

Волновая оптика

Оптика - раздел физики, посвященный изучению явлений, связанных с распространением **видимого света** в различных средах.

Что представляет собой видимый свет?

Видимый свет -это узкая часть диапазона электромагнитных волн, воспринимаемых глазом человека. Длины волн видимого света в вакууме заключены в пределах 0,4 – 0,7 мкм.

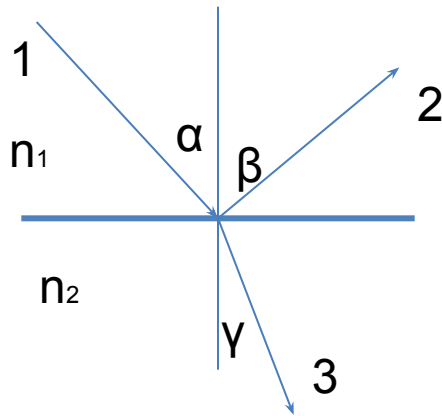
При переходе световой волны из вакуума в любое прозрачное для волны вещество, скорость волны уменьшается в:

$$n = \sqrt{\epsilon\mu} = \frac{c}{V}$$

Величина n называется **абсолютным показателем преломления вещества**. Значения n вещества: характеризуют его **оптическую плотность**: чем больше n , тем больше оптическая плотность вещества.

1. Отражение и преломление света на границе диэлектриков.

В виду малости длин волн , при изучении некоторых явлений можно отвлечься от волновой природы света и рассматривать его как поток лучей, распространяющихся по прямой. Такое приближение называется *геометрической оптикой*. В приближении геометрической оптики можно получить хорошие результаты при рассмотрении вопроса о переходе светового пучка через границу раздела двух диэлектриков, имеющих различные абсолютные показатели преломления n_1 и n_2 .



1- падающий луч

2- отражённый луч

3- преломлённый луч

Падающий, отражённый и преломлённый лучи лежат в одной плоскости с нормалью, проведённой к границе раздела в точку падения луча.

Закон отражения: $\angle \alpha = \angle \beta$

Закон преломления: $\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{2,1}$

2. Абсолютный показатель преломления среды

Абсолютный показатель преломления среды – это показатель преломления на границе вакуум - данная среда

$$n_{12} = \frac{v_1}{v_2} \quad v_1 = c \text{ (скорость света в вакууме);}$$
$$v_2 = v \text{ (скорость света в среде)}$$

$$n = \frac{c}{v}$$

Абсолютный показатель преломления среды показывает во сколько раз скорость света в среде меньше, чем в вакууме

| | |
|---------------------|-----------|
| Воздух | 1,0002926 |
| Вода | 1,332986 |
| Глицерин | 1,4729 |
| Органическое стекло | 1,51 |

| | |
|-----------------|------|
| Кремний | 4,01 |
| Масло оливковое | 1,46 |
| Спирт этиловый | 1,36 |

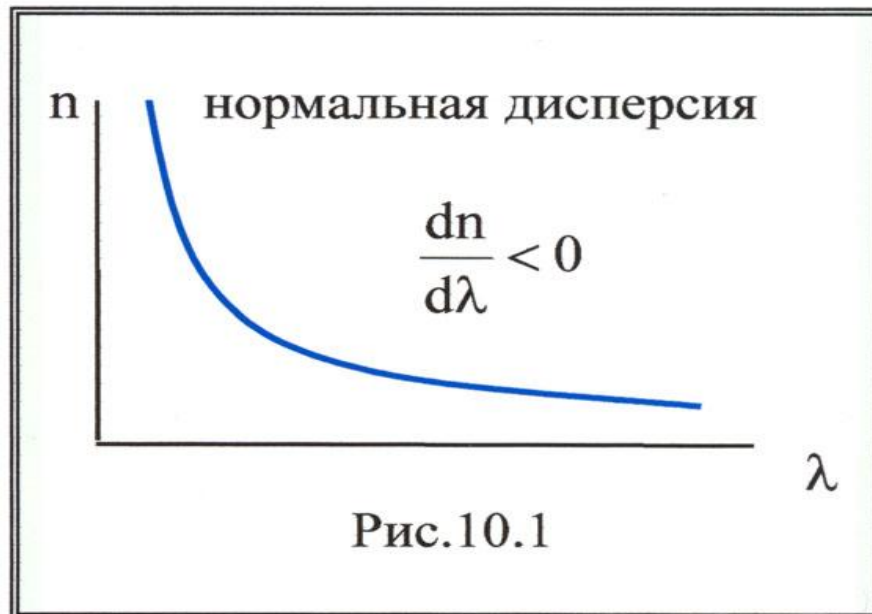
3. Дисперсия света

Дисперсия света - это явление зависимости показателя преломления вещества от длины волны (частоты) излучения:

$$n = f(\lambda)$$

$$n = f(\nu)$$

В области видимого света показатели преломления прозрачных веществ плавно увеличиваются с уменьшением длины волны света.



Увеличение показателя преломления с уменьшением длины волны — называется **нормальной дисперсией**.

Величина $D = \frac{dn}{d\lambda}$ — называется дисперсией вещества.

С уменьшением длины волны показатель преломления возрастает, потому **нормальная дисперсия вещества отрицательна**. У всех прозрачных веществ наблюдается нормальная дисперсия.

