

ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

Естественный и поляризованный свет

Поляризация при отражении и преломлении

Двойное преломление света

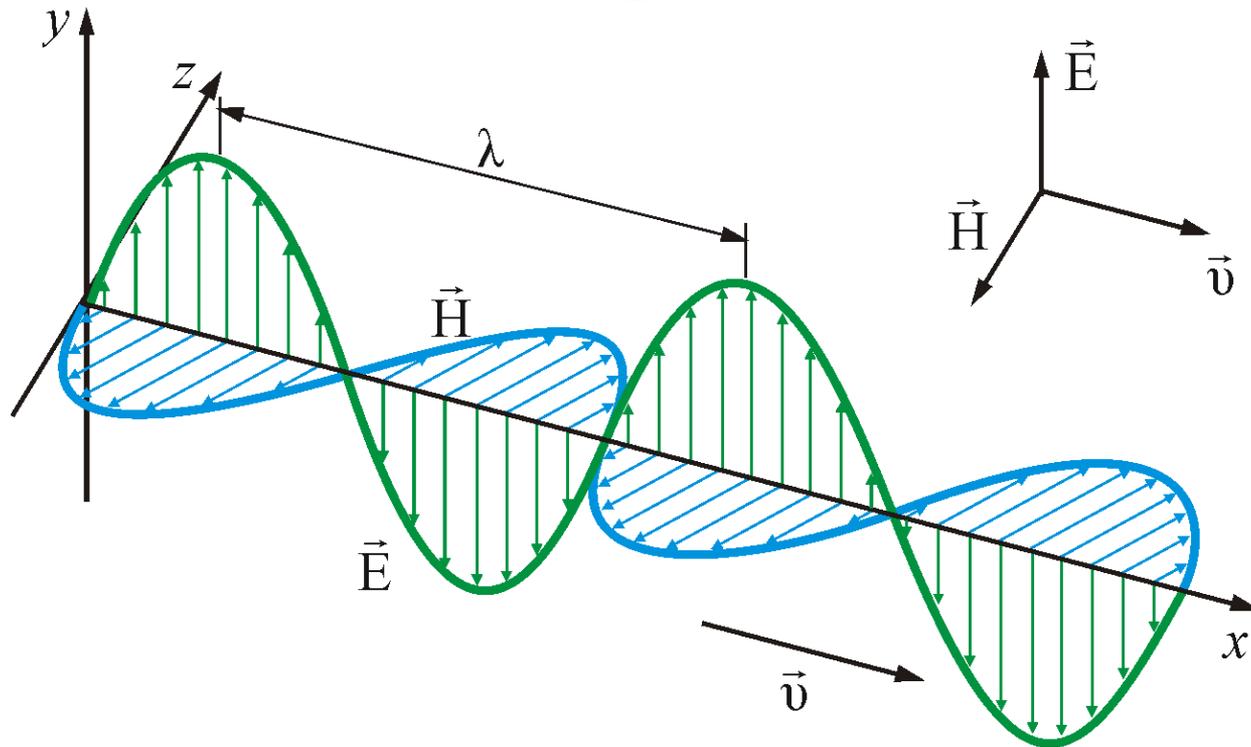
Закон Малюса

Искусственная анизотропия

Вращение плоскости поляризации

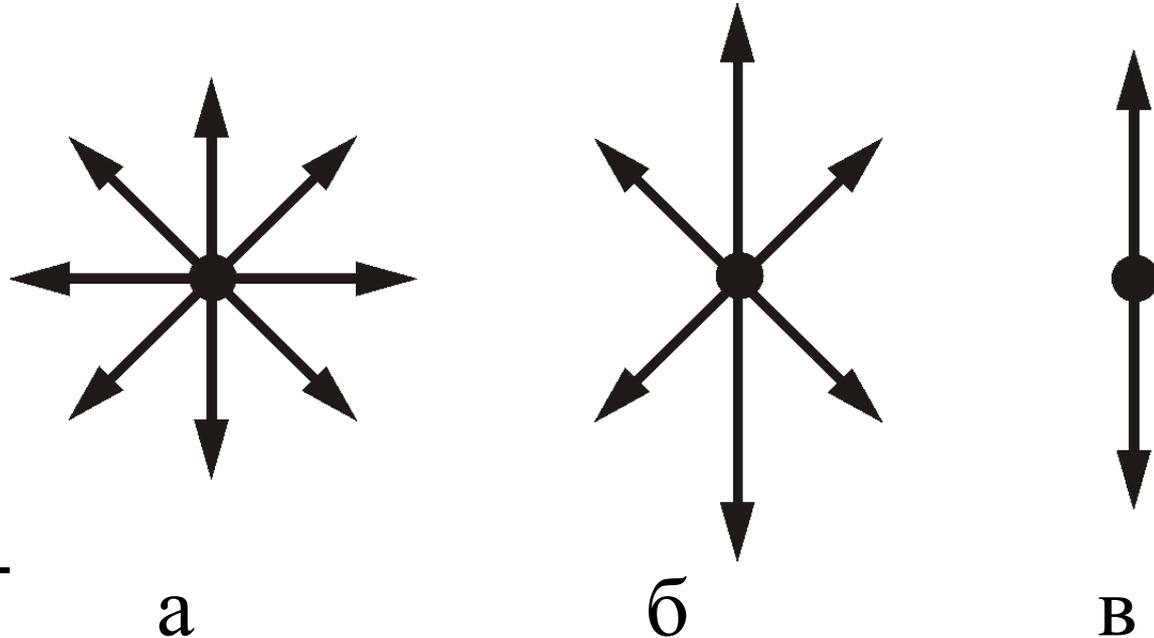
Естественный и поляризованный свет

Основным свойством электромагнитных волн является **поперечность** колебаний векторов напряжённости электрического и магнитного полей



Продольная волна всегда симметрична относительно направления распространения.

Естественный свет – неполяризованный:



Свет с преимущественным

направлением колебаний вектора \vec{E} называют *частично поляризованным светом* (рис. б)

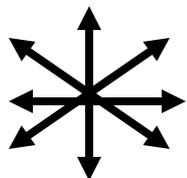
Линейная поляризация (рис. в).

Электромагнитная волна в этом случае называется *полностью поляризованной*.

Плоскостью поляризации называется

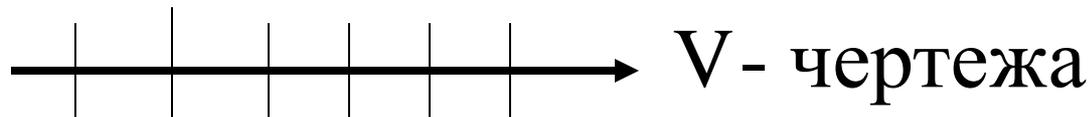
плоскость, в которой колеблется вектор \vec{E}

На рис. обозначается :

