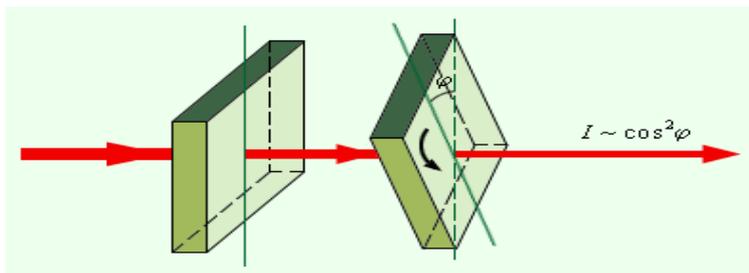


ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

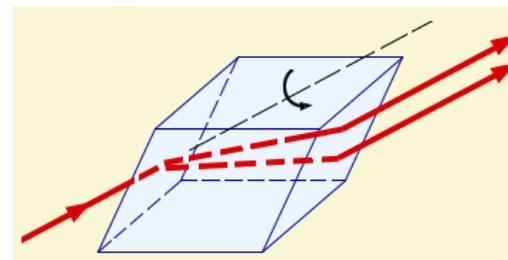
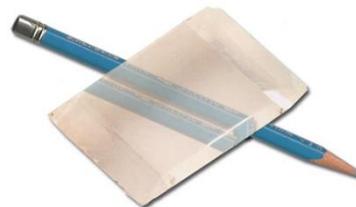
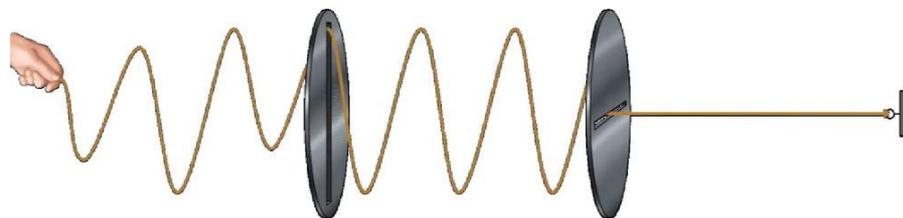
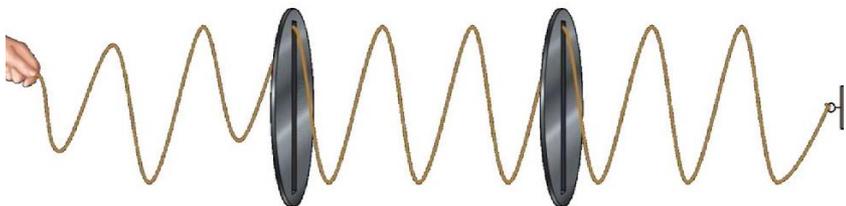
История открытия поляризации света

В 1669г. датчанин Э. Бартолин обнаружил, что кристаллы исландского известкового шпата (прозрачные и бесцветные) дают двойное изображение объекта, если его рассматривать через кристалл (это явление назвали **двойное лучепреломление**).

В 1809г. – опыты с турмалином(Малюс)



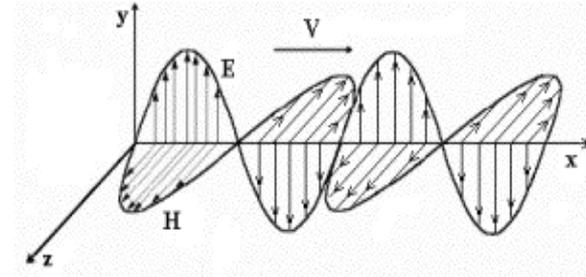
Интенсивность прошедшего света оказалась прямо пропорциональной $\cos^2 \varphi$.



Естественный и поляризованный свет

Основным свойством электромагнитных волн является **поперечность** колебаний векторов напряженности электрического и магнитного полей относительно направления распространения.

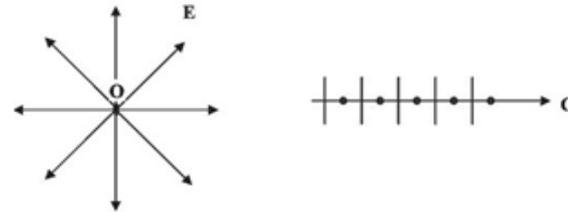
Для поперечных волн наблюдается явление **поляризации**.



Продольная волна всегда **симметрична** относительно направления распространения.

Естественный свет не является поляризованным. Неполяризованный свет – это свет со всевозможными равновероятными ориентациями вектора **E** относительно оси распространения.

Схематическое изображение естественного света

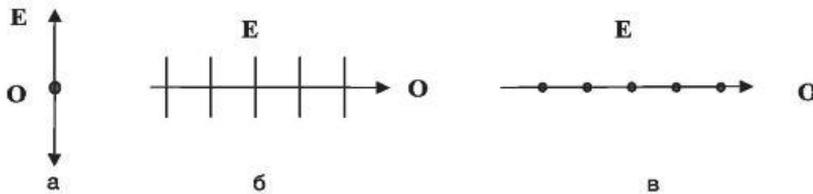


Поляризация – это нарушение осевой симметрии волны относительно направления распространения.