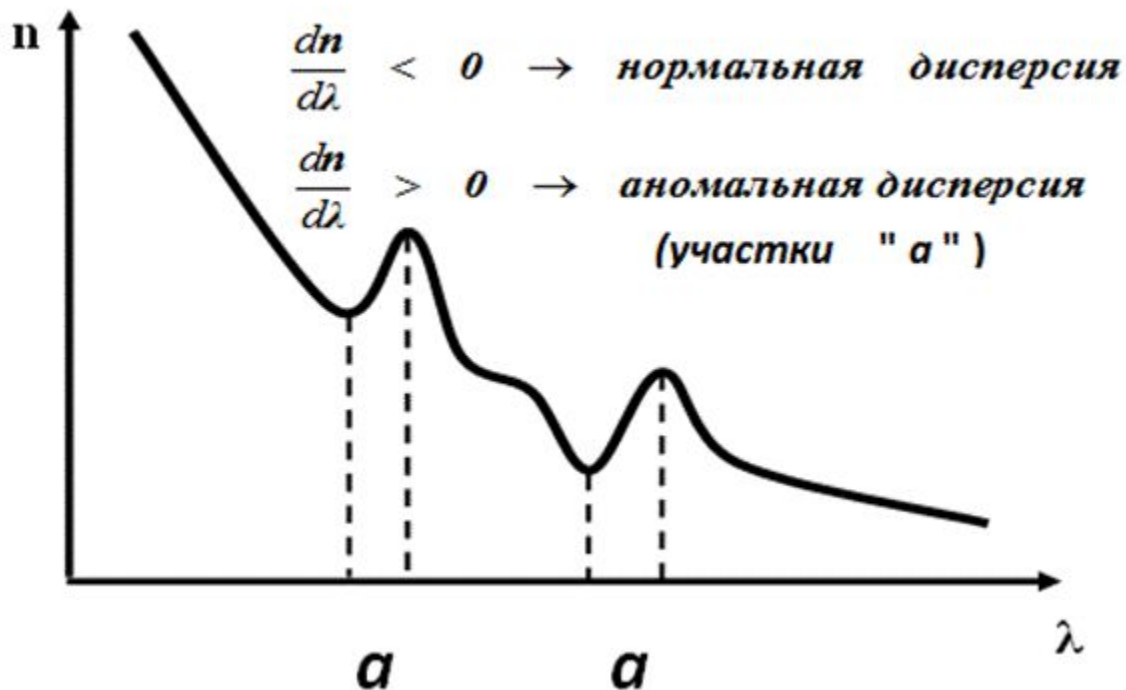
*Вследствие нормальной дисперсии пучок белого света, после преломления на стеклянной призме, распадается на все цвета видимой области: **показатель преломления зависит от длины волны**. Волны разной длины, входящие в состав белого света, после преломления отклоняются на разный угол.*

Нормальная дисперсия солнечного света на каплях воды, находящихся в воздухе во время дождя, приводит к появлению радуги.

Прохождение пучка видимого света
через 3-х гранную призму



У всякого диэлектрика существуют полосы частот, в которых происходит сильное поглощение света. В области поглощения наблюдается **аномальная дисперсия**: с уменьшением длины волны (ростом частоты) света показатель преломления уменьшается.



α – полосы поглощения

Дисперсия света вызвана зависимостью относительной диэлектрической проницаемости вещества от частоты световой волны.

$$\varepsilon = f(\omega) \quad n = \sqrt{\varepsilon\mu} \approx \sqrt{\varepsilon} = \tilde{f}(\omega)$$

4. Давление света

Из теории Максвелла следует, что при поглощении и отражении электромагнитной волны от поверхности тел, волны оказывают на тела давление. Давление измерено в опытах Лебедева П.Н. (~ 5 мкПа)

Под действием электрического поля волны заряженные частицы вещества приходят в движение, возникает электрический ток. На движущиеся частицы со стороны магнитного поля волны действует сила Лоренца. Волна оказывает на тело давление. Существование давления приводит к выводу, что волны обладают импульсом. Импульс в единице объёма, переносимый волной равен : $K_{e\partial} = \frac{w}{c}$ w- плотность энергии
электромагнитного поля

Давление – это импульс передаваемый единичной площадке поверхности в единицу времени от параллелепипеда объёмом:

$$V = S \cdot c \cdot t = 1 \cdot c \cdot 1 = c$$

Давление оказываемое световой волной на поверхность полностью поглощающего тела равно:

$$p = K_{ed} \cdot V = \frac{w}{c} \cdot c = w$$

Расчёт давления для конкретного тела зависит от состояния его поверхности. Значения давления меняются в пределах от w (для полностью поглощающего тела) до значения $2w$ (для зеркальной поверхности).

5. Поляризация света

Естественный и поляризованный свет. Виды поляризации

Поляризованным называется свет, у которой направление колебаний электрического вектора \vec{E} определённым образом ориентировано в пространстве.

Если такое направление выделить не возможно, то свет называется **естественным**.

Различают **плоско-** (или **линейно**) поляризованный свет, свет с **круговой** поляризацией и свет с **эллиптической** поляризацией.

Неполяризованный (естественный) свет

Атомы излучающих тел испускают световые волны

В каждом акте излучения испускается поляризованная волна

Акт излучения длится очень короткое время $t_{\text{изл}} \approx 10^{-14} \text{с}$

Излучение тела складывается из излучений всех атомов:

