

# Деформация

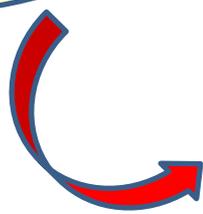
Неупругая  
(необратимая)

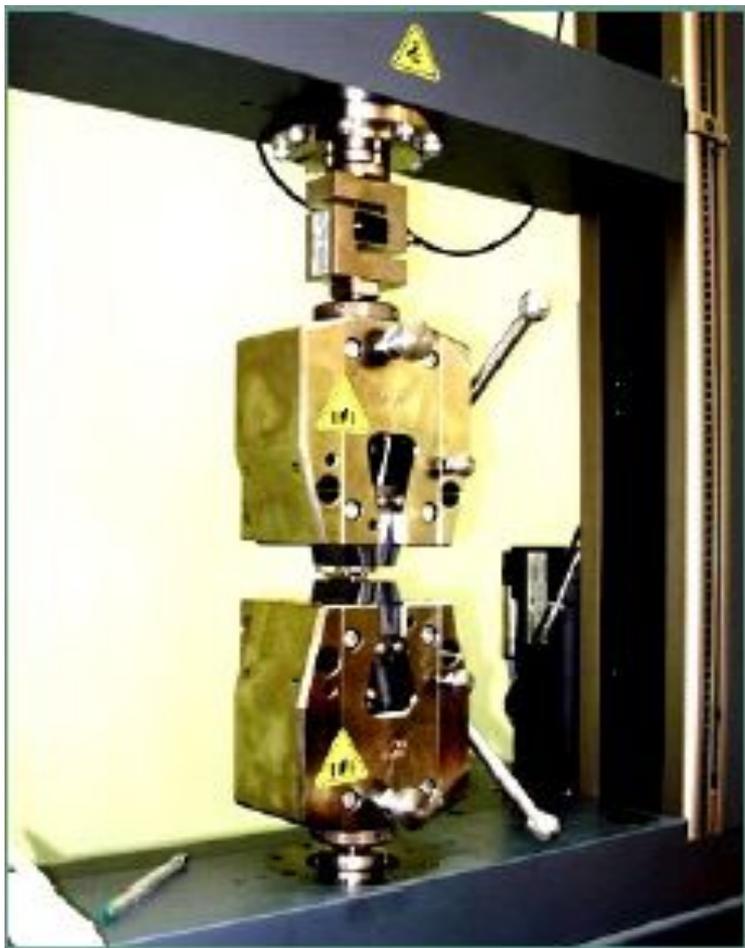
Упругая  
(обратимая)

Пластическая  
(действие нагрузки)

Ползучесть  
(действие времени)

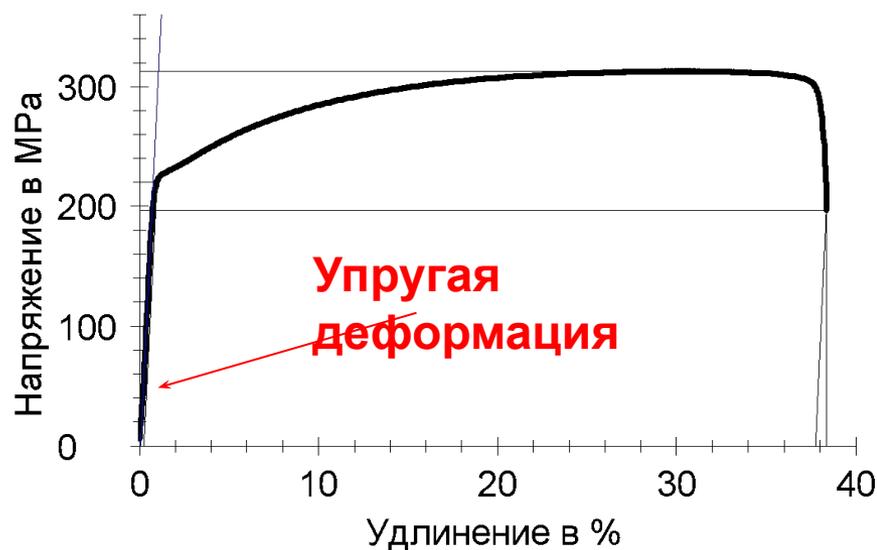
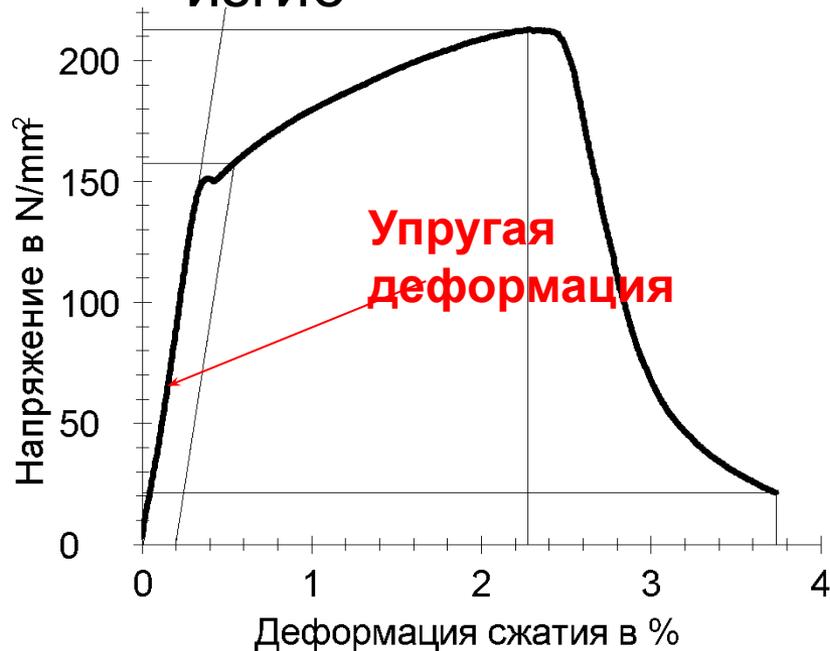
Причина:  
Атомы выходят  
за  
пределы связей





