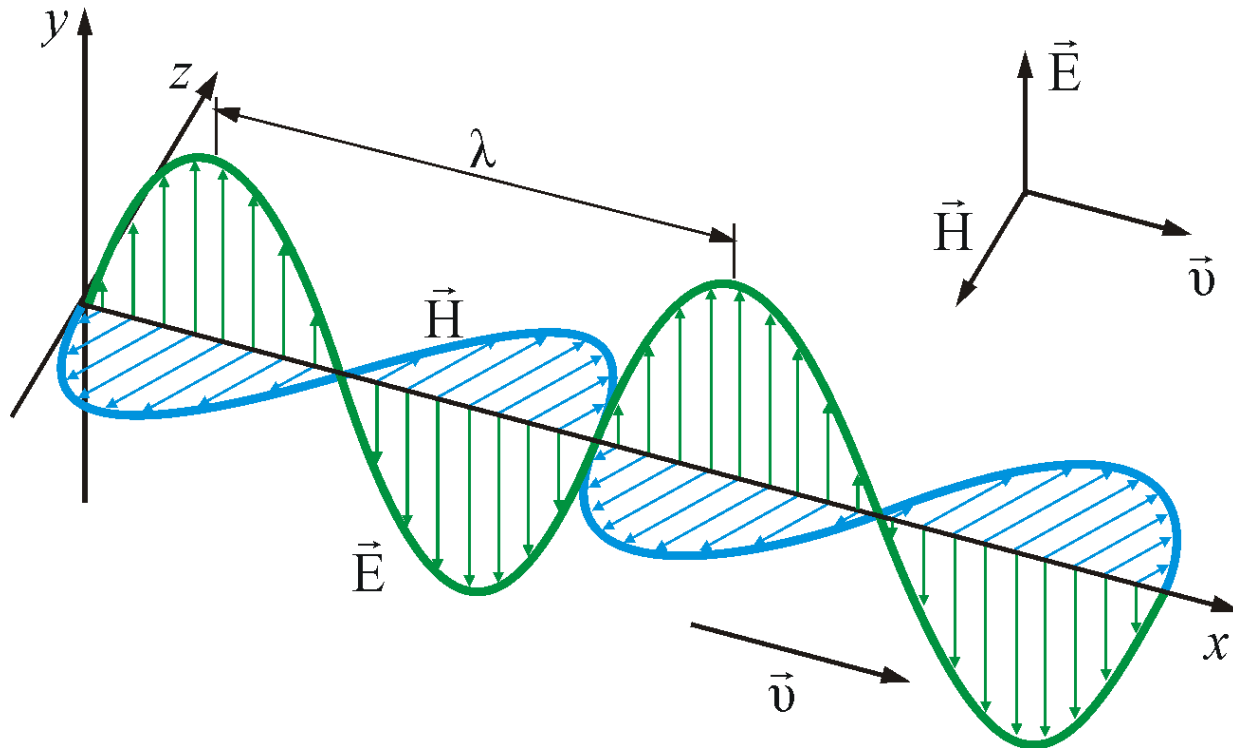


ПОЛЯРИЗАЦІЯ СВЕТА

Поляризация света

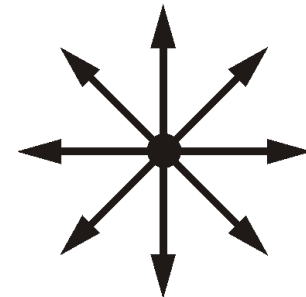
Световая волна имеет электромагнитную природу.



Её представляют как колебания векторов \vec{E} и \vec{H} во взаимно перпендикулярных направлениях перпендикулярно направлению распространения волны (правовинтовая тройка). Следовательно, световая волна – **поперечная**.

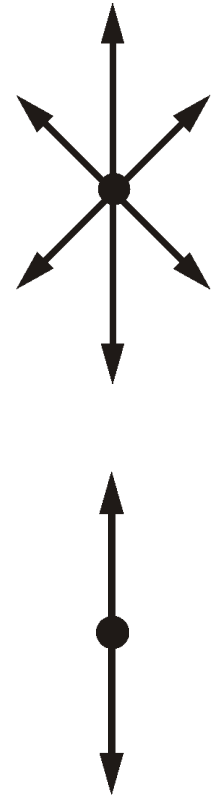
Поляризация света

- Обычно рассматривают только вектор E , т.к. при действии света на вещество основное воздействие оказывает электрическое поле волны на электроны в атомах вещества.
- **Свет** – суммарное электромагнитное излучение множества атомов, которые излучают независимо друг от друга. Следовательно, результирующий вектор E равномерно распределён в плоскости перпендикулярной направлению распространения света.
- **Естественный свет** – свет со всевозможными равновероятными ориентациями векторов E и H (неполяризованный).



Поляризация света

- **Поляризованный свет:** направления колебаний вектора E упорядочены каким-то образом.
- Свет с преимущественным направлением колебаний вектора E называют **частично поляризованным светом**.
- **Плоскополяризованный** (линейно поляризованный) свет – вектор E колеблется только в одном направлении.

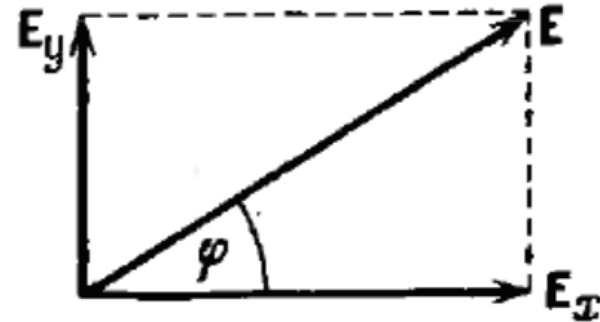


Поляризация света

$$E_x = A_1 \cos \omega t$$

$$E_y = A_2 \cos(\omega t + \delta)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{E_y}{E_x} = \frac{A_2 \cos(\omega t + \delta)}{A_1 \cos \omega t}$$



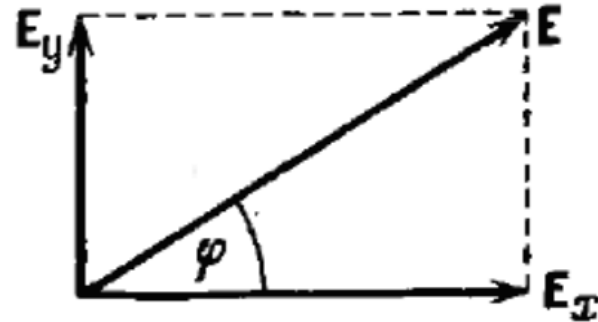
- Если разность фаз δ претерпевает случайные хаотические изменения, то и направление светового вектора \mathbf{E} будет испытывать скачкообразные неупорядоченные изменения. Естественный свет можно представить как наложение двух некогерентных электромагнитных волн, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях и имеющих одинаковую интенсивность.