$$\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i$$

В этой сумме слагаемые беспорядочно появляются и исчезают

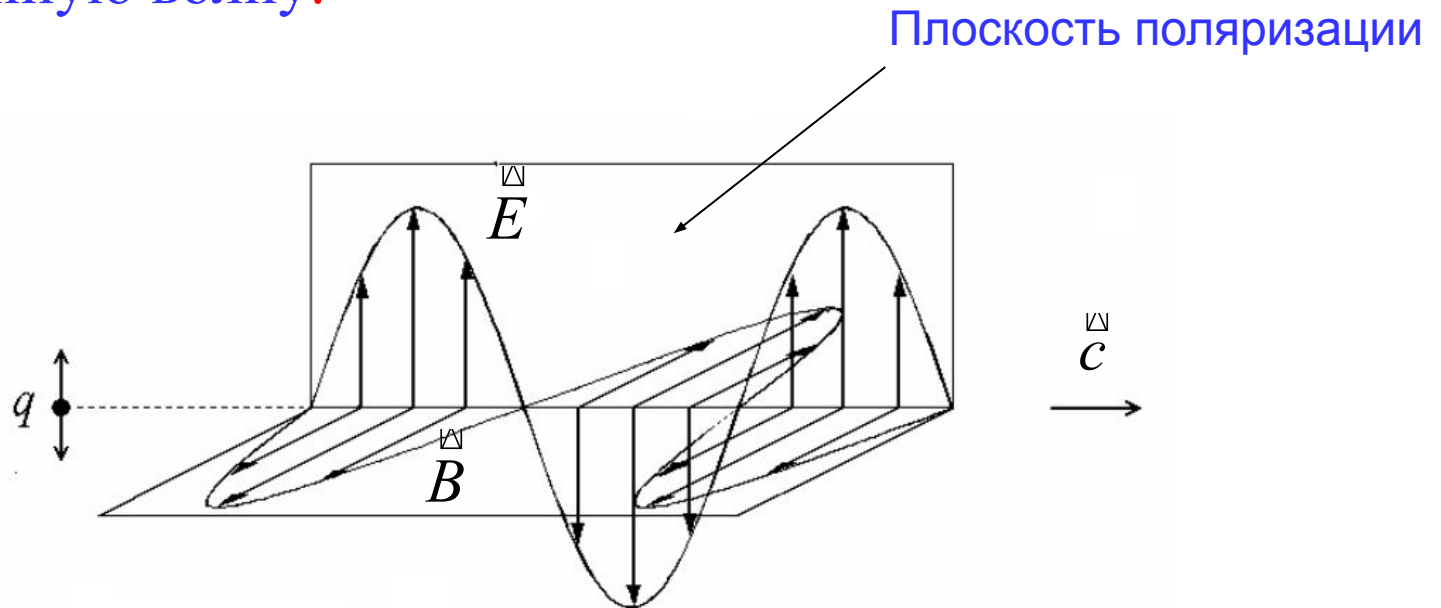
Состояние поляризации суммарной волны **очень быстро**
меняется во времени (в течение $t_{\text{изл}}$)

Такая световая волна называется **неполяризованной**

Плоскополяризованный свет

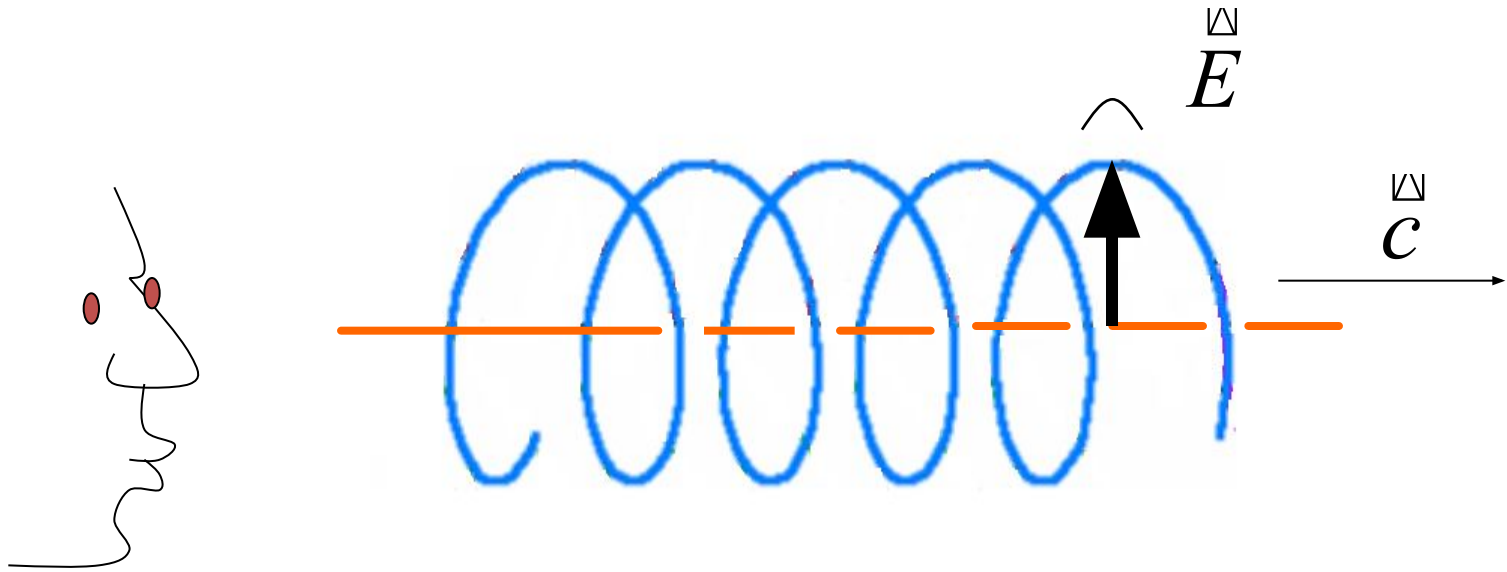
Электромагнитная волна, в которой колебания вектора \mathbf{E} совершаются в фиксированной плоскости, называется *линейно поляризованной* или *плоскополяризованной*.

Линейно колеблющийся заряд испускает линейно поляризованную волну.