Если колебания светового вектора каким-либо образом упорядочены, то свет называют **поляризованным**.

Различают плоско-(или линейно) поляризованный свет, эллиптически поляризованный и поляризованный по кругу.

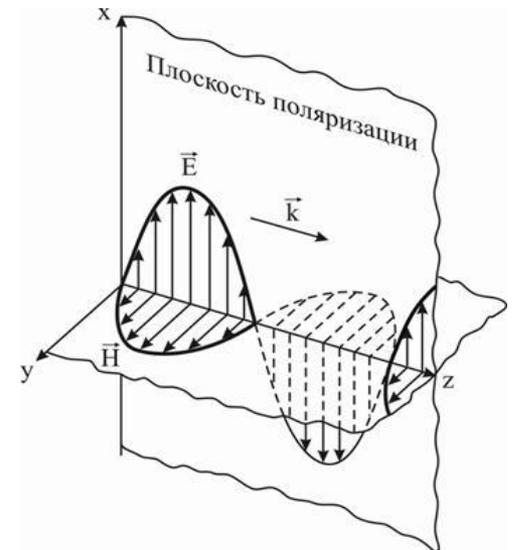
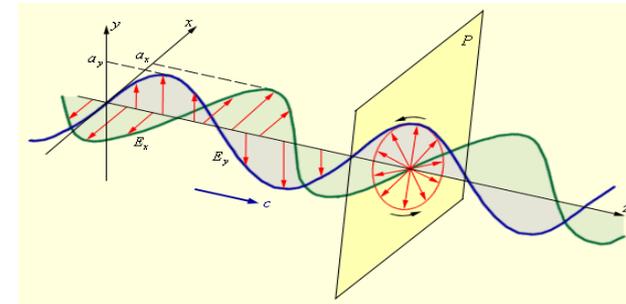
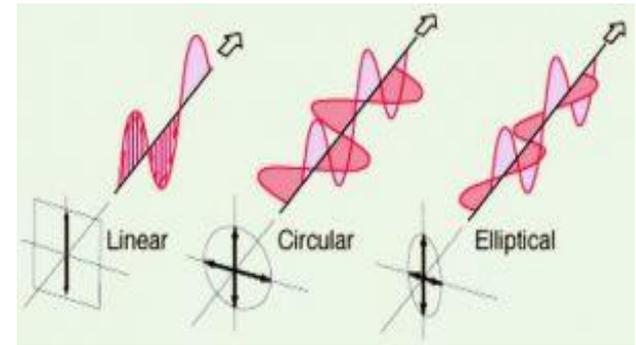
Плоскополяризованный свет – свет, в котором вектор E колеблется в определенной плоскости.



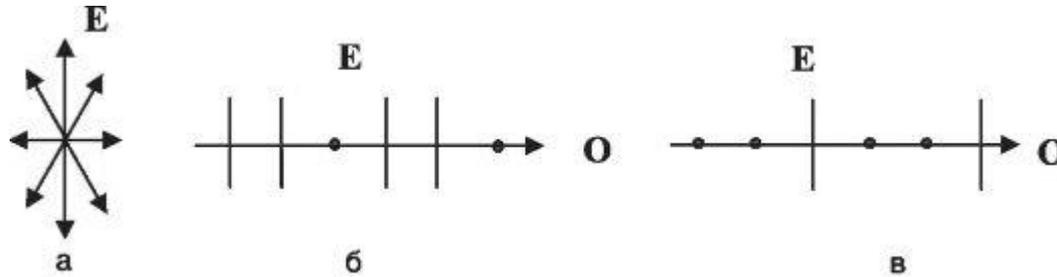
Схематическое изображение плоскополяризованного света

Плоскость, в которой колеблется вектор H , называется **плоскостью колебания волны**, а плоскость, в которой колеблется световой вектор E (сохраняя перпендикулярность с вектором H) называется **плоскостью поляризации**.

При сложении двух взаимно перпендикулярно поляризованных волн получается **эллиптически поляризованная волна**. Если амплитуды складываемых волн одинаковы, получается **свет поляризованный по кругу**.



Свет, в котором имеется преимущественное, но не единственное направление колебаний светового вектора называют **частично поляризованным светом**. Такой свет представляет собой смесь естественного и поляризованного света.



