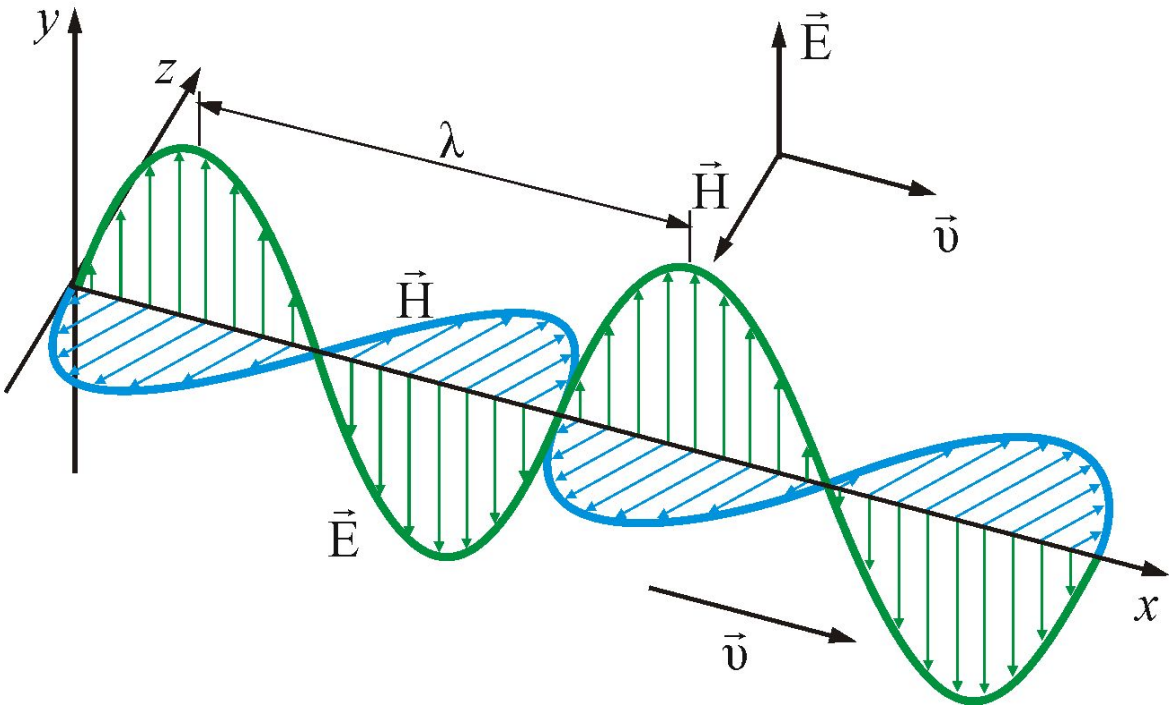
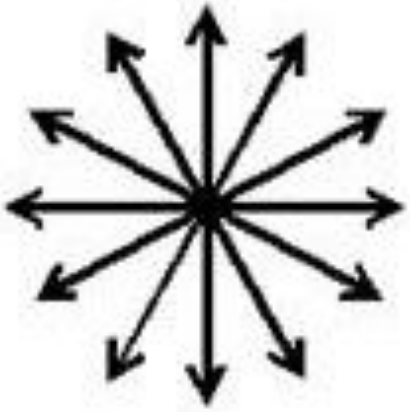
Поляризация света

Поляризация света

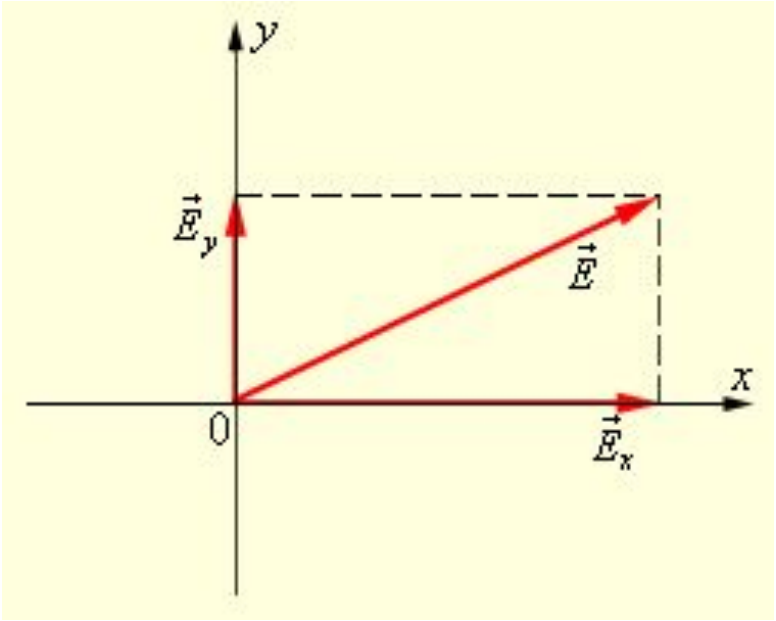
Свет- это электромагнитные волны. Во всех процессах взаимодействия света с веществом основную роль играет электрический вектор E поэтому его называют ***световым вектором***. Если при распространении электромагнитной волны световой вектор сохраняет свою ориентацию, такую волну называют ***линейно-поляризованной*** или ***плоско-поляризованной*** (термин ***поляризация волн*** был введен Малюсом применительно к поперечным механическим волнам).



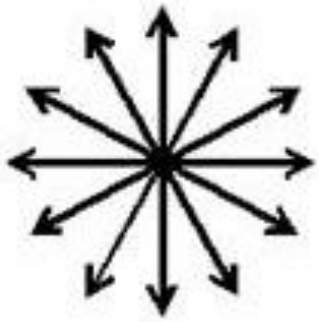
Свет, испускаемый обычными источниками (например, солнечный свет, излучение ламп накаливания и т. п.), ***неполяризован***. Свет таких источников состоит в каждый момент из вкладов огромного числа независимо излучающих атомов с различной ориентацией светового вектора в излучаемых этими атомами волнах. Поэтому в результирующей волне вектор бес изменяет свою ориентацию во времени, так что в среднем все направления колебаний оказываются равноправными. **Неполяризованный свет** называют также ***естественным светом***.



В каждый момент времени вектор E может быть спроектирован на две взаимно перпендикулярные оси



Виды поляризации света



В поперечной волне колебания могут происходить в любых направлениях, лежащих в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. Если направления колебаний при этом беспорядочно меняются, но амплитуды их во всех направлениях одинаковы, то такая волна называется ***естественной***.

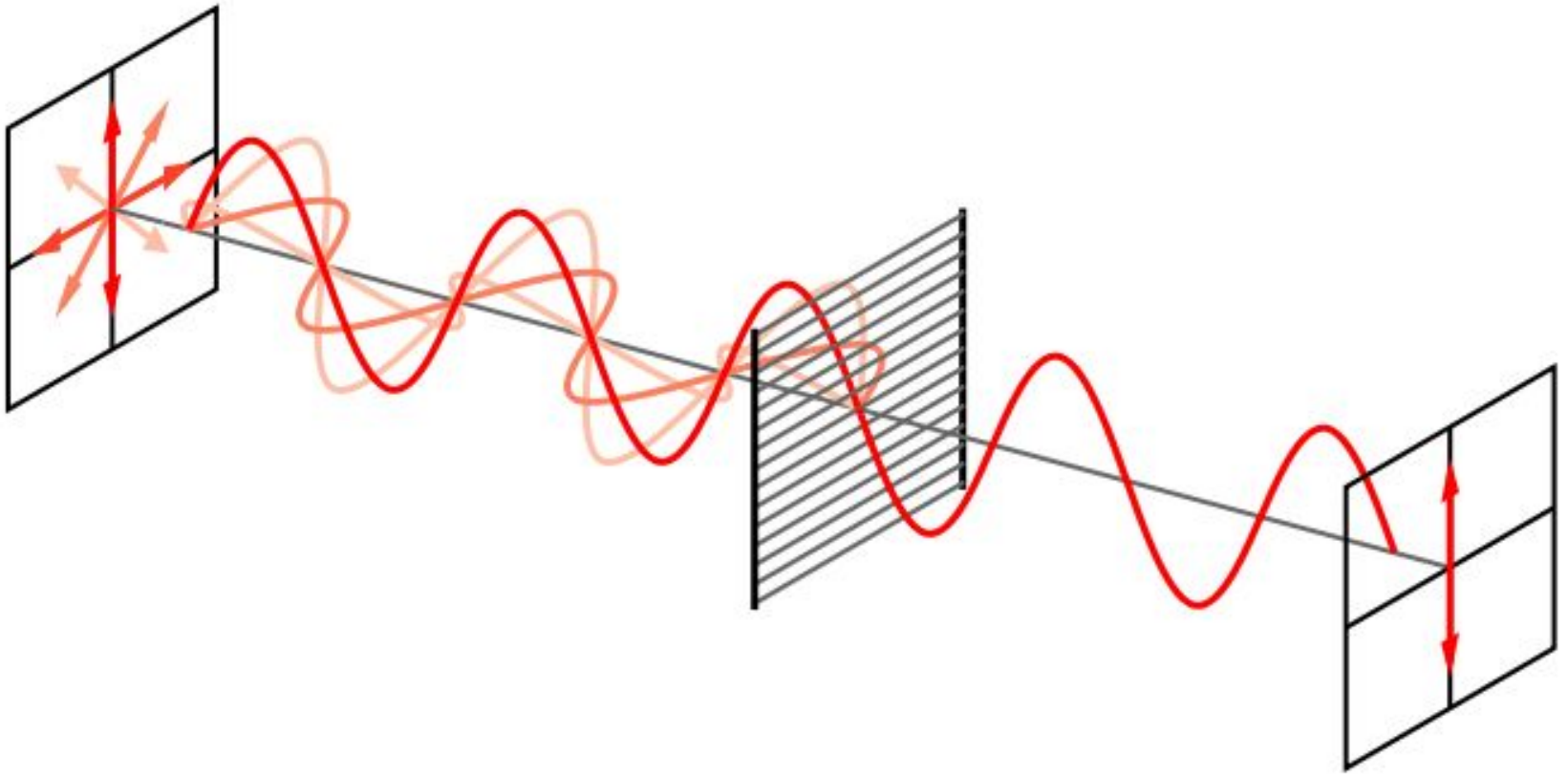
Если колебания происходят только в одном постоянном направлении, то такая волна называется ***плоско поляризованной***.