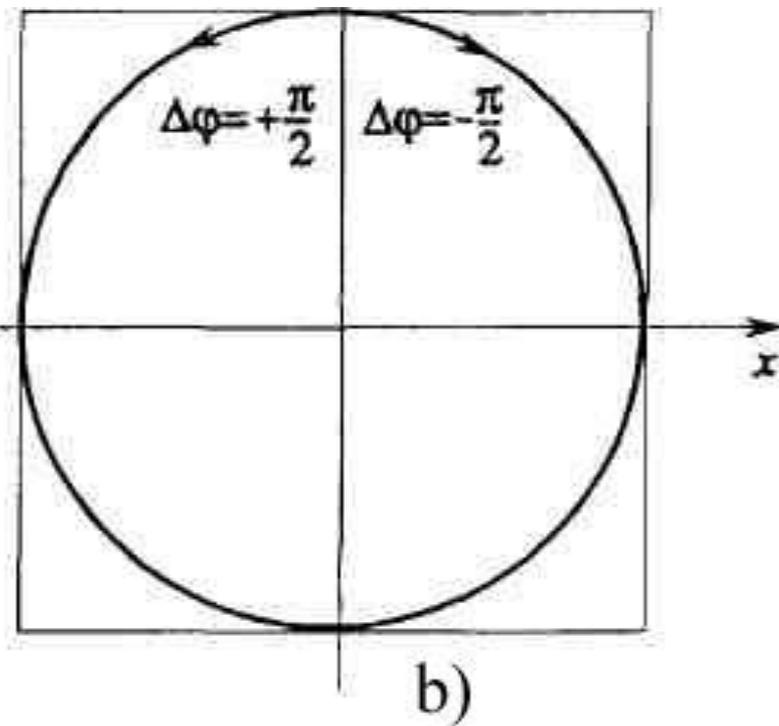
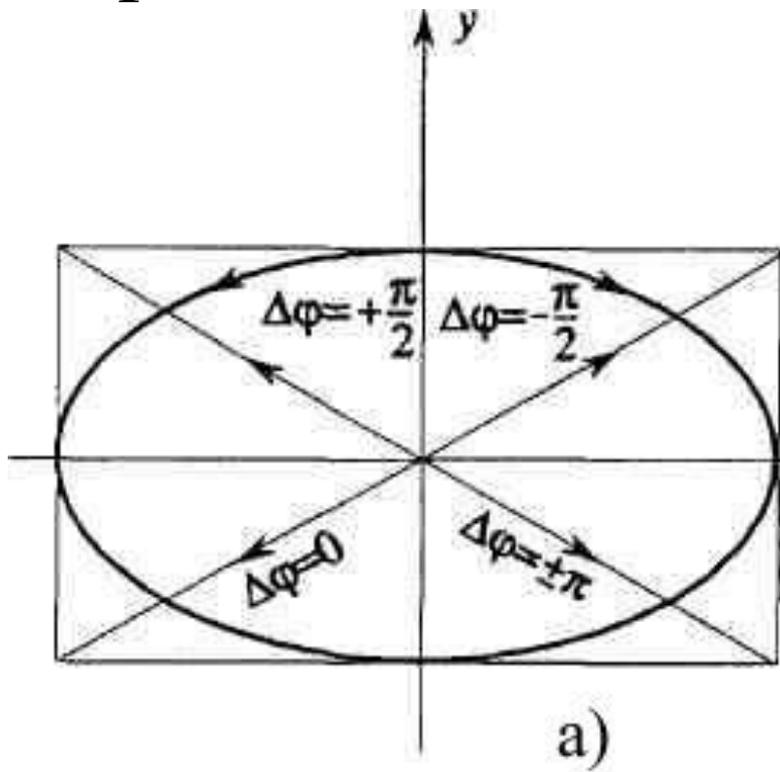


- естественный свет ;

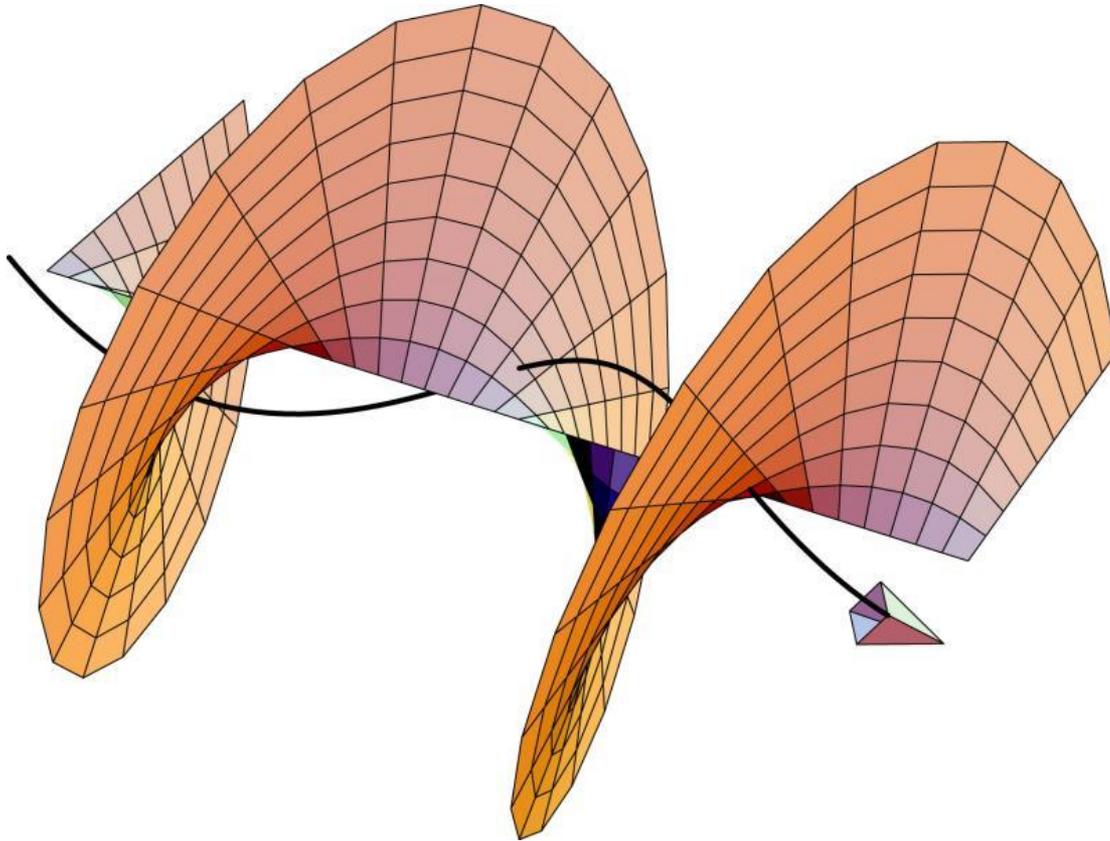
Поляризованный в плоскости:



Эллиптическая и круговая поляризация электромагнитной волны



Пространственную структуру эллиптически-поляризованных волн поясняет рисунок:



Винтовая линия - геометрическое место концов вектора \vec{E} .

Шаг винта равен длине волны λ .

Винтовая линия, не деформируясь, перемещается со скоростью света в направлении распространения волны.

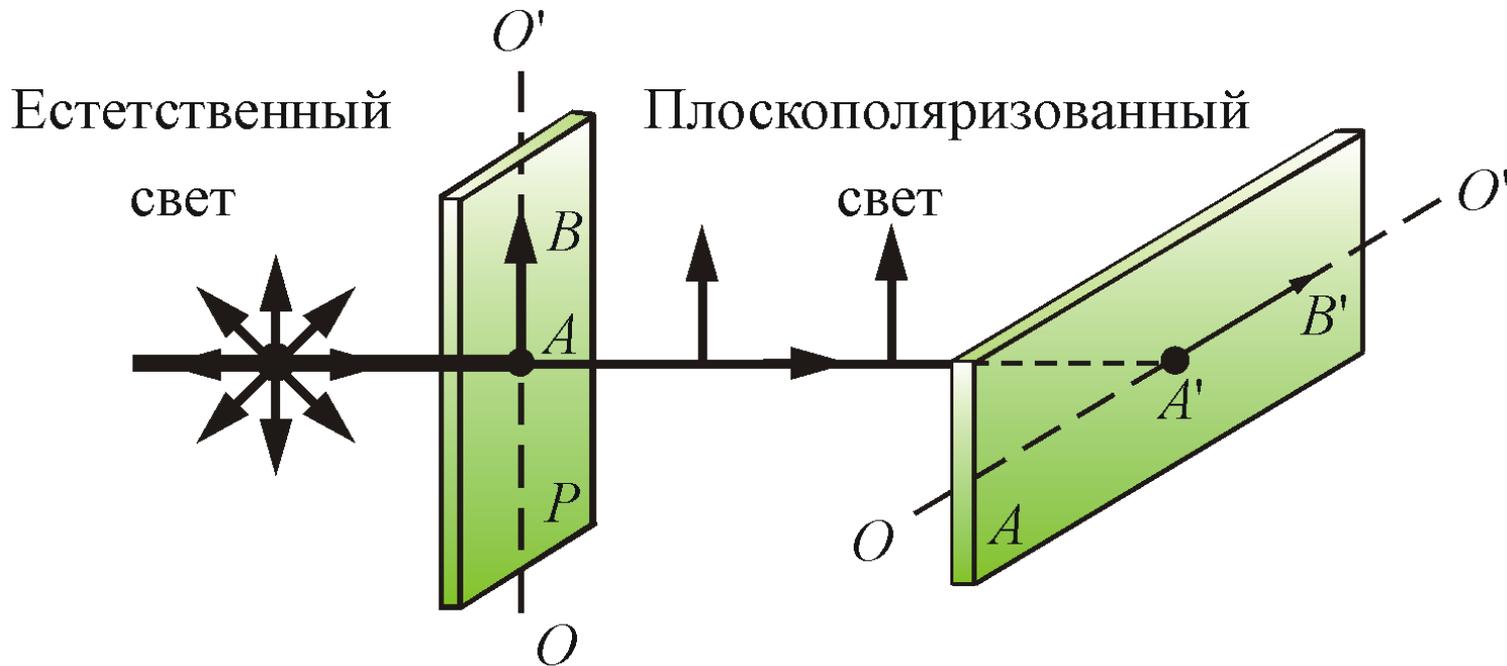
В реальных средах возможно превращение неполяризованных волн в полностью поляризованные и наоборот.