$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

-степень поляризации (количественно характеризует степень поляризации света)

I_{\max} и I_{\min} - максимальная и минимальная интенсивность частично поляризованного света

Для естественного света $P=0$

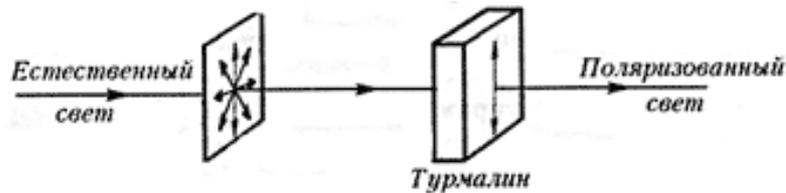
$$I_{\max} = I_{\min}$$

Для плоскополяризованного света $P=1$

$$I_{\min} = 0$$

Поляризатор и анализатор. Закон Малюса.

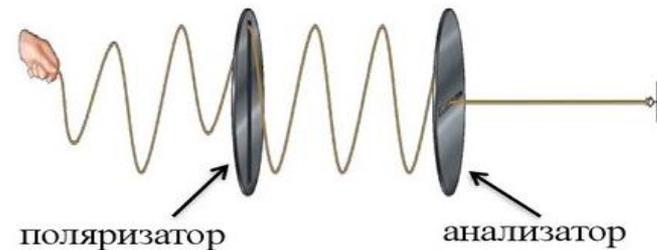
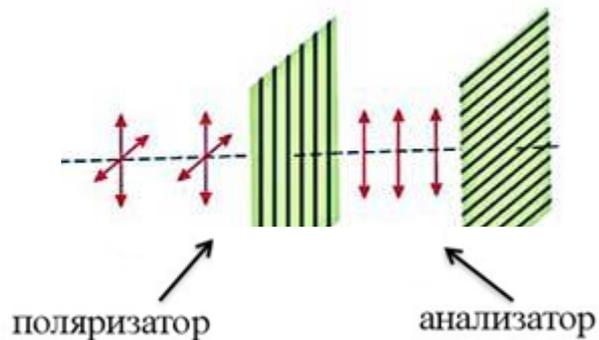
Из естественного света с помощью специальных устройств - **поляризаторов** - можно получить свет с одинаковой ориентацией всех световых векторов, т.е. **плоскополяризованный**.



Поляризатор - устройство для получения поляризованного света.

Поляризатор пропускает только **проекцию** светового вектора \mathbf{E} на некоторую плоскость, которую называют **главной плоскостью поляризатора (плоскостью пропускания)**.

Анализатор - это поляризатор, используемый для определения степени поляризации.

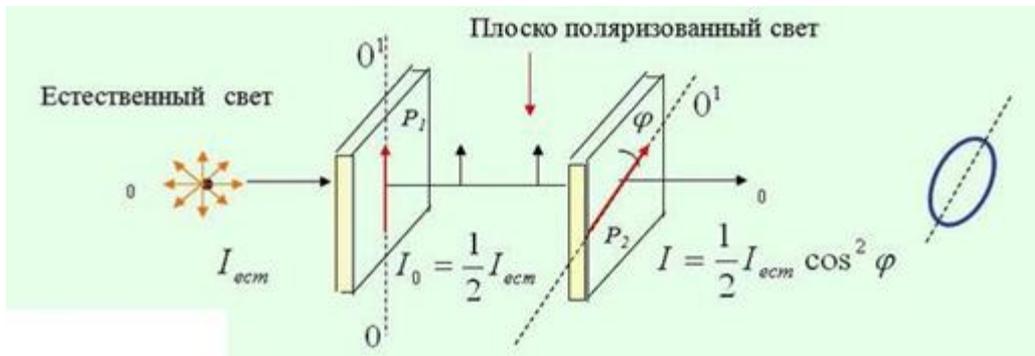


Механическая аналогия

Если на пути луча **естественного света** поставить анализатор и поворачивать его вокруг луча, то интенсивность выходящего света будет **неизменной**:

$$I_0 = \frac{1}{2} I_{\text{ест}}$$

Если на пути луча **поляризованного света** поставить анализатор и поворачивать его вокруг луча, то **интенсивность выходящего света будет меняться от некоторого максимального значения I_0 до нуля**.

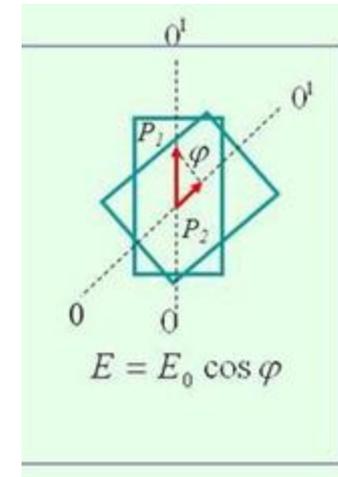


$$I = I_0 \cos^2 \varphi \quad \text{-закон Малюса}$$

I_0 - интенсивность падающего на анализатор света

I - интенсивность прошедшего света

φ - угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора



Поляризатор пропускает только проекцию светового вектора \mathbf{E} на главную плоскость поляризатора. Интенсивность света I пропорциональна квадрату E .

Способы получения поляризованного света

Действие большинства линейных **поляризаторов**, дающих плоскополяризованный свет, основывается на физических явлениях:

- двойном лучепреломлении;
- дихроизме;
- поляризации света при отражении и преломлении.

