

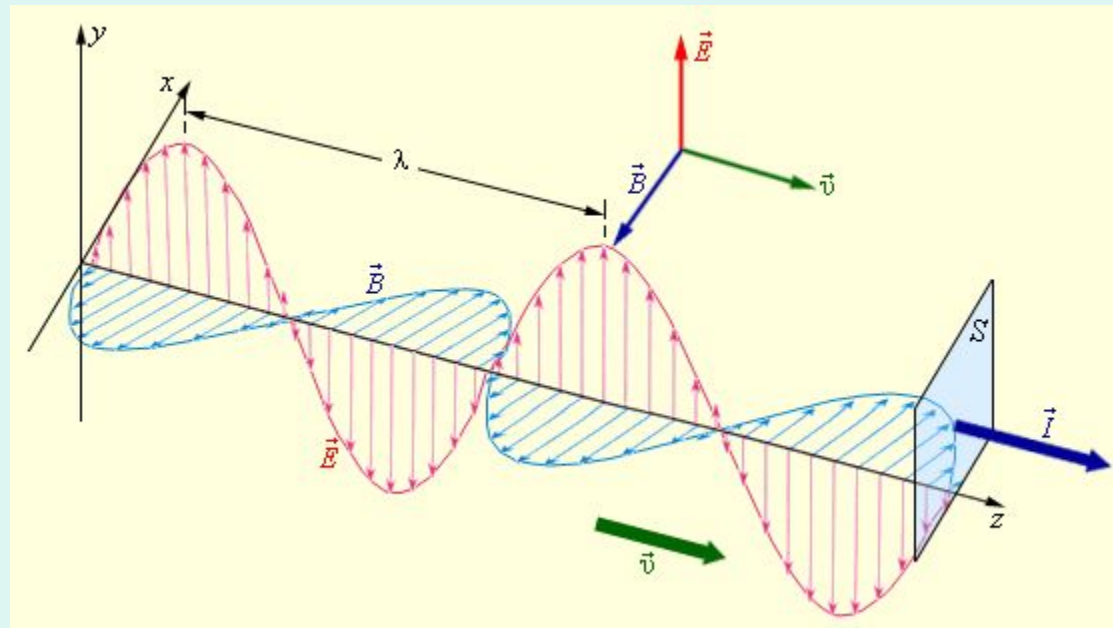
Поляризация света

- Световой вектор
- Эллиптическая поляризация
- Неполяризованный свет
- Поляризаторы
- Закон Малюса
- Поляризация при отражении и преломлении
- Двойное лучепреломление в одноосных кристаллах
- Ход лучей в одноосном кристалле

Световой вектор

- В электромагнитной волне вектора E и B перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны (рис.). 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 **плоскополяризованной**.