Если колебания происходят в различных направлениях, но в определенных направлениях амплитуды колебаний больше, чем в других , волна называется ***частично поляризованной.***

Искусственную поляризацию можно осуществить, пропуская волну через ***поляризатор***.

Поляризатор

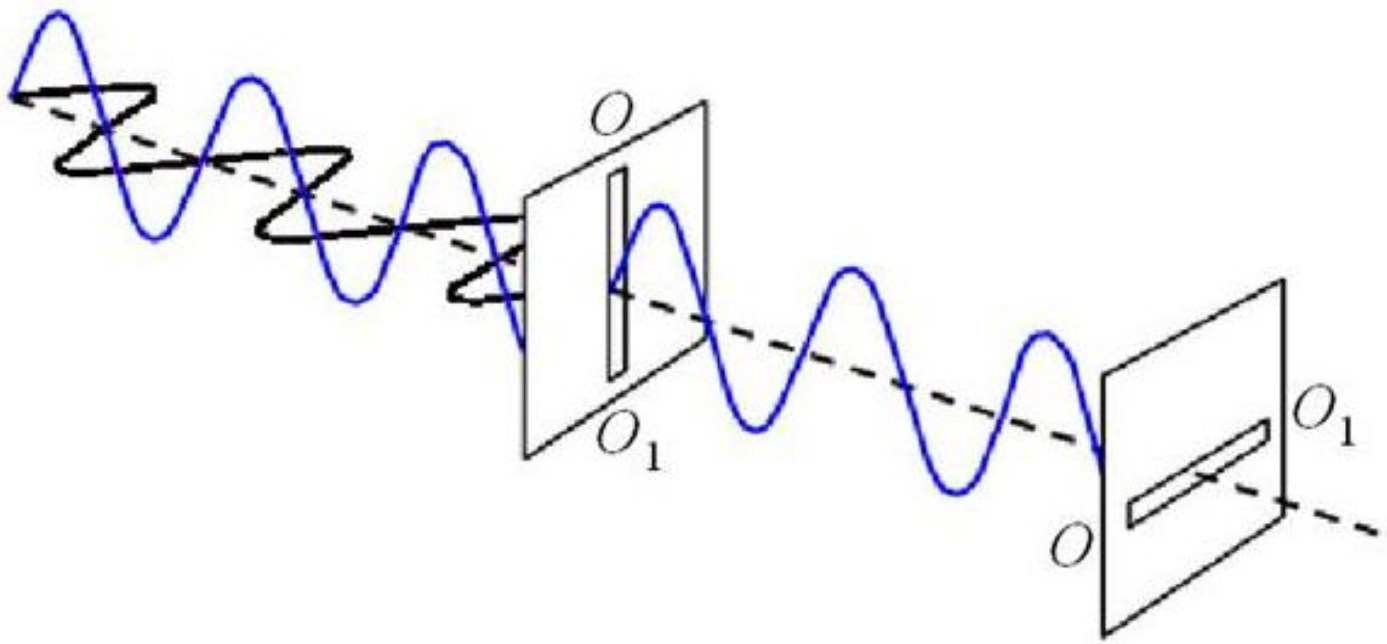
Поляризатор - устройство для получения полностью или частично поляризованного оптического излучения из излучения с произвольными поляризационными характеристиками .



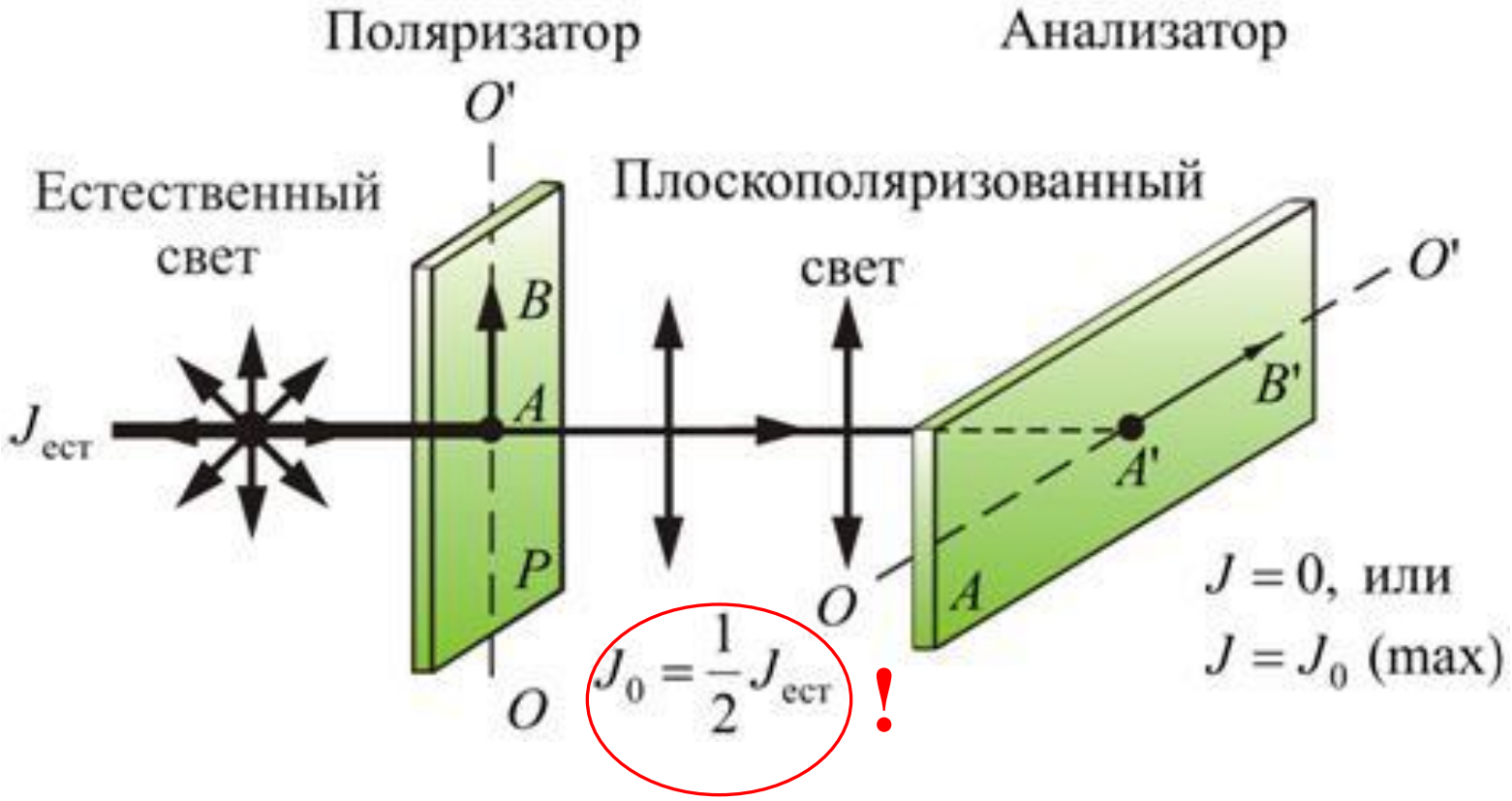
(Поляризатор -пластина посередине)

Как действует поляризатор

Этот прибор свободно пропускает те волны, которые параллельны плоскости его поляризации и не пропускает волны перпендикулярные плоскости поляризации прибора



Рассмотрим прохождение естественного света последовательно через два идеальных поляроида П1 и П2 , разрешенные направления которых развернуты на некоторый угол φ. Первый поляроид играет роль ***поляризатора***. Он превращает естественный свет в плоско-поляризованный. Второй поляроид служит для анализа падающего на него света. Он называется ***анализатором***.

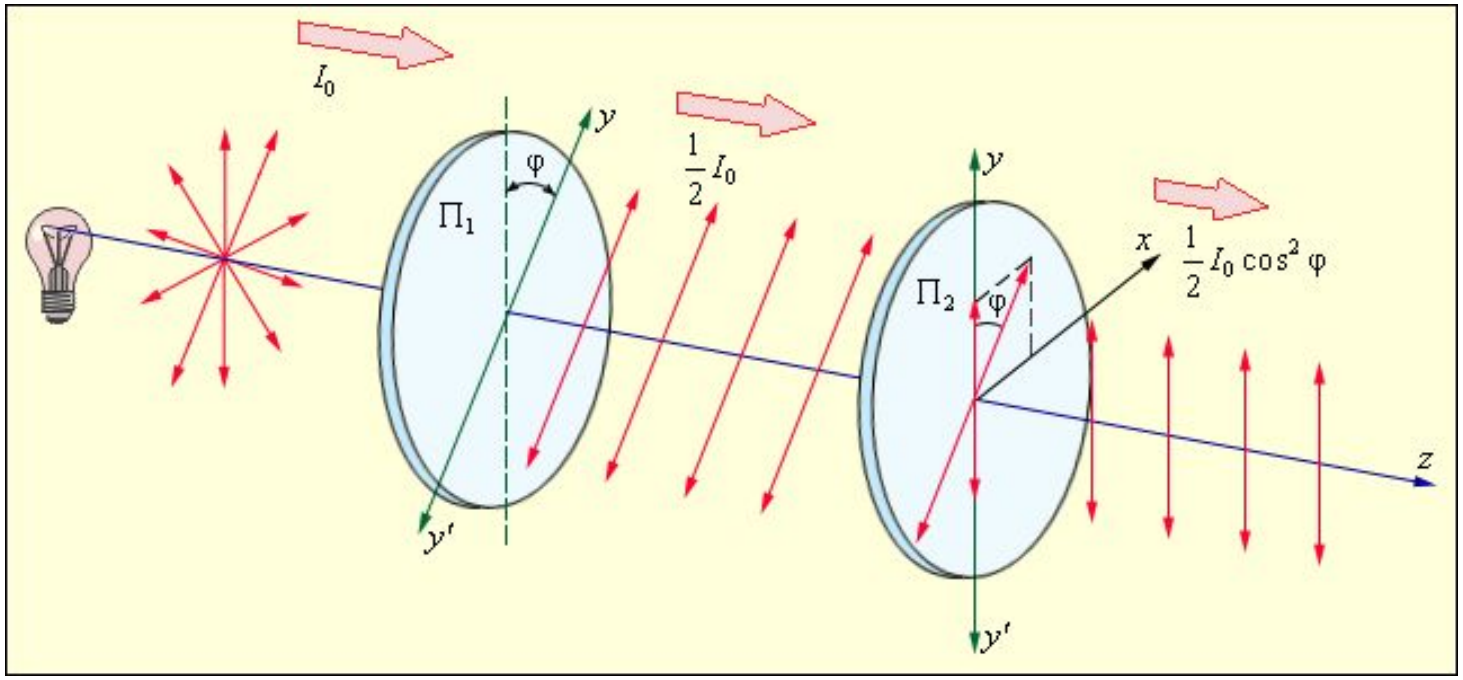


Закон Малюса

В 1809 году французский инженер Э. Малюс открыл закон, названный его именем. В опытах Малюса свет последовательно пропускался через две одинаковые пластинки из турмалина (прозрачное кристаллическое вещество зеленоватой окраски). Пластинки можно было поворачивать друг относительно друга на угол φ