Способы поляризации:

- *поляризация электромагнитной волны при отражении и преломлении.*
- *Поляризация при распространении электромагнитных волн в оптически анизотропных средах.*

Ассиметрию поперечных световых лучей можно изучать, *пропуская свет через анизотропные кристаллы.* Устройства позволяющие получать линейно поляризованный свет, называют *поляризаторами.*

Когда те же самые приборы используют для анализа поляризации света, их называют *анализаторами.*



После прохождения **поляризатора** свет будет линейно поляризован в направлении OO' . Интенсивность света, при этом, уменьшится на половину.

Если на пути луча поставить второй кристалл – **анализатор** A , то интенсивность света будет изменяться в зависимости от того, как ориентированы друг относительно друга обе пластины.

Основные выводы

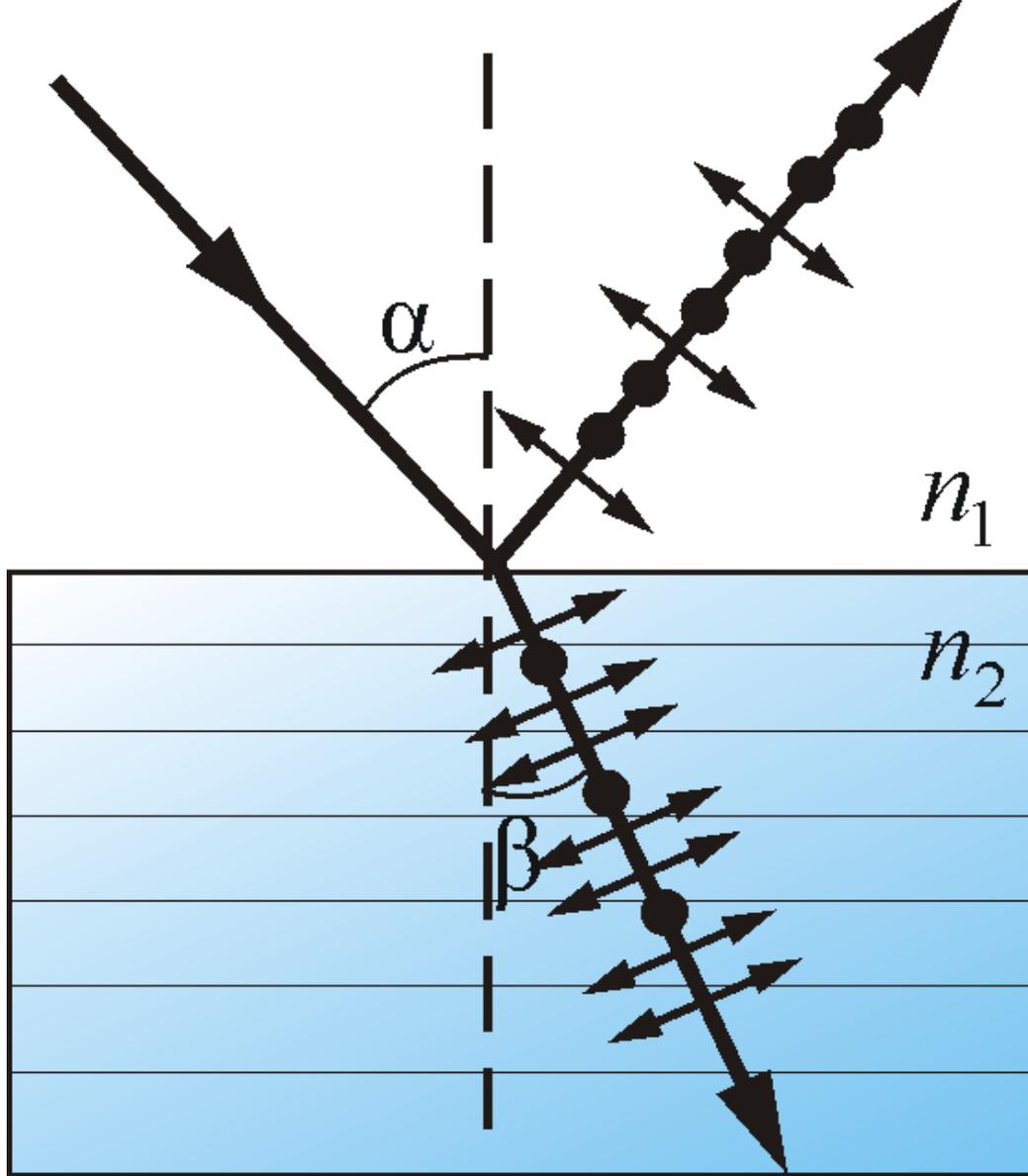
- *световые волны поперечны*, однако в естественном свете нет преимущественного направления колебаний;
- *кристалл поляризатора пропускает лишь те волны, вектор \vec{E} которых имеет составляющую параллельную оси кристалла.* (именно поэтому поляризатор ослабляет свет в два раза);
- *для анализа света* используется *кристалл анализатора*, который, пропускает свет, когда его *ось параллельна оси поляризатора.*

Поляризация при отражении и преломлении

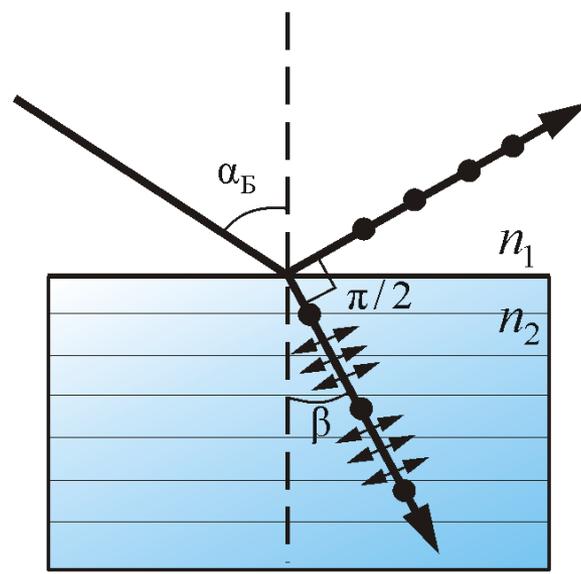
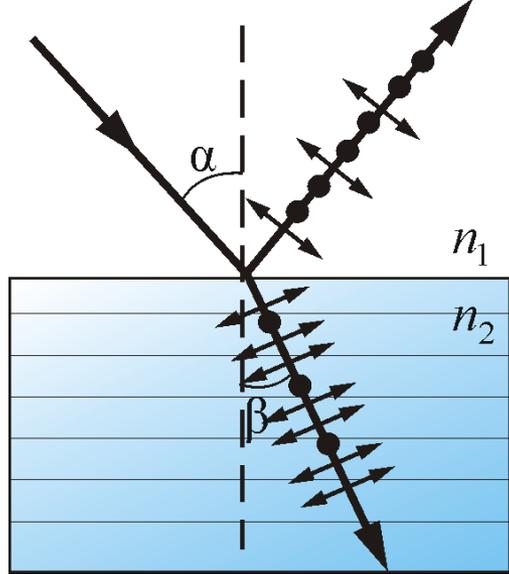
Свет поляризуется при отражении от границы двух сред и при прохождении границы – при преломлении.

Если угол падения света на границу раздела двух диэлектриков (например, воздух-стекло) отличен от нуля, то отраженный и преломленный свет оказывается частично поляризованным (При отражении света от проводящей поверхности свет получается эллиптически поляризованным.).

В отраженном луче преобладают колебания, перпендикулярные плоскости падения, а в преломленном луче – колебания параллельные плоскости падения.



Степень поляризации зависит от угла падения.