Поляризация при двойном лучепреломлении

При преломлении светового луча на границе раздела с некоторыми **анизотропными средами** наблюдается явление **двойного лучепреломления**. - При этом оба луча оказываются полностью поляризованы.

Анизотропия- неодинаковость физических свойств среды в разных направлениях.

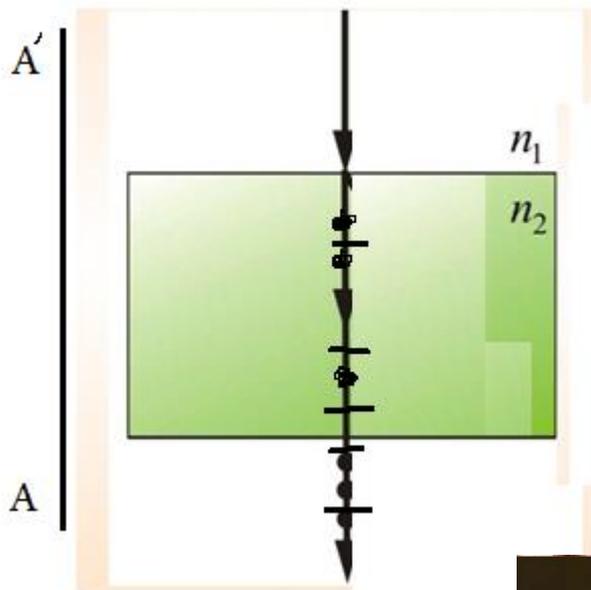
Оптической анизотропией обладают многие кристаллы из-за асимметрии их решеток.

Поскольку $n = \sqrt{\epsilon\mu}$, а в диэлектриках $\mu = 1$, то $n = \sqrt{\epsilon}$

$$\epsilon_x \neq \epsilon_y \Rightarrow n_x = \sqrt{\epsilon_x} \neq n_y = \sqrt{\epsilon_y} \Rightarrow v_x = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_x}} \neq v_y = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_y}}$$

Двойное лучепреломление - раздвоение светового луча при прохождении через некоторые анизотропные среды, обусловленное зависимостью показателя преломления света от его поляризации и направления распространения.

В двулучепреломляющих кристаллах есть направление, вдоль которого лучи распространяются с одинаковой скоростью и не разделяются. Это **направление** называется **оптической осью** кристалла.



Двулучепреломляющие кристаллы бывают одноосные и двуосные.

Примеры одноосных кристаллов

а) CaCO_3 (кальцит, исландский шпат)

$$n_o = 1.66, n_e = 1.48 \dots 1.66$$

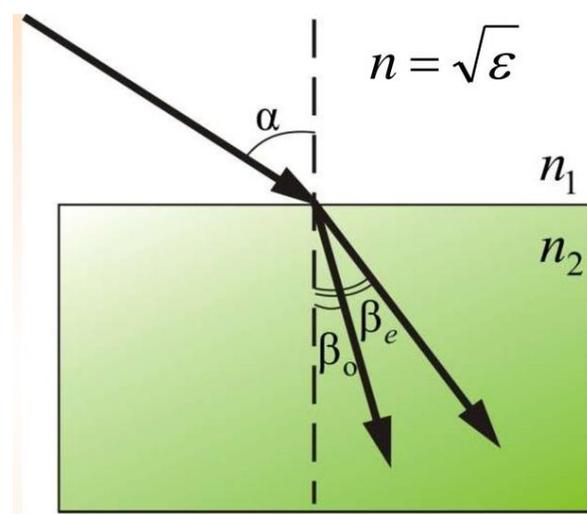
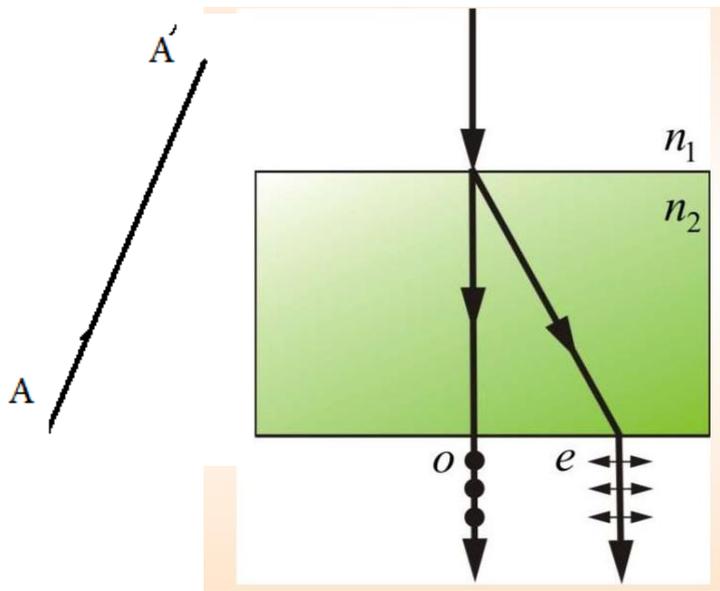


