

Поляризация света.

Естественный и поляризованный свет.

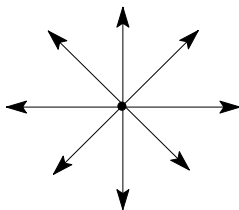
Световая волна - процесс распространения в пространстве переменных электрического и магнитного полей. Вектора $\vec{E}$ и $\vec{H}$ перпендикулярны друг другу и направлению распространения волны, т.е. световая волна является поперечной, а векторы $\vec{E}$, $\vec{H}$ и скорость $\vec{c}$ распространения волны образуют правовинтовую тройку.

В случае естественных источников света (солнце, эл. лампа, раскаленные тела и т.д.) направления векторов $\vec{E}$ и $\vec{H}$ в каждой точке пространства оставаясь перпендикулярными к распространению волны, непрерывно и беспорядочно меняются с течением времени, т.к. любое светящееся тело состоит из огромного числа атомов, которые излучают волны с различными направлениями вектора $\vec{E}$. Кроме того, каждый атом, после излучения одного волнового цуга через некоторое время излучает другой, с другим направлением $\vec{E}$.

Совокупность световых волн со всевозможными направлениями колебания вектора $\vec{E}$ (и $\vec{H}$), быстро и беспорядочно сменяющимися друг друга, называют **естественным светом**.

Поляризация света – выделение из естественного света световых волн с определенной ориентацией вектора $\vec{E}$.

Линейно или плоскополяризованный свет – совокупность световых волн, у которых вектор $\vec{E}$ колеблется в одной плоскости.



Естественный свет



линейно поляризованный свет

(луч распространяется перпендикулярно плоскости рисунка)

Плоскость колебаний – плоскость, проходящая через луч и вектор $\vec{E}$ в случае поляризованного света.

Плоскость поляризации – плоскость, в которой колеблется вектор $\vec{H}$.

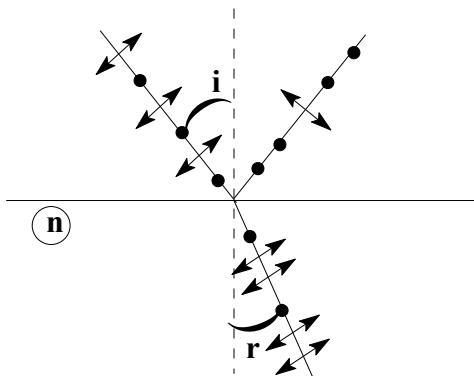
Совокупность световых волн, у которых можно выделить преимущественное положение плоскости колебаний, называется **частично поляризованным светом**.

Более сложными типами поляризации являются эллиптическая и круговая, при которых конец вектора $\vec{E}$ (и $\vec{H}$) описывает соответственно эллипс и окружность. Эллиптически поляризованную

волну можно получить при сложении двух когерентных световых волн, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях. В зависимости от направления вращения вектора $\vec{E}$ правую и левую круговую и эллиптическую поляризацию.

Поляризация при отражении и преломлении.

Если на поверхность диэлектрика с показателем преломления n под углом i падает естественный свет, то отраженный и преломленный лучи оказываются частично поляризованными.



В отраженном преобладают колебания $\vec{E}$, перпендикулярные плоскости падения (на рисунке обозначены точками). В преломленном луче преобладают колебания, параллельные плоскости падения луча (обозначены двусторонними стрелками).

В 1821 г. Френель получил формулы, позволяющие оценить степень поляризации отраженного и преломленного лучей в зависимости от угла падения i . Для отраженного луча:

$$\frac{I_1}{I_{01}} = \left[\frac{\sin(i - r)}{\sin(i + r)} \right]^2 \quad (40)$$

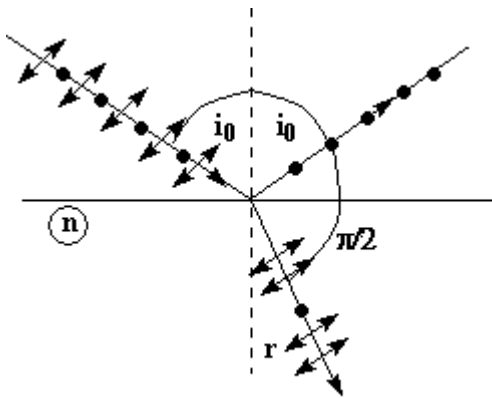
$$\frac{I_{11}}{I_{011}} = \left[\frac{\operatorname{tg}(i - r)}{\operatorname{tg}(i + r)} \right]^2 \quad (41)$$

I_{01} и I_1 — интенсивность колебаний электрического вектора, перпендикулярных плоскости падения в падающем и отраженном лучах соответственно.