Поляризация света

$$E_x = A_1 \cos \omega t$$

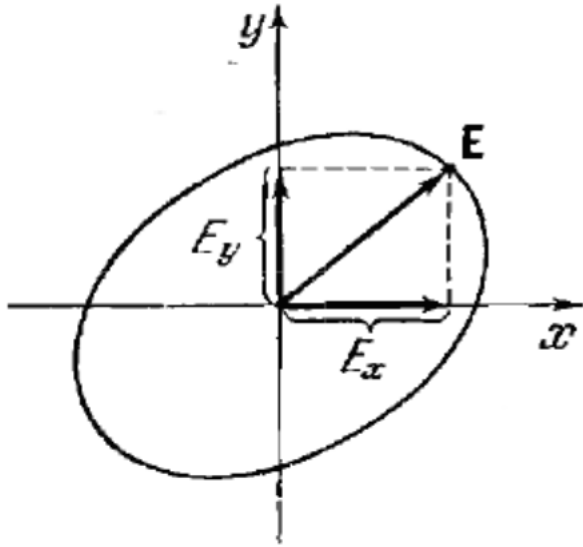
$$E_y = A_2 \cos(\omega t + \delta)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{E_y}{E_x} = \frac{A_2 \cos(\omega t + \delta)}{A_1 \cos \omega t}$$



- Если световые волны E_x и E_y когерентны, причем $\delta=0$ или π , то
- $\operatorname{tg} \varphi = \pm \frac{A_2}{A_1} = \text{const}$ - плоскополяризованная волна.
- Если $A_1=A_2$ и $\delta=\pm\pi/2$, то $\operatorname{tg} \varphi = \mp \operatorname{tg} \omega t$ - свет поляризован по кругу.

Поляризация света



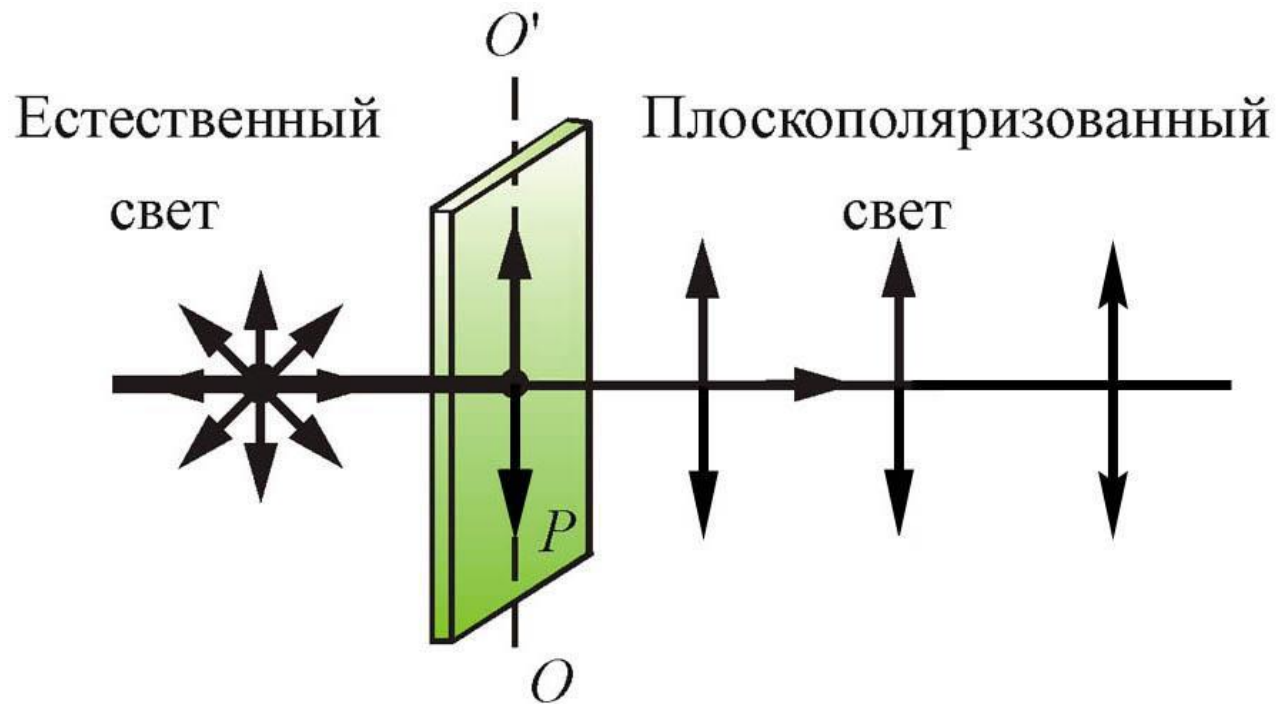
$$E_x = A_1 \cos \omega t$$

$$E_y = A_2 \cos(\omega t + \delta)$$

- Если по отношению к направлению, противоположному направлению луча, вектор E вращается по часовой стрелке, поляризация называется **правой**, в противном случае – **левой**.
- **Плоскость колебаний** – плоскость, в которой колеблется световой вектор в плоскополяризованной волне.
- **Плоскость поляризации** – плоскость, перпендикулярная к плоскости, в которой колеблется вектор E .

Способы получения поляризованного света

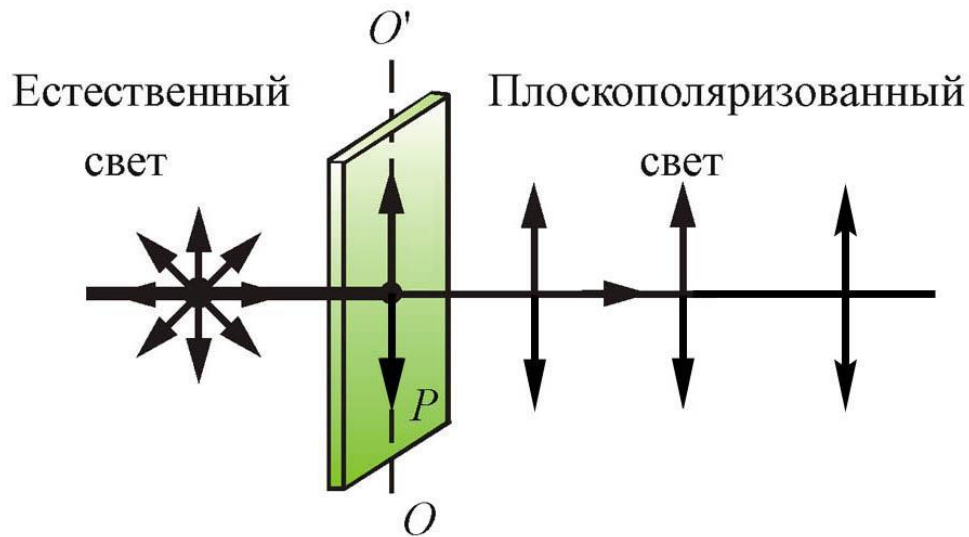
- **Поляризаторы** – вещества, пропускающие колебания только определенного направления.



- После прохождения поляризатора свет будет линейно поляризован в направлении OO' .
- При вращении поляризатора интенсивность света не меняется.

Способы получения поляризованного света

- **Поляризаторы** – вещества, пропускающие колебания только определенного направления.