Степень поляризации зависит от угла падения

Если луч падает на границу двух сред под углом α , удовлетворяющему условию

$$\text{tg } \alpha = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

то *отраженный луч* оказывается *полностью поляризованным*. Преломленный луч — *поляризован частично*.

Угол α — называется *углом Брюстера* .

Формула Френеля для расчета степени поляризации:

$$P = \frac{J_x - J_y}{J_x + J_y}$$

где J_x и J_y – интенсивности света по осям x и y .

Таким образом, пластинка прозрачного диэлектрика *сортирует* лучи естественного света, отражая лучи с одним направлением колебаний и преломляя с другим.

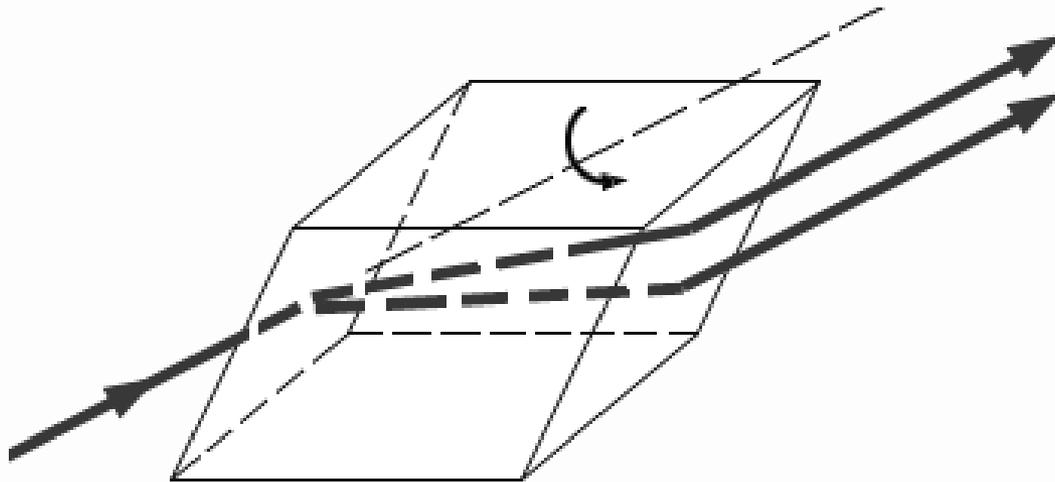


Френель Огюст Жан (10.V.1788 - 14.VII.1827) - французский физик, член Парижской академии наук (с 1823 года). Научные работы посвящены физической оптике. Дополнил известный принцип

Гюйгенса, введя так называемые зоны Френеля (принцип Гюйгенса - Френеля). Разработал в 1818 году теорию дифракции света. Член Лондонского королевского общества (с 1825 года).

Двойное преломление света

В 1669 г. датский ученый *Эразм Бартолин* опубликовал работу, в которой сообщил об открытии нового физического явления – *двойного преломления света*. В кристалле *исландского шпата* (CaCO_3), Бартолин обнаружил, что луч внутри кристалла расщепляется на два луча





Гюйгенс Христиан (1629 – 1695), нидерландский ученый. В 1665 – 81 гг. работал в Париже. Изобрел (1657 г.) маятниковые часы со спусковым механизмом, дал их теорию, установил

законы колебаний физического маятника. Опубликовал в 1690 г. созданную им в 1678 г. волновую теорию света, объяснил двойное лучепреломление. Усовершенствовал телескоп; сконструировал окуляр, названный его именем. Открыл кольцо у Сатурна и его спутник Титан. Автор одного из первых трудов по теории вероятностей (1657 г.).

Объяснение этого явления дал современник Бартолина – голландский ученый Христиан Гюйгенс.

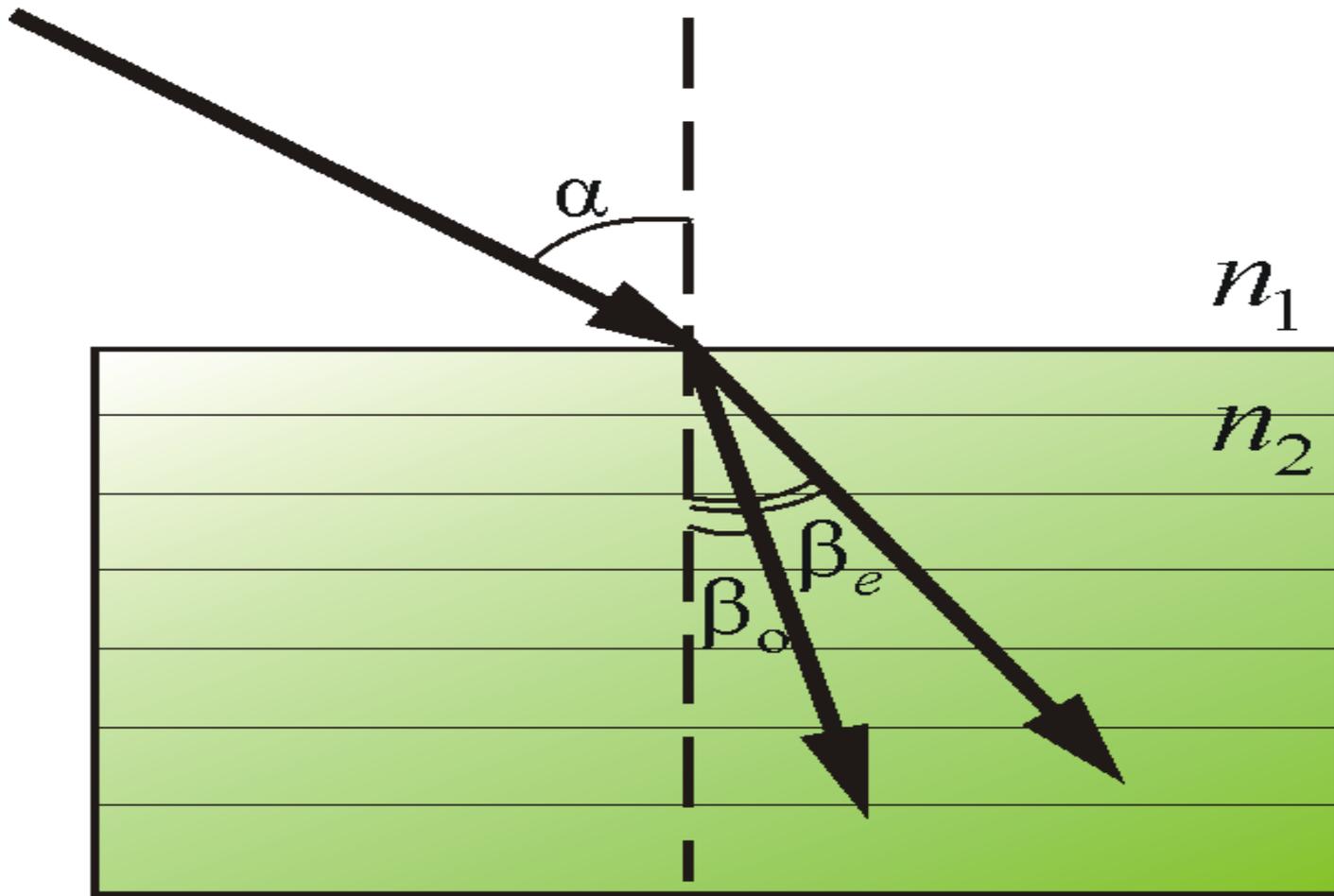
Необычное поведение луча света, проходящего через *исландский шпат*, связано с *анизотропией кристалла*.

Оптическая ось кристалла

Плоскость, проходящая через оптическую ось, называется *главным сечением кристалла*

Одноосные кристаллы (исландский шпат, турмалин)

Кристаллы *двухосные* (гипс, слюда).