Круговая поляризация света

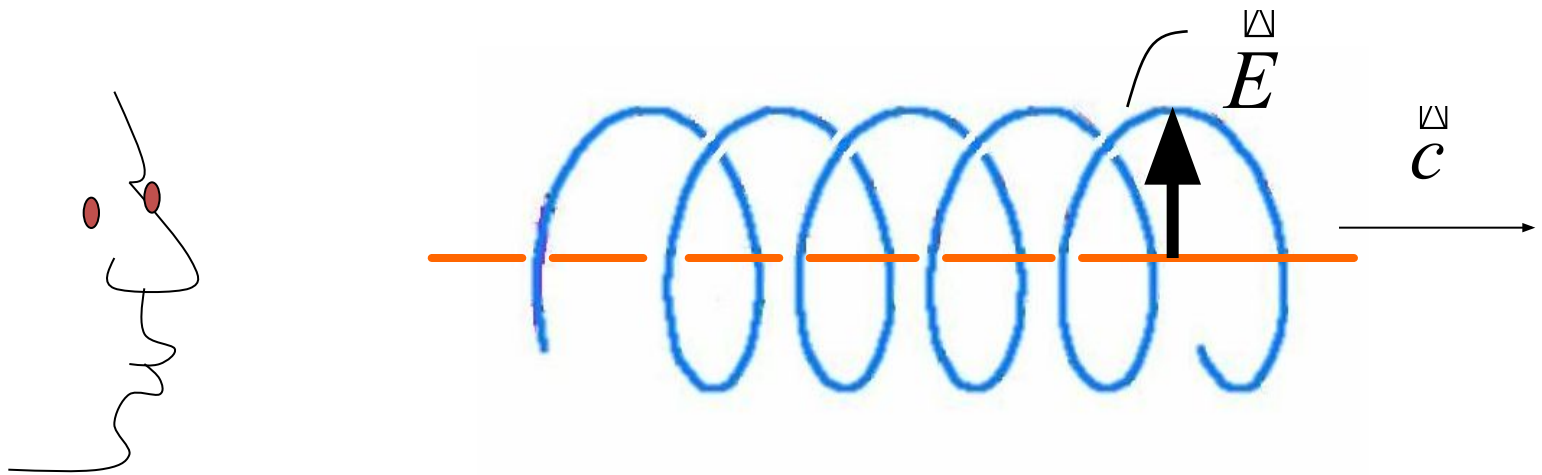
а) Правая поляризация



Концы векторов напряженности лежат на **правой спирали**

Если смотреть вслед волне, то вектор E **вращается против часовой стрелки**

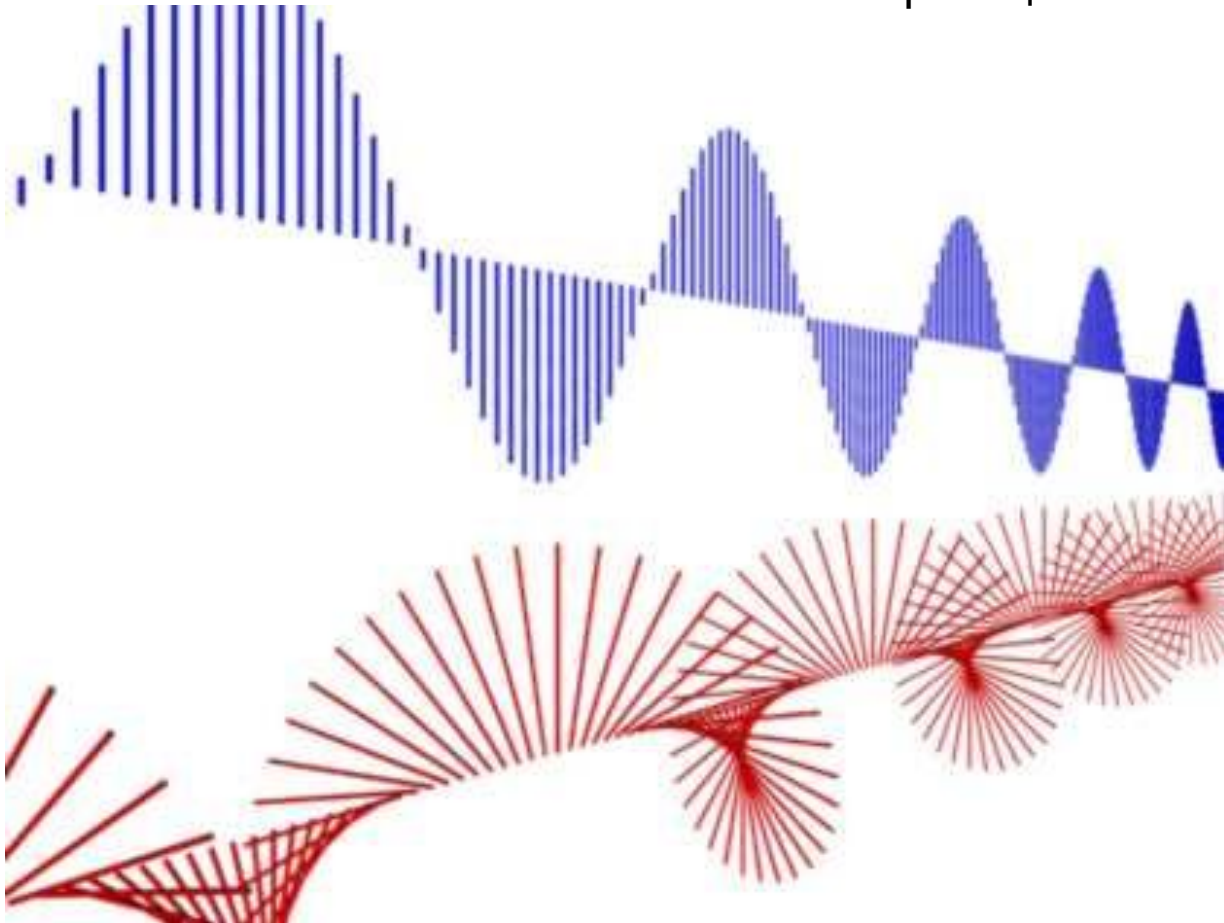
б) Левая поляризация



Концы векторов напряженности лежат на *левой спирали*

Если смотреть вслед волне, то вектор E *вращается по часовой стрелке*

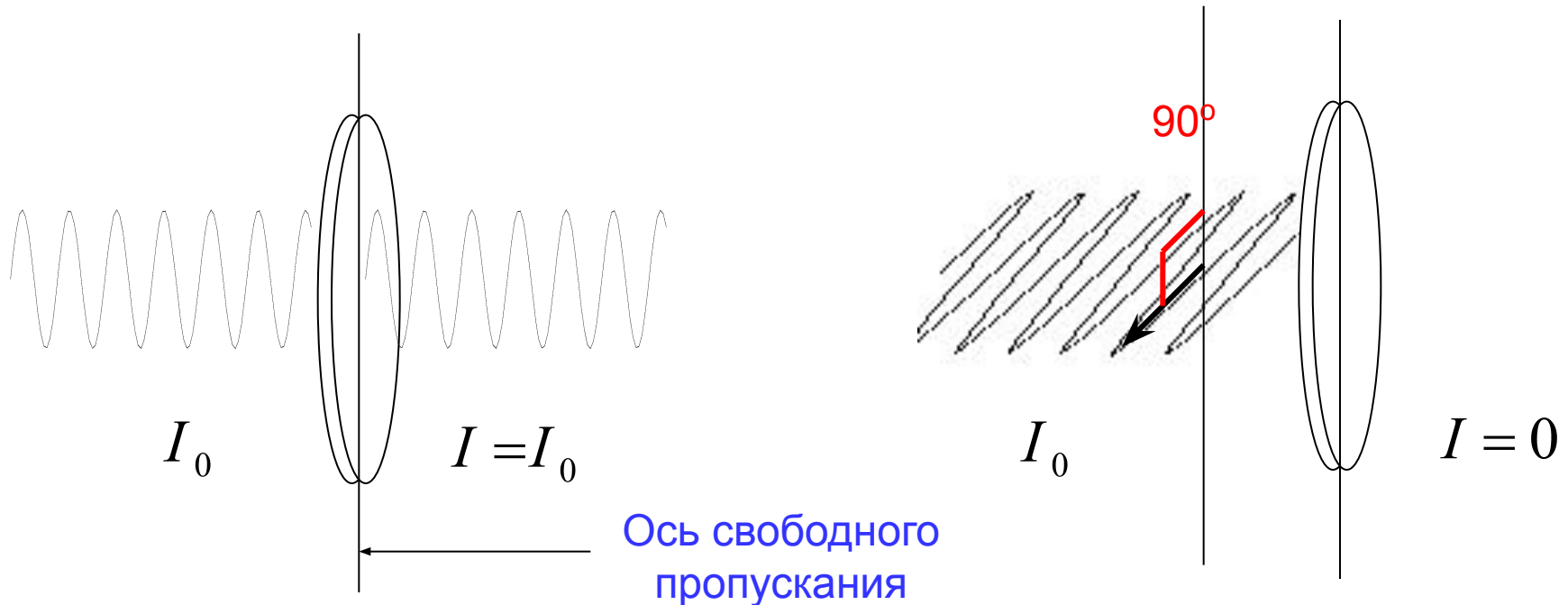
Линейная поляризация



Круговая поляризация