I_{011} и I_{11} — интенсивность колебаний, параллельных плоскости падения в падающем и отраженном лучах.

Отраженный луч будет полностью поляризован, если $I_{11}=0$. Из (41) следует, что это возможно, если $\operatorname{tg}(i_0+r) \rightarrow \infty$ и $i_0+r=\pi/2$. Следовательно, в случае полной поляризации отраженного луча:

- 1) отраженный и преломленный лучи взаимно перпендикулярны
- 2) $\operatorname{tgi}_0=n$.

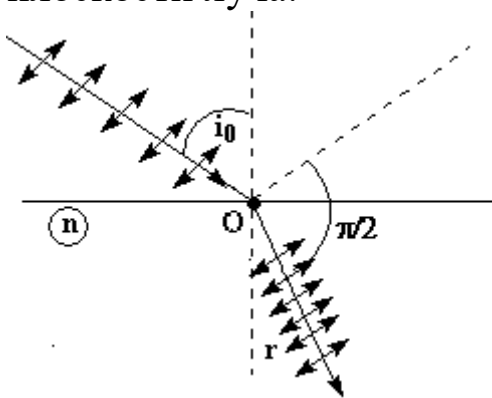


Если $i_0 + r = \pi/2$, то $r = \pi/2 - i_0$ и из закона преломления $\frac{\sin i}{\sin r} = n$, то получаем:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin i_0}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - i_0\right)} = \operatorname{tg} i_0 = n$$

$\operatorname{tg} i_0 = n$ - **закон Брюстера**: отраженный луч полностью поляризован, если тангенс угла падения луча равен абсолютному показателю преломления среды, от которой происходит отражение. Угол i_0 — **угол Брюстера**. Говорят, что отраженный луч поляризован в плоскости, перпендикулярной плоскости падения. В случае полной поляризации отраженного луча преломленный луч поляризован максимально, но не полностью. Для полной поляризации преломленного луча его надо подвергнуть дальнейшему преломлению.

Предположим, что на поверхность диэлектрика под углом Брюстера i_0 падает свет, поляризованный так, что вектор $\vec{E}$ лежит в плоскости луча.



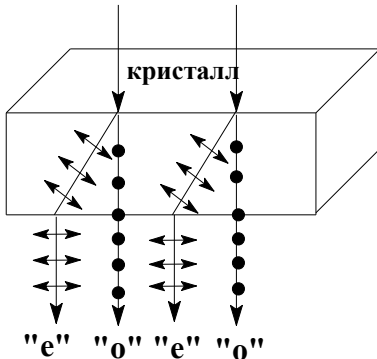
Под действием переменного электрического поля световой волны внутри диэлектрика возбуждаются колебания электронов и атомных ядер в направлении вектора $\vec{E}$. Колеблющиеся диполи начинают излучать вторичные сферические волны, интерференция которых дает отраженный и преломленный лучи.

В нашем случае диполи в диэлектрике колеблются только в направлении, перпендикулярном преломленному лучу **ОС**, т.е. в направлении **ОВ** отраженного луча. Излучение диполя распределено в пространстве неравномерно, в направлении своей оси диполь не излучает, т.е. в направлении **ОВ** отраженного луча атомы среды не излучают и отраженная волна возникнуть не может. Если на диэлектрик падает естественный свет или свет, поляризованный так, что колебания вектора $\vec{E}$ перпендикулярны плоскости падения, то и отраженный и преломленный лучи будут иметь некоторую интенсивность. В случае поляризованного света диполи не будут излучать в направлении, перпендикулярном плоскости рисунка.

Двойное лучепреломление.

Большинство кристаллов оптически анизотропны, т.е. их электрические и магнитные свойства различны в различных направлениях, ϵ и μ зависят от направления в кристалле.