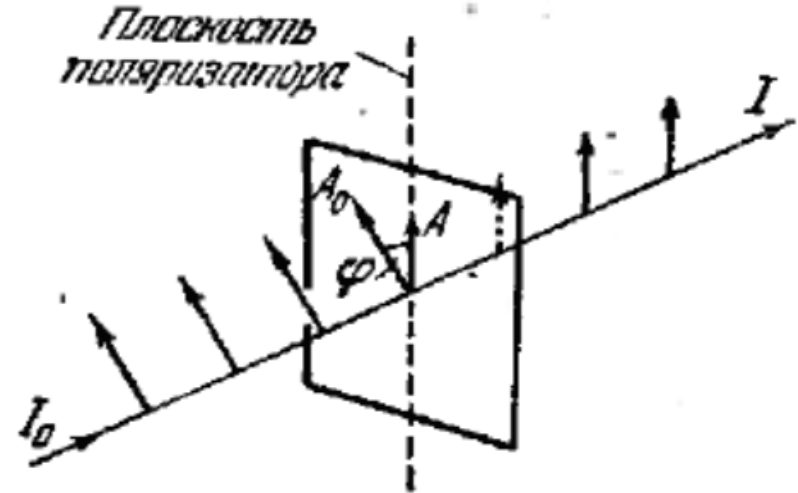
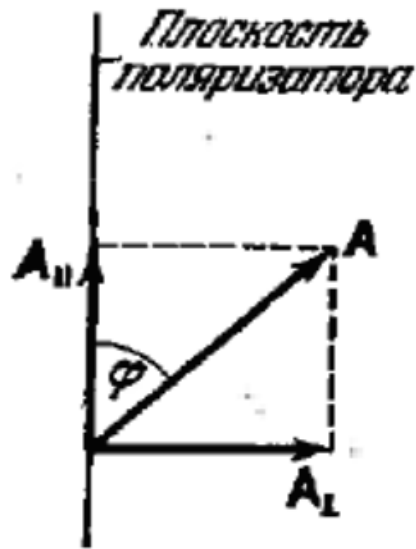
Если поляризатор несовершенный, то получим **частично поляризованный свет** – свет, в котором колебания одного направления преобладают над колебаниями других направлений.

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} - \text{степень поляризации.}$$

Плоскополяризованный свет: $I_{\min}=0$, $P=1$.

Естественный свет: $I_{\max}=I_{\min}$, $P=0$.

Способы получения поляризованного света



$A_{\parallel} = A \cos \varphi$ - пройдет через прибор

$A_{\perp} = A \sin \varphi$ - будет задержано

$$A_{\parallel}^2 = A^2 \cos^2 \varphi$$

Сквозь прибор пройдет составляющая

$$A = A_0 \cos \varphi$$

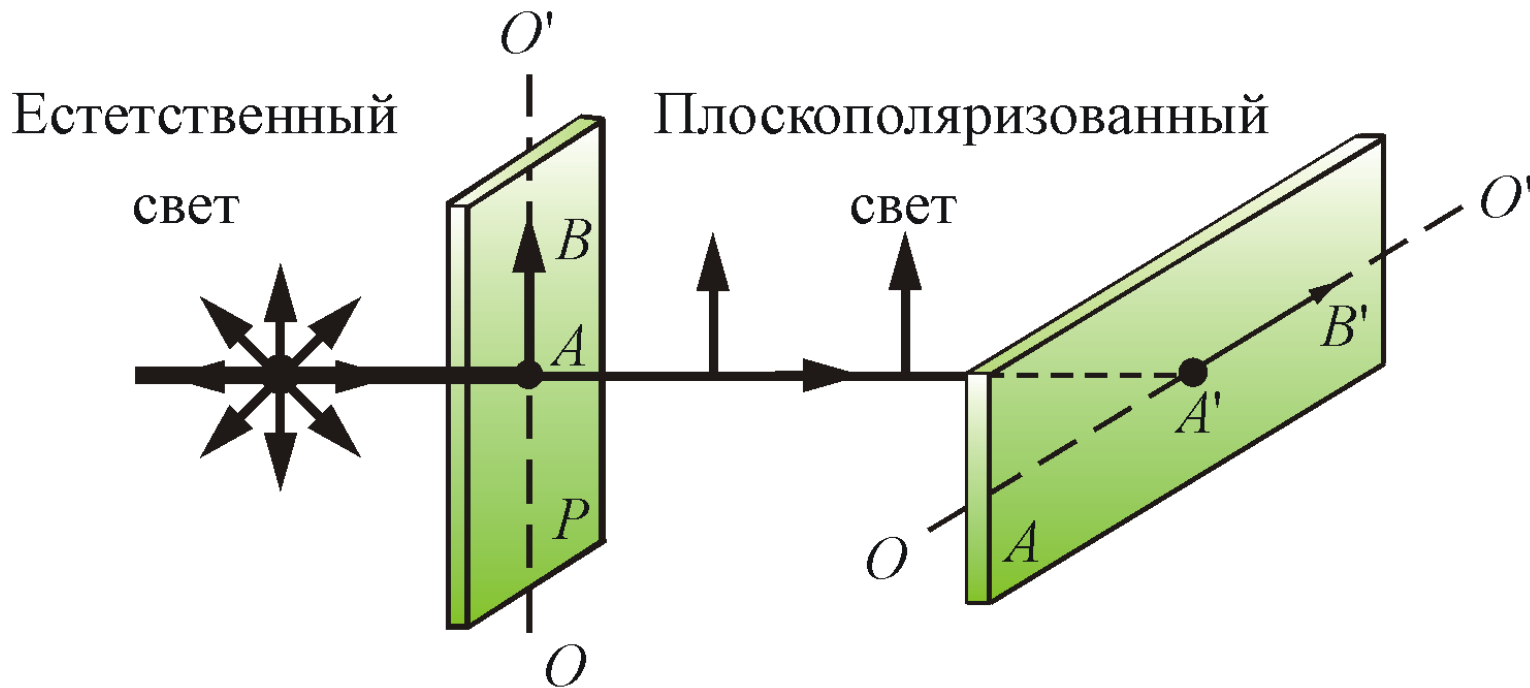
Интенсивность прошедшего света

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

- закон Малюса

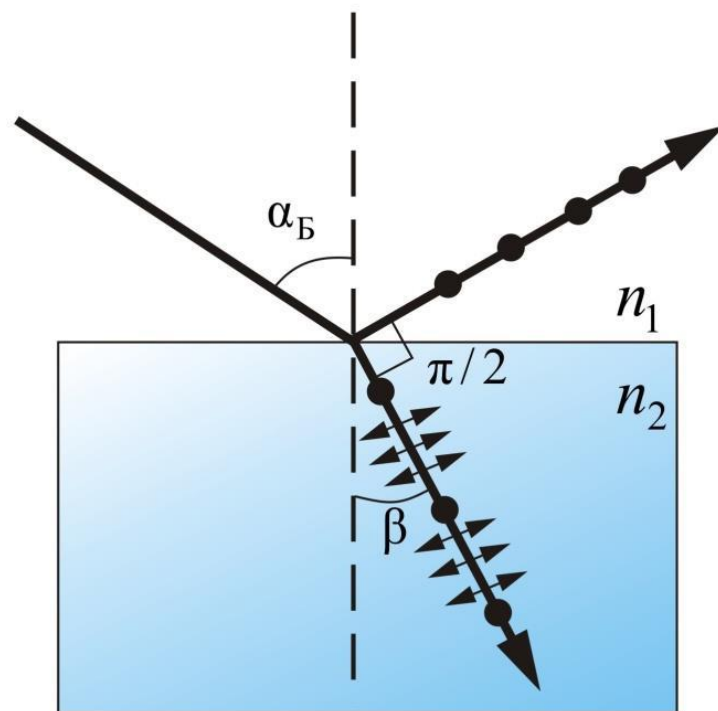
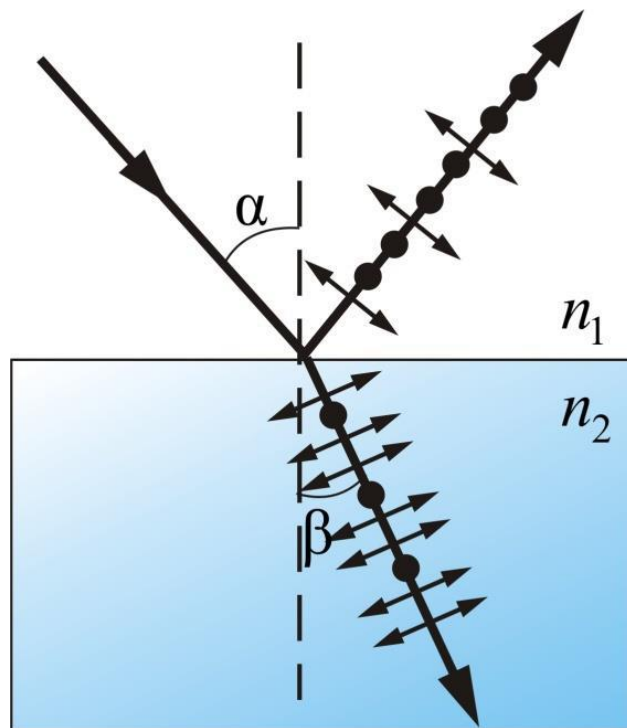
Способы получения поляризованного света