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

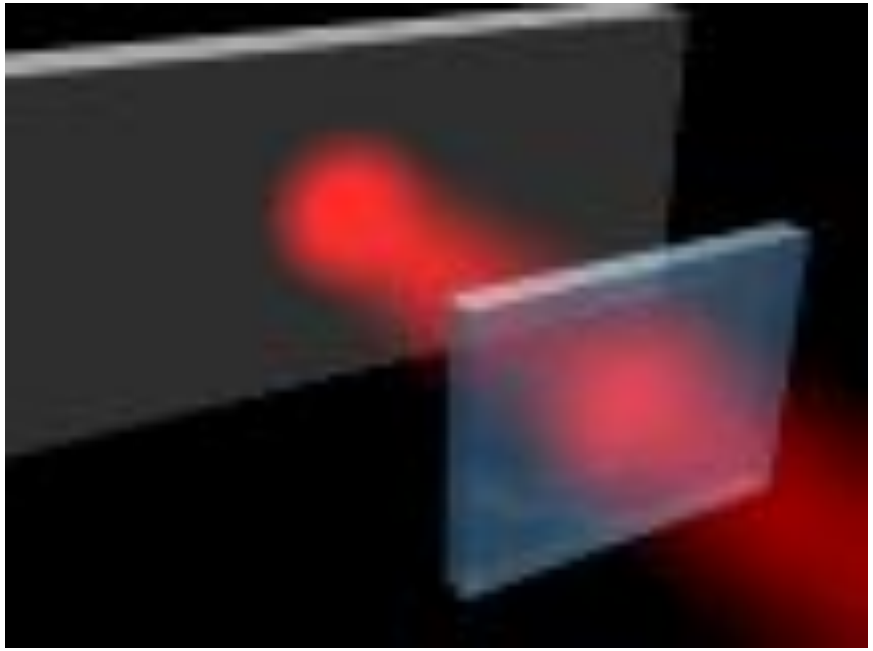
$$I = I_0 \cos^2 \varphi$$



Закон Малюса

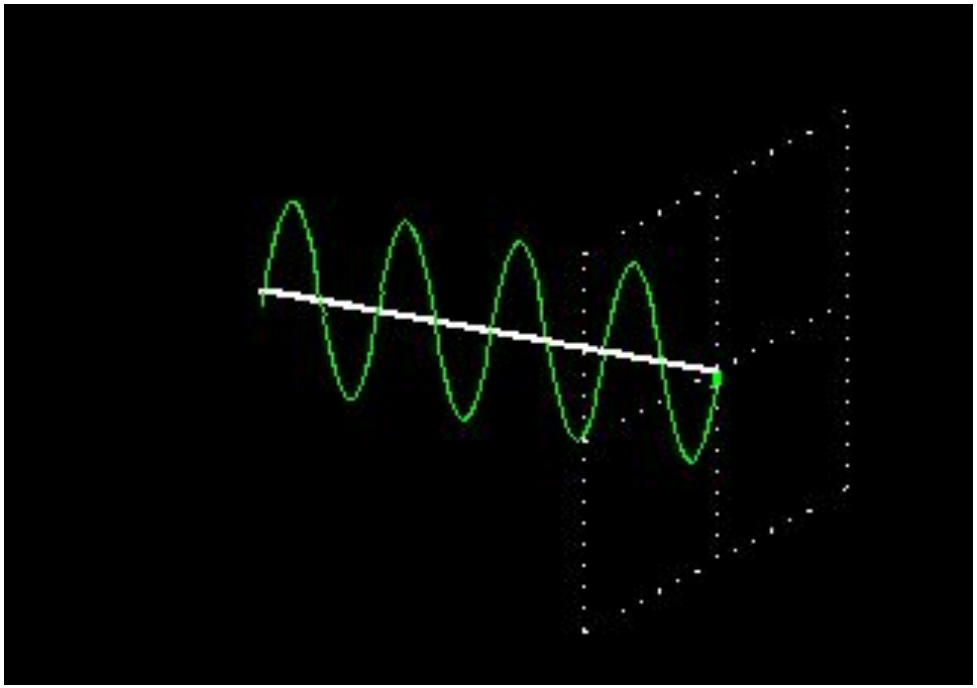
$$I = I_0 \cos^2 \varphi$$

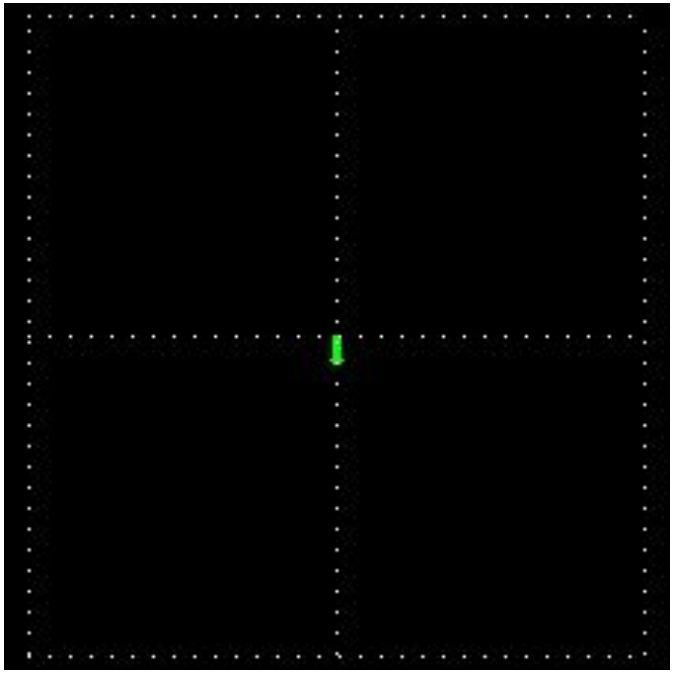
В соответствии с законом Малюса, если на поляризатор падает плоско поляризованный свет, то при вращении поляризатора через каждые 90^0 на экране будет наблюдаться полное погасание луча



Виды поляризации света

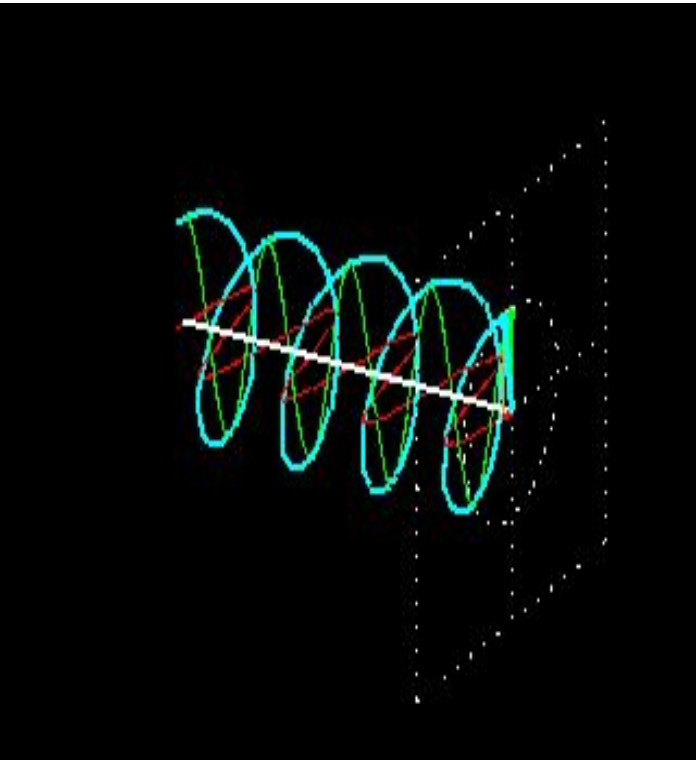
Плоско поляризованный свет



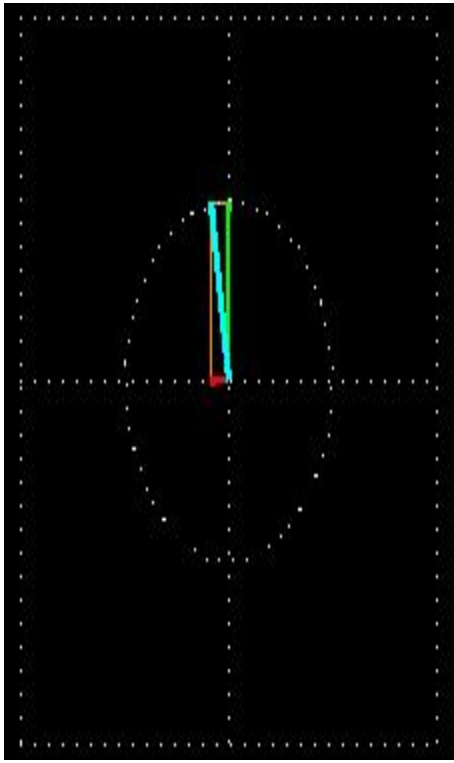


Виды поляризации света
Эллиптически поляризованный свет

Если вдоль одного и того же направления распространяются две монохроматические волны, поляризованные в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, то в результате их сложения в общем случае возникает ***эллиптически-поляризованная волна***