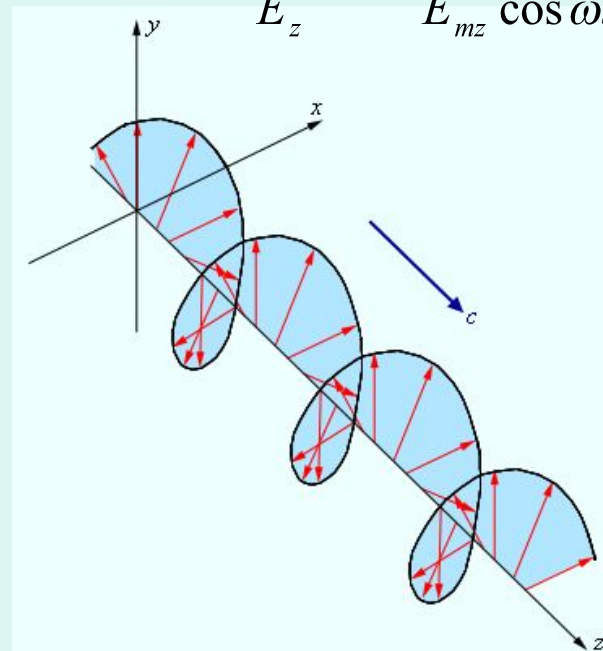
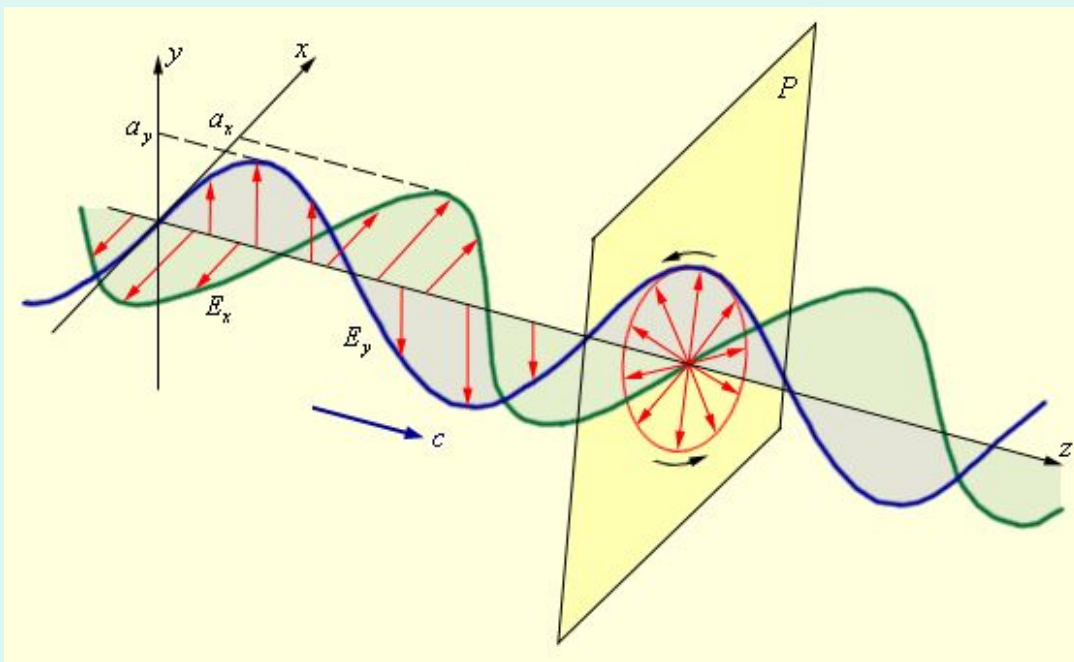
Плоскость, в которой колеблется световой вектор E называется **плоскостью колебаний** (плоскость yz на рис.), а плоскость, в которой совершает колебание магнитный вектор — **плоскостью поляризации** (плоскость xz на рис.).



Эллиптическая поляризация

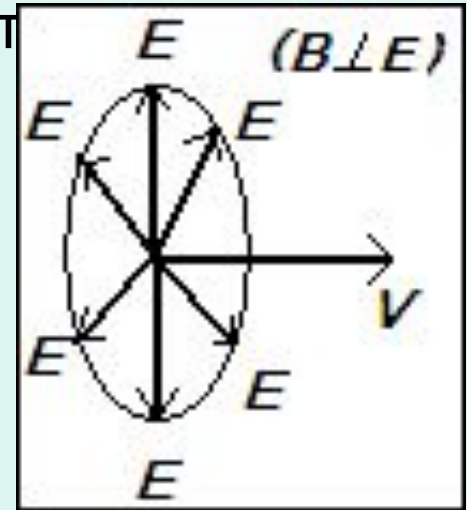
• При сложении двух волн, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях, в общем случае возникает **эллиптически-поляризованная волна**. В эллиптически-поляризованной волне в любой плоскости P , перпендикулярной направлению распространения волны, конец результирующего вектора за один период светового колебания обегает эллипс, который называется **эллипсом поляризации**. Форма и размер эллипса поляризации определяются амплитудами a_x и a_y линейно-поляризованных волн и фазовым сдвигом $\Delta\varphi$ между ними. Частным случаем эллиптически-поляризованной волны является волна с **круговой поляризацией** ($a_x = a_y$, $\Delta\varphi = \pm \pi / 2$).