б) SiO_2 (кварц)

$$n_o = 1.544,$$

$$n_e = 1.544 \dots 1.553$$





Один луч подчиняется **законам преломления** и называется **обыкновенным «о» (ordinary)**. Для другого луча эти законы не выполняются, и его называют **необыкновенным «е» (extraordinary)**.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

- закон преломления

$$n_o = \frac{c}{v_o}$$

$$n_e = \frac{c}{v_e}$$

$$n_e = \frac{c}{v_e} \neq \text{const} \quad (\text{зависит от угла падения})$$

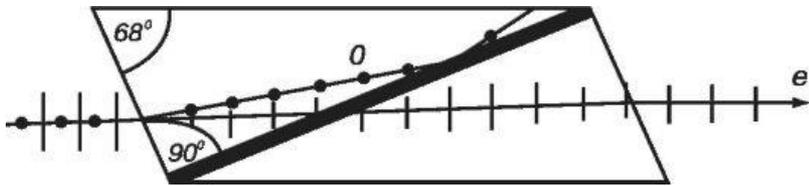
$$n_o = \frac{c}{v_o} = \text{const}$$

Скорость распространения обыкновенного луча

$$v_o = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_y}}, \text{ а необыкновенного } v_e = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_x}}$$

Для того, чтобы из **двух поляризованных** лучей выделить **один**, используют два способа.

1. **Призма Николя.** Этот поляризатор изготавливается из исландского шпата, для которого показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей различны: $n_o = 1,65$, $n_e = 1,48$. Призма разрезана по диагонали и склеена канадским бальзамом с «промежуточным» показателем преломления $n_{кб} = 1,55$.



2. **Дихроизм, поляроиды.** В некоторых кристаллах с двойным лучепреломлением обыкновенный луч «о» поглощается значительно сильнее, чем необыкновенный «е». Такое явление называется **дихроизмом**.

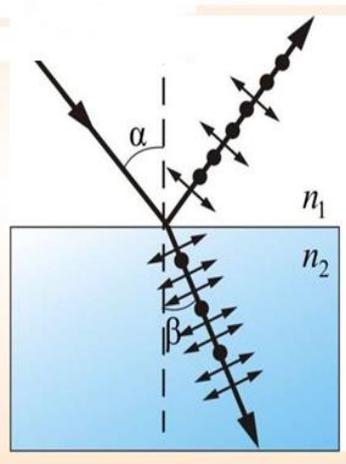
В пластине турмалина толщиной 1 мм при падающем видимом свете луч «о» практически целиком поглощается. Выходит только луч «е».

Поляризаторы, использующие дихроизм, называются **поляроидами**.

Поляроид представляет собой тонкую целлулоидную пленку с вкрапленными кристалликами двоякопреломляющего вещества с сильно выраженным дихроизмом.

Поляризация при отражении и преломлении

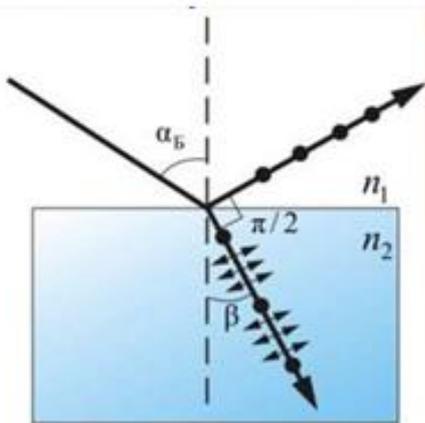
При падении светового луча на границу раздела двух изотропных диэлектриков (например, воздуха и стекла) и преломленный, и отраженный лучи оказываются *частично поляризованными*.



В отраженном луче преобладают направления вектора E , перпендикулярные плоскости падения, а в преломленном - параллельные ей.

Степень поляризации зависит от угла падения и показателя преломления сред.

При некотором угле падения отраженный и преломленный лучи будут взаимно перпендикулярны и при этом **отраженный луч** будет поляризован *полностью*, а **степень поляризации преломленного луча** будет максимальна.