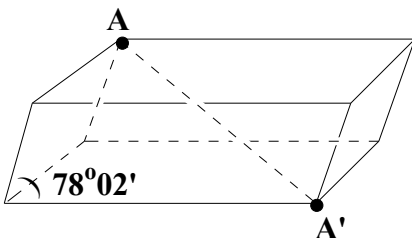
Двойное лучепреломление - падающий на кристалл луч разделяется внутри кристалла на два поляризованных луча, распространяющихся по разным направлениям.



При выходе из кристалла лучи идут параллельно друг другу, но пространственно разделены. Предмет, рассматриваемый через кристалл, раздваивается. Оба луча поляризуются во взаимно перпендикулярных плоскостях. Т.о., двойное лучепреломление – явление образования двух поляризованных лучей при прохождении света через кристалл.

По отношению к двойному лучепреломлению все кристаллы можно разделить на три группы:

1. Кристаллы с правильной кубической симметрией решетки не дают двойного лучепреломления. Для них по всем направлениям одинаковы значения ϵ , скорости распространения света $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$ и показателя преломления $n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon}$ (т.к рассматриваем прозрачные кристаллы $\mu=1$).
2. Кристаллы с гексагональной и квадратной симметрией – одноосные кристаллы (исландский шпат CaCO_3 , турмалин, кварц). У них имеется только одно направление, вдоль которого не наблюдается двойное лучепреломление. Это направление называется оптической осью кристалла.



Кристалл исландского шпата имеет форму ромбоэдра, направление оптической оси совпадает с направлением диагонали AA' , соединяющей вершины тупых углов.

Плоскость, содержащая падающий луч и оптическую ось, проходящую через точку падения луча, называется главной плоскостью кристалла по отношению к данному лучу.

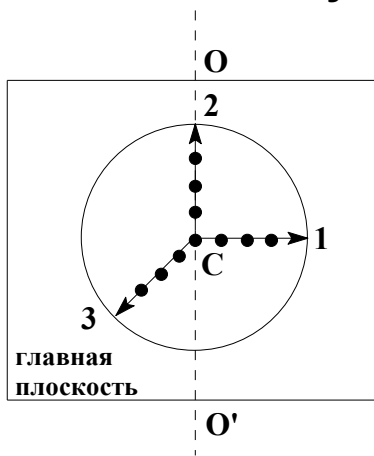
ϵ_1 – значение относительной диэлектрической проницаемости в направлениях, перпендикулярной оптической оси, ϵ_{11} – в направлениях, параллельных оптической оси, тогда:

$$\epsilon_1 \neq \epsilon_{11}$$

Другим направлениям в кристалле соответствуют промежуточные значения ϵ .

3. Кристаллы с более низкой симметрией решетки относятся к **двуосным кристаллам** (слюда, гипс, горный хрусталь)

Двойное лучепреломление в одноосном кристалле.



Выделим в кристалле главную плоскость, покажем направление оптической оси **ОО'** и рассмотрим лучи **1,2,3**, исходящие из точки **С**. 2 частных случая:

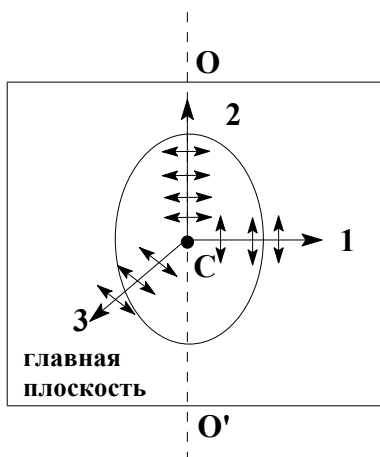
1. Падающий в точку **С** свет поляризован так, что вектор $\vec{E}$ перпендикулярен главной плоскости кристалла и оптической оси **ОО'**. Диполи, возникающие в кристалле под действием падающей волны, колеблются в направлении вектора $\vec{E}$, т.е. перпендикулярно оптической оси **ОО'**. Этим направлениям соответствует значение ϵ_1 . В направлении любого луча, скорость световой волны, излучаемой колеблющимися диполями, показатель преломления будут одинаковыми

$$v_0 = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_1}} \quad \text{и} \quad n_0 = \sqrt{\epsilon_1}$$

Геометрическое место точек, до которых дойдут световые колебания за одно и тоже время – сферическая поверхность. Лучи подчиняются закону преломления: $\frac{\sin i}{\sin r} = \text{const} = n_0$, такие лучи называются

обыкновенными. Обыкновенный луч поляризован так, что вектор $\vec{E}$ перпендикулярен главной плоскости кристалла.