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{E_y}{E_z} = \frac{E_{my} \cos(\omega t + \delta)}{E_{mz} \cos \omega t}$$



Неполяризованный свет

- Линейно-поляризованный свет испускается лазерными источниками. Свет может оказаться поляризованным при отражении или рассеянии. В частности, голубой свет от неба частично или полностью поляризован. Однако, 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 беспорядочно изменяет свою ориентацию во времени, так что в среднем все направления колебаний оказываются равноправными. **Неполяризованный свет** называют также **естественным светом**.



Поляризаторы

Это устройства способные создавать плоско-поляризованный свет. Они свободно пропускают колебания светового вектора E , параллельные **плоскости пропускания** поляризатора. Перпендикулярные колебания задерживаются полностью или частично. В первом случае поляризатор называется **идеальным**, во втором случае **несовершенным**. У многих кристаллов (например, турмалин) поглощение света сильно зависит от направления электрического вектора в световой волне. Это явление называют **дихроизмом**. При определенной толщине пластинка турмалина почти полностью поглощает одну из взаимно перпендикулярно поляризованных волн (например, E_x) и частично пропускает вторую волну (E_y). Направление колебаний электрического вектора в прошедшей волне называется **разрешенным направлением** пластинки. Если пропустить частично поляризованный свет через поляризатор, то при вращении прибора вокруг направления луча интенсивность прошедшего света будет меняться в пределах от I_{\max} до I_{\min} , причем переход от одного из этих значений к другому будет совершаться при повороте на угол, равный $\pi/2$. Выражение

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

называется **степенью поляризации**.

Для плоско поляризованного света $I_{\min} = 0$, $P=1$, а для естественного света $I_{\max} = I_{\min}$, $P=0$. К эллиптически поляризованному свету понятие степень поляризации неприменимо, т.к. колебания в нём полностью упорядочены.

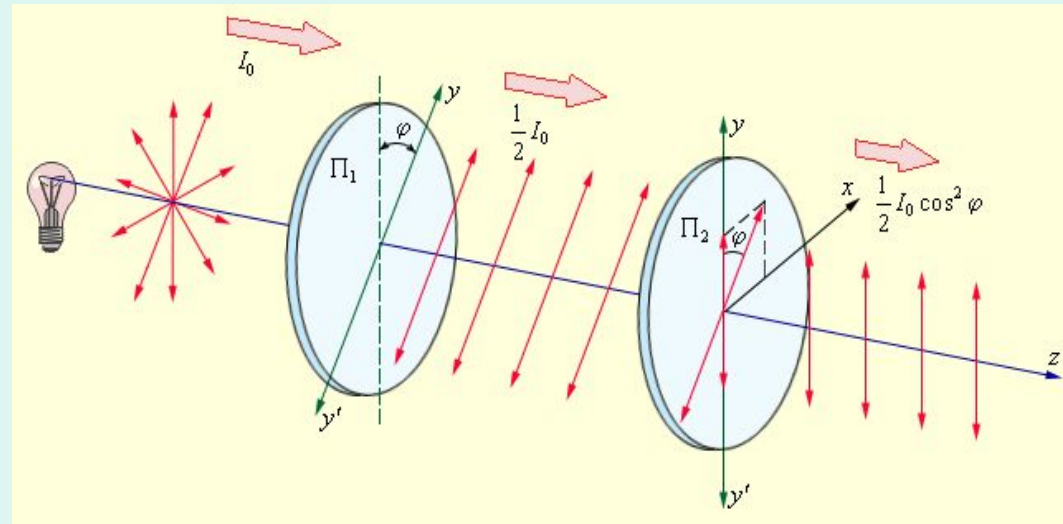
Закон Малюса

Поляризаторы можно использовать и как анализаторы – для определения характера и степени поляризации интересующего нас света. Рассмотрим прохождение естественного света через два идеальных поляроида Π_1 и Π_2 (рис.), разрешенные направления которых развернуты на некоторый угол φ . Первый поляроид играет роль поляризатора. Он превращает естественный свет в линейно-поляризованный. Второй поляроид служит для анализа падающего на него света.

