

# АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

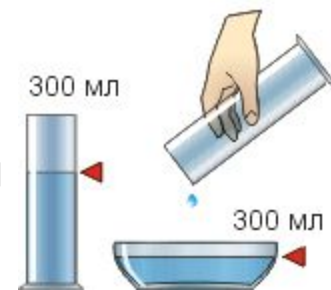
Ф<sup>изическая</sup> ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ. ЛЕКЦИЯ 2.

# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.3. Жидкое состояние вещества

### 1.3.1. Основные понятия

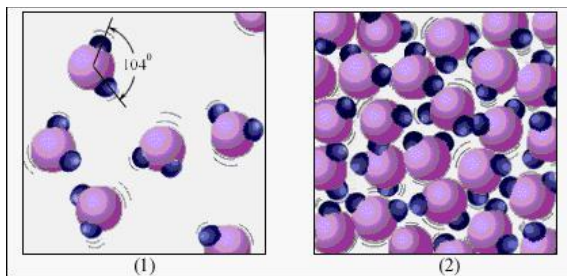
- Жидкое агрегатное состояние является промежуточным между твердым и газообразным
- Жидкости имеют собственный объем
- Жидкости принимают форму сосуда, в котором находятся



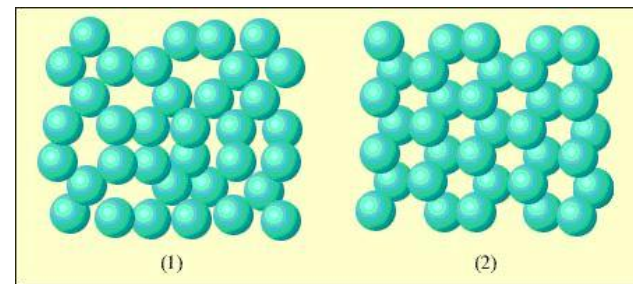
# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.3. Жидкое состояние вещества

- Близко расположенные молекулы жидкости могут образовывать упорядоченные структуры, содержащие несколько молекул. Это состояние называется **ближним порядком**.
- **Ближний порядок** — это упорядоченность во взаимном расположении атомов или молекул в веществе, которая повторяется лишь на расстояниях, соизмеримых с расстояниями между частицами, то есть **ближний порядок есть закономерность в расположении соседних частиц**.



Структура воды: (1) –водяной пар; (2) – жидкая вода



Пример ближнего порядка молекул жидкости и дальнего порядка молекул кристаллического вещества: (1) –жидкая вода; (2) – лёд (твердое тело)

# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.3. Жидкое состояние вещества

---

Факторы, влияющие на поведение жидкости:

□ **Химическая природа жидкости**

- В неполярных жидкостях взаимодействия между молекулами слабые, поэтому по свойствам они ближе к газам
- В полярных жидкостях сильны взаимодействия между молекулами, поэтому такие жидкости по строению и свойствам ближе к твердым телам

□ **Внешние условия, в частности, температура**

- Чем ниже температура и чем ближе температура жидкости к температуре ее кристаллизации, тем больше степень упорядоченности частиц и тем ближе свойства жидкости к свойствам твердых веществ
- Чем выше температура и чем ближе она к температуре кипения, тем больше сходства в поведении жидкостей и газов

# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.3. Жидкое состояние вещества

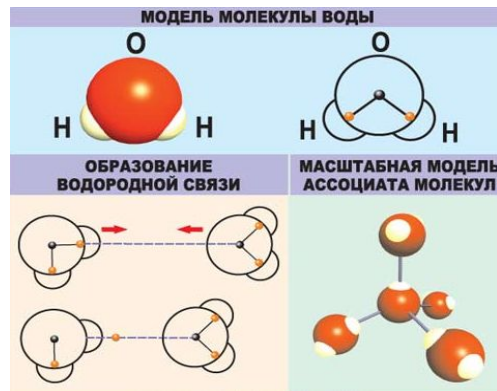
---

Типы связей в жидкостях между молекулами:

### □ Ван-дер-Ваальсовы взаимодействия

- ориентационные силы (диполь-дипольные взаимодействия)
- дисперсионные силы (взаимодействия между неполярными молекулами)
- индукционные силы (взаимодействия между полярной и неполярной молекулами)

### □ Водородные связи



# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.3. Жидкое состояние вещества

---

### 1.3.2. Свойства жидкостей

1. **Плотность** – масса единицы объема жидкости при данной температуре

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Плотность жидкостей в сотни и тысячи раз больше, чем плотность газов

С увеличением температуры плотность всех жидкостей уменьшается (исключение – вода)

$$\rho_t = \rho_0(1 - kt)$$

Аномалии воды!!!

# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.3. Жидкое состояние вещества

---

### 2. Молярный объем жидкости

$$V_M = \frac{M}{\rho}$$

Для разных жидкостей молярный объем различен!!!

Например: для воды

$$V_M = \frac{18 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}}}{1000 \frac{\text{Г}}{\text{Л}}} = 0,018 \frac{\text{Л}}{\text{МОЛЬ}}$$

# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.3. Жидкое состояние вещества

---

3. **Поверхностное натяжение** – это энергия, необходимая для образования новой поверхности.

$\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения

$$\sigma = \frac{A}{S} \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2}; \frac{\text{Н}}{\text{м}} \right]$$

A – работа, Дж

S – площадь поверхности, м<sup>2</sup>

- Зависит от природы жидкости, природы граничащего с ней тела, температуры, наличия примесей в жидкости.
- Уменьшается с увеличением температуры и при добавлении поверхностно-активных веществ (ПАВ)

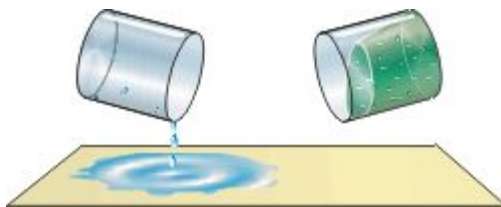


# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.3. Жидкое состояние вещества

---

4. **Текучесть** - способность изменять форму за малое время под действием даже малой силы. Благодаря этому свойству все жидкости льются в виде струй, разбрызгиваются каплями, принимают форму того сосуда, в который их нальют.



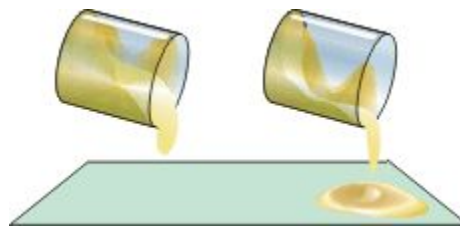
Текучесть – величина, обратная вязкости.

# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.3. Жидкое состояние вещества

---

5. **Вязкость** (внутреннее трение, сопротивляемость течению) – это сопротивление, возникающее внутри жидкости при перемещении с различными скоростями одних слоев ее относительно других.



Вязкость – термодинамическое свойство текучего тела.

Вязкость жидкости уменьшается с увеличением температуры (исключение – вода).

Вязкость имеет важное значение в решении производственных вопросов, связанных с транспортировкой текучих материалов по трубопроводам, с перемешиванием жидкостей и газов, с движением судов, самолетов и т.п.

# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.3. Жидкое состояние вещества

---

- **Динамическая вязкость** (коэффициент внутреннего трения)  $\mu$

$$\mu = \frac{F \cdot l}{S \cdot v} \quad [\text{Па} \cdot \text{с}] = [10\text{Пз}] = [10^3 \text{сПз}]$$

F – сила сопротивления сдвигу, Н

l – расстояние, l = 1 м

S – площадь поверхности, S = 1 м<sup>2</sup>

v – скорость, v = 1 м/с

$$1 \text{ Пз} = 0,1 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

- **Кинематическая вязкость**  $\nu$  – отношение динамической вязкости жидкости к ее плотности

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \left[ \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right] = [10^4 \text{СТ}]$$

# 1. Учение об агрегатных состояниях

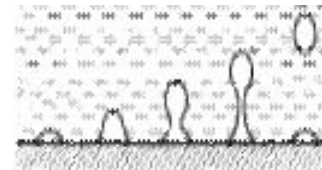
## 1.3. Жидкое состояние вещества

### 1.3.3. Парообразование

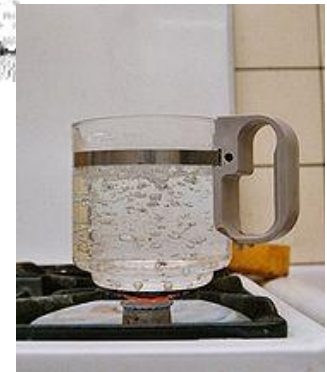
- Парообразование – переход вещества в газообразное состояние.
- Для жидкостей различают две формы парообразования: испарение и кипение.
- При **испарении** пар образуется только на свободной поверхности жидкости.
- **Кипение** – это процесс испарения жидкости, протекающий во всем её объеме.



Испарение



Кипение

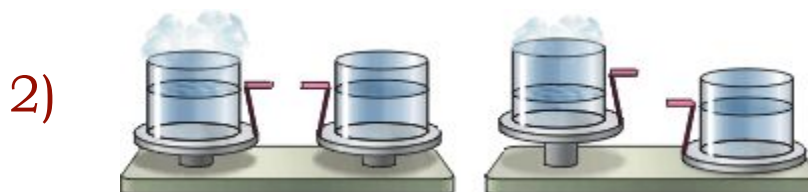
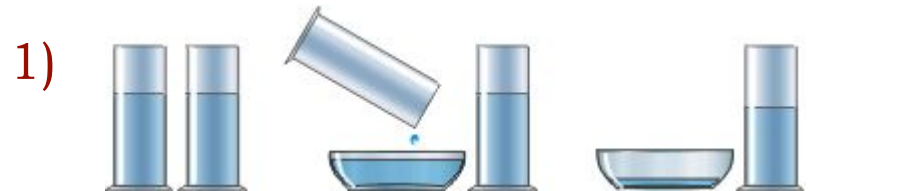


# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.3. Жидкое состояние вещества

□ На скорость парообразования влияют:

- 1) площадь свободной поверхности
- 2) температура жидкости
- 3) плотность пара над поверхностью, с которой происходит парообразование
- 4) природа жидкости

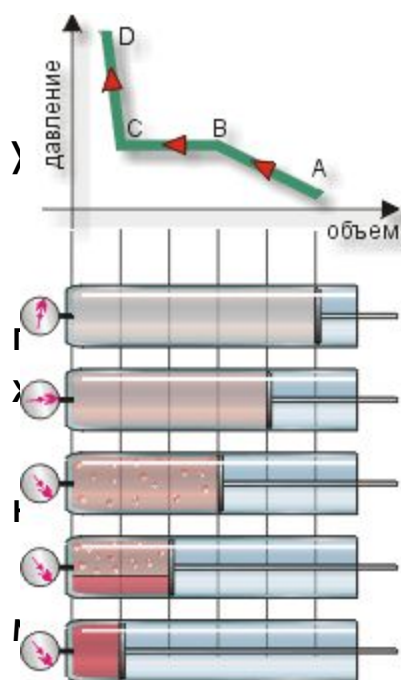


# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.3. Жидкое состояние вещества

### 1.3.4. Конденсация

- **Конденсацией** называется переход вещества из газообразного состояния в жидкое или твердое (конденсированное состояние)



«а А – вещество в газообразном состоянии

– объем газа уменьшается, давление газа  
линдре только газ

«а В – начинается конденсация газа

– объем уменьшается, давление постоянно,  
сация газа, образуется жидкость, в цилиндре  
нный пар

«а С – конденсация закончилась, в цилиндре  
идкость

– давление увеличивается, объем почти не  
сопротивляется сжатию

# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.3. Жидкое состояние вещества

### □ Давление насыщенного пара

Газ, находящийся в термодинамическом равновесии со своей жидкостью, называется **насыщенным паром**.