2. Свет, распространяющийся из т. **С** поляризован так, что вектор $\vec{E}$ лежит в главной плоскости кристалла.



В луче 1 колебания $\vec{E}$ происходят в направлении, перпендикулярном оптической оси OO' . Световые волны в направлении этого луча распространяются со скоростью v_0 . В луче 2 колебания $\vec{E}$ параллельны оптической оси OO' , в том же направлении происходят вызванные ими колебания диполей.

Этим направлениям соответствует значение ϵ_{11} , следовательно

$$v_e = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{11}}} \quad v_e \neq v_0$$

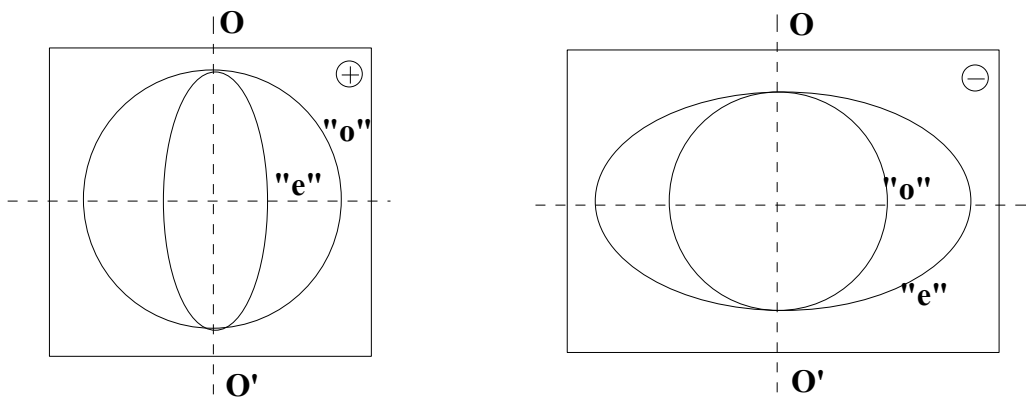
В направлении 3 скорость распространения света имеет промежуточное значение. В этом случае волновая поверхность представляет собой эллипсоид.

n_e различен для различных направлений в кристалле. Для исландского шпата $n_o = 1,6584$, $n_e = 1,6584 \div 1,4864$. Закон преломления не выполняется. Такие лучи называются необыкновенными. Необыкновенный луч поляризован так, что $\vec{E}$ лежит в главной плоскости кристалла.

Если из точки С распространяется естественный свет, то он разделяется на два потока – обыкновенный и необыкновенный, что и наблюдается при прохождении света через одноосный кристалл.

Если $v_0 > v_e$, то кристалл называют положительным, $v_0 < v_e$ – отрицательным.

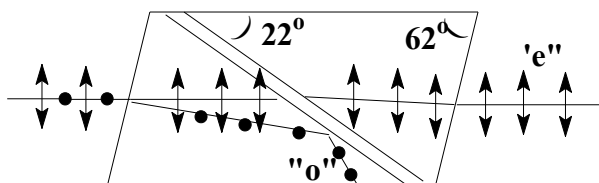
Волновые поверхности обыкновенного «о» и необыкновенного «е» лучей в положительном и отрицательном одноосных кристаллах



Поляризационные приборы.

Поляризаторы – приборы для получения из естественного света поляризованных лучей. Они пропускают колебания вектора $\vec{E}$, параллельные плоскости пропускания поляризатора, и задерживают колебания $\vec{E}$, перпендикулярные этой плоскости (призма Николя, дихроические призмы, поляроиды).

Призма Николя или николь состоит из двух призм исландского шпата, склеенных слоем канадского бальзама.



Естественный свет падает на призму параллельно ее верхней грани и внутри кристалла разделяется на необыкновенный «e» и обыкновенный лучи «o».

Показатель преломления канадского бальзама ($n_6=1,550$) имеет промежуточное значение между показателем преломления обыкновенного луча ($n_o=1,6584$) и необыкновенного луча ($n_e=1,4864$) для исландского шпата.

