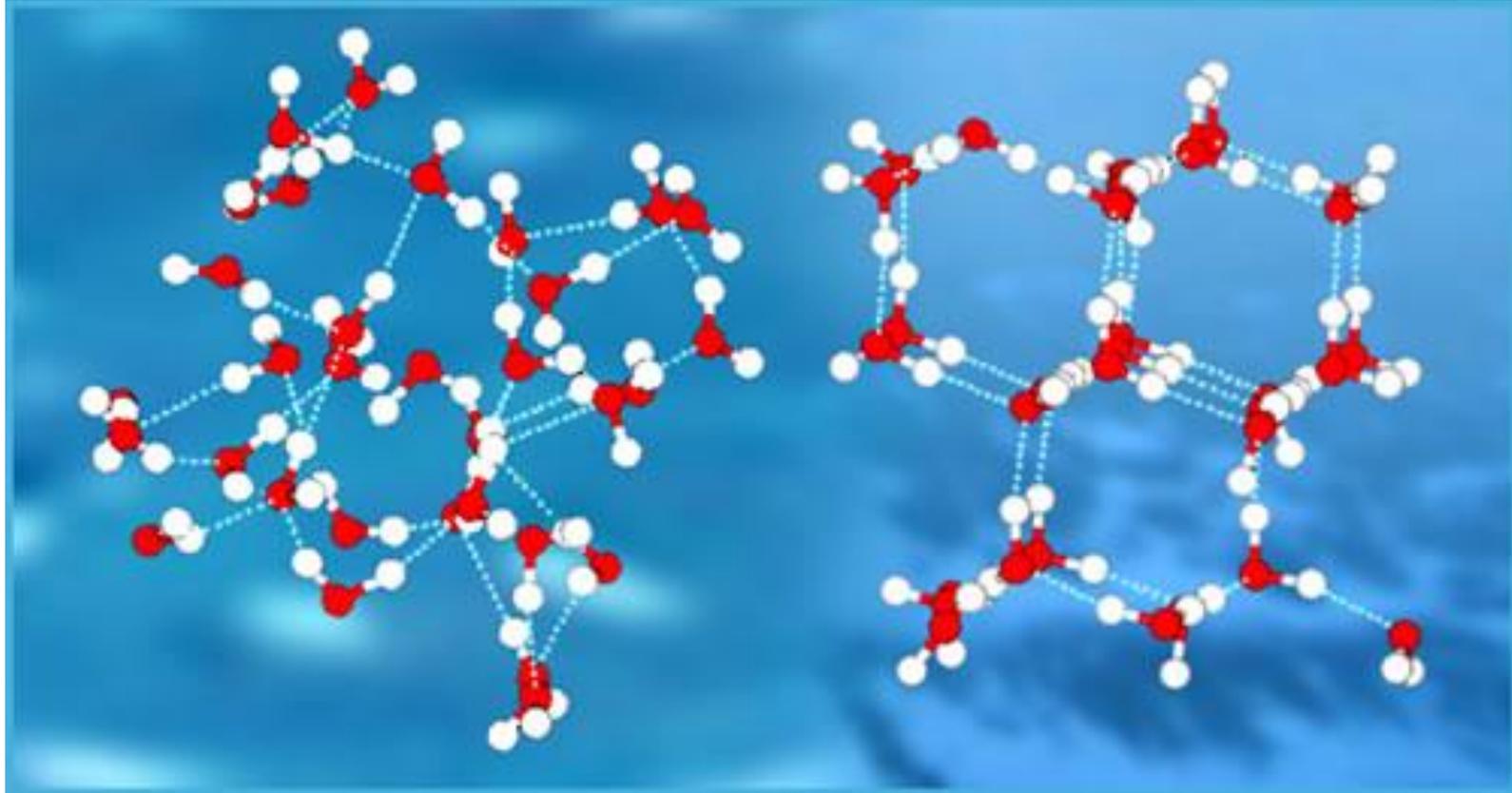
## 2. Водородная связь в ДНК

1 виток спирали - 10 пар оснований - 3,4 нм



# Межмолекулярные связи.

## 3. Водородные связи в воде

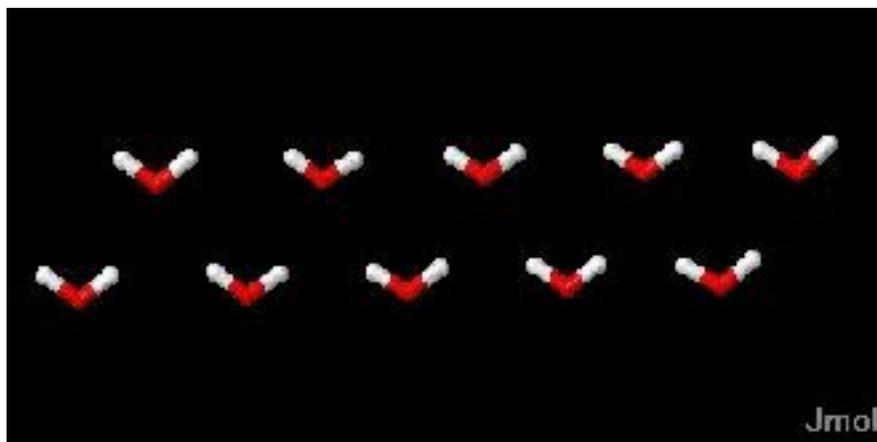


жидкая вода

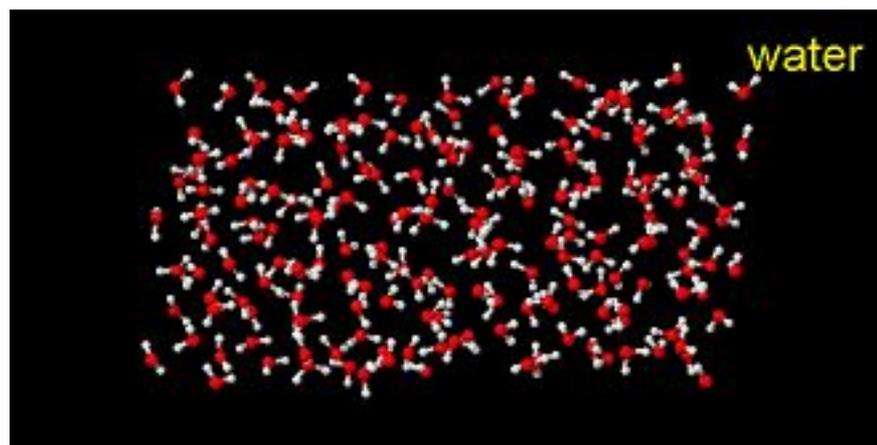
лед

# Межмолекулярные связи.

## 4. Образование водородных связей в воде



жидкая вода



превращение  
воды в лед

# Межмолекулярные связи.

## 5. Ван-дер-ваальсовы связи

Даже если между молекулами нет водородных связей, молекулы **всегда притягиваются** друг к другу.

**Притяжение** между молекулярными диполями называют **ван-дер-ваальсовой связью**.

В-д-в притяжение тем сильнее, чем больше:

1) полярность; 2) размер молекул.

Пример: метан ( $\text{CH}_4$ ) – газ, бензол ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) – жидкость

Одна из самых слабых в-д-в связей – между молекулами  $\text{H}_2$  (т. пл.  $-259^\circ\text{C}$ , т. кип.  $-253^\circ\text{C}$ ).

Взаимодействие между молекулами во много раз слабее связи между атомами:

$$E_{\text{ков}}(\text{Cl}-\text{Cl}) = 244 \text{ кДж/моль}, E_{\text{вдв}}(\text{Cl}_2-\text{Cl}_2) = 25 \text{ кДж/моль}$$

но именно оно обеспечивает существование жидкого и твердого состояния вещества

**В лекции использованы материалы профессора  
химического факультета МГУ им. Ломоносова  
Еремина Вадима Владимировича**

**Спасибо  
за внимание!**