Если обозначить амплитуду линейно-поляризованной волны после прохождения света через первый поляроид через

$$E_0 = \sqrt{I_0 / 2},$$

то волна, пропущенная вторым поляроидом, будет иметь амплитуду $E = E_0 \cos \varphi$.



Тогда интенсивность I линейно-поляризованной волны на выходе второго поляроида будет равна $I = E^2 = E_0^2 \cos^2 \varphi = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \varphi$.

Поляризация при отражении и преломлении

Если угол падения света на границу раздела двух диэлектриков отличен от нуля, то отраженный и преломлённый лучи оказываются частично поляризованными. В отраженном луче преобладают колебания, перпендикулярные плоскости падения, (на рис.4 они обозначены кружочками) а в преломлённом луче преобладают колебания параллельные плоскости падения (изображены двусторонними стрелками).

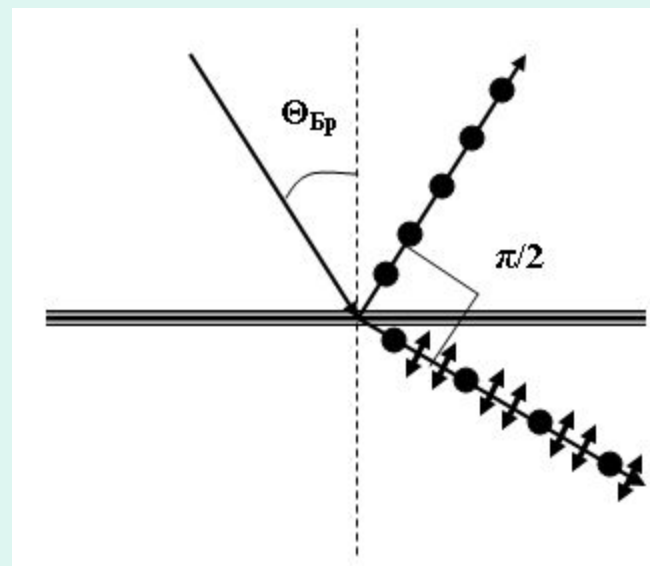
Степень поляризации зависит от угла падения. Обозначим через $\theta_{\text{Бр}}$ угол, удовлетворяющий условию

$$\text{tg} \theta_{\text{Бр}} = n_{12}$$

(n_{12} – показатель преломления второй среды относительно первой).

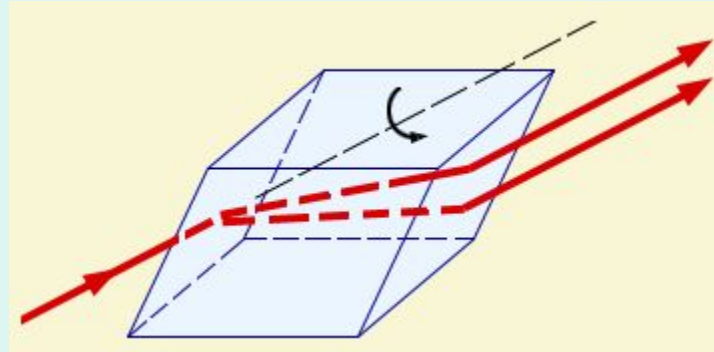
При этом угле падения, называемом **углом Брюстера**, отраженный луч полностью поляризован – содержит только колебания, перпендикулярные к плоскости падения.

Степень поляризации преломлённого луча максимальна, однако этот луч остаётся поляризованным только частично. Отражённый и преломлённый лучи взаимно перпендикулярны.



Двойное лучепреломление в одноосных кристаллах

При прохождении света через все прозрачные кристаллы, за исключением относящихся к кубической системе, наблюдается разделение упавшего на кристалл луча света на два луча, которые распространяются с разными скоростями и в различных направлениях.