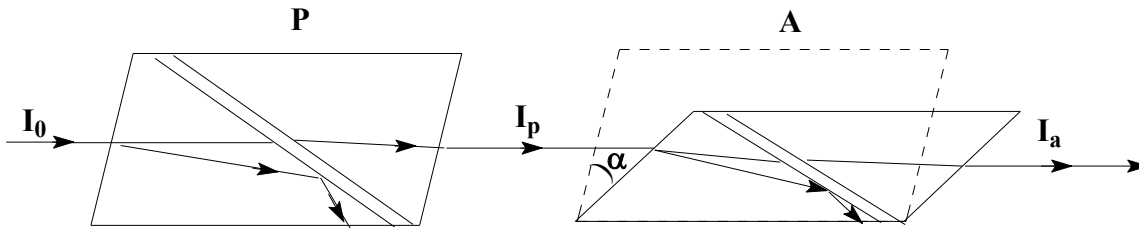
Углы в призме Николя рассчитаны так, чтобы обыкновенный луч испытал полное внутреннее отражение на границе с канадским бальзамом, а необыкновенный прошел слой канадского бальзама и вышел из призмы в направлении падающего луча, немного сместившись относительно него вниз. Обыкновенный луч гасится черной краской на нижней грани призмы.

Дихроизм – различие в поглощении лучей с разной ориентацией светового вектора $\vec{E}$ (турмалин – на расстоянии 1 мм обыкновенный луч поглощается полностью).

Поляроид – пленка из прозрачного материала (целлулоида), в которую введено большое количество одинаково ориентированных кристалликов сильно дихроичного вещества (герапатита, сульфата йодистого хинина).

Закон Малюса.

Анализаторы – приборы для исследования степени поляризации света.



Поляризатор **P** и анализатор **A** расположены так, что их плоскости пропускания образуют угол α . На поляризатор падает естественный свет интенсивностью I_0 . В поляризаторе свет разделяется на два потока примерно одинаковой интенсивности. Из поляризатора выходит плоскополяризованный свет, $\vec{E}$ которого параллелен плоскости пропускания поляризатора.

$$I_p = \frac{I_0}{2} \quad (42)$$

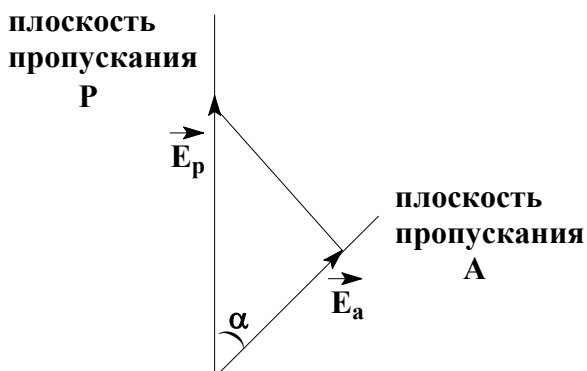
I_p – интенсивность света вышедшего из поляризатора, без учета поглощения.

С учетом поглощения:

$$I_p = \frac{I_0}{2}(1 - k) \quad (43)$$

k – коэффициент поглощения света в поляризаторе.

E_p – амплитуда электрического вектора лучей, прошедших через поляризатор, E_a – амплитуда лучей, пропускаемых анализатором. Через анализатор пройдут только те лучи, у которых $\vec{E}$ лежит в плоскости пропускания анализатора



$$E_a = E_p \cos \alpha \quad (44)$$

α – угол между плоскостями пропускания. Интенсивность I_a света, прошедшего через анализатор:

$$\begin{aligned} I_a &= I_p \cos^2 \alpha \\ I_a &= \frac{I_0}{2} \cos^2 \alpha \end{aligned} \quad (45)$$

С учетом поглощения света в поляризаторе и анализаторе:

$$\begin{aligned} I_a &= I_p(1-k)\cos^2 \alpha \\ I_a &= \frac{I_0}{2}(1-k)\cos^2 \alpha \end{aligned} \quad (46)$$

Соотношения (45) и (46) – закон Малюса.

Если плоскости пропускания поляризатора и анализатора параллельны ($\alpha=0$) $I_a=I_p=I_0/2$

Если плоскости пропускания взаимно перпендикулярны ($\alpha=\pi/2$), то $I_a=0$, говорят, что плоскости скрещены.