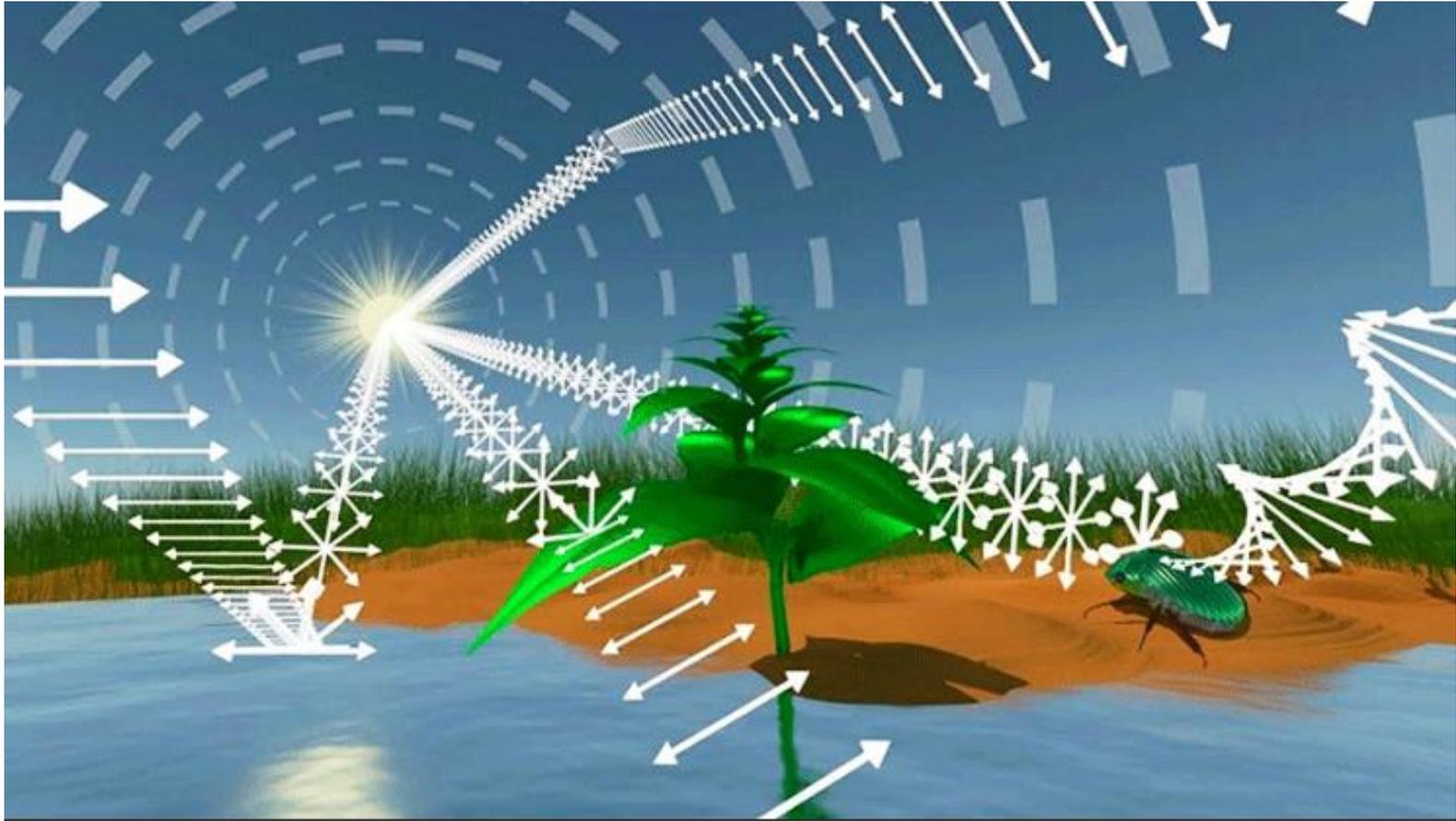


Этот угол называется *углом Брюстера* (α_B) и определяется условием:

$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

-закон Брюстера

n_{21} - Показатель преломления второй среды относительно первой



ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА

Поляроиды применяются для защиты глаз от вредного ультрафиолетового излучения, для увеличения контраста и четкости изображения, для устранения бликов.