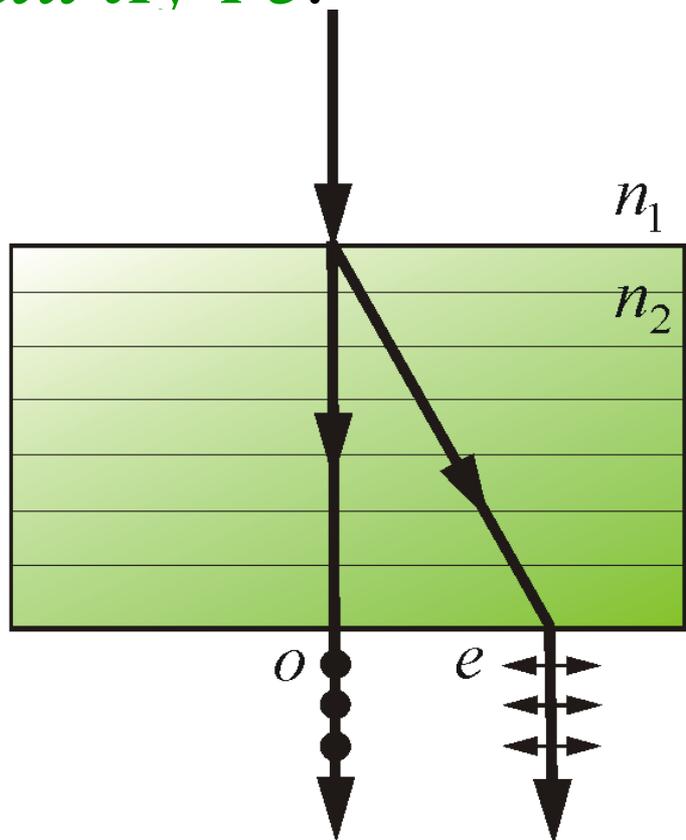
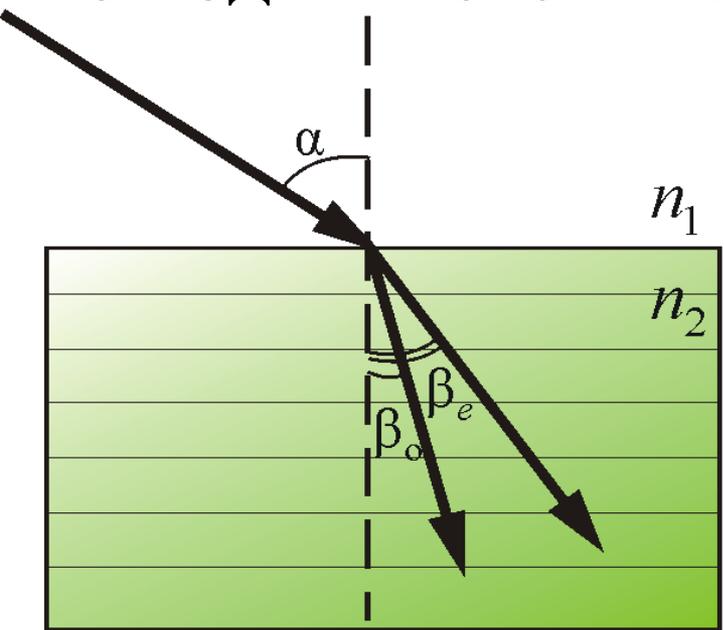


Закон преломления Снеллиуса:

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

Подчиняется луч *обыкновенный o*

Не подчиняется – *необыкновенный луч e*.



Явление двойного лучепреломления используется для получения поляризованного света.

Измерения показывают, что **скорость света в кристалле зависит не только от направления распространения луча, но и от ориентации вектора \vec{E} относительно плоскости падения.**

Однако, в кристалле существует одно или несколько направлений, в которых **скорость света не зависит от ориентации вектора \vec{E} .**

Эти направления называются **оптическими осями кристалла.**

Следует иметь в виду, что **оптическая ось** – это не одна какая-то линия в кристалле, наподобие оси симметрии, а **определенное направление в кристалле.**

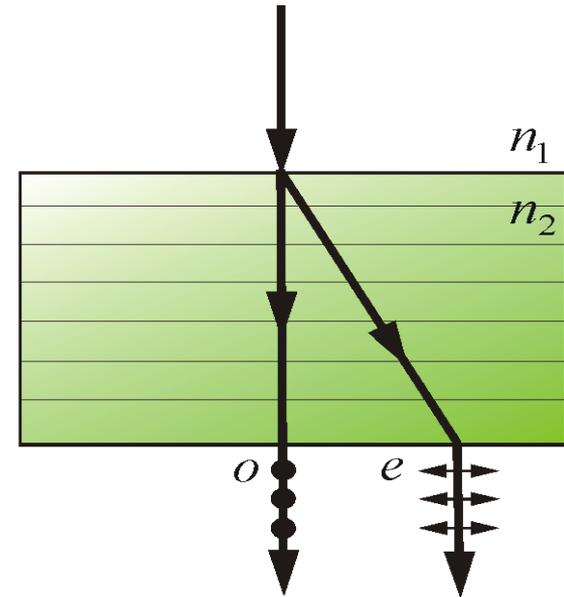
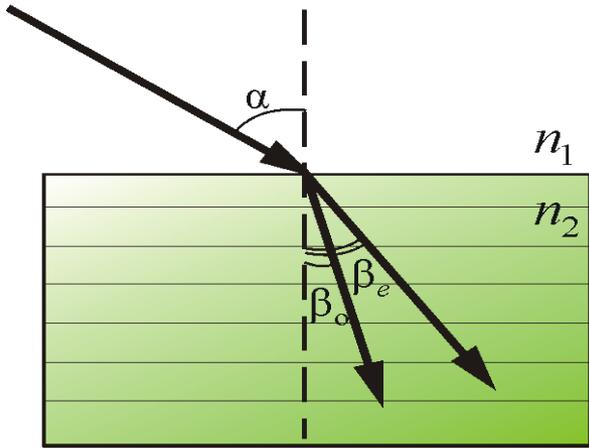
И все прямые, параллельные этому направлению и взятые в любом месте кристалла, являются оптическими осями.

В зависимости от количества таких направлений кристаллы делятся на одноосные (исландский шпат, турмалин, кварц) и двуосные (гипс , слюда и т.д.).

Явление двойного лучепреломления заключается в том, что луч внутри кристалла расщепляется на два луча. Один из них подчиняется законам геометрической оптики. $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$

Подчиняется луч обыкновенный **o**.

Не подчиняется – необыкновенный луч **e**.



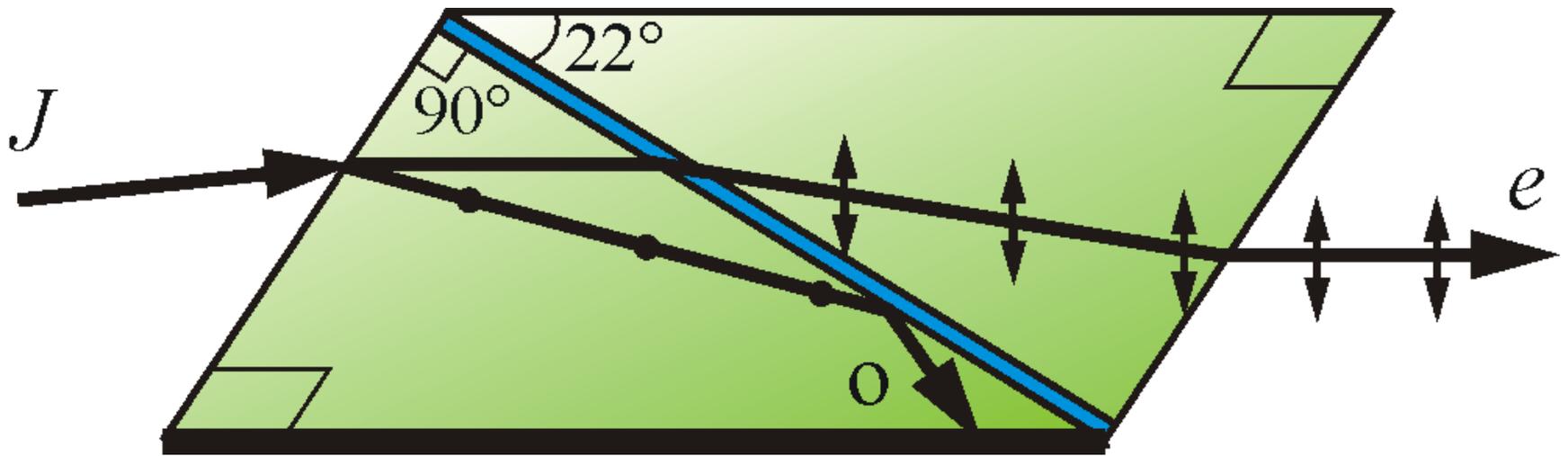
Явление двойного лучепреломления используется для получения поляризованного света.