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.



$$I = I_0 \cos^2 \varphi = \frac{1}{2} I_{ест} \cos^2 \varphi$$

Поляризация света при отражении и преломлении



В отраженном свете преобладают колебания, перпендикулярные плоскости падения.

В преломленном свете – параллельные плоскости падения.

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

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

Поляризация света при отражении и преломлении

Закон Брюстера: степень поляризации зависит от угла падения лучей и показателя преломления.

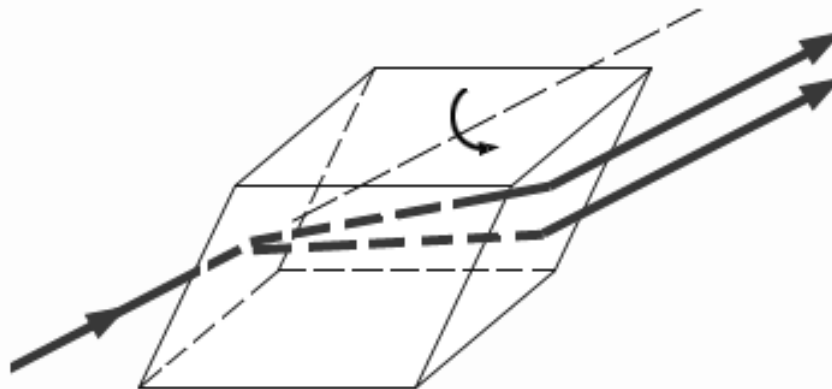
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

α – угол Брюстера.

- При угле падения, равном углу Брюстера, отраженный луч плоскополяризован,
- Преломленный луч поляризован максимально, но не плоскополяризован,
- Отраженный и преломленный лучи взаимно перпендикулярны.

Двойное лучепреломление

- 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.
- Бартолин обнаружил, что луч света, падая в определенном направлении в кристалле исландского шпата, не раздваивается.
- Объяснение этого явления дал современник Бартолина – голландский ученый Христиан Гюйгенс.
- Он показал, что необычное поведение луча света, проходящего через исландский шпат, связано с анизотропией кристалла.

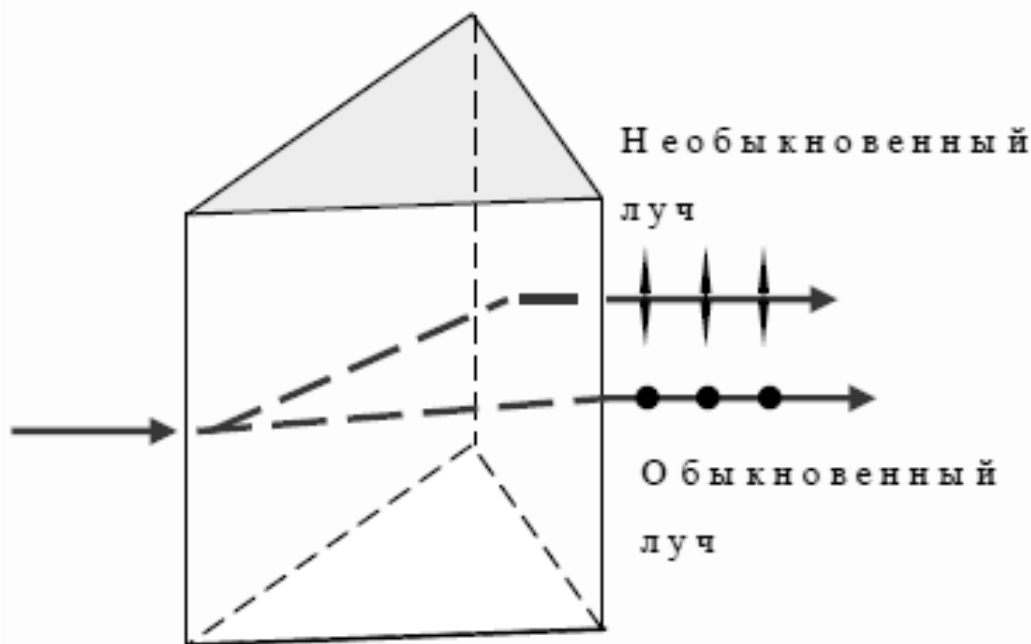


Поляризация при двойном лучепреломлении

Луч внутри кристалла расщепляется на два луча:

обыкновенный – ведет себя согласно закону преломления (o),

необыкновенный – не подчиняется закону преломления (e).



Одноосные кристаллы:
один из преломленных лучей (o) подчиняется обычному закону преломления, для другого луча (e) отношение синусов угла падения и преломления не остается постоянным при изменении угла падения.

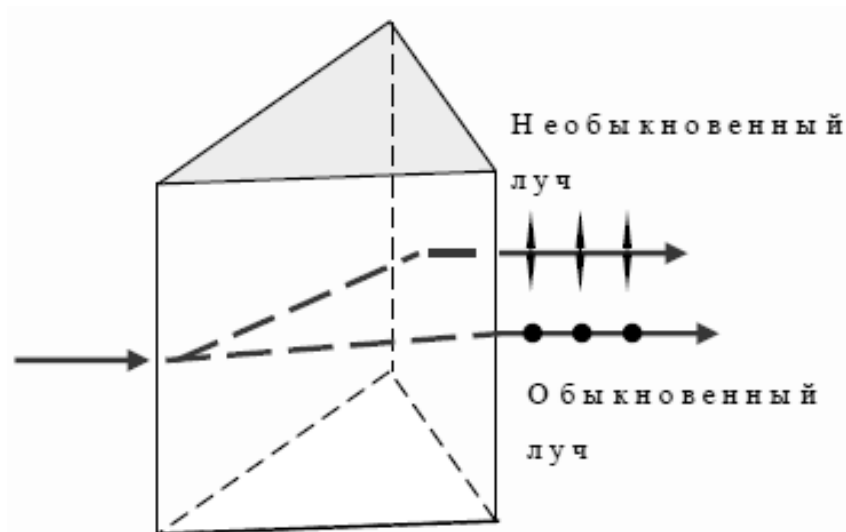
Исландский шпат, кварц, турмалин.

Двуосные кристаллы: оба луча необыкновенные (e) – показатели преломления для них зависят от направления в кристалле.

Слюда, гипс.