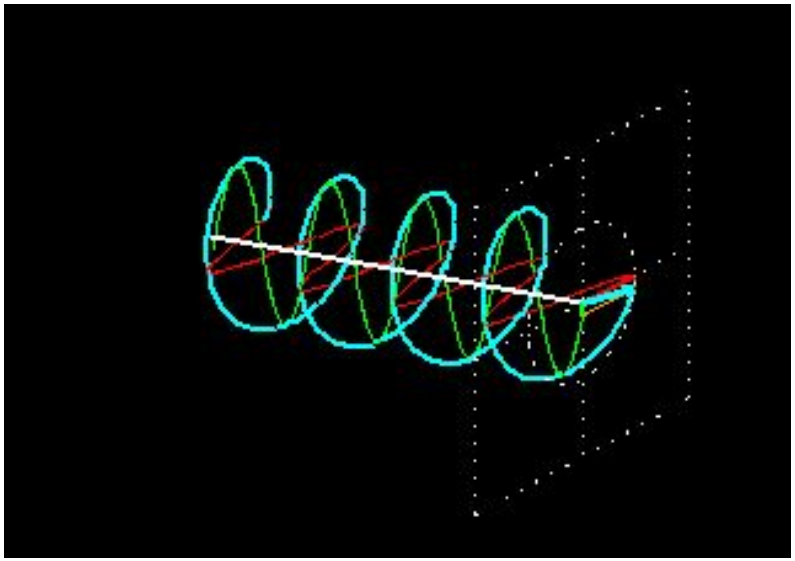


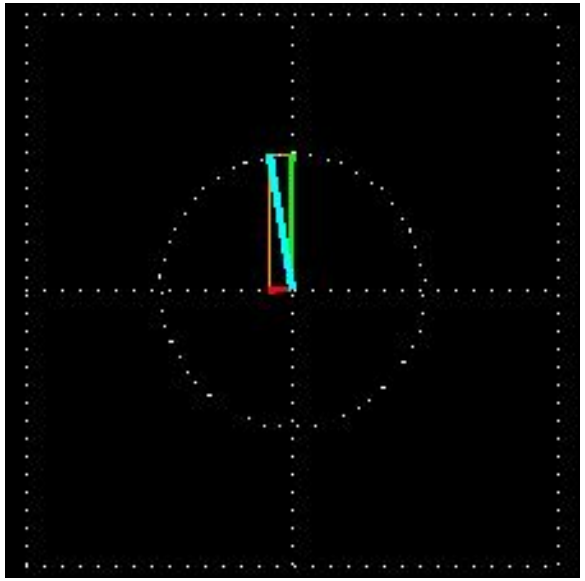
В эллиптически-поляризованной волне в любой плоскости *P*, перпендикулярной направлению распространения волны, конец результирующего вектора E за один период светового колебания обегает эллипс, который называется ***эллипсом поляризации***.



Виды поляризации света

Свет поляризованный по кругу



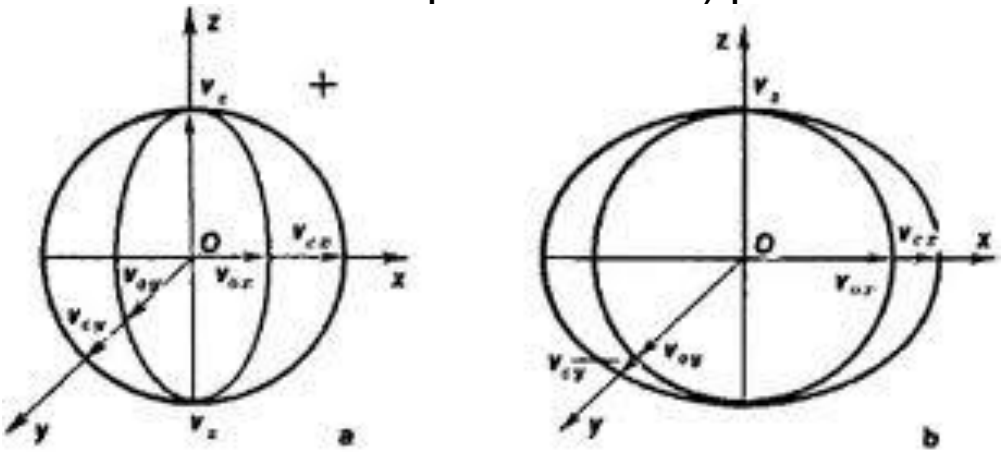


Частным случаем эллиптически-поляризованной волны (в случае, когда амплитуды двух взаимно перпендикулярных волн равны) является волна с ***круговой поляризацией***

Распространение света в анизотропной среде

Среда называется ***оптически анизотропной***, если ее оптические свойства (скорость распространения света или показатели преломления) различны в различных направлениях.

Измерения показывают, что скорость света в кристаллах зависит не только от направления распространения света, но и от ориентировки вектора E относительно плоскости падения. Однако в кристаллах существует одно или несколько направлений, вдоль которых скорость света не зависит от ориентировки вектора E. Эти направления называются ***оптическими осями*** кристалла.



Оптическая ось это не одна какая-то линия в кристалле, наподобие оси симметрии, а определенное направление в кристалле; все прямые, параллельные этому направлению и взятые в любом месте кристалла, являются оптическими осями

Так как вектор E перпендикулярен к своему лучу, то при распространении света вдоль оптической оси вектор E при всех его различных ориентировках в пространстве всегда перпендикулярен также и к оптической оси.

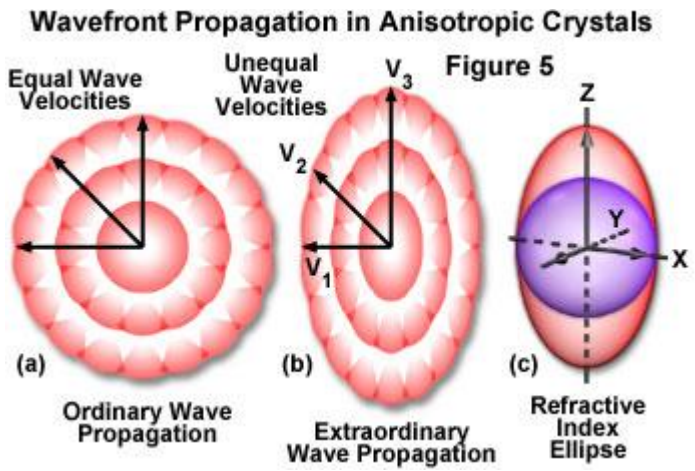
Распространение света в анизотропной среде

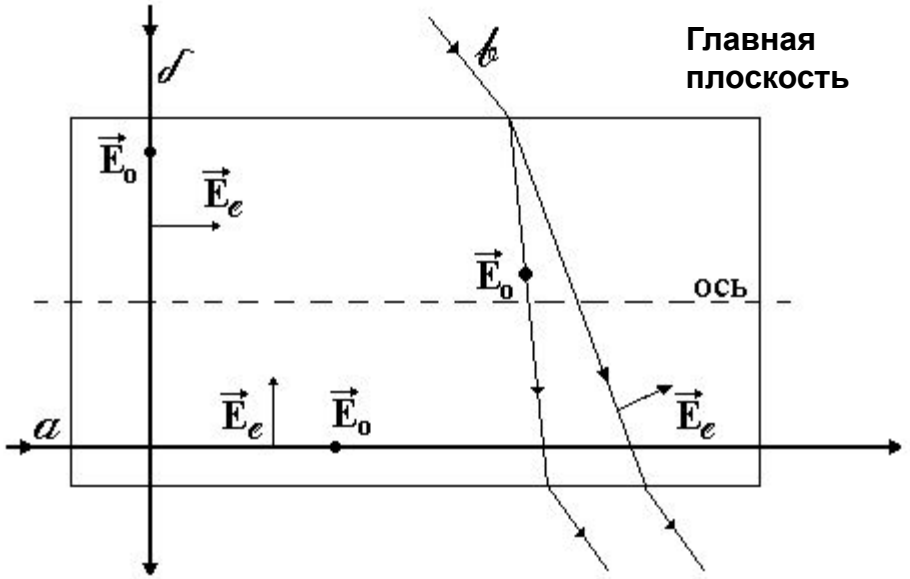
Плоскость, проходящая через данный луч и оптическую ось кристалла - ***главная плоскость***. В кристаллах различают:

1)*обыкновенные лучи*, у которых вектор E ориентирован перпендикулярно к главной плоскости (следовательно, перпендикулярен и к оптической оси);

2) *необыкновенные лучи*, у которых вектор E лежит в главной плоскости (следовательно, образует с оптической осью некоторые углы).

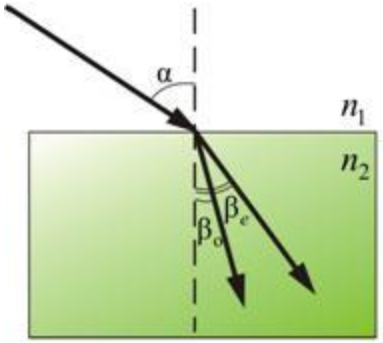
Обыкновенные лучи распространяются по всем направлениям в кристалле с одной и той же скоростью c_0. Необыкновенные лучи распространяются в кристалле с различными скоростями в зависимости от угла между вектором E и оптической осью c_e.

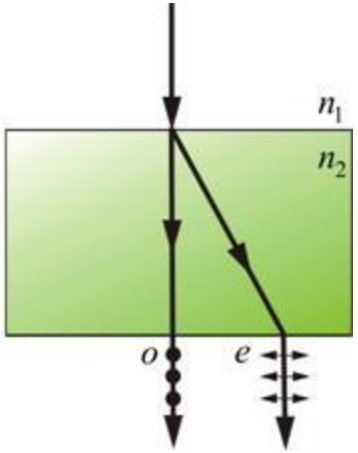




Исследования показали, что обыкновенный и необыкновенный лучи являются полностью поляризованными во взаимно перпендикулярных направлениях.