Испытание  
на  
растяжение

## Испытание на изгиб



# Упругая деформация (з-н Гука)

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{F}{S} E$$

- Относительное удлинение (сжатие) пропорционально приложенной силе  $F$  и коэффициенту растяжения (сжатия)  $E$ , обратно пропорционально площади сечения  $S$ .

Коэффициент растяжения (сжатия) – модуль Юнга – тензор

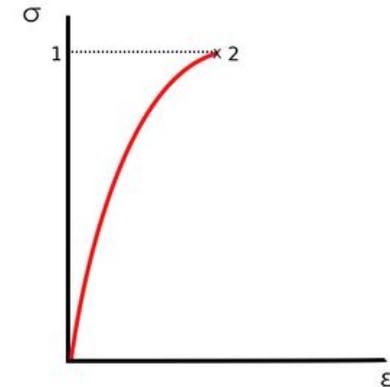
Коэффициент **Пуассона** — частное от деления относительного поперечного сжатия к относительному продольному растяжению. – **НЕТ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕОМЕТРИИ МАТЕРИАЛА.**

## Хрупкое разрушение

**Хрупкость** - способность разрушаться без заметных остаточных деформаций.

Хрупкость — Пластичность

**Температура**



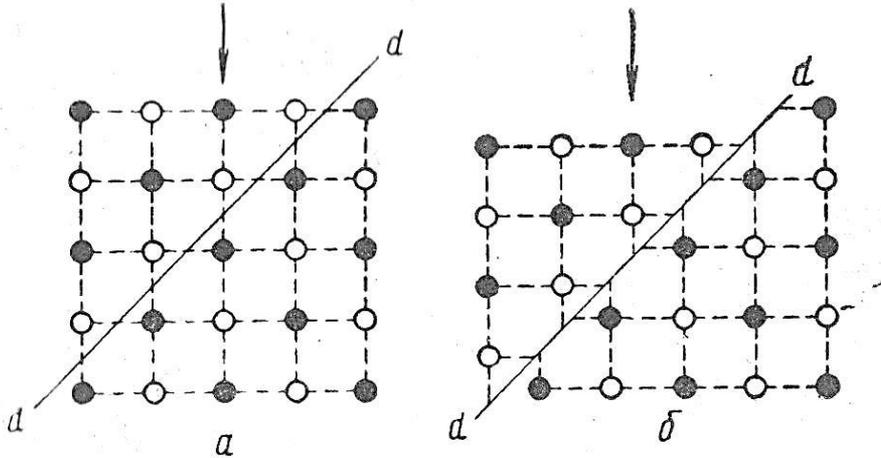
**Ковкость** — способность <sup>↑</sup> подвергаться деформации под давлением и ударом (ковка, прокатка, волочение, прессование). Ковкость зависит от высокой пластичности, то есть способностью металла подвергаться деформации под давлением без разрушения, и низким сопротивлением деформации.

Ковкие металлы: сталь, латунь, дюралюминий, некоторые медные, алюминиевые, магниевые, никелевые сплавы.

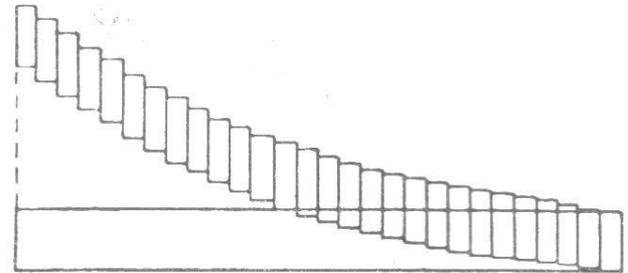
# Вязкость

**Вязкость** — свойство текучих тел оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. В результате работа, затрачиваемая на это перемещение, рассеивается в виде тепла.

Как это? Механизм – скольжение или образование



Скольжение вдоль плоскости (110).