Поляризация при двойном лучепреломлении

- **Оптическая ось** – направление, вдоль которого обыкновенный и необыкновенный лучи распространяются не разделяясь и с одинаковой скоростью.
- Любая плоскость, проходящая через оптическую ось, называется **главным сечением** (главной плоскостью) кристалла.
- Обыкновенный и необыкновенный лучи направлены параллельно, плоскополяризованы во взаимно перпендикулярных плоскостях.

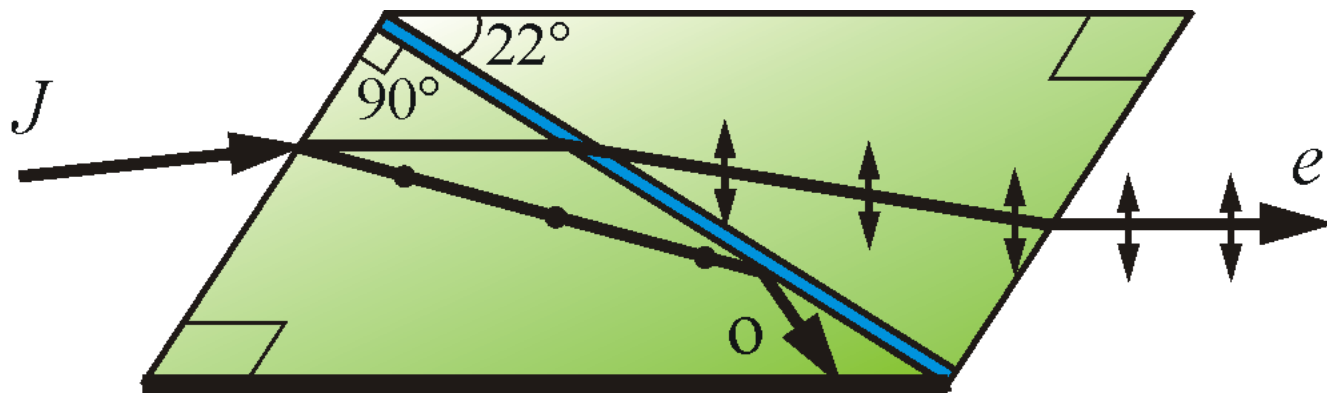


Поляризация при двойном лучепреломлении

- 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.

Поляризация при двойном лучепреломлении

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



- Показатель преломления канадского бальзама $n_o > n > n_e$

Поляризация при двойном лучепреломлении

- 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.

$n = \sqrt{\epsilon} \Rightarrow$ Скорость световых волн зависит от направления колебаний светового вектора E .

- Скорость распространения обыкновенного луча $v_o = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_y}}$

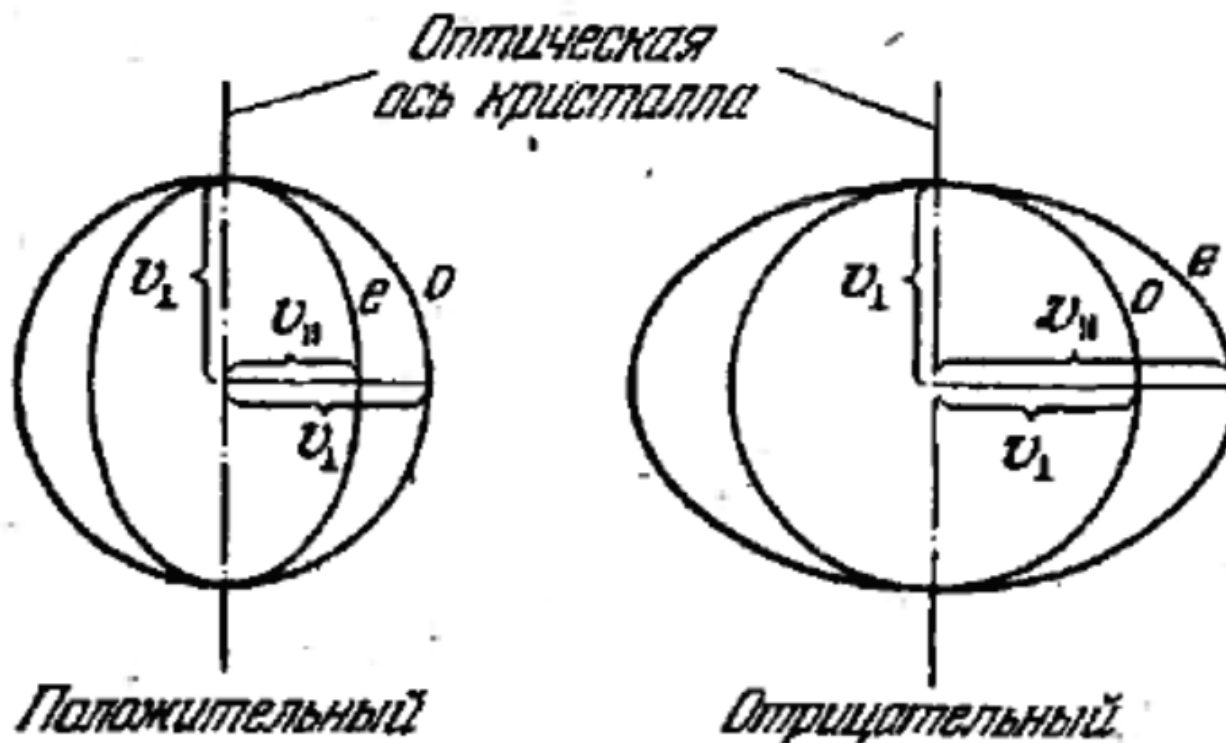
необыкновенного $v_e = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_x}}$