Дихроизм — один из лучей поглощается сильнее другого

В кристалле турмалина, обыкновенный луч практически полностью поглощается на длине 1 мм, а необыкновенный луч выходит из кристалла. В кристалле сульфата йодистого хинина один из лучей поглощается на длине 0,1 мм.

Это явление используется для создания поляроидов. На выходе поляроида получается один поляризованный луч.

В качестве поляроида используется *призма Николя (николь)*. Это призма из *исландского шпата*, разрезанная по диагонали и склеенная *канадским бальзамом*.



Показатель преломления канадского бальзама
 $n_o > n > n_e$

Двойное лучепреломление объясняется *анизотропией кристалла*. Диэлектрическая проницаемость ϵ — зависит от направления. В одноосных кристаллах диэлектрическая проницаемость в направлении оптической оси ϵ_x и в направлениях перпендикулярных к ней ϵ_y , имеет разные значения.

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

$$n = \sqrt{\epsilon}$$

Скорость распространения обыкновенного луча

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

Показатель преломления обыкновенного луча

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

и показатель преломления

$$\text{необыкновенного луча } n_e = \frac{c}{v_e}$$

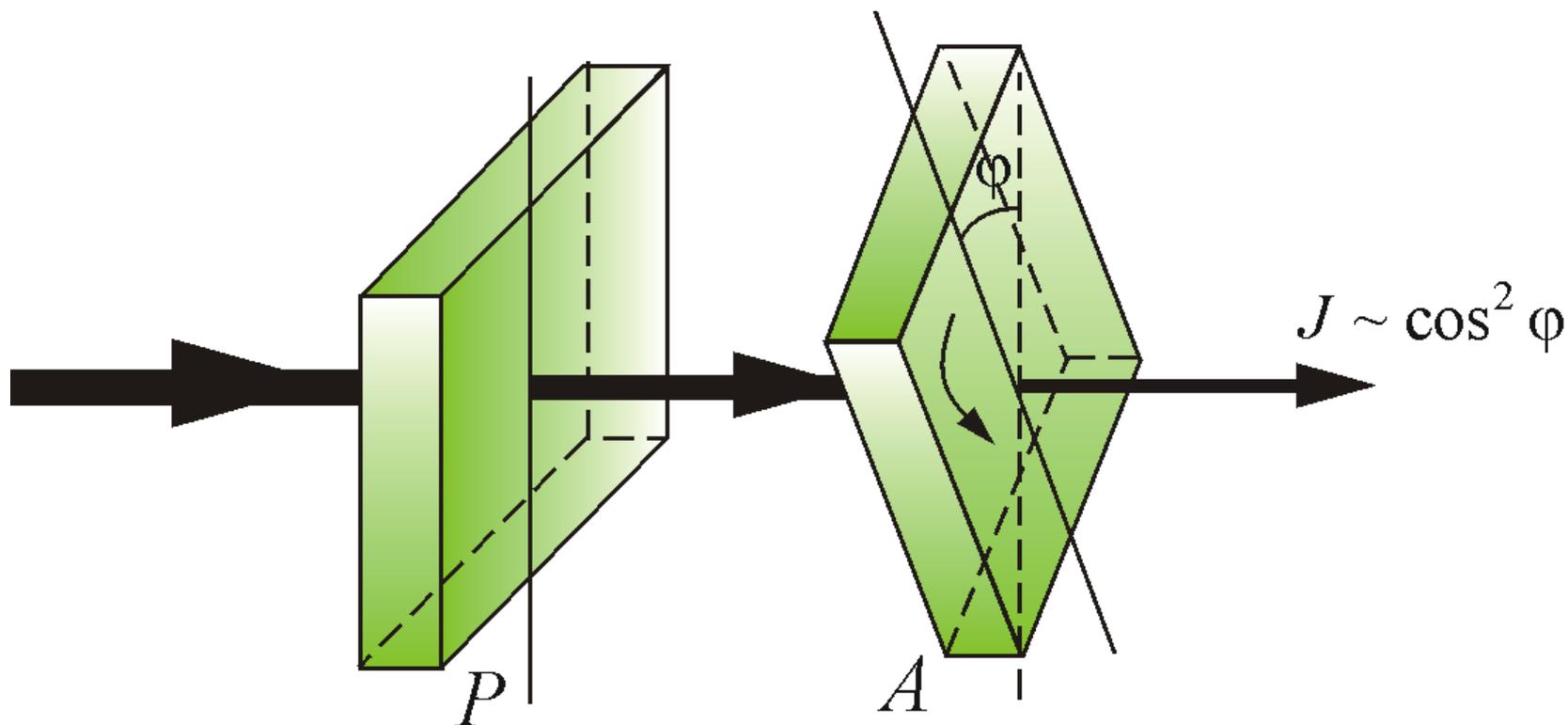
В зависимости от того, какая из скоростей v_0 или v_e больше, различают положительные и отрицательные одноосные кристаллы.

При условии, когда $v_0 > v_e$ – кристалл **положительный** ($n_e > n_0$),
при $v_0 < v_e$ - отрицательный ($n_e < n_0$).

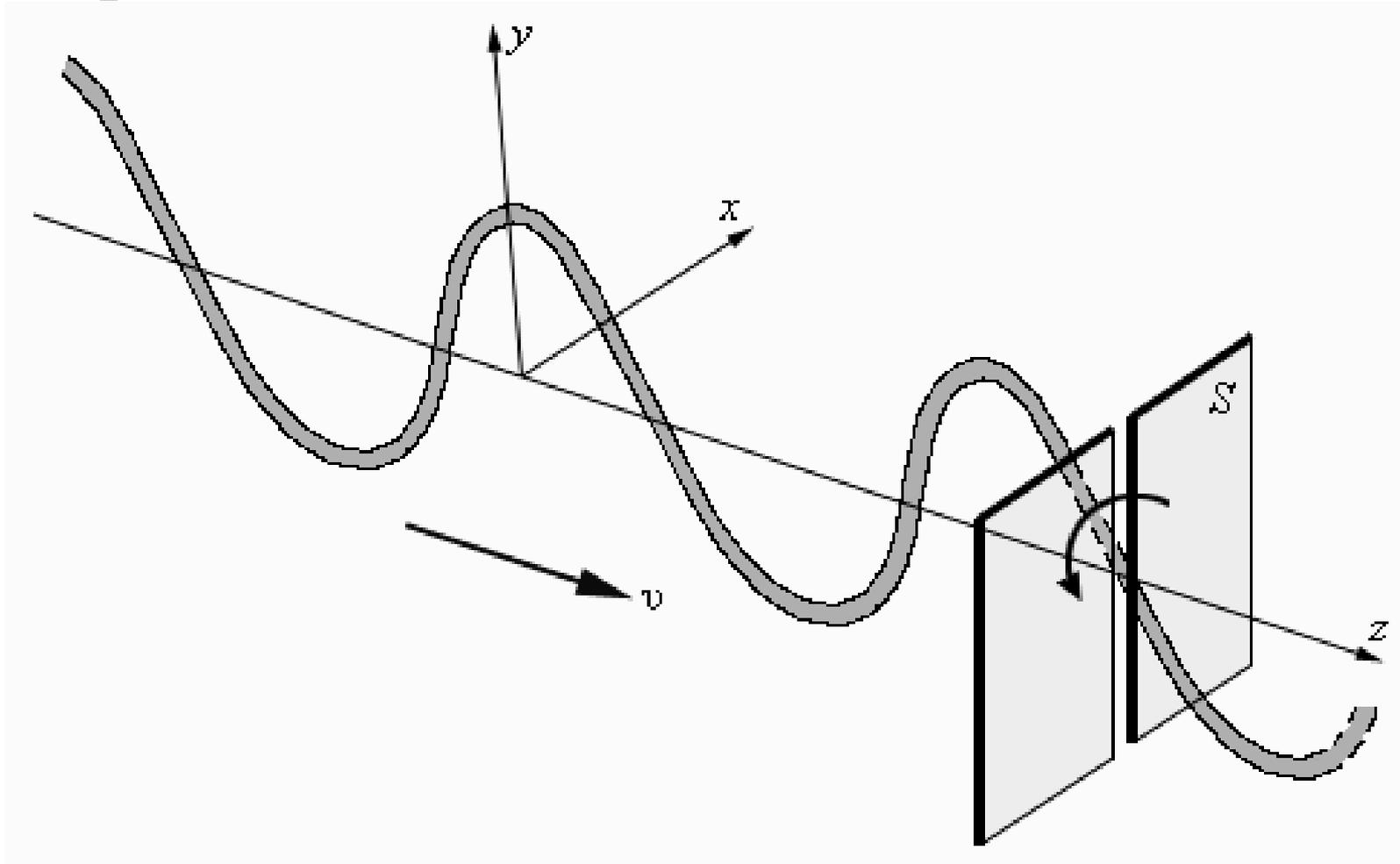
$$n_0 = 1.658, \quad n_e = 1.515, \quad n_{\text{смола}} = 1.56.$$