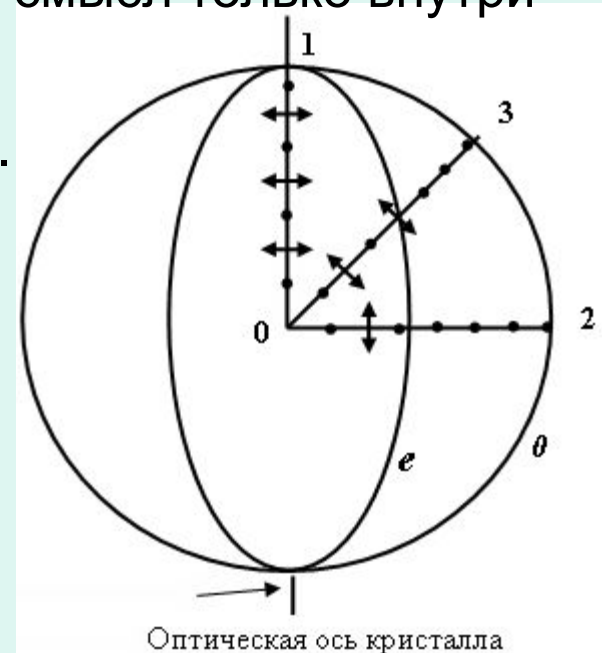


Это явление называется **двойным лучепреломлением** (кварц, турмалин). Один луч (*обыкновенный*, обозначается буквой *o*) подчиняется обычному закону преломления. Для другого же луча, (*необыкновенного*, обозначается буквой *e*) закон преломления не выполняется. У одноосных кристаллов имеется направление, вдоль которого оба луча распространяются не разделяясь и с одинаковой скоростью. Это направление называется *оптической осью* кристалла.

Двойное лучепреломление в одноосных кристаллах (продолжение)

Оптическая ось – это не просто линия, проходящая через какую-то точку в кристалле, а определённое направление. Любая прямая, проходящая параллельно данному направлению в кристалле, является его оптической осью. Любая плоскость, проходящая через оптическую ось, называется **главным сечением** или **главной оптической плоскостью**. Оба луча и обыкновенный и необыкновенный полностью поляризованы во взаимно перпендикулярных направлениях. Плоскость колебаний обыкновенного луча перпендикулярна к главному сечению кристалла, а у необыкновенного луча совпадает с главным сечением. По выходе из кристалла оба луча отличаются только направлением поляризации, так что названия «обыкновенный» и «необыкновенный» луч имеют смысл только внутри кристалла.

Двойное лучепреломление объясняется анизотропией кристаллов некубической системы. Их диэлектрическая проницаемость ϵ в направлении оптической оси и в направлениях, перпендикулярных к ней, имеют различные значения ϵ_{\parallel} и ϵ_{\perp} . В других направлениях ϵ имеет промежуточные значения. Так как $n = \sqrt{\epsilon}$, то из анизотропии ϵ вытекает, что скорость распространения световых волн зависит от направлений колебания светового вектора.

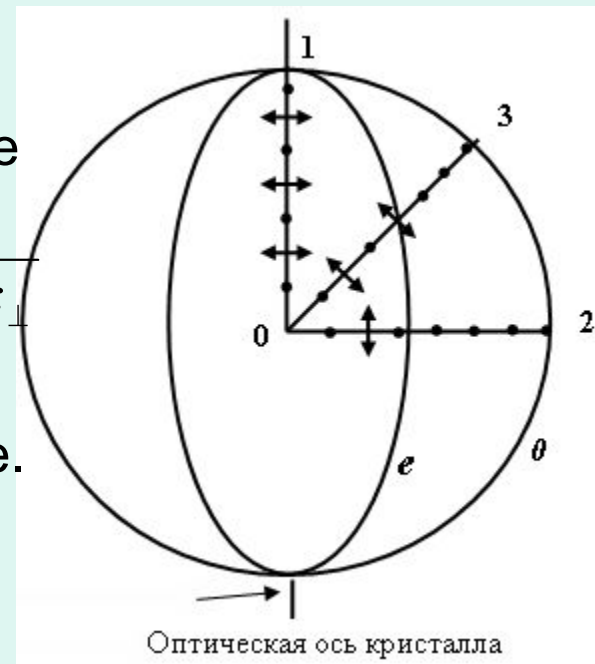


Двойное лучепреломление в одноосных кристаллах (продолжение)