Изгиб кристалла в результате скольжения

# Излом

## Описание поверхности, образующийся при расколе

- **крючковатый**;
- **раковистый** — визуально излом напоминает [ракушку](#);
- **неровный** — чередующиеся поверхности различной формы и размеров. Он характерен для минералов с несовершенной спайностью.
- **зернистый**;
- **оскольчатый**;
- **эластичный**
- **ступенчатый** — раскол происходит частично по спайности (ортоклаз), он характерен для [полевых шпатов](#);
- **занозистый** (волоknистый) — для игольчатых, столбчатых форм. Пример: [амфиболы](#);
- **шероховатый**;
- **рыхлый**;
- **землистый** — напоминает рыхлую почву. Пример: [каолинит](#), [глауконит](#);
- **волоknистый**;

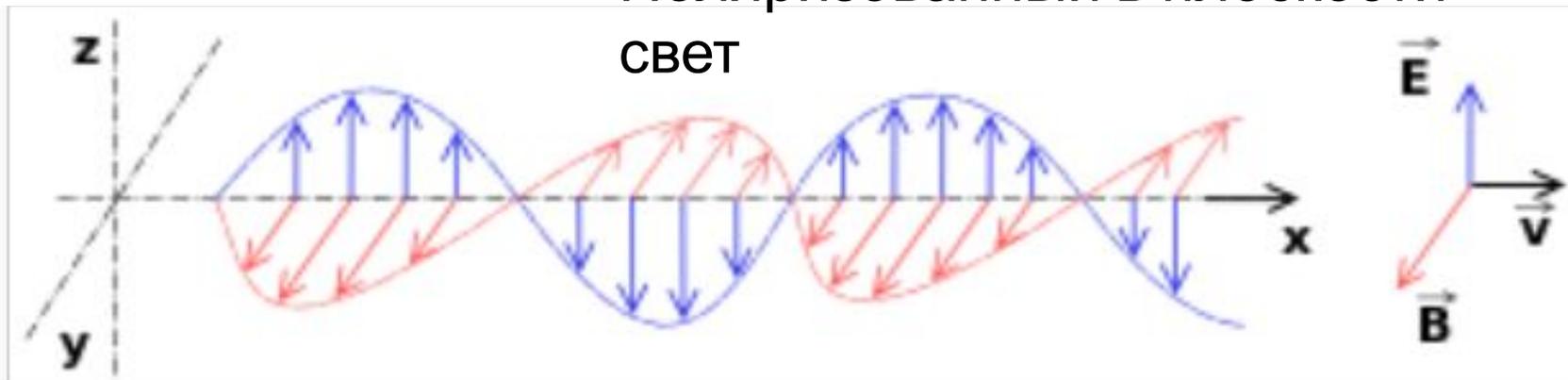


# Оптические свойства



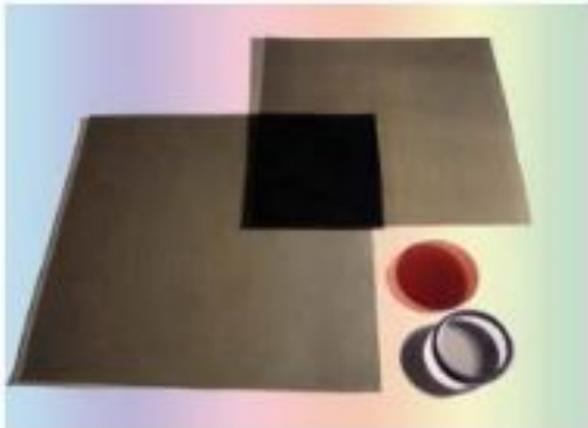
Видимый свет (естественный) – электромагнитная волна

Поляризованный в плоскости свет



# Поляроиды

ПОЛЯРОИДЫ, прозрачные пленки (полимерные, монокристаллические и др.), преобразующие неполяризованный свет в линейно поляризованный, т.к. пропускают свет только одного направления поляризации. Это свойство широко используется для ослабления интенсивности света в солнцезащитных очках переменной плотности, в автомобильных фарах, в фотографии для устранения бликов и т.п. Поляроиды изобретены американским ученым Э. Лэндом в 1932.

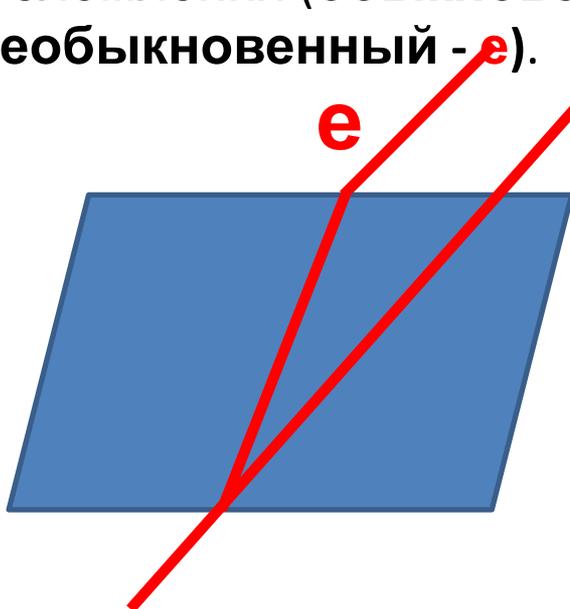


# Двупреломление

**Двойное лучепреломление** — эффект расщепления в анизотропной среде луча света на две составляющие. **Не наблюдается в кубических кристаллах.**

Впервые обнаружен датским учёным **Расмусом Бартолином** в 1669 г.