Слово "насыщенный" подчеркивает, что при данной температуре этот пар не может содержать большее число молекул, то есть иметь бóльшую плотность.

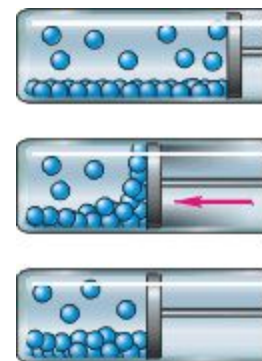
На участке ВС в цилиндре одновременно сосуществуют газ и жидкость (см. слайд 12).

Их температура и давление одинаковы.

Это давление не зависит от количества жидкости и газа.

Вдвигая поршень, мы на мгновение увеличиваем давление газа около поршня, что способствует переходу части молекул в жидкость, и давление вновь становится прежним.

В этом случае говорят, что в цилиндре наблюдается *термодинамическое равновесие*.



# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.3. Жидкое состояние вещества

---

- **Давление насыщенного пара** – одна из характеристик вещества.

[http://www.youtube.com/watch?v=JL6zKYOg\\_ec](http://www.youtube.com/watch?v=JL6zKYOg_ec)

- Для различных веществ это давление, как правило, различно.
- Вещества с малым значением давления насыщенного пара при нормальных условиях являются твердыми или жидкими; с большим значением – газообразными. При средних значениях вещество является либо легкоиспаряющейся жидкостью, либо легко сжижающимся газом.

Вещество	Давление насыщенного пара, кПа, при 20 °С
Ртуть	0,0002
Вода (при 0 °С )	2,3
Вода (при 100 °С )	101,3
Этанол	5,9
Фреон	570



# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.3. Жидкое состояние вещества

---

- **Давление насыщенного пара растет с ростом температуры**

Вещество	Давление насыщенного пара, кПа
Вода (при 0°С )	2,3
Вода (при 100 °С )	101,3

- **Кипение жидкости характеризуется равенством давления насыщенного пара и внешнего давления**

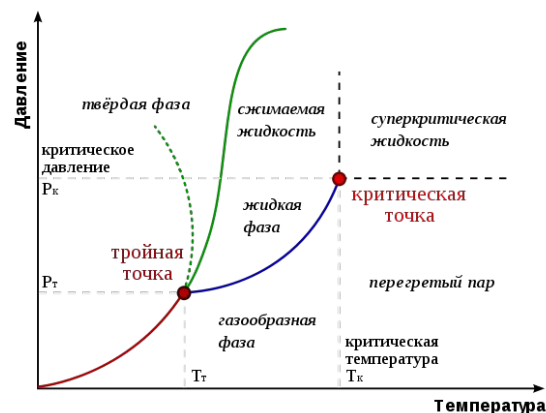
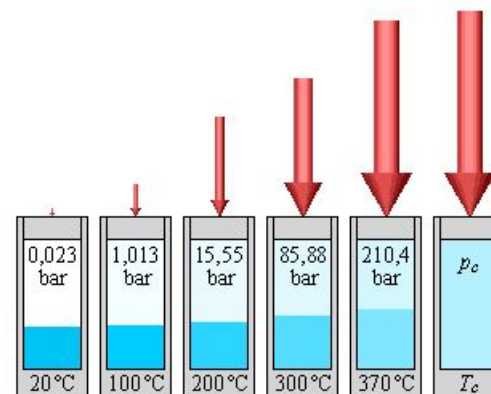
Вещество	Давление насыщенного пара, кПа	Внешнее давление, кПа
Вода (при 100 °С )	101,3	101,3

# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.3. Жидкое состояние вещества

Зависимость температуры кипения от внешнего давления и от давления насыщенного пара:

- с ростом внешнего давления температура кипения увеличивается;
- давление насыщенного пара всегда растёт с ростом температуры;
- увеличивая внешнее давление, можно повышать температуру кипения, но лишь до определённого предела — критической температуры и критического давления, выше которых исчезает граница раздела жидкой и газообразной фазы (флюидная жидкость).
- Критическая точка воды:  $T=647\text{K}$ ,  $p=218,3\text{ бар}$



# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.4. Твёрдое агрегатное состояние

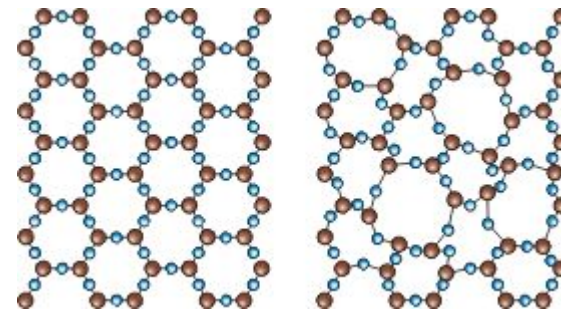
---

- Твёрдое вещество имеет собственную форму и оказывает сопротивление всякому действию, направленному на изменение формы
- Высокая упорядоченность частиц (дальний порядок)
- Дальний порядок — это упорядоченность во взаимном расположении атомов или молекул в веществе, которая повторяется на неограниченно больших расстояниях.
  
- Твердые вещества могут находиться в двух состояниях:
  - кристаллическом
  - аморфном

# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.4. Твердое агрегатное состояние

- **Кристаллические вещества:**
  - определенная и четко выраженная температура плавления
  - определенная геометрическая форма кристаллов (кристаллическая решетка)
- **Аморфные вещества:**
  - нет определенной и четко выраженной температуры плавления (при нагревании постепенно размягчаются, становятся все более текучими).
  - даже при невысоких температурах обладают текучестью, поэтому их можно рассматривать как очень густые и вязкие жидкости.
  - не имеют строгого порядка в расположении частиц
  - с течением времени самопроизвольно переходят в кристаллическое состояние



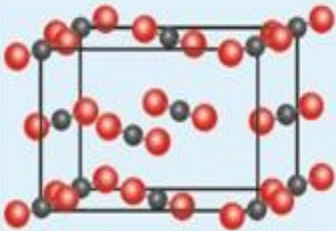
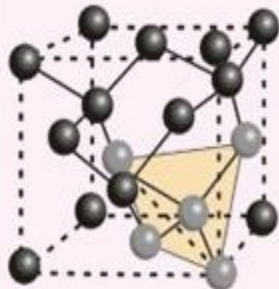
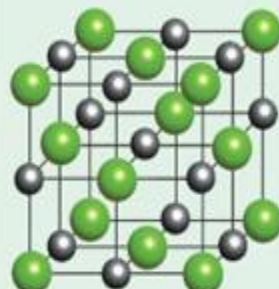
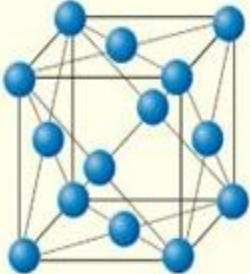





На левом рисунке изображено расположение частиц в кристаллическом кварце ( $\text{SiO}_2$ ), а на правом – в аморфном кварце ( $\text{SiO}_2$ ).

Эти вещества состоят из одних и тех же частиц – атомов кремния и кислорода.

# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.4. Твердое агрегатное состояние

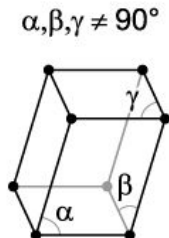
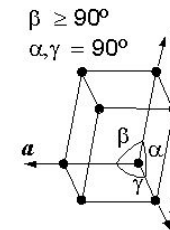
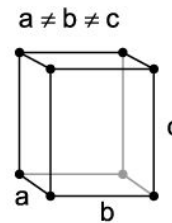
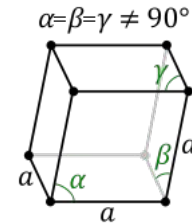
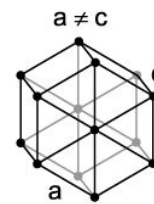
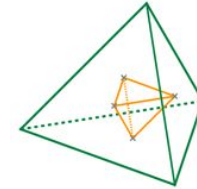
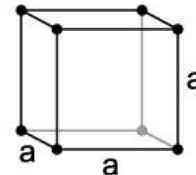
### Типы кристаллических решеток:

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ	АТОМНЫЕ	ИОННЫЕ	МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ
<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>C</b>	<b>NaCl</b>	<b>Cu</b>
			
Углекислый газ			
			
$t_{\text{кип}} -78^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{пл}} 3500^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{кип}} 4200^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{пл}} 801^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{кип}} 1465^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{пл}} 1083^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{кип}} 2567^{\circ}\text{C}$
Твердая двуокись углерода	Алмаз	Галит	Медь
			

# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.4. Твердое агрегатное состояние

- ❑ Кристалл – твердое тело, состоящее из упорядоченных, периодически повторяющихся в пространстве частиц
- ❑ Наименьшей структурной единицей кристалла является элементарная ячейка
- ❑ Частицы размещаются в ней согласно принципу наиболее плотной упаковки, при которой остается наименьшее по объему свободное пространство между этими частицами
- ❑ Основные элементарные ячейки:
  - 1) Кубическая
  - 2) Тетрагональная или тетраэдрическая
  - 3) Гексагональная
  - 4) Ромбоэдрическая или тригональная
  - 5) Ромбическая
  - 6) Моноклинная
  - 7) Триклинная



# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.4. Твердое агрегатное состояние

---

- Физические свойства кристаллических тел (такие, как прочность на разрыв, эластичность, тепло- и электропроводность, светопроницаемость и т.д.) неодинаковы в различных направлениях, но совпадают в параллельных направлениях.
- Такое свойство тел называется **анизотропностью**.

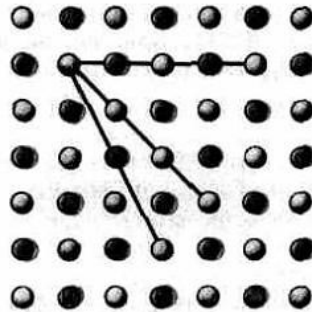


Рис. 102

- Свойства аморфных тел однородны во всех направлениях, т.е. аморфные тела **изотропны**.

# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.4. Твердое агрегатное состояние

---

- Кристаллические тела делятся на *монокристаллы* и *поликристаллы*.
- ▣ **Монокристаллы** (монолитные, единые кристаллы) обладают периодически повторяющейся внутренней структурой во всем его объеме.



- Монокристаллы германия, кремния и др. используют для изготовления полупроводниковой аппаратуры
- Монокристаллы кварца, германия, фторида лития и др. используют в оптических узлах многих приборов.
- Монокристаллы алмаза используют при обработке особо твёрдых материалов
- Украшения – бриллианты, топазы, сапфиры, рубины и др.
- ▣ **Поликристаллическое тело** представляет собой совокупность сросшихся друг с другом хаотически ориентированных маленьких кристаллов — кристаллитов.
- ▣ Каждый маленький монокристалл поликристаллического тела анизотропен, но поликристаллическое тело изотропно.



# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.4. Твердое агрегатное состояние

---

- ❑ Кристаллогидраты солей – твердые соли, в состав ионных кристаллов которых входят молекулы воды
- ❑ Кристаллогидраты солей различаются по количеству кристаллизационной воды и по характеру связи молекул воды с другими частицами, составляющими кристалл (координационная, водородная связи)
- ❑  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,
- ❑ Образование кристаллогидратов всегда сопровождается выделением теплоты
- ❑ Молекулы воды могут связываться как с катионами, так и с анионами

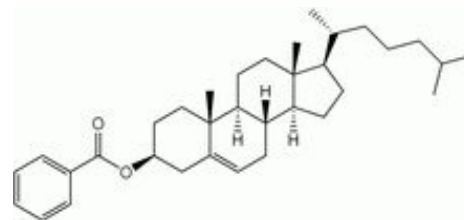
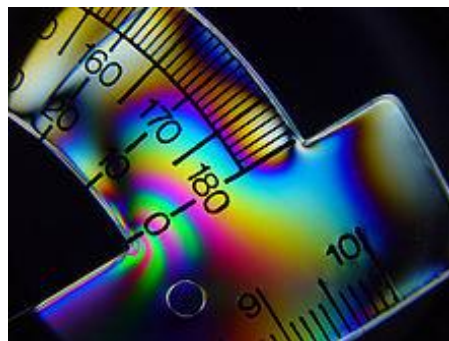


Кристалл  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

# 1. учение об агрегатных состояниях

## 1.5. Жидкокристаллическое состояние вещества

- Жидкокристаллическим (мезоморфным) состоянием вещества называется такое состояние, свойства которого являются промежуточными между свойствами твердого кристалла и жидкости.
- Жидкие кристаллы сочетают в себе свойства как твердых кристаллических тел (наличие дальнего ориентационного порядка, оптические свойства – рассеяние, поляризация и преломление света, анизотропия), так и жидкостей (проявление текучести, вязкости)
- Жидкие кристаллы - особое состояние некоторых органических веществ, в котором они обладают текучестью и свойством образовывать пространственные структуры, подобные кристаллическим.
- Холестерилбензоат, плавится при  $145^{\circ}\text{C}$  с образованием мутного расплава, имеющего жидкокристаллическую структуру; при  $179^{\circ}\text{C}$  становится настоящей прозрачной жидкостью.



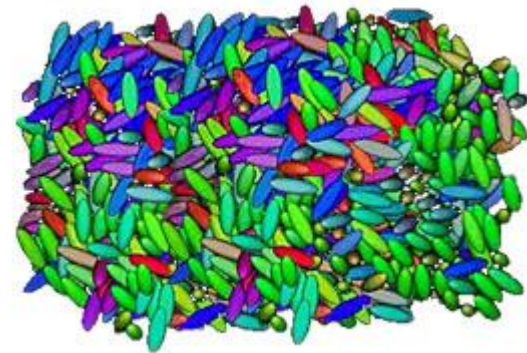
# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.5. Жидкокристаллическое состояние вещества

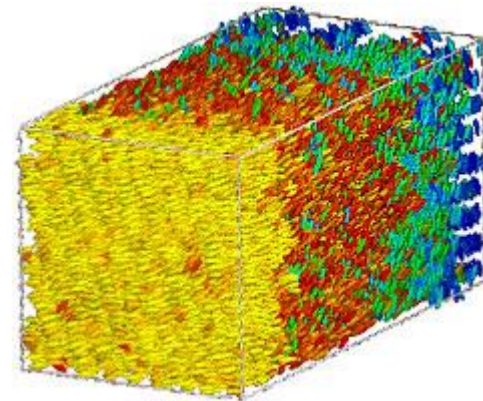
---

Жидкие кристаллы образуются в веществах с продолговатой формой молекул, взаимная ориентация которых обуславливает анизотропию (т.е. неодинаковость) их физических свойств.

Жидкие кристаллы могут изменять свою структуру и светооптические свойства под действием электрического напряжения.