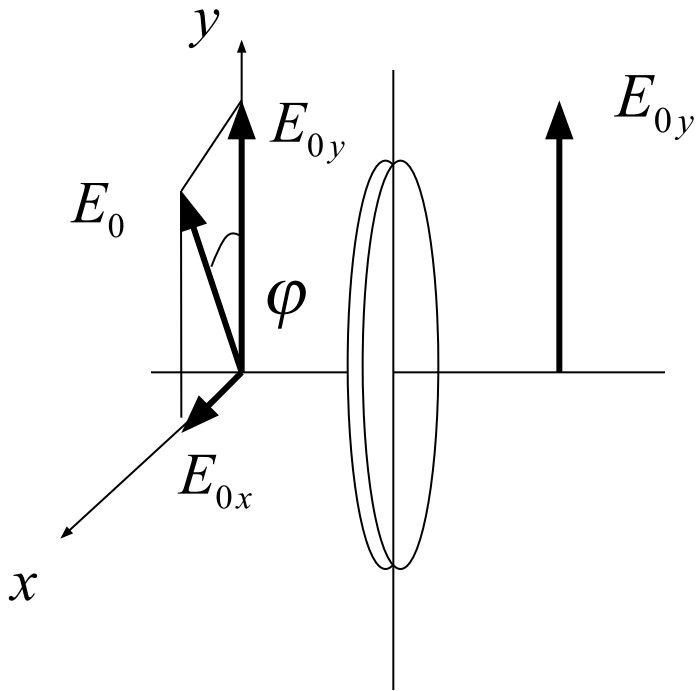
Поляризаторы и анализаторы

Плоскополяризованный свет можно получить из естественного с помощью поляризатора. **Идеальный поляризатор** – это устройство, полностью пропускающее свет, поляризованный в одном направлении и полностью поглощающее свет, поляризованный в перпендикулярном направлении.



Закон Малюса

Закон Малюса описывает прохождение линейно поляризованного света через идеальный поляризатор (ИП)



До ИП:

$$\vec{E}_0 = \vec{E}_{0x} + \vec{E}_{0y}$$

После ИП:

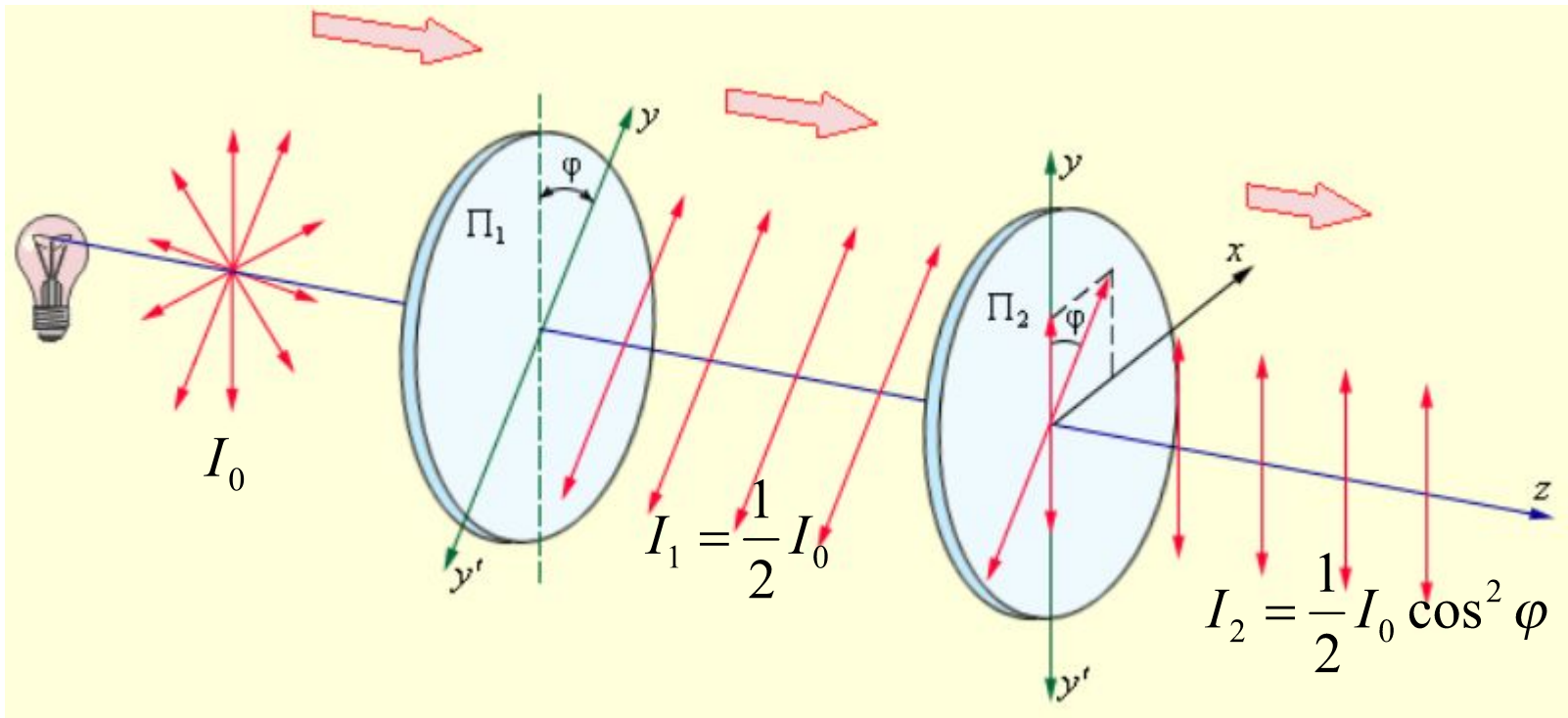
$$E = E_{0y} = E_0 \cos \varphi$$

Интенсивность пропорциональна квадрату амплитуды

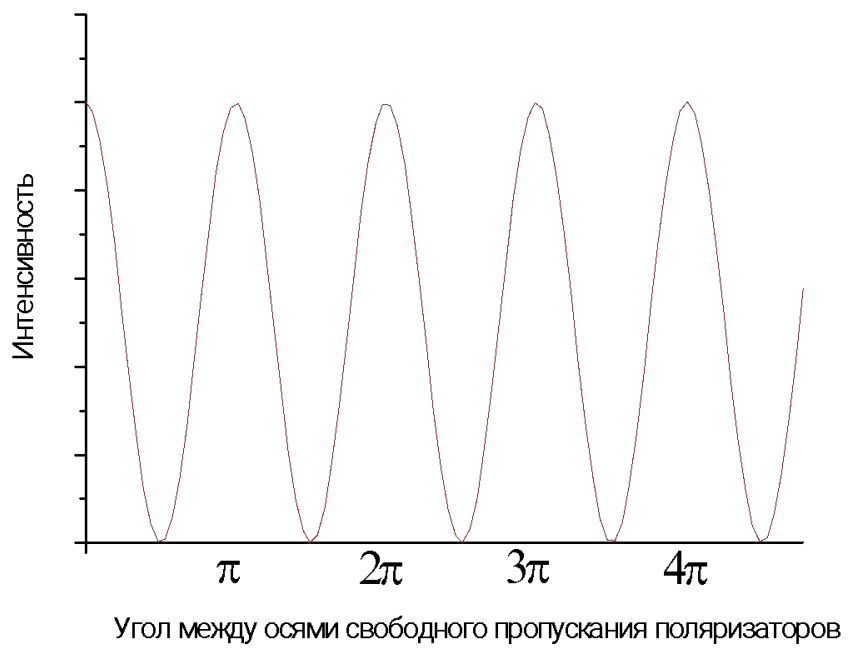
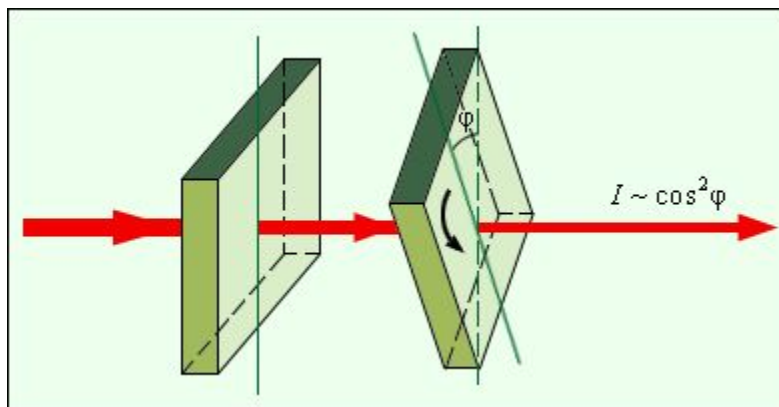
$$E^2 = E_0^2 \cos^2 \varphi$$

$$I = I_0 \cos^2 \varphi$$

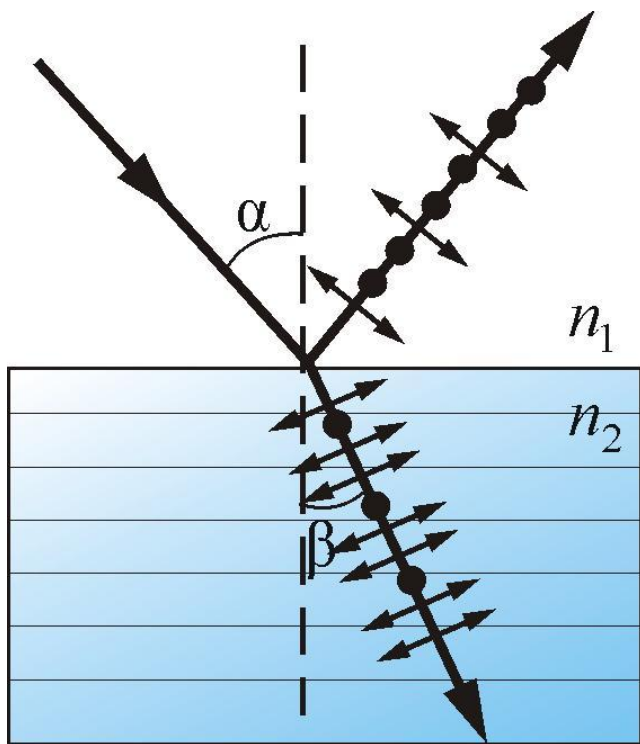
При пропускании естественного света через ИП интенсивность уменьшается вдвое



Анализатор - поляризатор, используемый для исследования светового потока с помощью закона Малюса: поляризован свет, или нет.