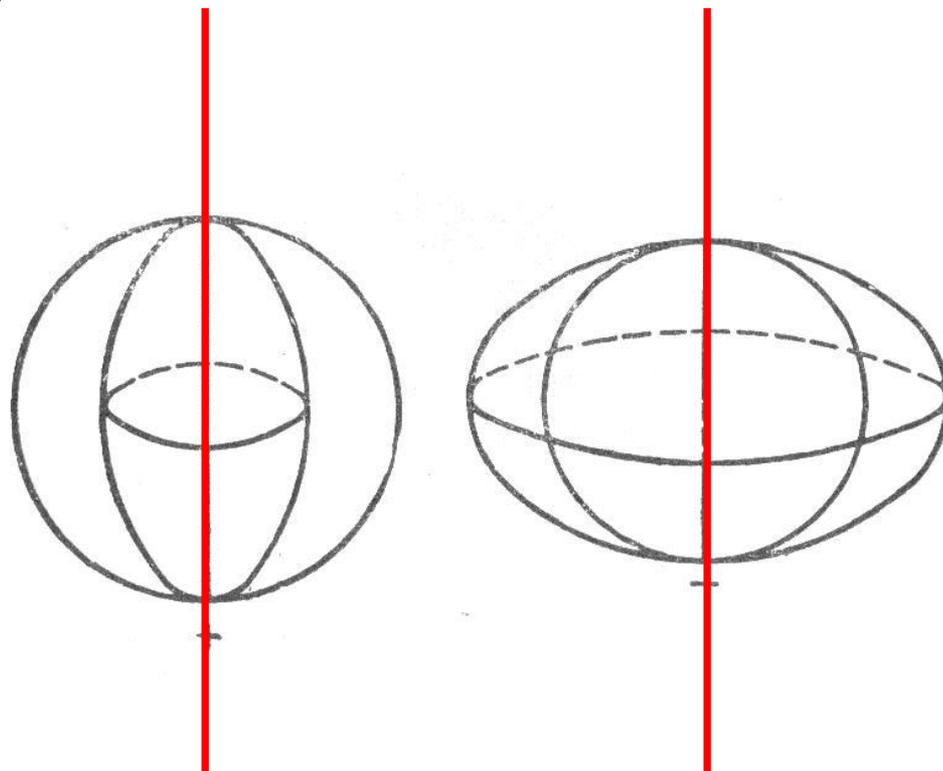
Если луч света падает перпендикулярно к поверхности кристалла, то на этой поверхности он расщепляется на два луча. Первый луч продолжает распространяться, слабо отклоняясь на границе раздела из-за показателя преломления (**обыкновенный - O**), а второй отклоняется в сторону (**необыкновенный - e**).



$\epsilon$  - тензор!

# Поверхности световых волн для кристаллов средней категории – вписанные сфера и эллипс

О – по сфере,  
Е – по эллипсу,  
Эти волны поляризованы в  
Перпендикулярных  
плоскостях



**Оптическая ось** кристалла — направление в оптически анизотропном кристалле, по которому луч света распространяется, не испытывая двойного лучепреломления.

# Блеск

**Металлический** ( $n > 3$ ), минерал не прозрачен, черта черная или темная (пирит).

**Полуметаллический** ( $n = 2.6 - 3$ ), минерал полупрозрачен в тонком слое (киноварь).

$n = c/v$  – коэф.  
преломления



# Окраска

**Окраска** — свойство предметов отражать, переизлучать и рассеивать свет, определяющее их визуальное восприятие человеком.

Зависит от:

- соотношения прозрачности и коэффициента преломления,
- степени блеска,
- Фактуры и дисперсности, примесей и дефектов,
- Цветовой температуры

**Цветовая температура** — температура абсолютно черного тела (не обладающего отражательной способностью), испускающего излучение определенного цвета.

500° С – раскаленный металл;

1 700 ° С – яркая свеча;

5 000 ° С – солнце в полдень;

10 000 ° С – голубое небо зимой.

**Плеохроизм** — способность некоторых анизотропных кристаллов иметь различную окраску «на просвет» в различных направлениях.

Связано с тем, что лучи, поляризованные в разных плоскостях, поглощаются веществом кристалла различно.

**Цвет черты** – (тонкий слой), как правило, постоянен, а для массивного образца цвет может меняться.

Цвет черты иногда совпадает с цветом минерала ([киноварь](#), [малахит](#)), но нередко резко отличается от цвета минерала: например, зеленовато-чёрная черта у желтоватого [пирита](#).

# Побежалость

**Цвета побежалости** — радужные цвета, образующиеся на гладкой поверхности кристалла в результате формирования тонкой прозрачной поверхностной **оксидной пленки** (которую называют **побежалостью**) и интерференции света в ней. Чаще всего она появляется от термического воздействия.



# Люминесценция

**Люминесценция** — нетепловое свечение вещества.

Все явления свечения, не вызванные повышением температуры до степени накаливания (по Видеману).

**Причина** – неравновесное состояние возбуждения электронов в веществе. Под действием: света, радиоактивного и рентгеновского излучений, электрического поля, при химических реакциях и при механических воздействиях.

**Примеры** люминесценции — свечение гниющего дерева, некоторых насекомых, экрана телевизора.

По **длительности** — флуоресценция (кратковременная) и фосфоресценция (длительная).