Плоскость колебаний обыкновенного луча перпендикулярна главному сечению, а необыкновенного луча – совпадает с главным сечением. На выходе из кристалла оба луча распространяются в одинаковом направлении и различаются лишь направлением поляризации





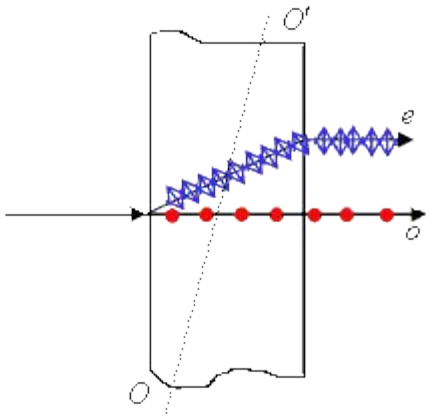
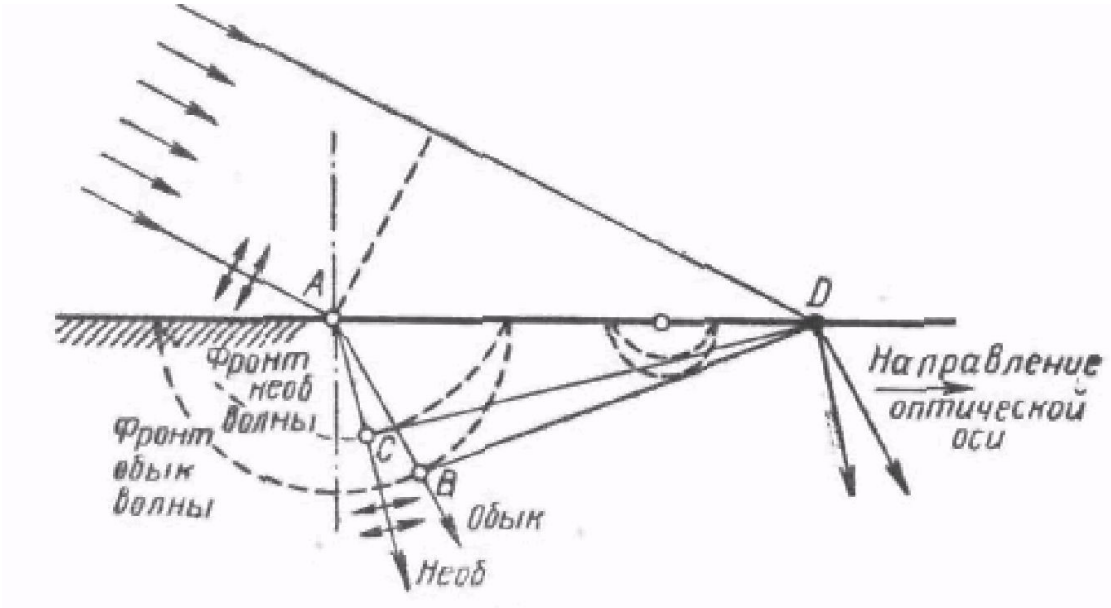


Рис. 5.15
o – обыкновенный луч,
e – необыкновенный луч

Двупреломление в анизотропных кристаллах

Применяя принцип Гюйгенса, проведем огибающие элементарных сферических фронтов обыкновенной волны BD и элементарных эллипсоидальных фронтов необыкновенной волны CD. Таким образом, при преломлении плоской волны на границе анизотропной среды появляются две плоские волны, распространяющиеся в различных направлениях и с различными скоростями.

Обе эти волны наблюдаются только в том случае, если падающий свет либо естественный, либо же имеет вектор E, колеблющийся под углом к главной плоскости, отличным от нуля или 90°.



направление распространения необыкновенной волны не перпендикулярно к ее фронту.

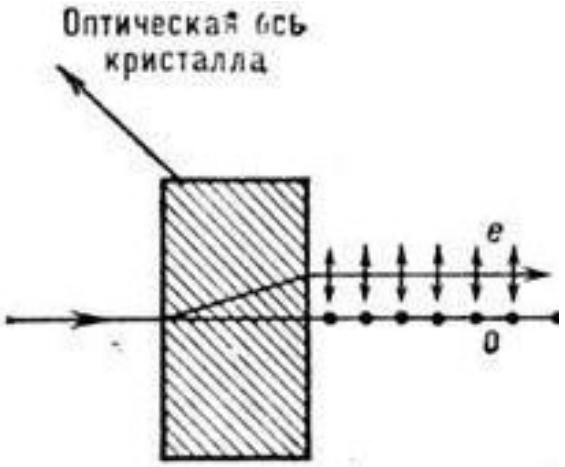
Для необыкновенной волны обычные законы преломления не соблюдаются

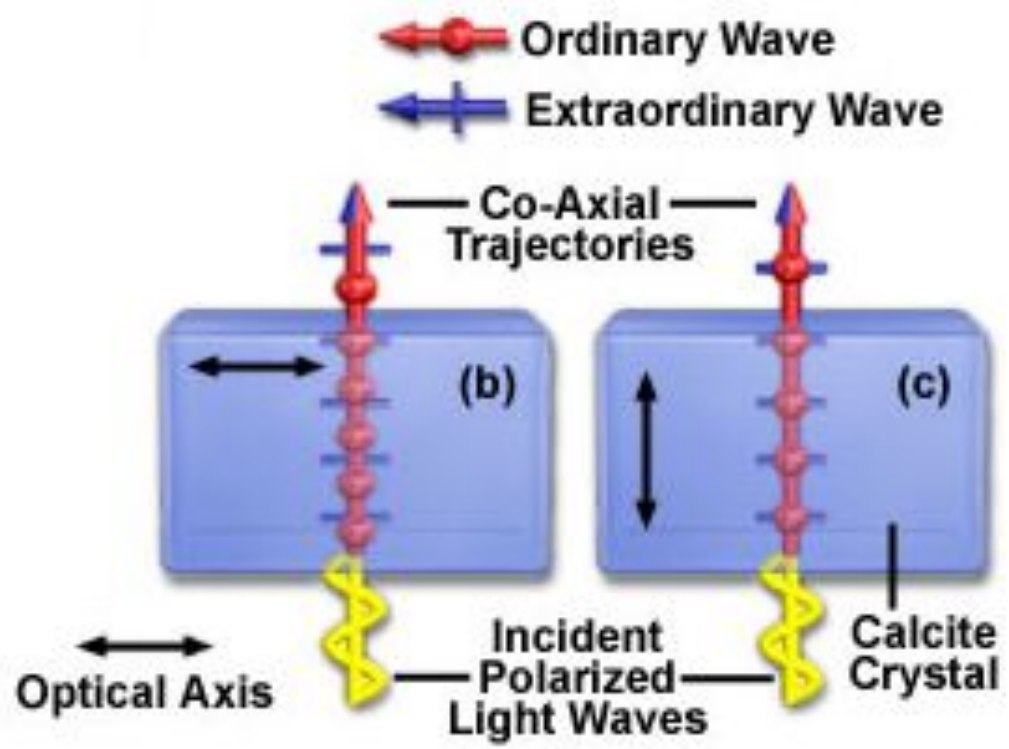
Так, по первому закону преломления $\sin\alpha/\sin\gamma = const$, поэтому при $\alpha = 0$ должно быть $\gamma = 0$. Это имеет место для обыкновенного луча и не соблюдается для необыкновенного.

Кроме того, если оптическая ось не лежит в плоскости падения, то необыкновенный луч также выйдет из плоскости падения, следовательно, для него не соблюдается и второй закон преломления (луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр в точке падения лежат в одной плоскости).

Еще одна особенность распространения света в анизотропных средах: направление распространения необыкновенной волны не перпендикулярно к ее фронту.

Ход обыкновенного и необыкновенного лучей при падении света на анизотропный кристалл под различными углами к оптической оси

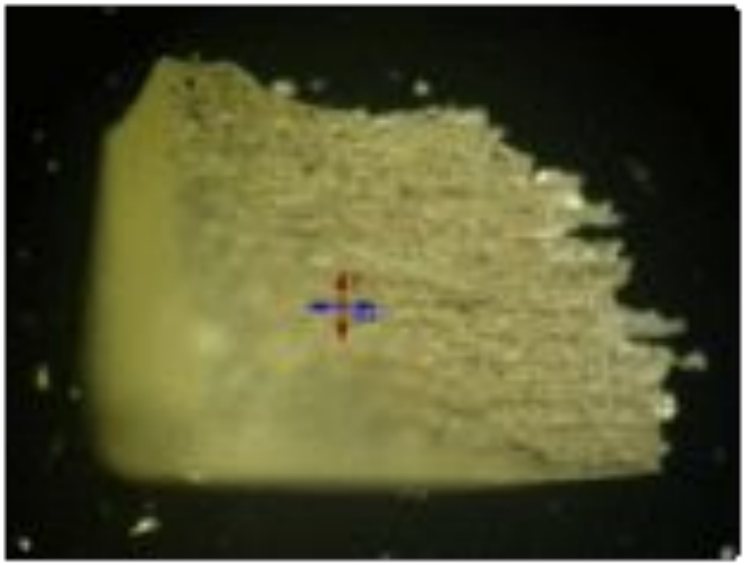




Двупреломление в анизотропных кристаллах

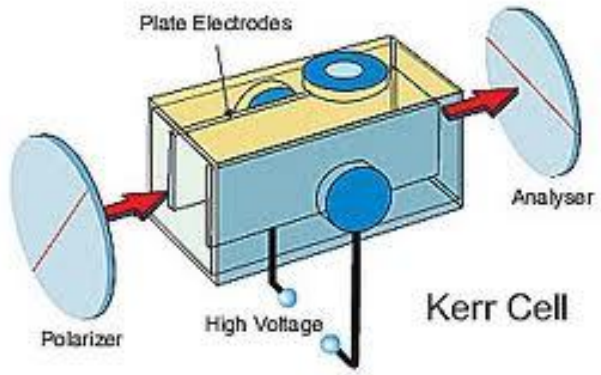
Вид кристалла кальцита $CaCO_3$ через вращающийся поляризатор