Поляризация при отражении и преломлении на границе раздела двух диэлектриков.



При падении света под произвольным углом α отражённый и преломленный луч частично поляризованы.

Если угол падения удовлетворяет условию:

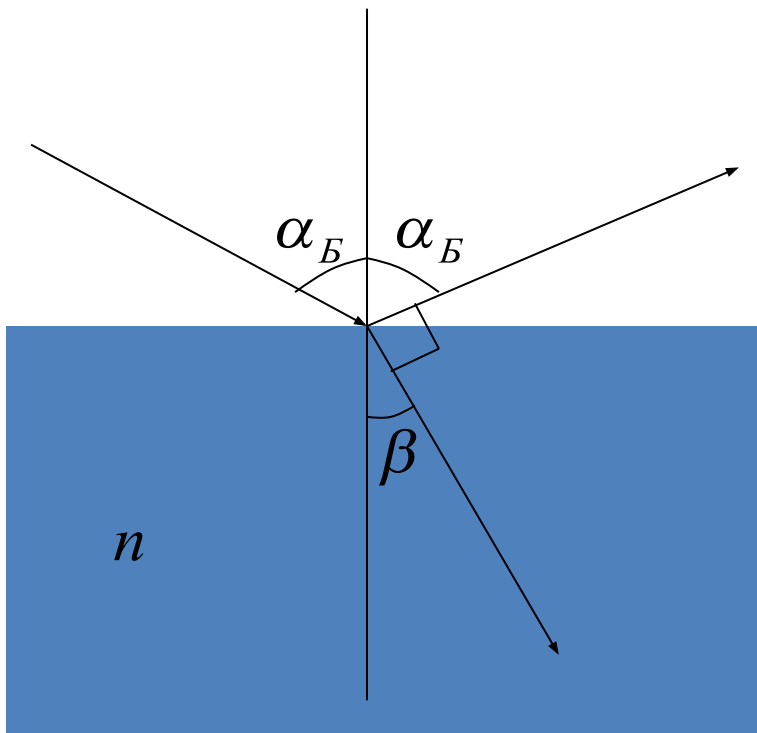
$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

то отражённый луч полностью поляризован в плоскости перпендикулярной плоскости падения. Преломлённый луч поляризован частично.