- Показатель преломления обыкновенного луча $n_o = \frac{c}{v_o}$

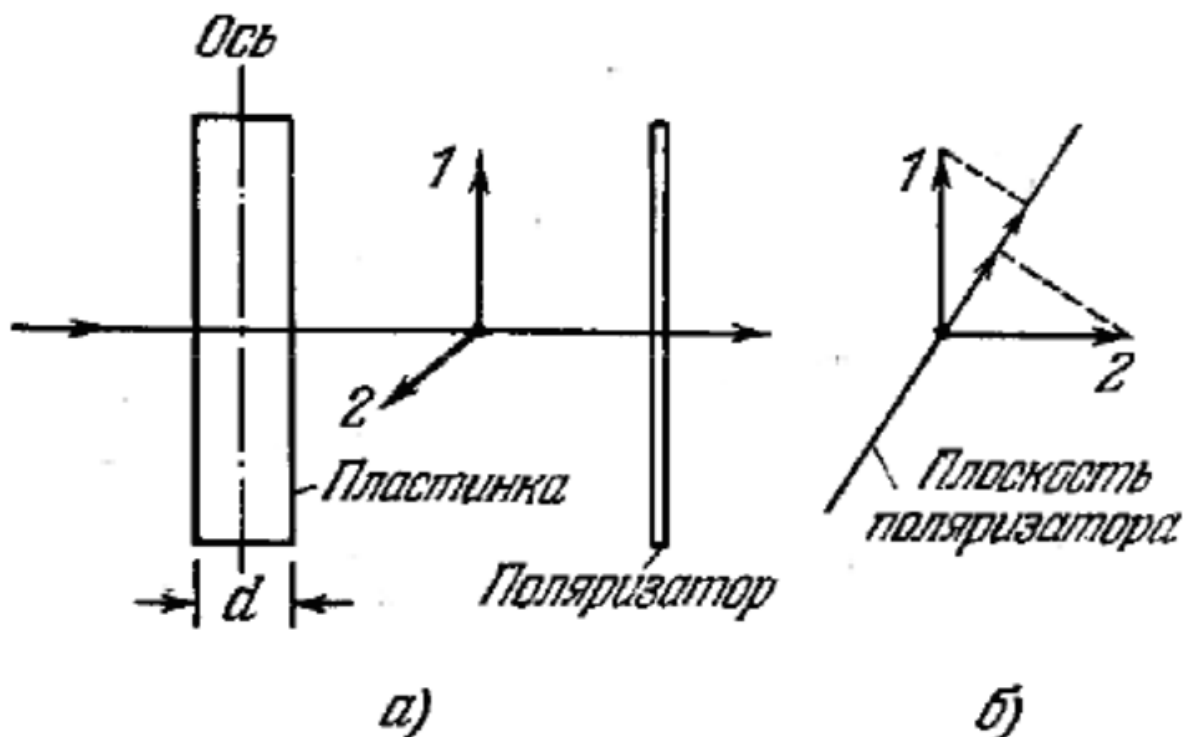
необыкновенного $n_e = \frac{c}{v_e}$

Поляризация при двойном лучепреломлении

- 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** ($n_e > n_o$),
- При $v_0 < v_e$ - **отрицательный** ($n_e < n_o$).



Интерференция поляризованных лучей



Для обыкновенного и необыкновенного лучей:

разность хода $\Delta = (n_0 - n_e)$

разность фаз $\delta = \frac{(n_0 - n_e)d}{\lambda_0} 2\pi$

Прохождение плоскополяризованного света через кристаллическую пластинку

- Разность фаз обыкновенного и необыкновенного лучей:

$$\delta = \frac{\Delta}{\lambda_0} 2\pi = \frac{(n_o - n_e)d}{\lambda_0} 2\pi$$

Пластинка в четверть волны

$$(n_o - n_e)d = m\lambda_0 + \lambda_0 / 4$$

При прохождении через такую пластинку обыкновенный и необыкновенный лучи приобретают разность фаз $\pi/2$.

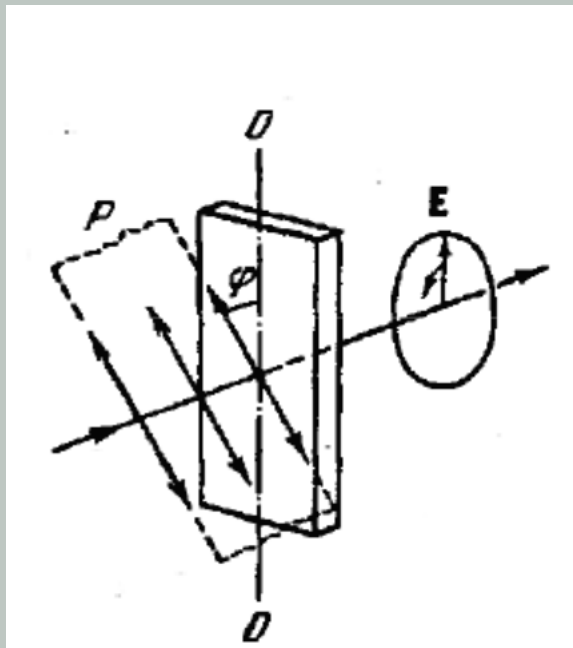
Пластинка в полволны

$$(n_o - n_e)d = m\lambda_0 + \lambda_0 / 2$$

При прохождении через такую пластинку обыкновенный и необыкновенный лучи приобретают разность фаз π .

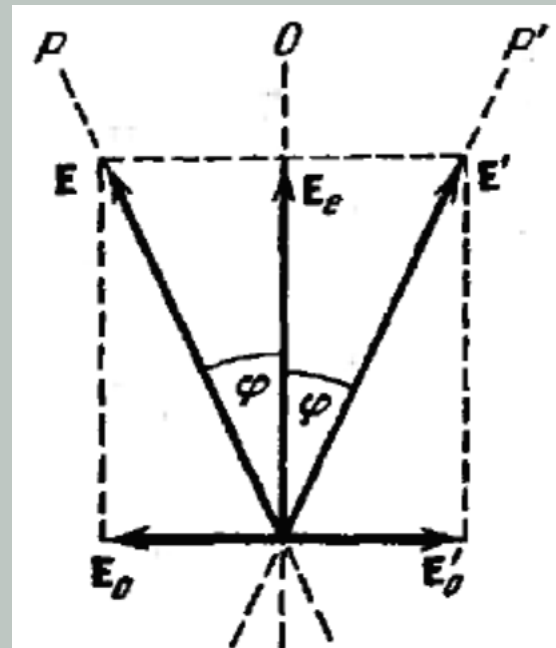
Прохождение плоскополяризованного света через кристаллическую пластинку

Пластинка в четверть волны



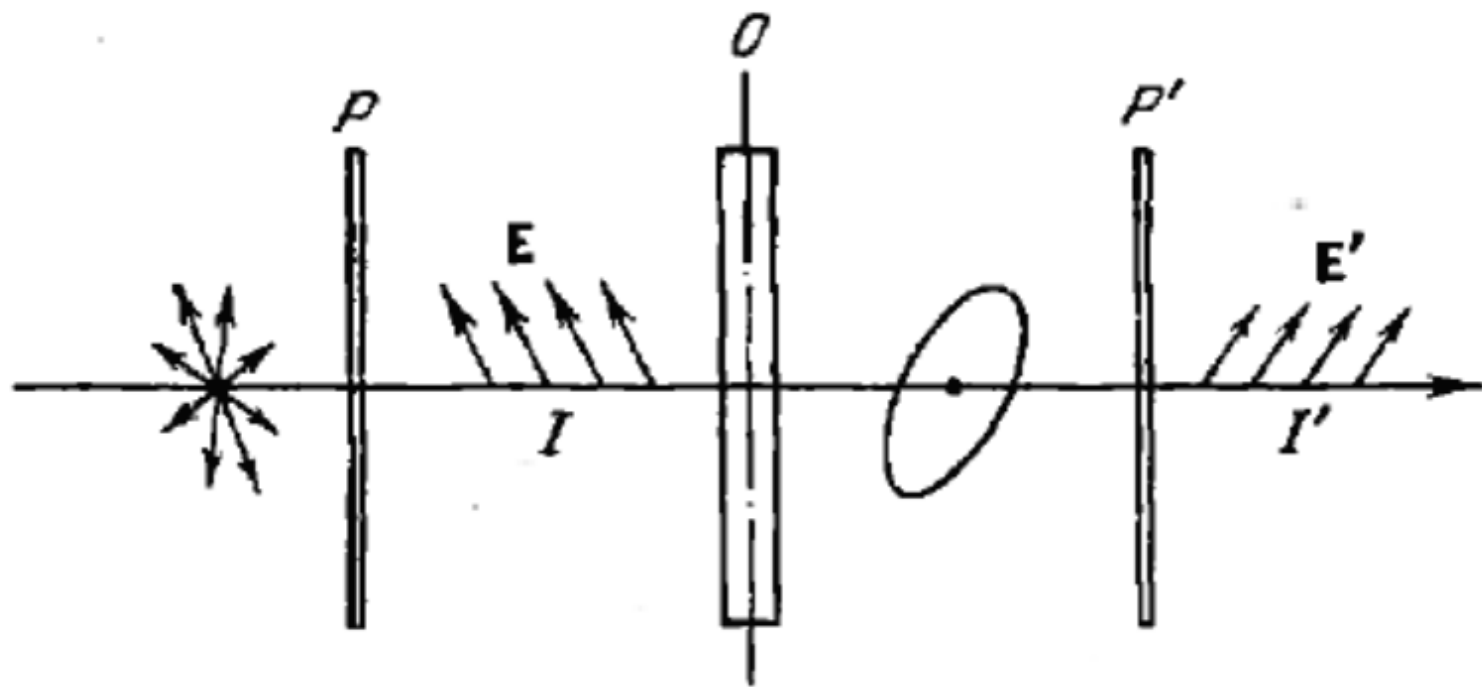
Свет, вышедший из пластинки, будет поляризован по эллипсу, одна из осей которого совпадает с осью пластинки.