Без поляризующих линз



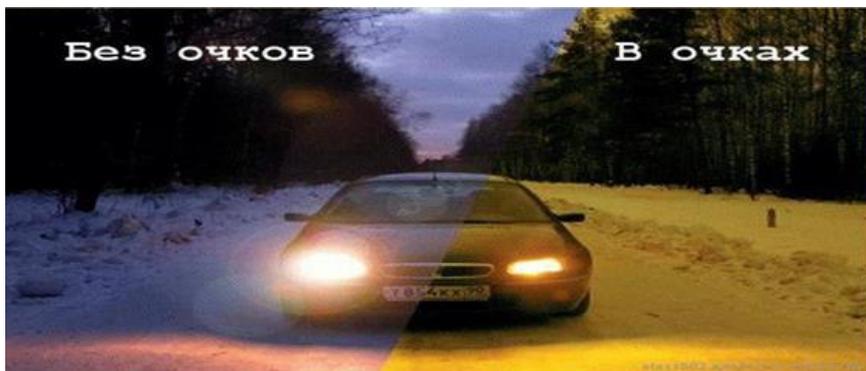
С поляризующими линзами



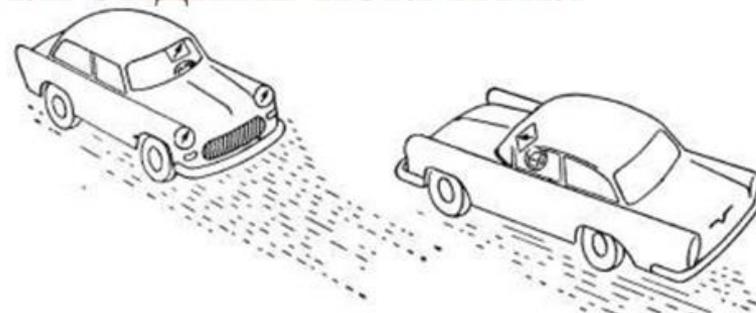
Without Polarized Lens

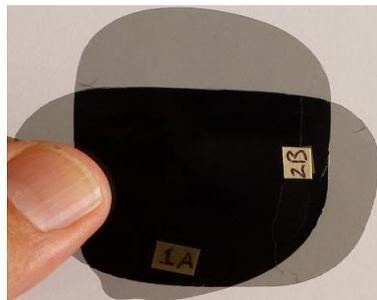


With Polarized Lens



ПОЛЯРОИДНЫЕ ПОКРЫТИЯ

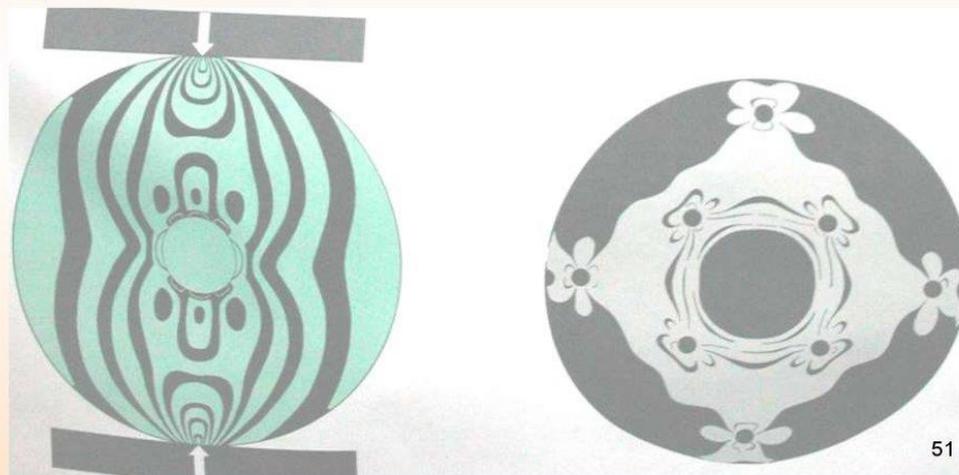


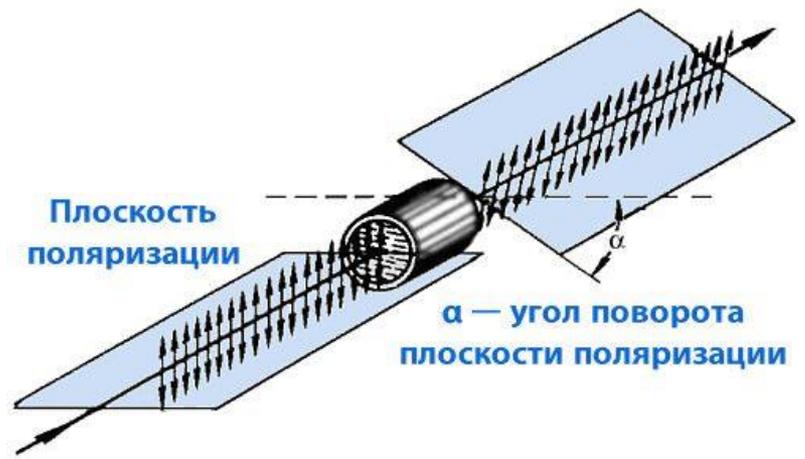
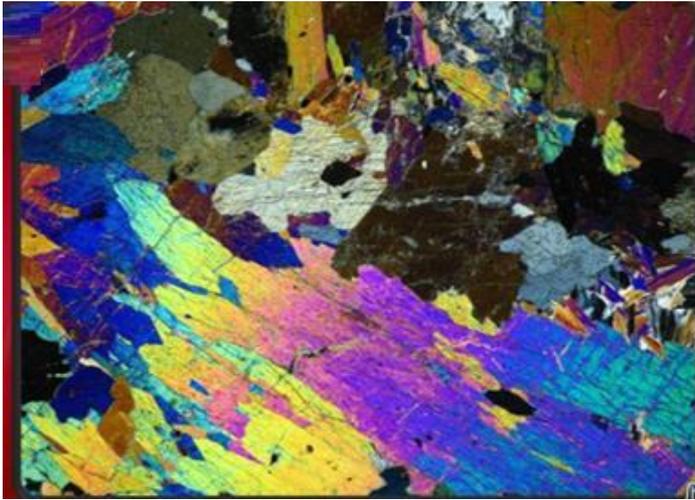