По **механизму**: резонансная, спонтанная, вынужденная и рекомбинационная – зависит от способа создать возбужденное состояние электрона.

Вещества, способные люминесцировать, называются **люминофорами**.



### Выход люминесценции

**Квантовый** выход - отношение среднего числа излучённых квантов к числу поглощённых:

$$\varphi = \frac{N_i}{N_p}$$

**Энергетический** выход — отношение энергии излучённых квантов к энергии поглощённых:

$$B = \frac{N_i E_i}{N_p E_p} = \varphi \frac{\nu_i}{\nu_p}$$

Энергетический выход с ростом длины волны ( $\lambda \uparrow = E \downarrow = \nu \downarrow$ ) возбуждающего света сначала растёт, затем выходит на плато и после некоторой граничной длины волны резко падает вниз (закон Вавилова).

## Виды люминесценции

- Фотолюминесценция — под действием света (видимого и УФ-диапазона);
- Хемилюминесценция — использует энергию химической реакции;
- Катодолюминесценция — при облучении электронами (катодными лучами);
- Сонолюминесценция — вызвана звуком высокой частоты;
- Радиолюминесценция — при облучении потоком фотонов или элементарных частиц, вызывающим ионизацию;
- Триболюминесценция — вид фотолюминесценции, возникает при механических воздействиях (растирании, раздавливании или раскалывании) люминофоров. Вызывается электрическими разрядами, происходящими между наэлектризованными частями — излучение разряда вызывает фотолюминесценцию;
- Биолюминесценция — способность живых организмов светиться, достигаемая самостоятельно или с помощью симбионтов.
- Электрорюминесценция — возникает при пропускании электрического тока через определённые типы люминофоров.
- Кандолюминесценция — калильное свечение (при рекомбинации молекул-радикалов).
- Термолюминесценция — люминесцентное свечение при нагреве. |

**Триболюминесценция** — люминесценция, возникающая при разрушении кристаллических тел.

Причины:

- 1) возбуждение электрическими разрядами при раскалывании кристаллов;
- 2) движением дислокаций при деформации. К примеру, при раскалывании кристалла сахара получается красивая синеватая вспышка.

Пример триболюминесценции — эффект Коппа-Этчеллса (*Copp-Etchells effect*).

Один американский журналист заметил необычное свечение, возникающее при посадке или взлете вертолётa в пустыне из-за трения попастей вертолётa о частички песка и пыли в воздухе. Явление было



**Кристаллолюминесценция** - это испускание света при кристаллизации ионных кристаллов (бромат стронция).

Причина – возбуждение молекул при деформациях и (вторичный эффект) под действием ультразвуковых волн.

Спектры люминесценции при кристаллизации совпадают со спектрами фотолюминесценции этих же кристаллов, что свидетельствует об идентичности возбужденных состояний, хотя способы возбуждения различаются.

# Электролюминесценция

люминесценция, возбуждаемая  
электрическим полем.

Наблюдается в веществах- полупроводниках  
и кристаллофосфорах, атомы (или  
молекулы) которых переходят в  
возбуждённое состояние под воздействием  
пропущенного электрического тока или  
приложенного электрического поля.

Свечение вещества возникает под  
воздействием электромагнитного поля

**Применение:**

**В трубках для реклам,  
энергосберегающих лампах.**



# Законы люминесценции

1. Закон Стокса. Длина волны люминесценции больше длины волны возбуждающего излучения:  $\lambda_{\text{люм}} \geq \lambda_{\text{возб}}$ . Содержание закона Стокса было раскрыто Эйнштейном - часть энергии возбуждающего излучения трансформируется во внутреннюю энергию люминесцирующего тела. Нарушение закона Стокса указывает на возможность обратного перехода внутренней (тепловой) энергии тела в энергию излучения люминесценции. В этом энергетический смысл закона Стокса (Эйнштейн это показал с позиций квантовой теории).

2. Правило Ломмеля. Полоса излучения люминесценции в целом, а также максимум интенсивности в ней должны быть всегда смещены в красную сторону спектра по отношению к полосе поглощения и её максимуму. В отличие от закона Стокса правило Ломмеля относится не к отдельному элементарному акту, а к излучению в целом.

3. Два положения С.И. Вавилова определяют современную формулировку закона спектрального преобразования света в процессе люминесценции:

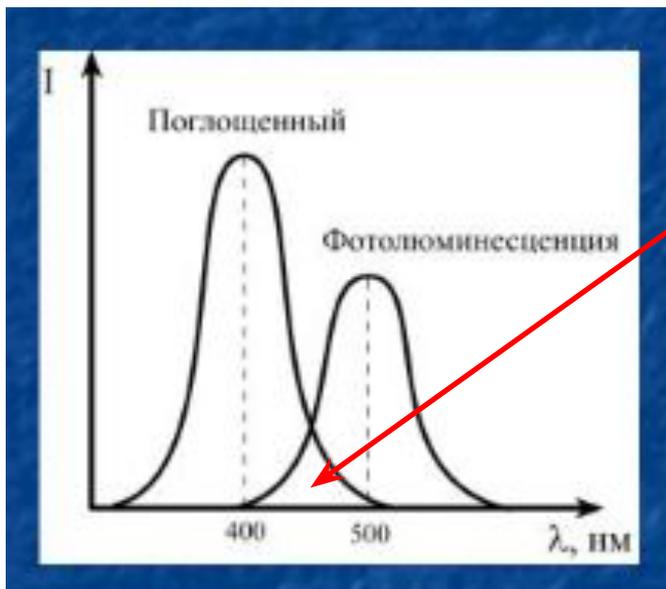
а). Энергетический выход люминесценции не может превышать 1:  $\eta_{\text{эн}} \leq 1$ ;

С.И. Вавилов также раскрыл спектральную зависимость выхода люминесценции:  $\eta_{\text{эн}} \sim \lambda_{\text{возб}}$  (с возрастанием  $\lambda_{\text{возб}}$   $\eta_{\text{эн}} \uparrow$ ).