Закон Малюса

В 1809 г. французский инженер Э. Малюс открыл закон, согласно которому интенсивность прошедшего света $J \sim \cos^2 \varphi$

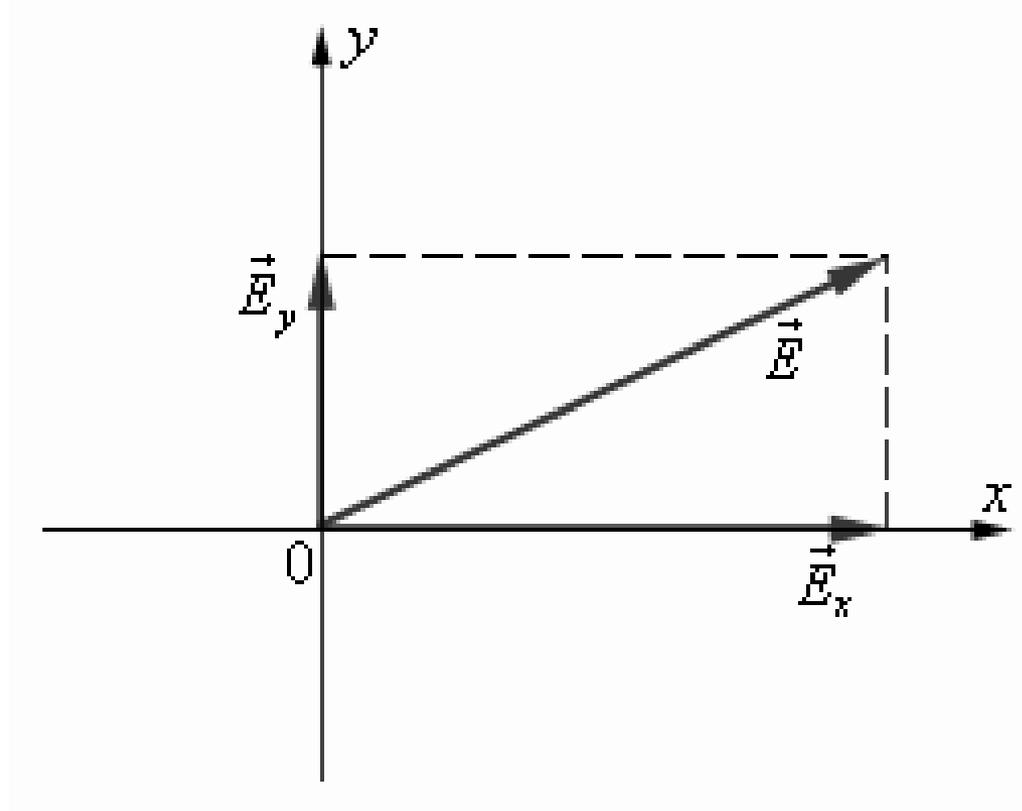


В поперечной волне направление колебаний и перпендикулярное ему направление не равноправны:



поворот щели S вызовет затухание волны

С помощью разложения вектора \vec{E} на составляющие по осям можно объяснить закон Малюса



Световую волну с амплитудой E_0 разложим на две составляющие.

$$E_x = E_0 \cos \varphi \quad E_y = E_0 \sin \varphi$$

E_x – пройдет через поляризатор, а E_y – не пройдет.

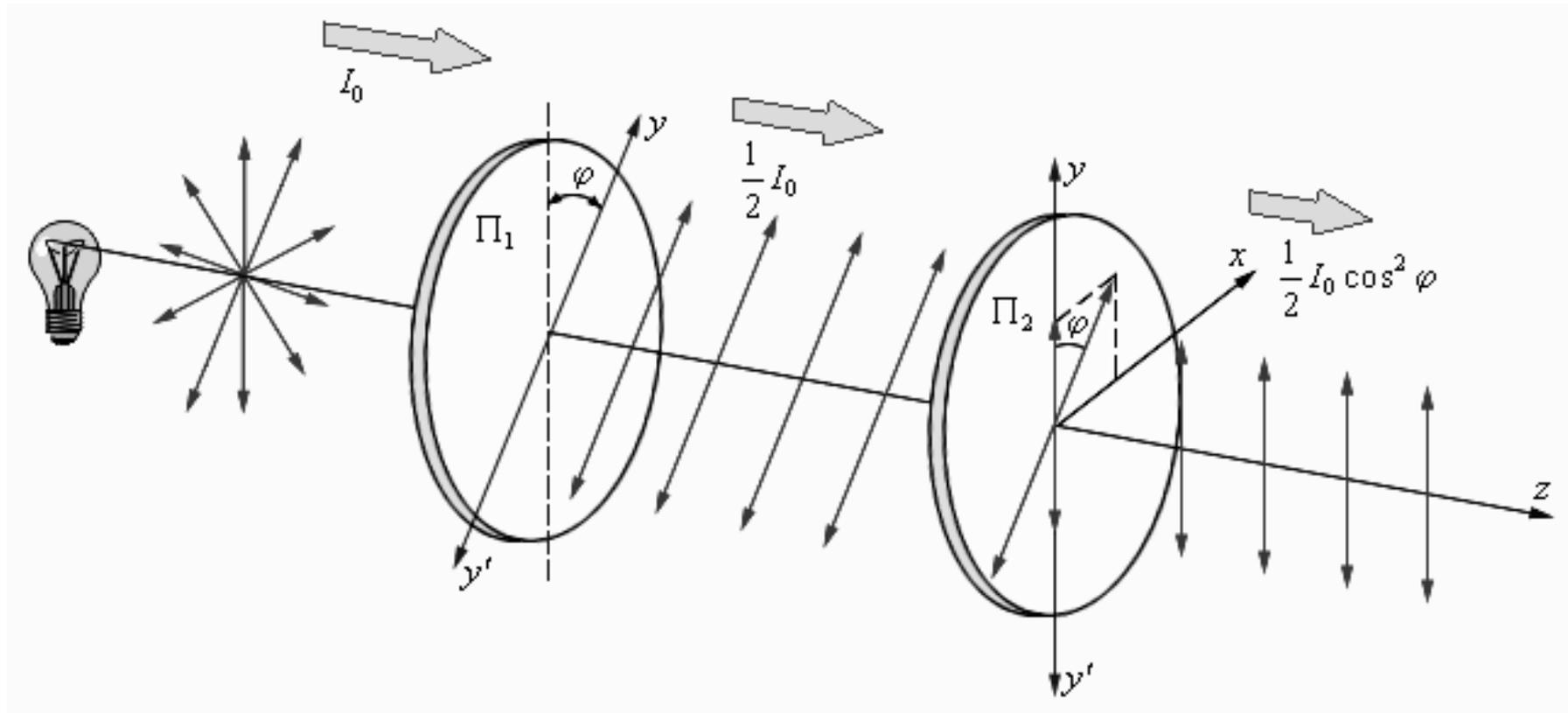
Т.к $J \sim E^2$, то $J \sim E_0^2 \cos^2 \varphi$ и $J_0 \sim E_0^2$

Закон Малюса

$$J = J_0 \cos^2 \varphi$$

В естественном свете все значения φ равновероятны и среднее значение $\langle \cos^2 \varphi \rangle = 1/2$

Интенсивность естественного света, уменьшается в два раза.



Прохождение естественного света через два идеальных поляроида. yy' – разрешенные направления поляроидов

После первого поляризатора $J_0 = \frac{1}{2} J_{\text{ест}}$

Второй поляризатор пропустит свет

$$J = J_0 \cos^2 \varphi = \frac{1}{2} J_{\text{ест}} \cos^2 \varphi$$

$$J = J_{\text{max}} = \frac{1}{2} J_{\text{ест}} \quad \text{при } \varphi = 0.$$

При $\varphi = \pi/2$, $J = 0$, т.е. скрещенные поляризаторы свет не пропускают

Таким образом, закон Малюса объясняется на основе разложения вектора E на составляющие.