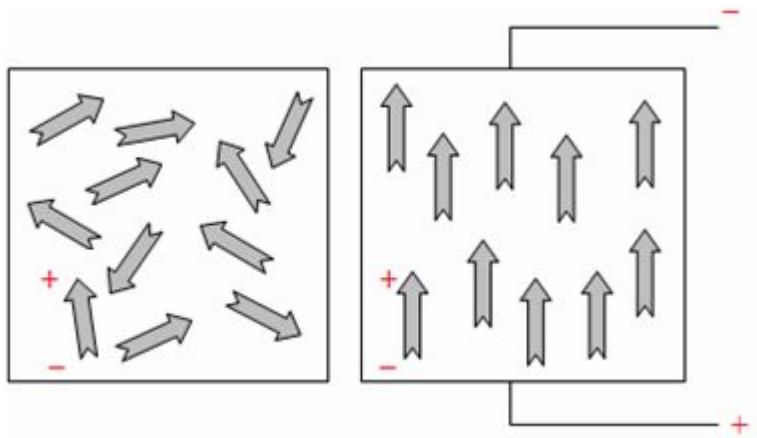
Вид кристалла рутила TiO_2 через вращающийся поляризатор



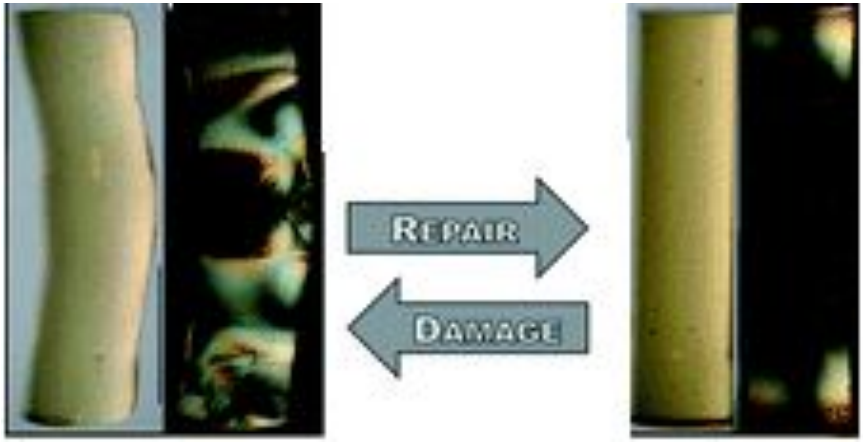
Искусственная анизотропия

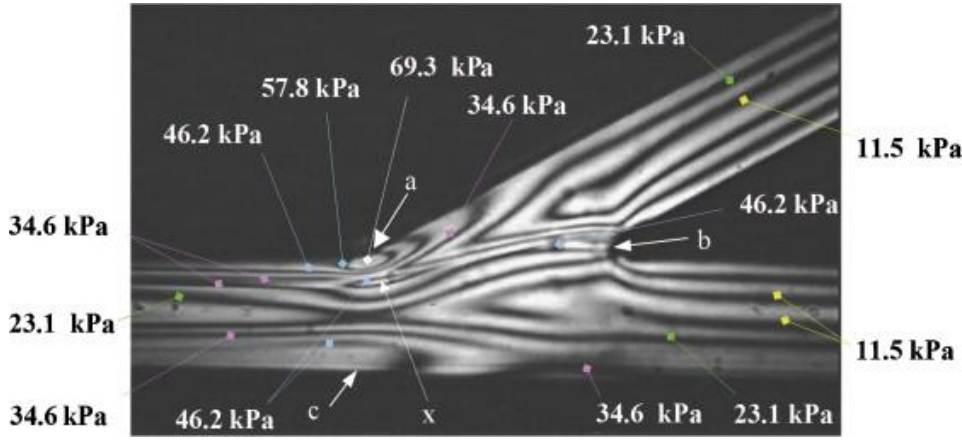
1) Анизотропия за счет приложения электрического поля (эффект Керра)

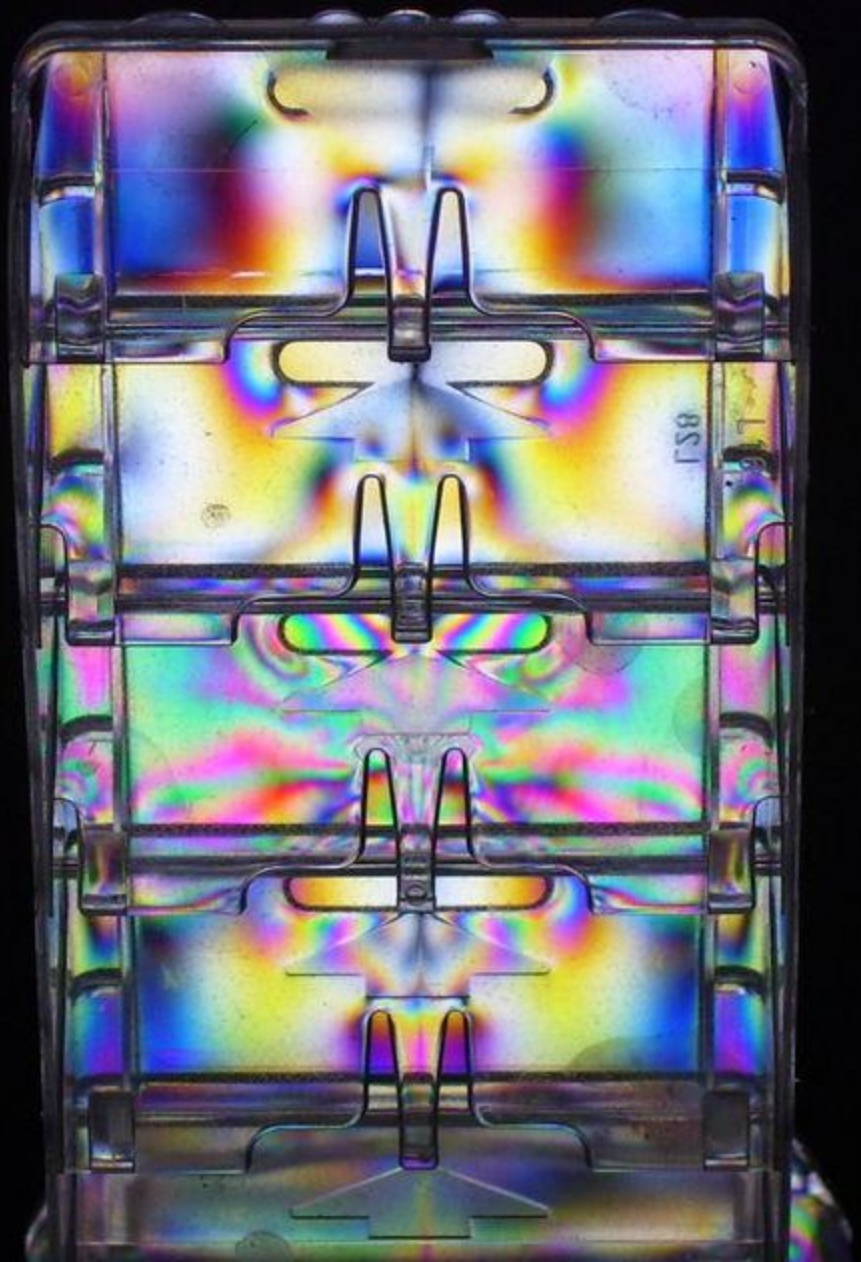




2) Анизотропия за счет механической деформации







Способы получения поляризованного света

Свет, испускаемый различными источниками, в частности раскаленными твердыми телами или светящимися газами, обычно естественный. Это объясняется тем, что элементарные источники света — атомы и молекулы -— движутся беспорядочно и испускаемые ими световые волны имеют всевозможные направления колебаний вектора Е.

1) *Лазеры*.

Свет генерируемый лазером является плоскополяризованным за счет того, что имеет место не спонтанное, как в случае нагретых тел, а стимулированное излучение, при котором испускаемые фотоны в точности совпадают по частоте, фазе и направлению с фотонами, стимулировавшими излучение возбужденных атомов.

2) *Рассеяние света.*

Свет, рассеянный в направлении перпендикулярном пучку плоско поляризован.

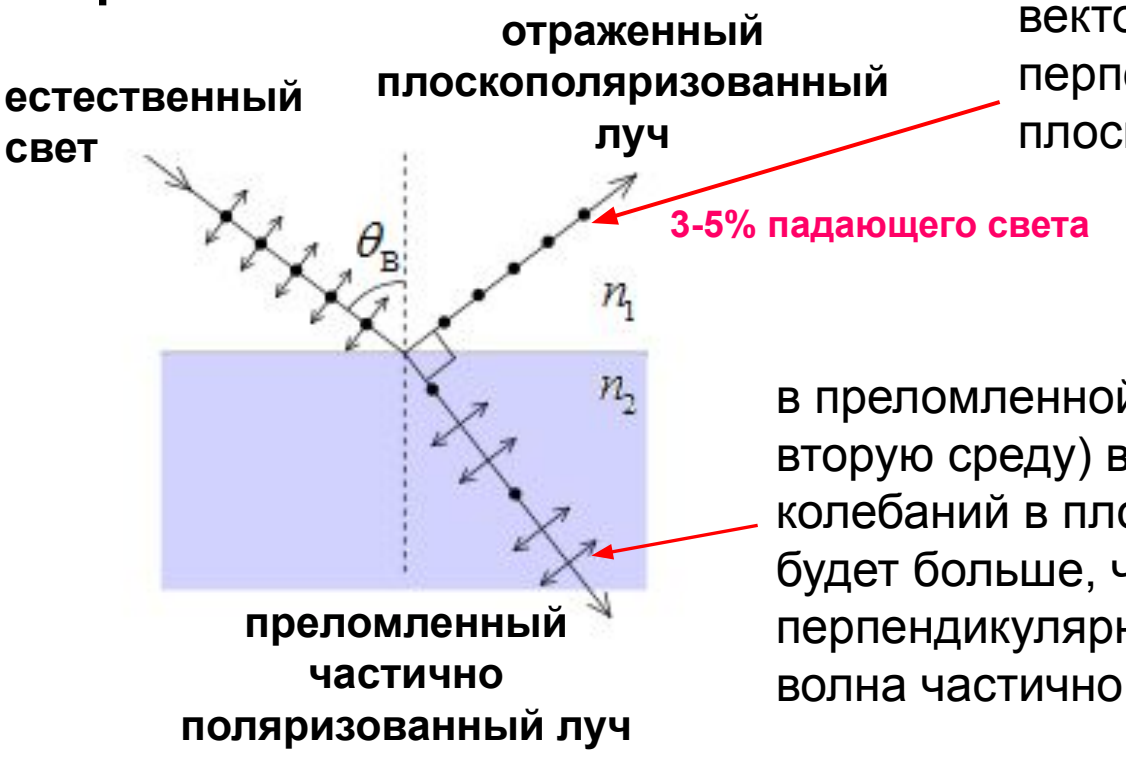
3) Поляризация при отражении и преломлении.