При повороте на 90 градусов, произойдет изменение прозрачности линз

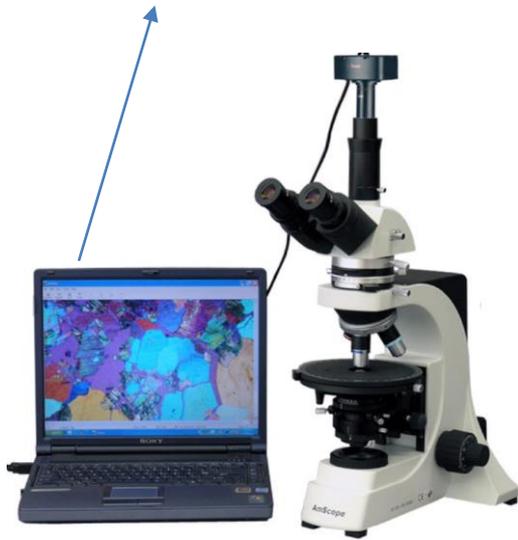
Искусственная анизотропия

Помещая прозрачные фотоупругие модели между поляризатором и анализатором и подвергая их различным нагрузкам, *можно изучать распределения возникающих внутренних напряжений.*





Вещества, которые способны поворачивать плоскость поляризации падающих на них световых волн, называются **оптически активными веществами**.

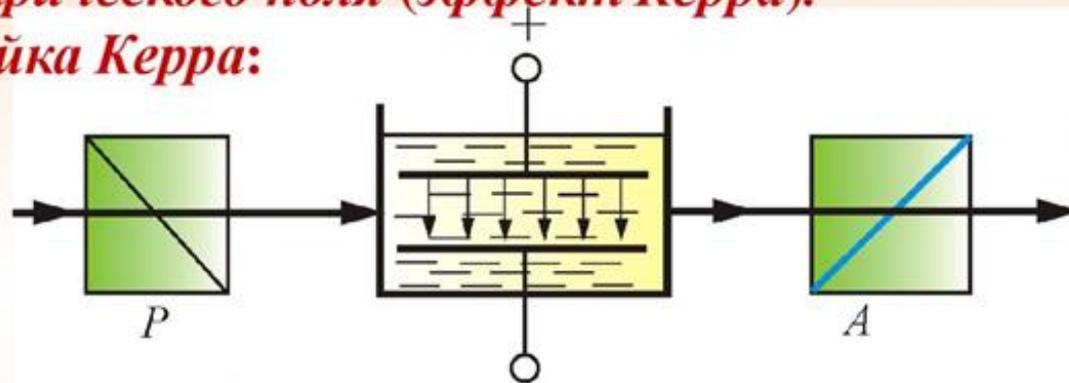


Поляризационный микроскоп

Применение явления поляризации электромагнитных волн

Явление искусственной анизотропии может возникать в изотропных средах *под воздействием электрического поля (эффект Керра).*

Ячейка Керра:



Свет, прошедший через кювету, поворачивает плоскость поляризации, и система становится прозрачной.

Ячейка Керра может служить затвором света, который управляется потенциалом одного из электродов конденсатора, помещенного в ячейку.

ТЕСТЫ

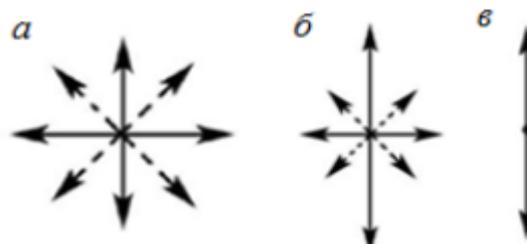
1. Какой свет падает на поляризатор, если при его повороте интенсивность вышедшего из него света не изменяется:

- 1) Естественный
- 2) Плоскополяризованный
- 3) Линейно поляризованный
- 4) Эллиптически поляризованный
- 5) Циркулярно поляризованный
- 6) Частичнополяризованный

2.

Направление колебаний вектора \vec{E} в плоскополяризованном свете показано на рисунке...

- 1) *a*
- 2) *б*
- 3) *в*
- 4) *a* и *б*



3.

Для гашения света угол между осями поляроидов должен быть .

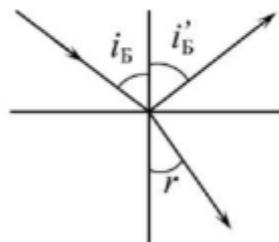
Варианты ответов

- 1) 90°
- 2) 180°
- 3) 60°
- 4) 45°
- 5) 30°

4.

Луч падает на границу раздела под углом Брюстера (рисунок).

Верным являются соотношение:



- 1) $i_B + i'_B = 90^\circ$
- 2) $r + i_B = 90^\circ$
- 3) $i_B + i'_B + r = 180^\circ$
- 4) $i_B + i'_B = 180^\circ$