Искусственная анизотропия

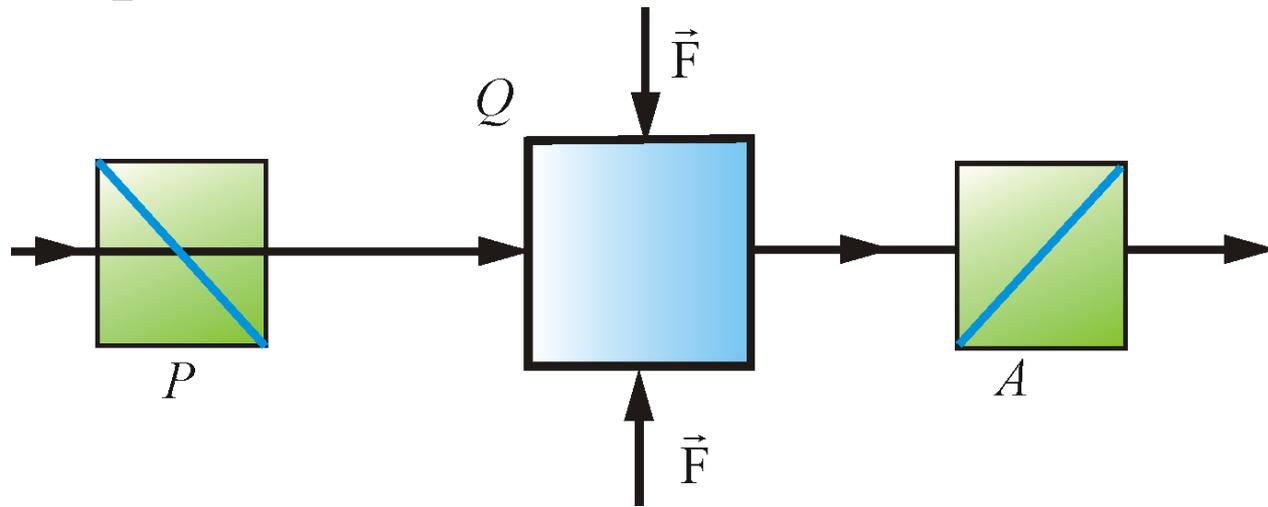
Двойное лучепреломление можно наблюдать в изотропных средах (аморфных телах), если *подвергнуть их механическим нагрузкам*.

Явление, открытое в 1818 г. Брюстером, получило название *фотоупругости* или *пьезооптического эффекта*.

Обозначим *напряжение* $\sigma = \frac{dF}{dS}$

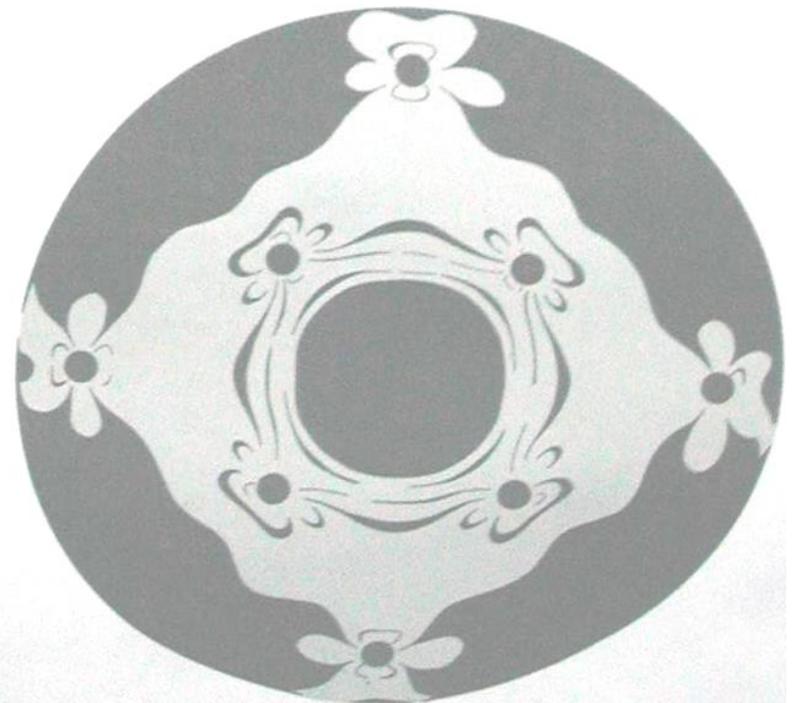
От этого напряжения будет зависеть разность показателей преломления: $n_o - n_e = k\sigma$

Поместим стеклянную пластинку Q между двумя поляризаторами P и A :



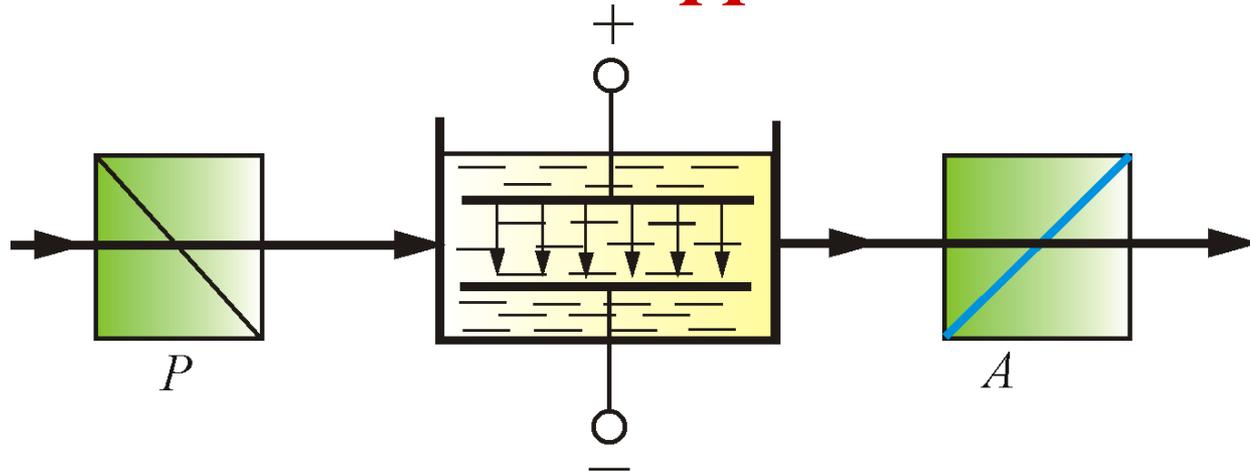
В отсутствие механической деформации свет через них проходить не будет. Если же стекло подвергнуть деформации, то свет может пройти, причем картина на экране получится цветная. По распределению цветных полос можно судить о распределении напряжений в стеклянной пластинке.

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



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.

На основе ячеек Керра построены практически безинерционные затворы и модуляторы света с временем срабатывания до 10^{-12} с.

Величина двойного лучепреломления прямо пропорциональна квадрату напряжённости электрического поля:

$$\Delta n = nkE^2 \quad (\text{закон Керра}).$$

Здесь n – показатель преломления вещества в отсутствии поля, $\Delta n = n_e - n_o$, где n_e и n_o – показатели преломления для необыкновенной и обыкновенной волн, k – постоянная Керра.

Вращение плоскости поляризации

Группа **оптически активных (ОА) веществ** : кварц, раствор сахара, камфара, хинин, масла и т.д. (открыта в 1811г. Зеебеком и Араго).

При прохождении через них поляризованного света они поворачивают плоскость поляризации на угол:

$$\varphi = \lambda c$$

в растворах, где: λ - удельная постоянная вращения; c - концентрация раствора; l - толщина слоя вещества.

Для твердых веществ:

$$\varphi = \lambda l$$

Молекулы оптически активных веществ существуют в виде двух зеркальных пространственных антиподов. Различают **левоповоротные** вещества (если смотреть по лучу, то поворот влево) и **правоповоротные**.

Левомецитин – антибиотик (левоповоротный), правоповоротный не обладает такими же свойствами. Никотин – более ядовит правоповоротный.

Френель в 1823г. качественно объяснил это явление.

Эффект Фарадея (1846) — оптически неактивные вещества могут под воздействием магнитного поля получить анизотропию и стать оптически активными.