В обыкновенном луче колебания светового вектора происходят в направлении, перпендикулярном к главному сечению кристалла. Они изображены точками на рис.1. Поэтому при любом направлении обыкновенного луча (1, 2 или 3) вектор E образует с оптической осью угол $\pi/2$ и скорость световой волны будет одна и та же, равная $v_0 = c/\sqrt{\epsilon_{\perp}}$. Колебания в необыкновенном луче (изображены двусторонними стрелками) совершаются в главном сечении (плоскости) и образуют с оптической осью разные углы. Такая картина будет наблюдаться в любой главной плоскости.

Колебания в необыкновенном луче совершаются в главном сечении (плоскости). Поэтому для разных лучей направления колебаний вектора E (на рисунке изображены двусторонними стрелками) образуют с оптической осью разные углы. Для луча 1 угол $\alpha = \pi/2$ вследствие чего скорость $v_0 = c/\sqrt{\epsilon_{\perp}}$ а для луча 2 угол $\alpha = 0$ и скорость $v_0 = c/\sqrt{\epsilon_{\parallel}}$.

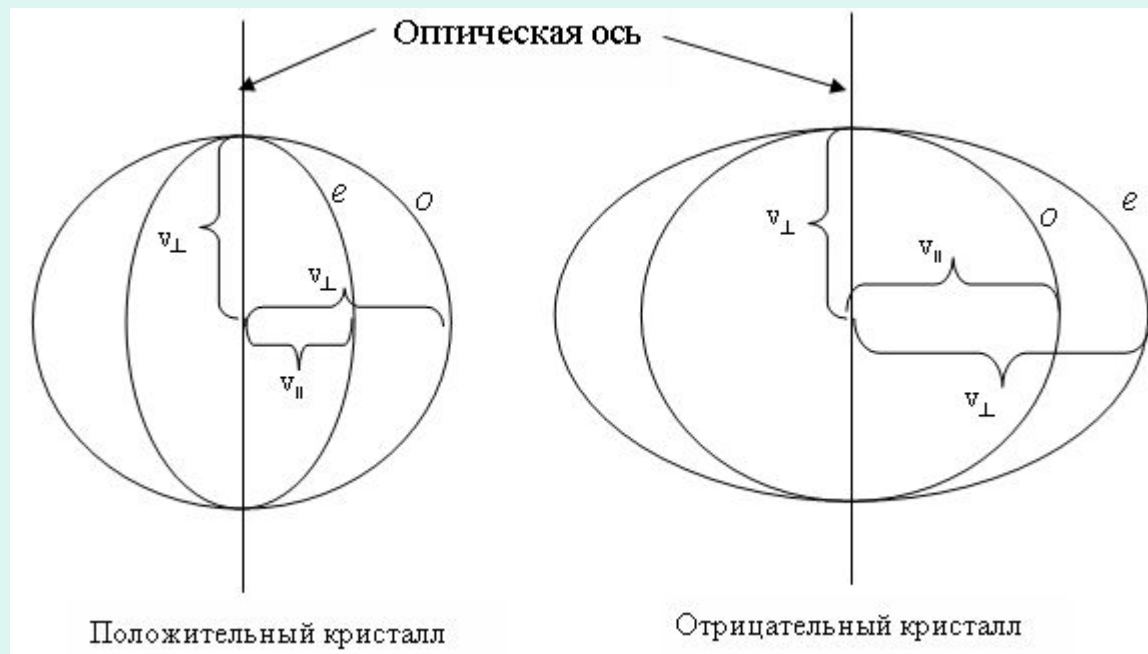
Для луча 3 скорость имеет промежуточное значение. Можно показать, что для необыкновенных лучей волновая поверхность имеет вид эллипсоида вращения (и обозначена на рис. буквой e), и соприкасается со сферой в местах пересечения с оптической осью.