Обычная вода, свойства которой во всех направлениях одинаковы

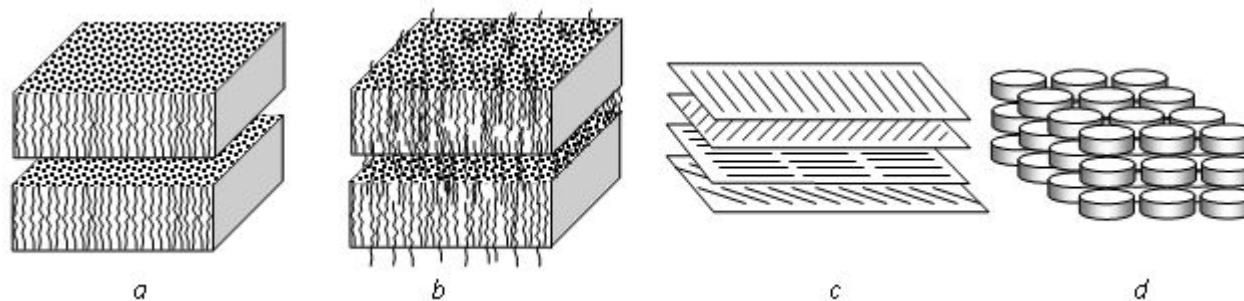


Жидкий кристалл, ориентационное упорядочение

# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.5. Жидкокристаллическое состояние вещества

- В зависимости от способа ориентации молекул в пространстве жидкие кристаллы делят на четыре класса: нематики, смектики, холестерики и дискотики.
- У *нематических жидких кристаллов* оси молекул ориентированы параллельно друг другу. Молекулы располагаются послойно, направление осей молекул перпендикулярно слоям (рис. а).
- Молекулы *смектиков* также располагаются перпендикулярно слоям (рис. b), однако некоторая часть молекул частично располагается в соседних слоях.
- У *холестериков* (рис. c) молекулы также располагаются послойно, но оси молекул ориентированы параллельно плоскостям, в которых они лежат, и направление молекул изменяется по винтовой линии при переходе от одного слоя к другому.
- У *дискотиков* (рис. d) длинные молекулы свиваются в клубочки в форме дисков (таблеток).



# 1. учение об агрегатных состояниях

## 1.5. Жидкокристаллическое состояние вещества

- Жидкие кристаллы изменяют свои физические свойства под действием различных физических факторов (температуры, электрических и магнитных полей, механических напряжений, излучения), что широко используется в современных устройствах и технологиях:
  - индикаторные устройства (электроника, часы, мобильные телефоны);
  - жидкокристаллические экраны мониторов, телевизоров, табло и т.п.;
  - термометры, термоскопы, устройства, сигнализирующие о превышении температуры;
  - термокраски (для сигнализации о перегреве поверхности);
  - для сигнализации о химической опасности

### Устройство сигнализации химической опасности

- Принцип действия таких устройств основан на способности молекул жидких кристаллов вступать во взаимодействие с некоторыми химическими веществами, образуя более крупные молекулы. Этот процесс сопровождается изменением окраски тонких жидкокристаллических пленок.
- Устройство представляет собой табло нейтрального цвета, на котором изображен сигнал опасности с помощью жидкокристаллического вещества. Если концентрация вредного вещества (например, толуола) невелика, пленка жидкого кристалла также имеет нейтральную окраску. Когда концентрация толуола в воздухе превысит предельно допустимую, надпись на табло окрашивается в красный цвет.



# 1. Учение об агрегатных состояниях

## 1.6. Плазма

---

- Плазма — частично или полностью ионизированный газ, в котором плотности положительных и отрицательных зарядов практически одинаковы
- Основные свойства плазмы – высокая температура (от  $10^3$  до  $10^9$  К) и электропроводность, обусловленные интенсивным движением свободных заряженных частиц.



Плазменная лампа



Плазма Солнца

- Применяют плазму при горячей обработке металлов (плазменная сварка); для осуществления эндотермических реакций, которые не могут идти в других условиях (синтез NO, получение водорода из природного газа) и др.