б). При антистоксовом возбуждении, т.е. при  $\nu_{\text{возб}} < \bar{\nu}_{\text{люм}}$ , где  $\bar{\nu}_{\text{люм}}$  - среднее значение в полосе излучения,  $\eta_{\text{ЭН}}$  должен убывать с возрастанием  $\bar{\nu}_{\text{люм}} - \nu_{\text{возб}}$  и тем быстрее, чем ниже температура тела.

4. Закон Вавилова для фотолюминесценции растворов: квантовый выход люминесценции не зависит от длины волны возбуждающего света.

5. Правило зеркальной симметрии спектров поглощения и люминесценции Лёвшина. Лёвшин установил закономерность - нормированные (к одному максимуму) спектры поглощения и люминесценции в функции  $\nu$ , зеркально симметричны относительно прямой, перпендикулярной оси частот при прохождении этой прямой через точку пересечения кривых обоих спектров. Это правило хорошо соблюдается для люминесценции жидкостей.



**Анти-Стоксовая  
область**

- Спектры поглощенного излучения
- и возбужденного свечения (з-н Стокса)

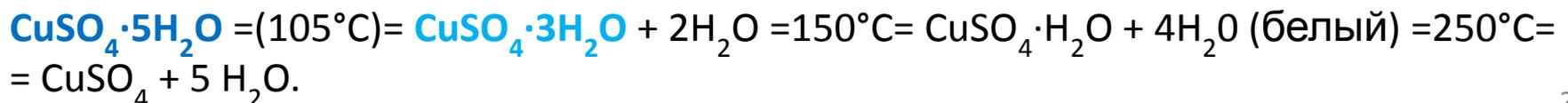
# Типы воды в минералах

Вода в составе минералов может быть **связанной** и **свободной**. Связанная, или кристаллизационная, вода входит в кристаллическую решётку минералов, занимая в ней определённые места.

**Кристаллогидраты** — кристаллы, содержащие молекулы воды и образующиеся, если в кристаллической решётки **катионы** образуют более прочную связь с молекулами **воды**, чем связь между катионами и **анионами** в кристалле безводной соли. При низких температурах вода в кристаллогидратах может быть связана как с катионами, так и с анионами солей.

Примеры: **гипс**  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , **карналлит**  $\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , **железный купорос**  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , кристаллическая **сода**  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .

Дегидратация (при нагреве) происходит ступенчато, например, для медного купороса:



Ступенчатый характер реакции – из-за различных энергий связи молекул воды с

**1) Вода конституционная** - входит непосредственно в структуру в виде существенных ее составляющих.

а) **в виде протонов (ионов  $H^+$ ) и ( $H_3O^+$ )**. Пример:  $NaH(CO_3)$  - нахколит (сем. Содовых минералов). Причем кислых солей (с  $H^+$ ) крайне мало.

б) в виде **группы ( $OH^-$ )** - слюды, амфиболы, хлориты, эпидот, гидроокислы типа  $AlO(OH)$ . Основные соли распространены чрезвычайно широко.

**2) Вода кристаллизационная.**  $\times nH_2O$ .

а) **Кристаллогидратная вода**. Пример: катионный подтип - бишофит  $MgCl_2 \times 6H_2O$ , где каждый ион  $Mg^{2+}$  окружен 6 молекулами  $H_2O$  (образует комплексный ион).

Анионный подтип: большинство природных боратов и сода.

Иногда в соединениях присутствуют оба подтипа, например -  $CuSO_4 * 5H_2O$ , где четыре воды связаны с сульфат-ионом, а одна - с катионом меди.

б) **Кристаллизационная вода цеолитного типа** - в каналах. Особенность - если во всех предыдущих случаях вода удаляется из структуры с разрушением ее, то цеолитную воду можно удалять нагреванием без разрушения структуры - она будет испаряться через полости каркаса.

**3) Несвязанная** (адсорбционная) вода - очень слабо связана с минералом.

а) **гигроскопичная,**

б) **коллоидная,**

в) **межслоевая** (межплоскостная) - переходная между кристаллизационной и адсорбционной. Пример: слоистый алюмосиликат в виде двухмерных коллоидных частиц.