Оптическая ось кристалла

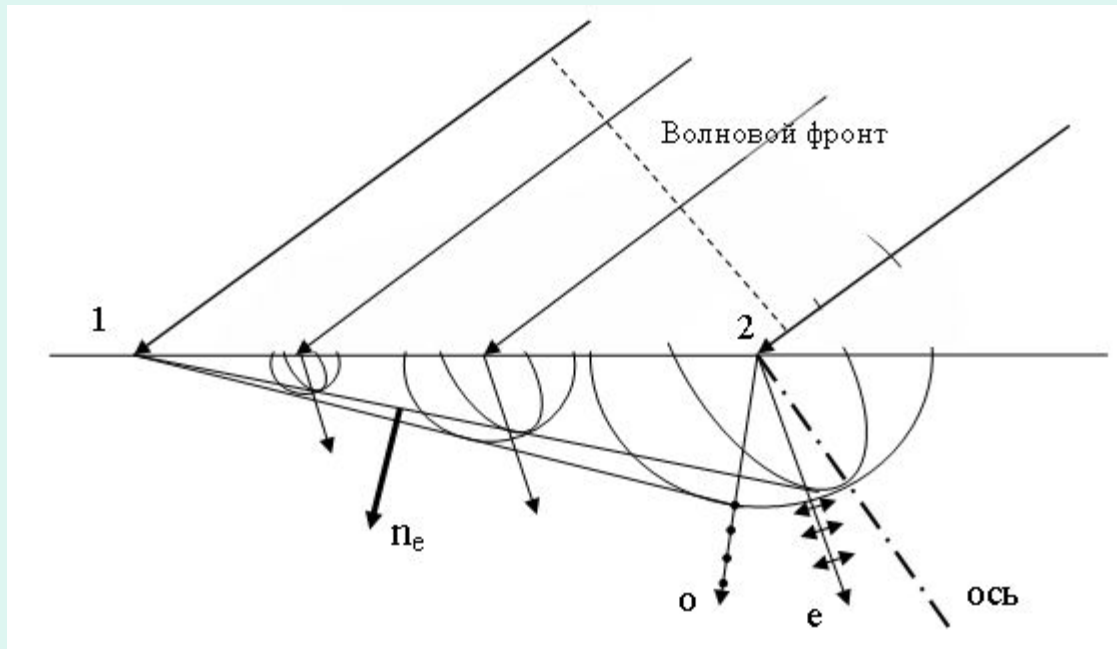
Двойное лучепреломление в одноосных кристаллах (продолжение)

Одноосные кристаллы характеризуются показателем преломления **обыкновенного луча**, равным $n_o = c/v_o$ и показателем преломления **необыкновенного луча**, перпендикулярного к оптической оси, равным $n_e = c/v_e$. В зависимости от того какая из скоростей v_o или v_e , больше различают **положительные** и **отрицательные** кристаллы. У положительных кристаллов $v_e < v_o$ ($n_e > n_o$) наоборот. См. рис.



Ход лучей в одноосном кристалле

- Ход обыкновенного и необыкновенного лучей в кристалле можно определить с помощью принципа Гюйгенса. На рис. построены волновые поверхности обыкновенного и необыкновенного лучей с центром в точке 2, лежащей на поверхности кристалла. Построение выполнено для момента времени, когда волновой фронт достиг точки 1. Обыкновенный луч **о** совпадает с нормалью к своей волновой поверхности, а необыкновенный **е** заметно отклоняется от направления нормали n_e



Ход лучей в одноосном кристалле

- На рисунке изображены 3 случая нормального падения света на поверхность кристалла, отличающиеся направлением оптической оси. В случае **а** лучи **о** и **е** распространяются вдоль оптической оси поэтому идут не разделяясь. В случае **б** даже при нормальном падении на преломляющую поверхность необыкновенный луч может отклониться от нормали.