Пластинка в полволны



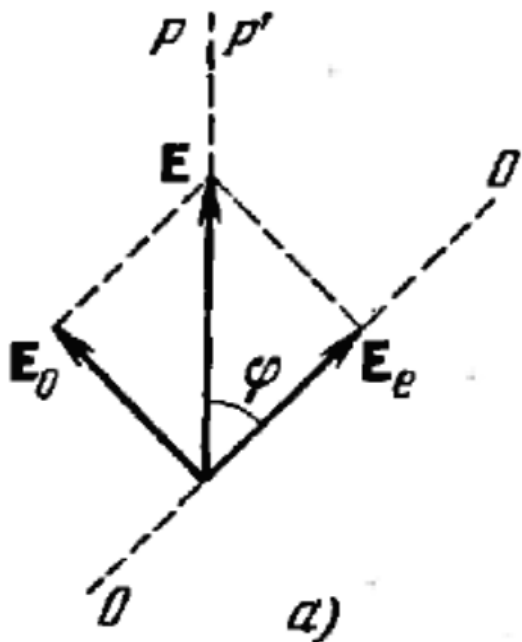
Поворачивает плоскость колебаний прошедшего света на угол 2φ , φ – угол между плоскостью колебаний в падающем луче и осью пластинки.

Кристаллическая пластинка между двумя поляризаторами



Кристаллическая пластинка между двумя поляризаторами

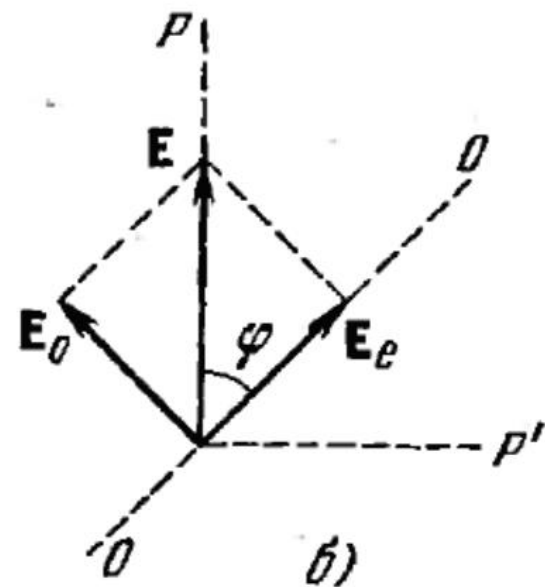
- Поляризаторы параллельны



$$E_0 = E_e = E \cos \frac{\pi}{4} = \frac{E}{\sqrt{2}}$$

$$E'_0 = E'_e = E / 2$$

- Поляризаторы скрещены



- Разность фаз $-\delta$.

$$I'_{\parallel} = I \cos^2 \frac{\delta}{2}$$

- При $\delta=2m\pi$ $I'_{\parallel} = I, I'_{\perp} = 0$

- Разность фаз $-\delta+\pi$.

$$I'_{\perp} = I \sin^2 \frac{\delta}{2}$$

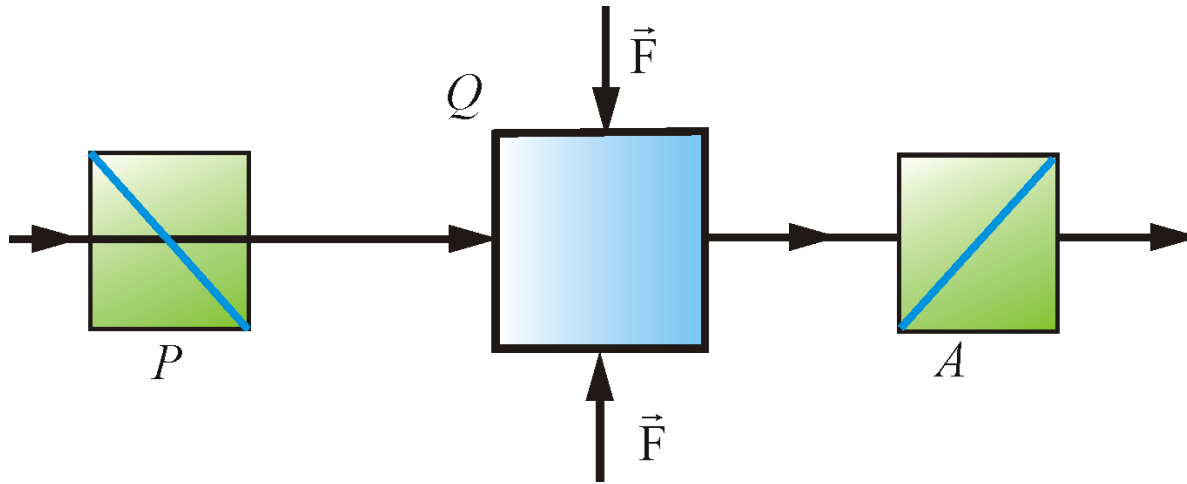
- При $\delta=(2m+1)\pi$ $I'_{\parallel} = 0, I'_{\perp} = I$

Искусственное двойное лучепреломление

- **Искусственная оптическая анизотропия** – сообщение оптической анизотропии естественно изотропным веществам под действием:
 - одностороннего сжатия или растяжения (кристаллы с кубической симметрией, стекла);
 - электрического поля – эффект Керра (жидкости, аморфные тела, газы);
 - магнитного поля (жидкости, стекла).

Искусственное двойное лучепреломление

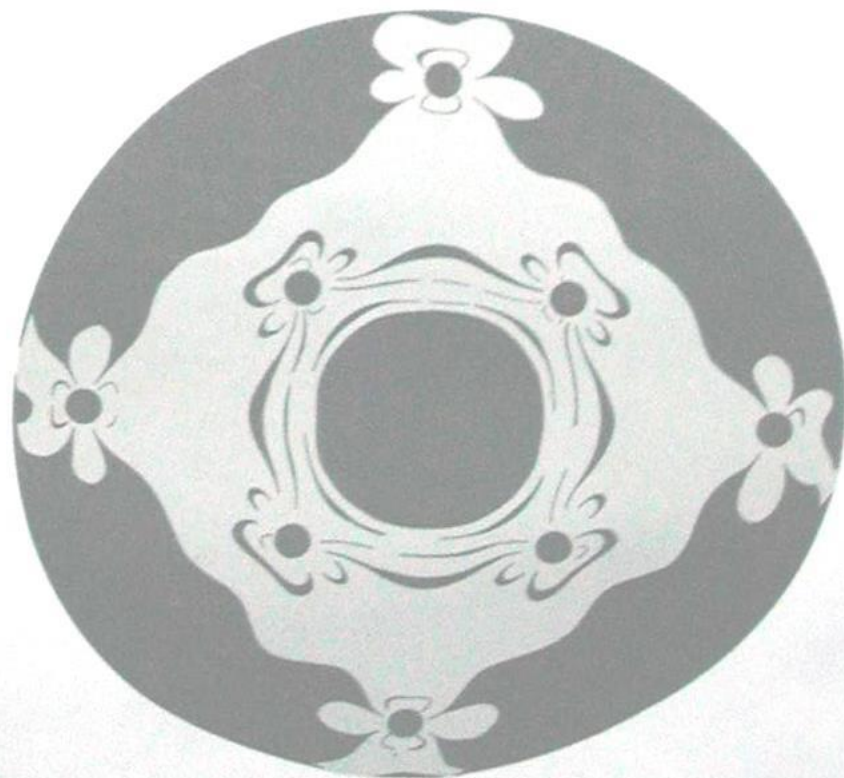
- Двойное лучепреломление можно наблюдать в изотропных средах (аморфных телах), если подвергнуть их **механическим нагрузкам**.