Если естественный свет падает на отражающую поверхность диэлектрика (стекла, слюды и т. п.) под углом α, удовлетворяющим условию Брюстера:

$$tg\Theta = \frac{n_2}{n_1}$$

то отраженная волна оказывается плоскополяризованной

«черное зеркало»



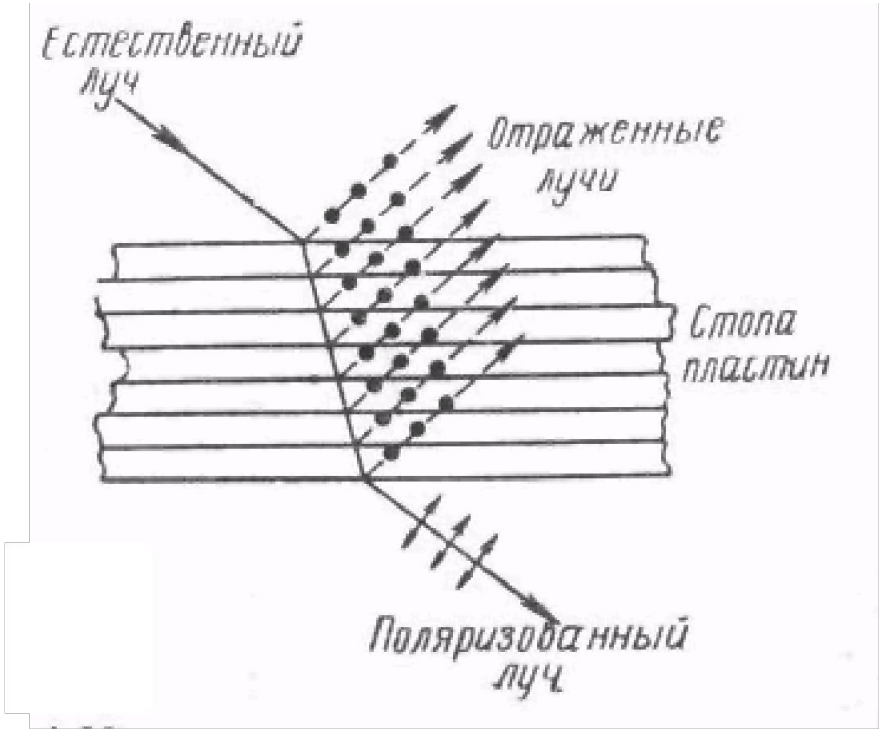
У отраженной волны вектор Е перпендикулярен к плоскости падения

3-5% падающего света

в преломленной (прошедшей во вторую среду) волне энергия колебаний в плоскости падения будет больше, чем в перпендикулярной плоскости, и волна частично поляризована.

3) Поляризация при отражении и преломлении.

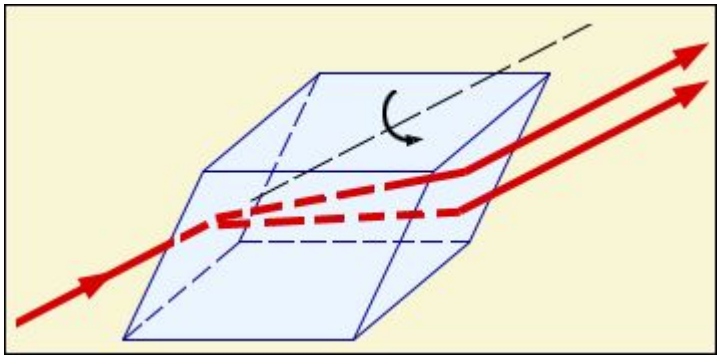
На практике пользуются многократным отражением волны от «стопы пластин»; отраженные лучи уносят колебания, перпендикулярные к плоскости падения, и проходящий луч, постепенно «очищаясь» от этих колебаний, становится почти плоско поляризованным (с вектором E, лежащим в плоскости падения).



Стопа Столетова

4) Поляризация при двойном лучепреломлении в кристаллах

Обыкновенный и необыкновенный лучи имеют в кристалле различные скорости распространения, следовательно, различные показатели преломления n_0 и n_e; этим объясняется двойное лучепреломление в точке падения волны на грань призмы



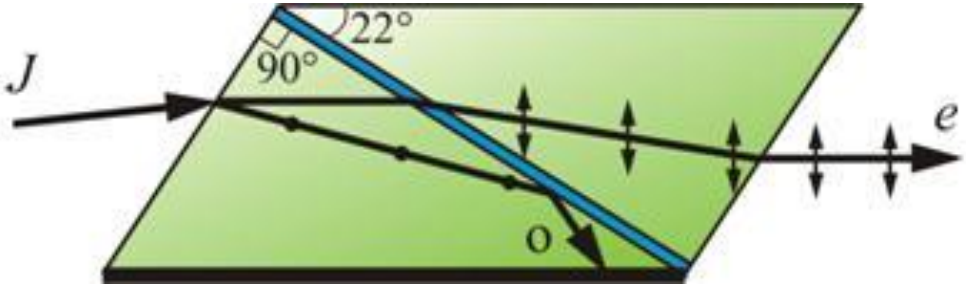
Это явление наблюдается в ***оптически анизотропной среде***, если ее оптические свойства (скорость распространения света или показатели преломления) различны в различных направлениях.

в кристаллах существует одно или несколько направлений, вдоль которых скорость света не зависит от ориентировки вектора E. Эти направления называются ***оптическими осями*** кристалла.

Так как вектор E перпендикулярен к своему лучу, то при распространении света вдоль оптической оси вектор E при всех его различных ориентировках в пространстве всегда перпендикулярен также и к оптической оси.

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

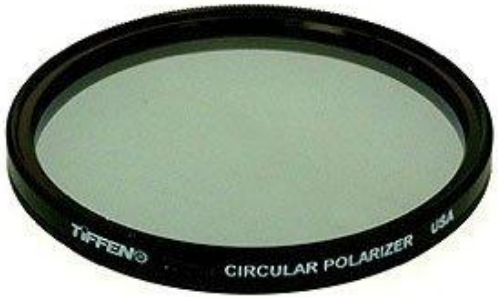


Показатель преломления канадского бальзама лежит между значениями показателей n_0 *и* n_e *для обыкновенного и необыкновенного лучей в исландском шпате (* $n_0 > n > n_e$*). За счет этого обыкновенный луч претерпевает на прослойке бальзама полное внутреннее отражение и отклоняется в сторону. Необыкновенный луч свободно проходит через эту прослойку и выходит из призмы.*

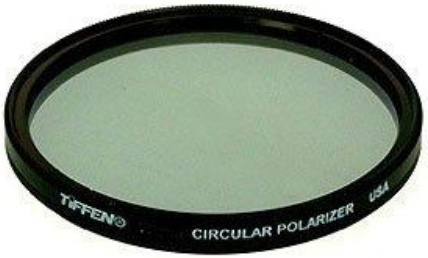
5) ***Поляризация при прохождении света через поглощающие анизотропные вещества*.**

Некоторые кристаллические вещества обладают различным поглощением для лучей с различными ориентировками вектора E относительно осей этих кристаллов. Например, турмалиновая пластинка толщиной 0,1 мм почти полностью поглощает обыкновенные лучи (вектор E_0 перпендикулярен оптической оси), а необыкновенные лучи частично поглощаются, частично выходят из пластинки. Если на такую пластинку светит естественный свет, то из пластинки выходит только необыкновенный плоскополяризованный луч. Коэффициент поглощения таких веществ зависит от длины волны. Поэтому, если на такие вещества падает белый свет, то вышедший свет получается окрашенным, причем в различных направлениях окраска различна.

Нанося на стекло тонкий слой чешуйчатых кристалликов турмалина или герапатита получают так называемые поляроиды



Поляроиды

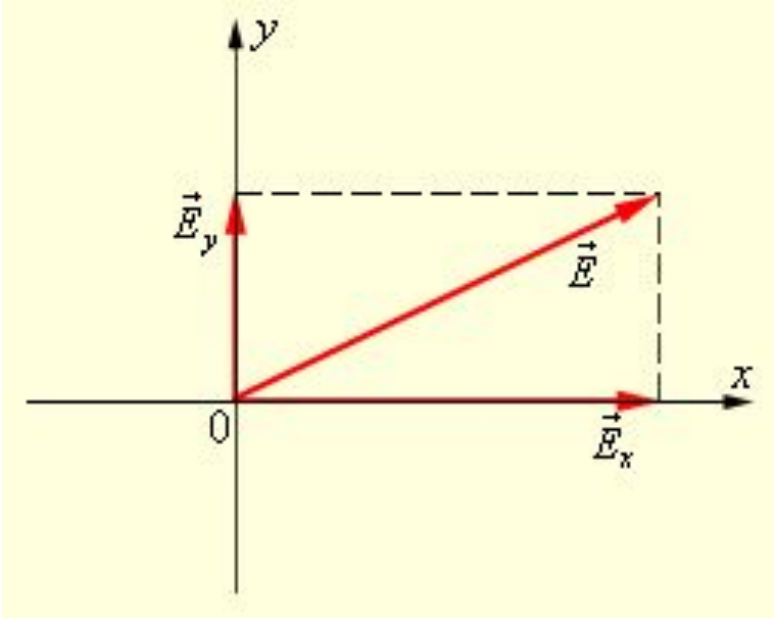


Интерференция поляризованных лучей

Интерференция поляризованных лучей имеет некоторые особенности по сравнению с интерференцией естественных лучей. Так, для взаимного гашения двух монохроматических плоскополяризованных когерентных волн, кроме равенства амплитуд векторов E_1 и E_2 и наличия разности фаз, необходимо одинаковое направление колебаний векторов интерферирующих лучей, иначе суммарный вектор $E=E_1 + E_2$ не будет равен нулю.