# Классификация силикатов

- А - островные;
- Б - кольцевые;

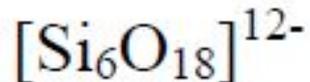
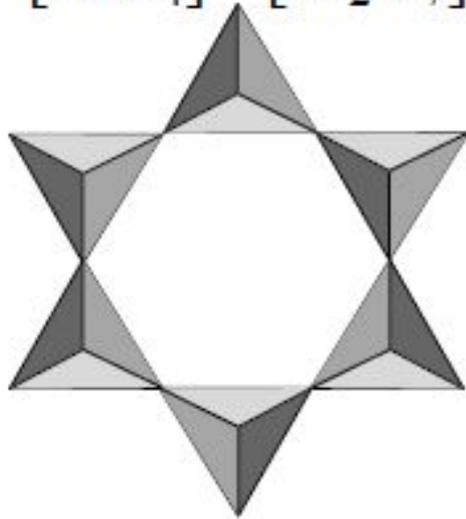
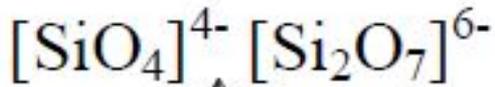
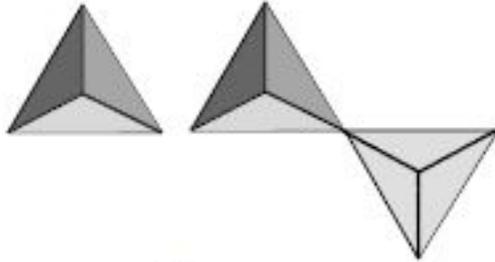
- конечный  
МОТИВ

- В - цепочечные;
- Г - ленточные;
- Д – листовые (слоистые);
- Е - каркасные.

-  
бесконечный  
МОТИВ

# А – Островные, Б - Кольцевые

Мотив – конечный.



Тетраэдр ( $\text{SiO}_4$ ) – **ОЛИВИН**  $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$

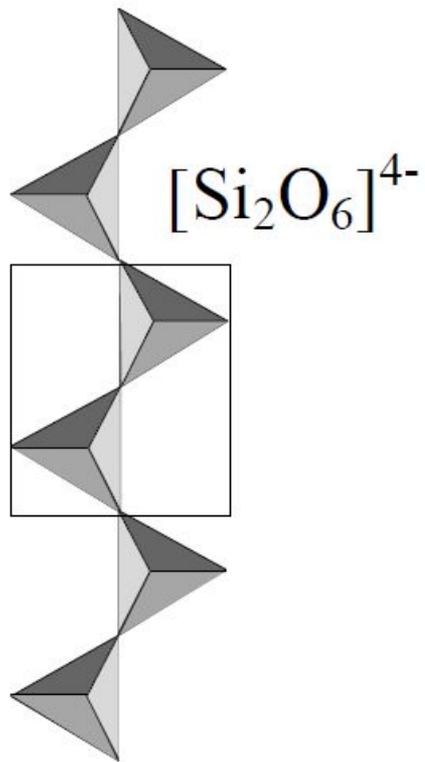
Сдвоенный тетраэдр ( $\text{Si}_2\text{O}_7$ ) –  
**Орто- и диортосиликаты.**

6-ти членное кольцо в структуре  
**берилла.**

# В – Цепочечные, Г –

## Ленточные

Мотив – бесконечный.



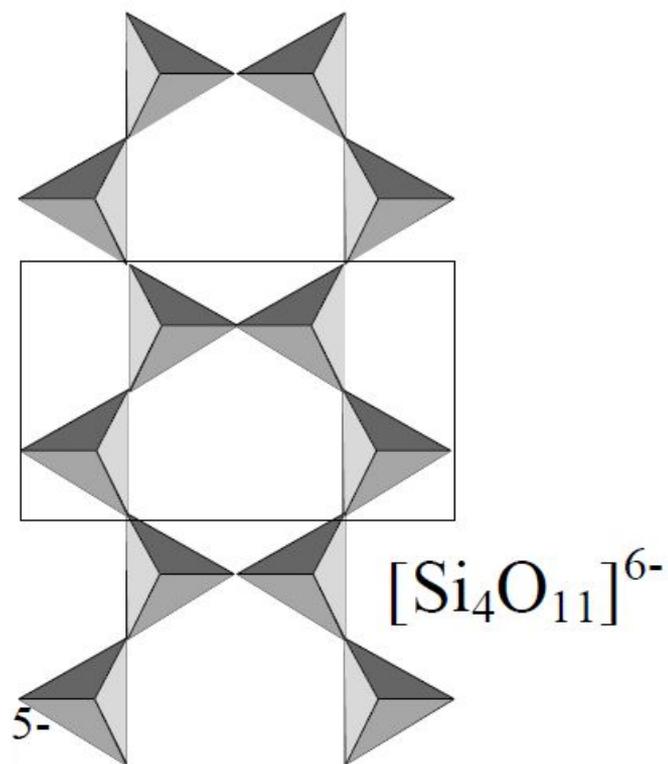
$(\text{Si}_2\text{O}_6)^{4-}$  – все **пироксены**.

Например, **диопсид**  $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ .

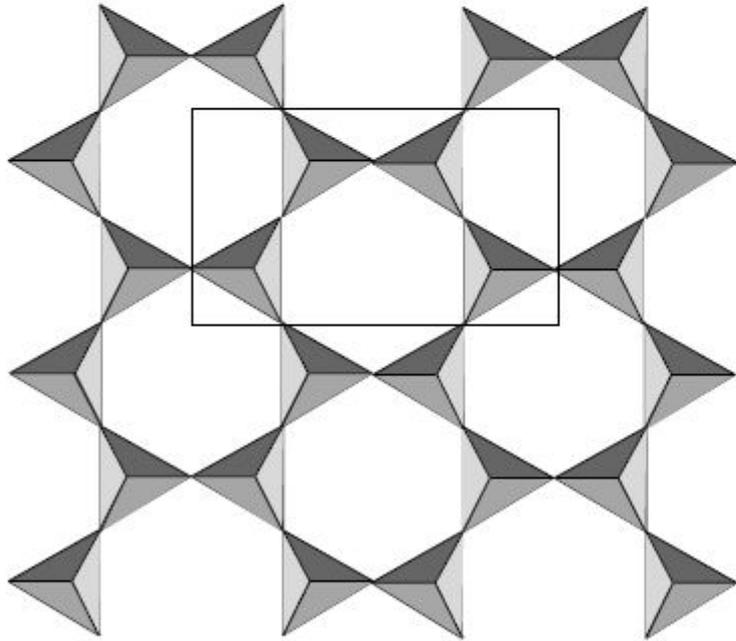
Ленточные – сдвоенные цепочки.

Все **амфиболы**.

Например, тремолит –



# Д – Слоистые



Мотив – бесконечный.

Анион -  $(\text{Si}_4\text{O}_{10})^{4-}$  или  $(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})^{5-}$

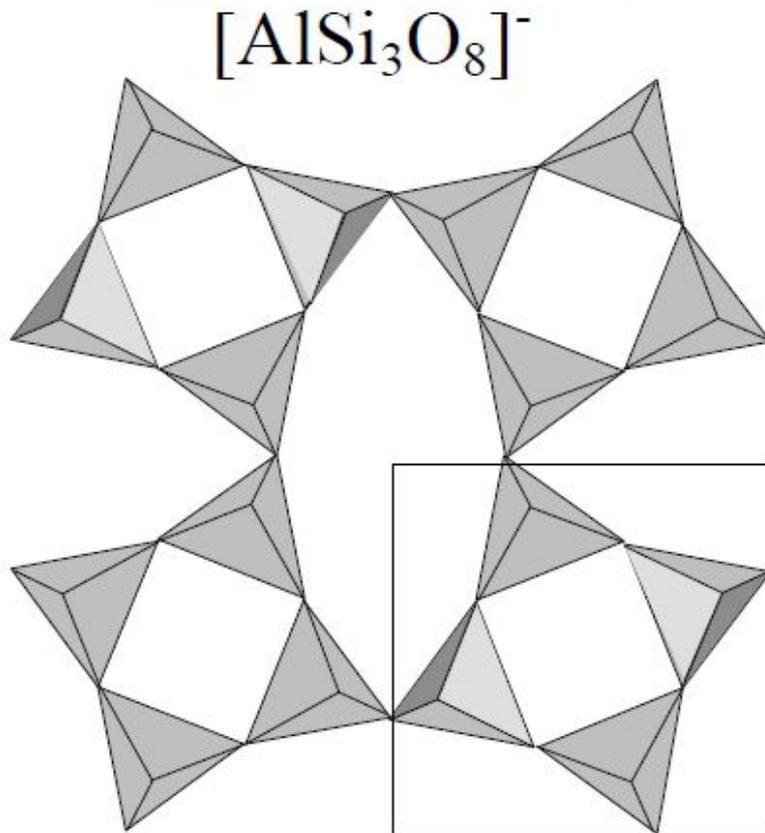
**Слюды, хлориты, серпентины и глинистые минералы.**

В отличие от остальных силикатов слюды помимо кремния содержат алюминий, поэтому называются алюмосиликатами.

Пример:

каолинит  $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$

# E – Каркасные



Мотив – бесконечный,  
Из четверок тетраэдров.

Анион -  $(AlSi_3O_8)^-$

**Полевые шпаты.**

Например,

**Ортоклаз**  $K[AlSi_3O_8]$ .

№	Название	Цвет	Цвет черты	Твердость
1	Графит	черный	серый	1
2	Молибденит	свинцовый	Серый ( <b>зеленеет</b> )	1
3	Сера	желтый	белая	1.5-2
4	Реальгар	красный	красная	1.5-2
5	Аурипигмент	золотистый	желтая	1.5-2
6	Антимонит	серый	Черная ( <b>краснеет</b> )	2
7	Киноварь	красный	красная	2-2.5
8	Галенит ( <b>тяжелый</b> )	свинцовый	черная	2-3
9	Халькозин	серый	черная	2-3
10	Борнит	Темно-красный	Черная	3
11	Халькопирит	Желтоватый, побеж.	Черно-зеленая	3-4
12	Сфалерит	Серый, желтоват.	коричневая	3-4
13	Блеклая руда	Серый	Темно-красная	3-4.5
14	Пирротин ( <b>магнитн.</b> )	желтоватый	Черная	4
15	Арсенопирит ( <b>при ударе пахнет чесноком</b> )	Стальной	черная	5.5-6
16	Марказит ( <b>конкреции</b> )	Желтоватый	Черно-зеленая	5-6
17	Пирит	желтоватый	Черно-зеленая	6-6.5