Соотношение (1) называется **закон Брюстера**, а угол α_B - **угол Брюстера**

Для угла Брюстера выполняется соотношение: $\alpha_B + \beta = 90^\circ$

Угол Брюстера



$$\frac{\sin \alpha_B}{\sin \beta} = n$$

$$\alpha_B + 90^\circ + \beta = 180^\circ$$

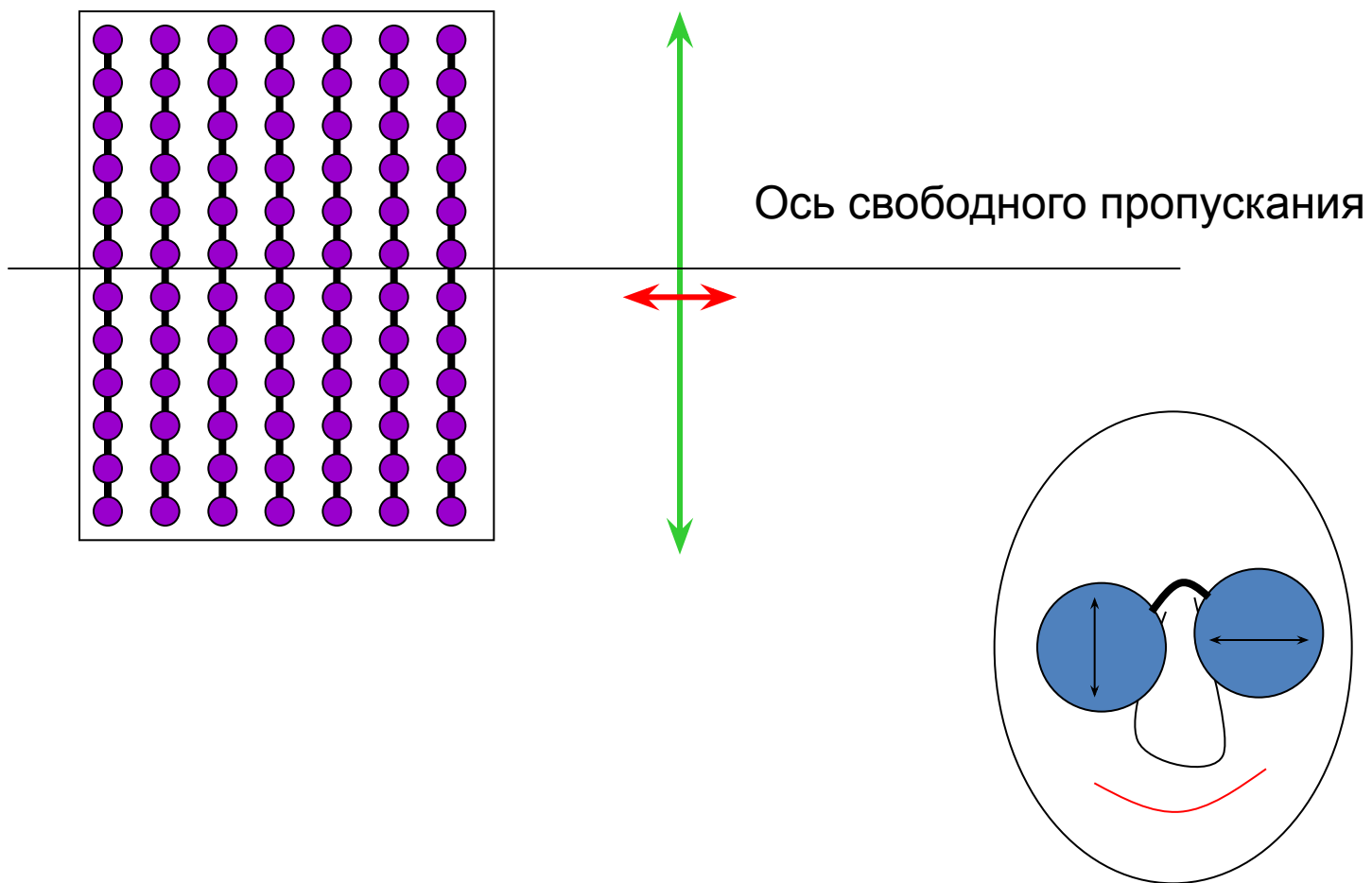
$$\beta = 90^\circ - \alpha_B$$

$$\frac{\sin \alpha_B}{\sin(90^\circ - \alpha_B)} = \frac{\sin \alpha_B}{\cos \alpha_B} = \operatorname{tg} \alpha_B = n$$

$$\alpha_B = \operatorname{arctg} n$$

Применение поляризованного света

Поляроид





Обычный снимок. Видны блики от отраженного света

Снимок через поляриод с вертикальной осью свободного пропускания (частично поляризованное отраженное излучение подавлено)

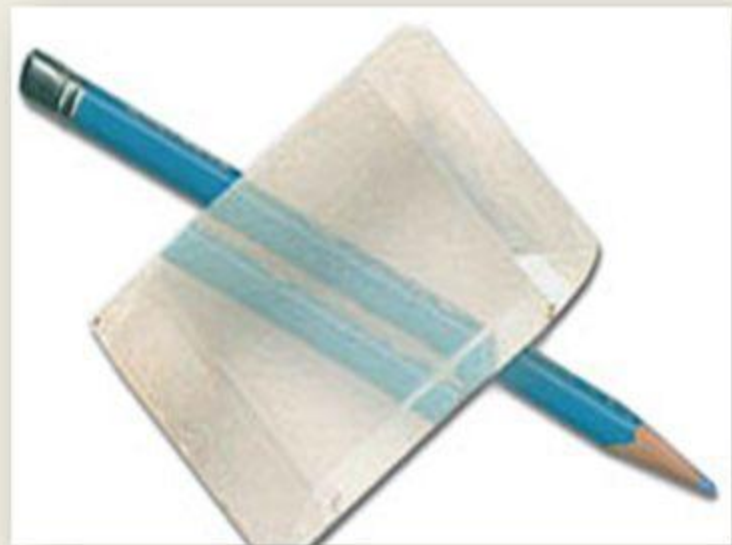
Элементы кристаллооптики. Двойное лучепреломление

При прохождении света через некоторые кристаллы световой луч разделяется на два луча. Это - **двойное лучепреломления**.

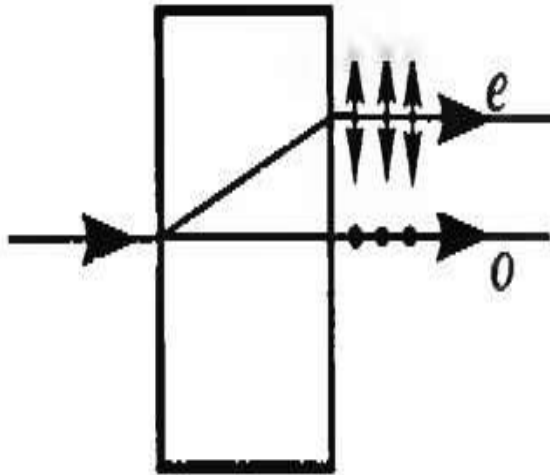
При двойном лучепреломлений один из лучей удовлетворяет обычному закону преломления и лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью

Этот луч называется **обыкновенным** («о»)

Для другого луча, называемого **необыкновенным** («е»), показатель преломления не остается постоянным при изменении угла падения



Двойное лучепреломление



Оба луча поляризованы во взаимно перпендикулярных направлениях.

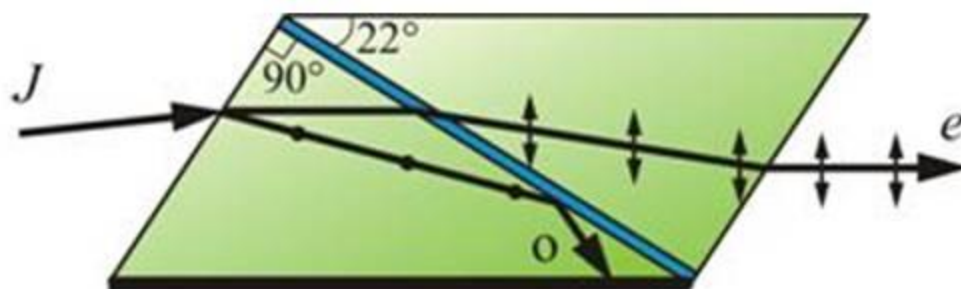
Двойное лучепреломление объясняется анизотропией кристаллов: диэлектрическая проницаемость ϵ в разных направлениях различна.

. Поскольку абсолютный показатель преломления зависит от ϵ , то из анизотропии ϵ следует, что скорость распространения световых волн зависит от направления колебаний вектора \vec{E}

Явление двойного лучепреломления используется для получения поляризованного света с помощью поляризационных призм.

4) Поляризация при двойном лучепреломлении в кристаллах

Часто в качестве поляризатора используется так называемая призма Николя. Это призма из исландского шпата, разрезанная по диагонали и склеенная канадским бальзамом



Показатель преломления канадского бальзама лежит между значениями показателей n_o и n_e для обыкновенного и необыкновенного лучей в исландском шпате ($n_o > n > n_e$). За счет этого обыкновенный луч претерпевает на прослойке бальзама полное внутреннее отражение и отклоняется в сторону. Необыкновенный луч свободно проходит через эту прослойку и выходит из призмы.