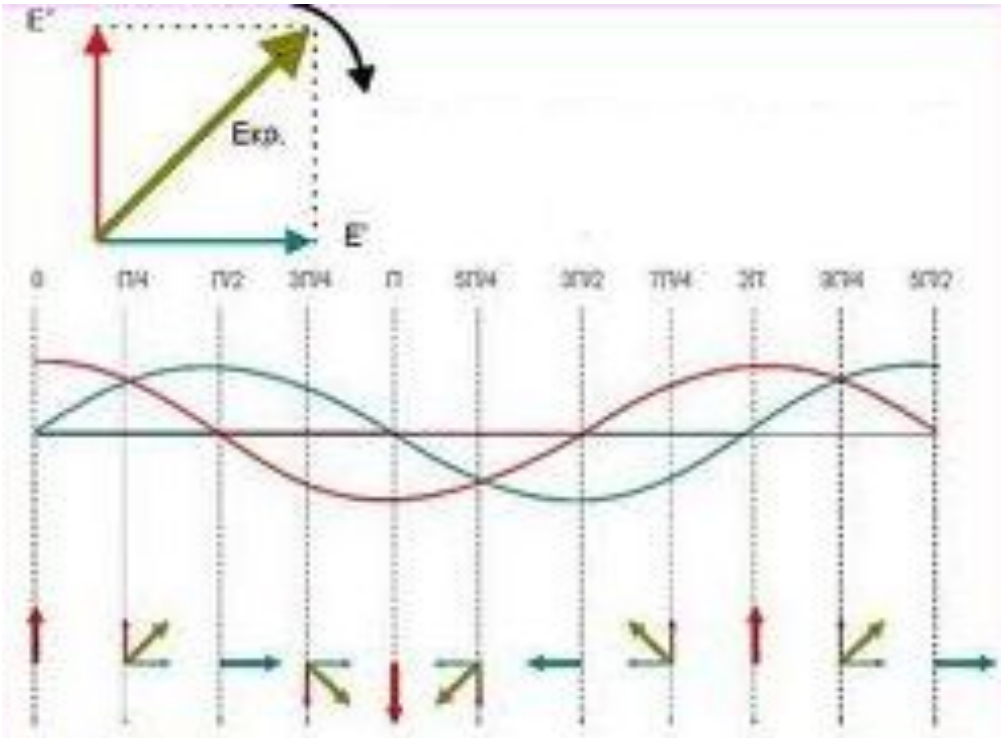
Рассмотрим интерференцию лучей, у которых векторы E колеблются во взаимно перпендикулярных плоскостях. Рассмотрим два случая:

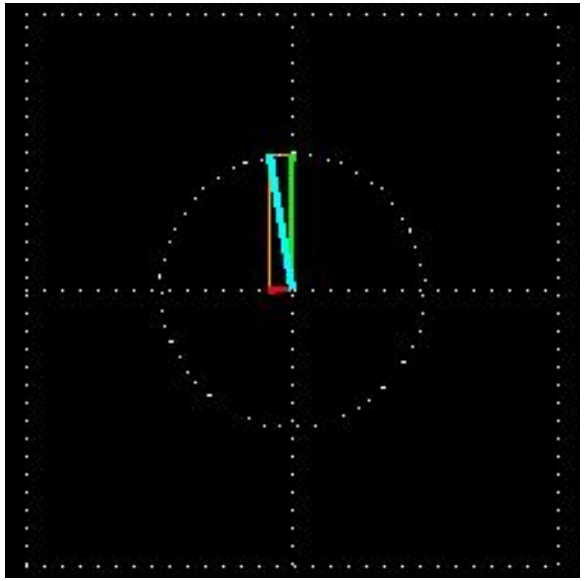
а) во всех точках луча разность фаз векторов E_1 и E_2 равна нулю.
В результате интерференции таких волн получается плоскополяризованная волна, но с иной ориентировкой плоскости колебаний суммарного вектора E.



Интерференция поляризованных лучей

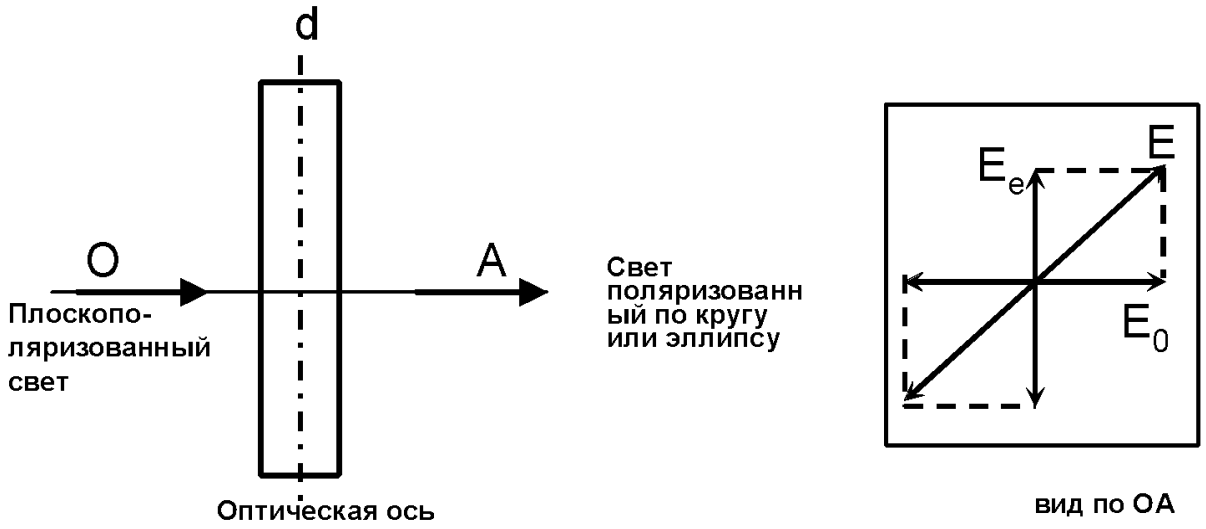
б) фазы векторов E_1 и E_2 отличаются на φ. В этом случае суммарный вектор вращается вдоль луча, сохраняя свое значение при $E_1 = E_2$ или меняя его при $E_1 \neq E_2$. При интерференции двух плоскополяризованных лучей с перпендикулярными плоскостями колебаний разность фаз между векторами напряженности равна нечетному числу π/2, то результирующий луч поляризован по кругу при $E_1 = E_2$ или по эллипсу при $E_1 \neq E_2$



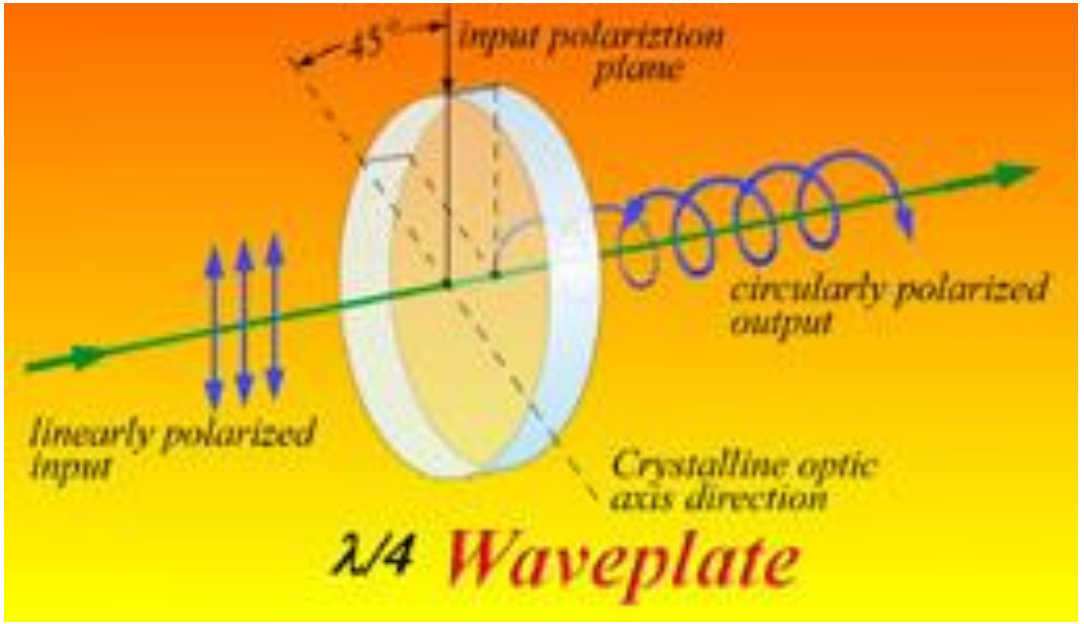


Четвертьволновая пластинка

Такую интерференцию можно получить, пропуская плоскополяризованную волну через кристаллическую пластинку определенной толщины, вырезанную параллельно оптической оси. Вектор E волны разлагается в кристалле на обыкновенную E_0 и необыкновенную E_e составляющие, распространяющиеся с разными скоростями c_0 и c_e. Если нам необходимо получить разность фаз между E_0 и E_e по выходе из пластинки, равную л/2, то нужно подобрать такую толщину d этой пластинки, чтобы один луч вышел раньше (или позже) другого луча на четверть периода T, т.е. $d/c_0-d/c_e=T/4$



Четвертьволновая пластинка

Умножив это равенство на скорость света d воздухе c и обозначив $c/c_0 = n_0$; $c/c_e = n_e$; $Tc = \lambda$, получим формулу, по которой можно рассчитать толщину пластинки d: $d(n_0-n_e) = \lambda/4$; $d = \lambda/4(n_0-n_e)$.

Кристаллическая пластинка, удовлетворяющая этим условиям, называется ***«пластинкой в четверть волны»***. Она преобразует плоскополяризованный свет – в свет, поляризованный по кругу (если $\alpha = 45^0$ и, следовательно, $E_0 = E_e$) или по эллипсу ($\alpha \neq 45°$, $E_0 \neq E_e$). Такая пластинка превращает луч, поляризованный по кругу или эллипсу, в плоско поляризованный луч. Очевидно, при помощи такой пластинки можно установить, поляризовано ли данное излучение по кругу (или эллипсу) или же оно является естественным.