- Обозначим напряжение $\sigma = \frac{dF}{dS}$
- От этого напряжения будет зависеть разность показателей преломления: $n_o - n_e = k\sigma$
- По распределению цветных полос можно судить о распределении напряжений в стеклянной пластинке.

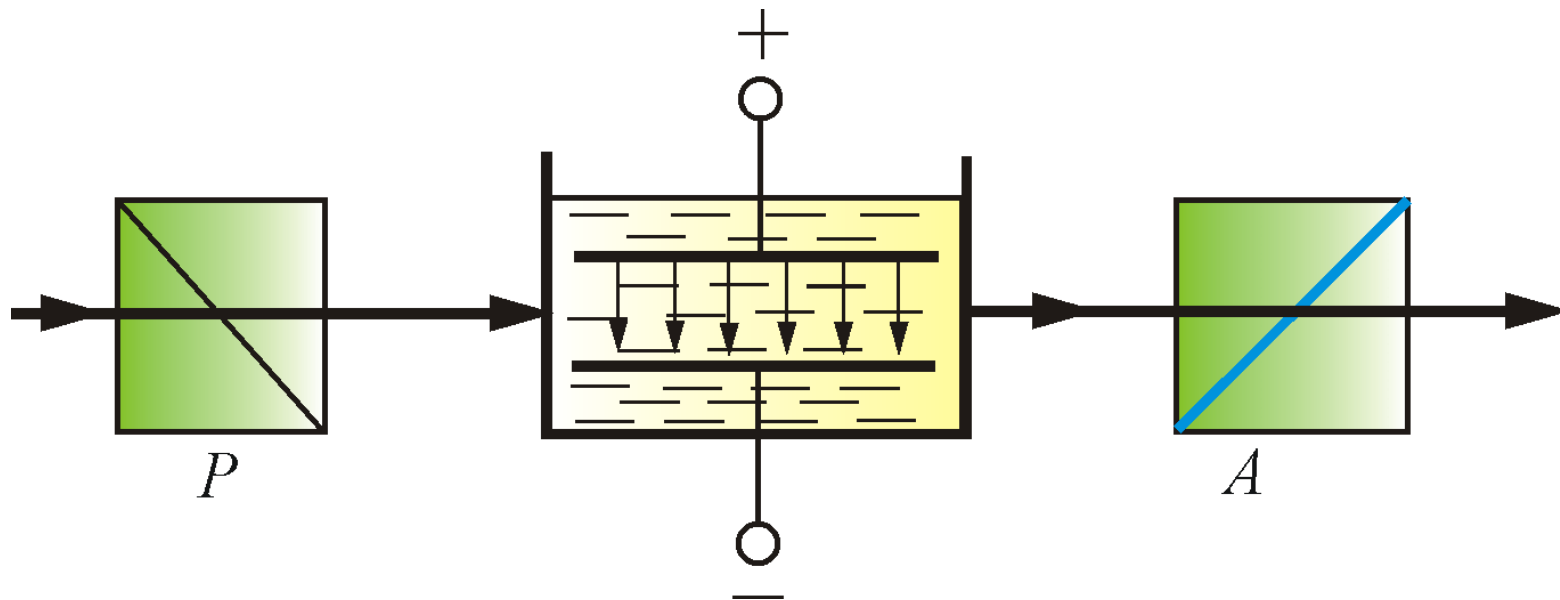
Искусственное двойное лучепреломление

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



Искусственное двойное лучепреломление

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

Искусственное двойное лучепреломление

- Возникающая разность показателей преломления n_0 и n_e :

$$n_0 - n_e = kE^2$$

- На пути l между обыкновенным и необыкновенным лучами возникает разность фаз:

$$\delta = 2\pi \frac{k}{\lambda_0} l E^2 = 2\pi V l E^2$$

V – постоянная Керра.

- Т.е. величина двойного лучепреломления прямо пропорциональна квадрату напряжённости электрического поля.
- На основе ячеек Керра построены практически безинерционные затворы и модуляторы света с временем срабатывания до 10^{-12} с.

Вращение плоскости поляризации

- **Оптически активные вещества** – среды, которые при прохождении через них плоскополяризованного света способны вращать его плоскость поляризации.

Выделяют 2 типа оптически активных веществ:

1. Оптически активные в любом агрегатном состоянии (сахара, камфора, винная кислота): оптическая активность обусловлена асимметричным строением их молекул,
2. Оптически активны только в кристаллической фазе (кварц, киноварь): оптическая активность обусловлена специфической ориентацией молекул (ионов) в элементарных ячейках кристалла.

Вращение плоскости поляризации

- **В кристаллах:** $\varphi = \alpha l$

(сильнее всего вращают плоскость поляризации, если луч распространяется вдоль оптической оси).

φ – угол поворота;

l – расстояние, пройденное лучом в кристалле;

α – постоянная вращения (зависит от длины волны).

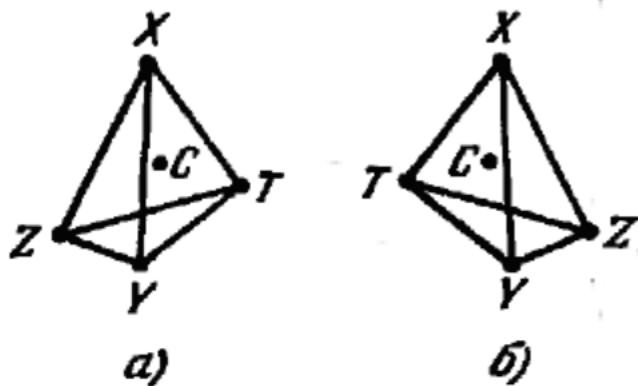
- **В растворах:** $\varphi = [\alpha] c l$

c – концентрация активного вещества;

$[\alpha]$ – удельная постоянная вращения.

Вращение плоскости поляризации

- **Правовращающие** оптически активные вещества – если смотреть навстречу лучу, то плоскость поляризации вращается вправо.
- **Левовращающие** – влево.



- Молекулы оптически активных веществ существуют в виде двух зеркальных пространственных антиподов.

- Метод определения концентрации растворов оптически активных веществ – **поляриметрия (сахариметрия)**.

Вращение плоскости поляризации

- **Эффект Фарадея** (магнитное вращение плоскости поляризации) – в оптически неактивных веществах вращение плоскости поляризации под действием магнитного поля.
- Наблюдается только при распространении света вдоль направления намагниченности.

$$\varphi = V l H$$

- V – постоянная Верде или удельное магнитное вращение.

