

ОПТИКА

Лекция 29.

Тема: Поляризация

Учебник:

Трофимова Т.И. Курс физики : учеб. пособ. для вузов / Т. И. Трофимова. - М.: Академия, 2007.- с. **357-368**.

**к.ф.-м.н.
Курочкин А.**

При действии света на вещество

основное значение имеет

электрическая составляющая электромагнитного

поля световой волны, поскольку именно она

оказывает основное действие на электроны в атомах

вещества.

Поэтому, для описания закономерностей

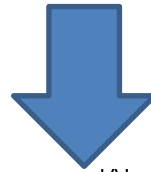
поляризации будем рассматривать только

световой вектор \vec{E} –

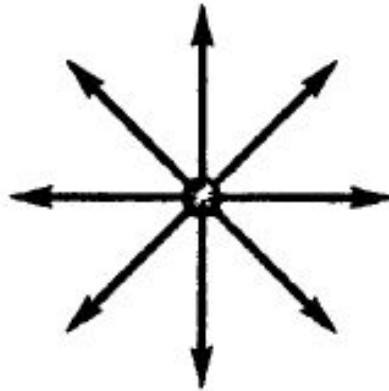
вектор напряжённости электрического поля.

Что такое свет?

Свет представляет собой суммарное электромагнитное излучение множества атомов.



Все ориентации вектора E будут равновероятны.



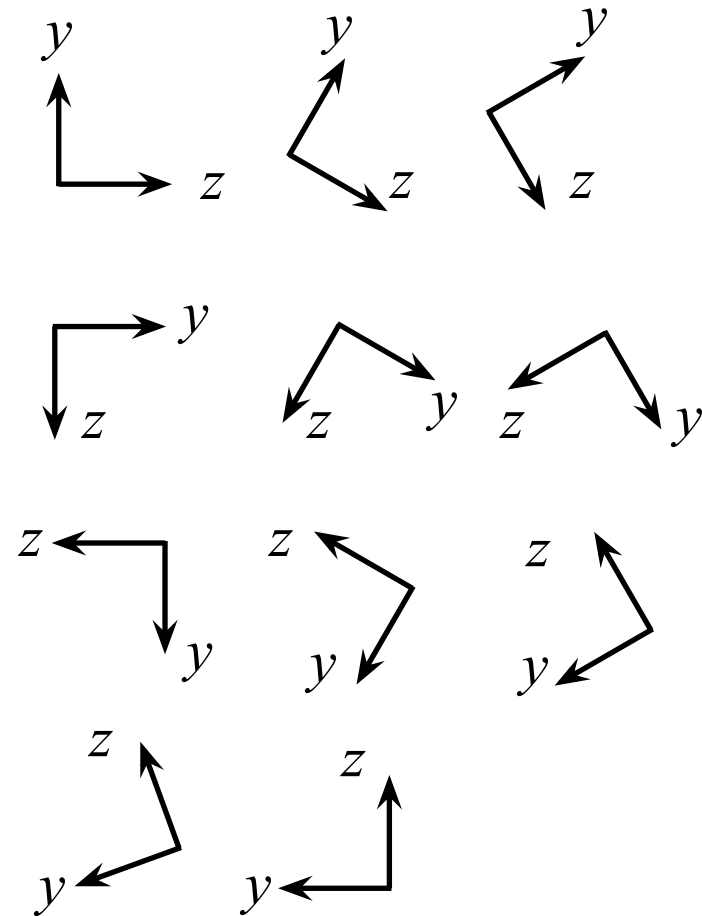
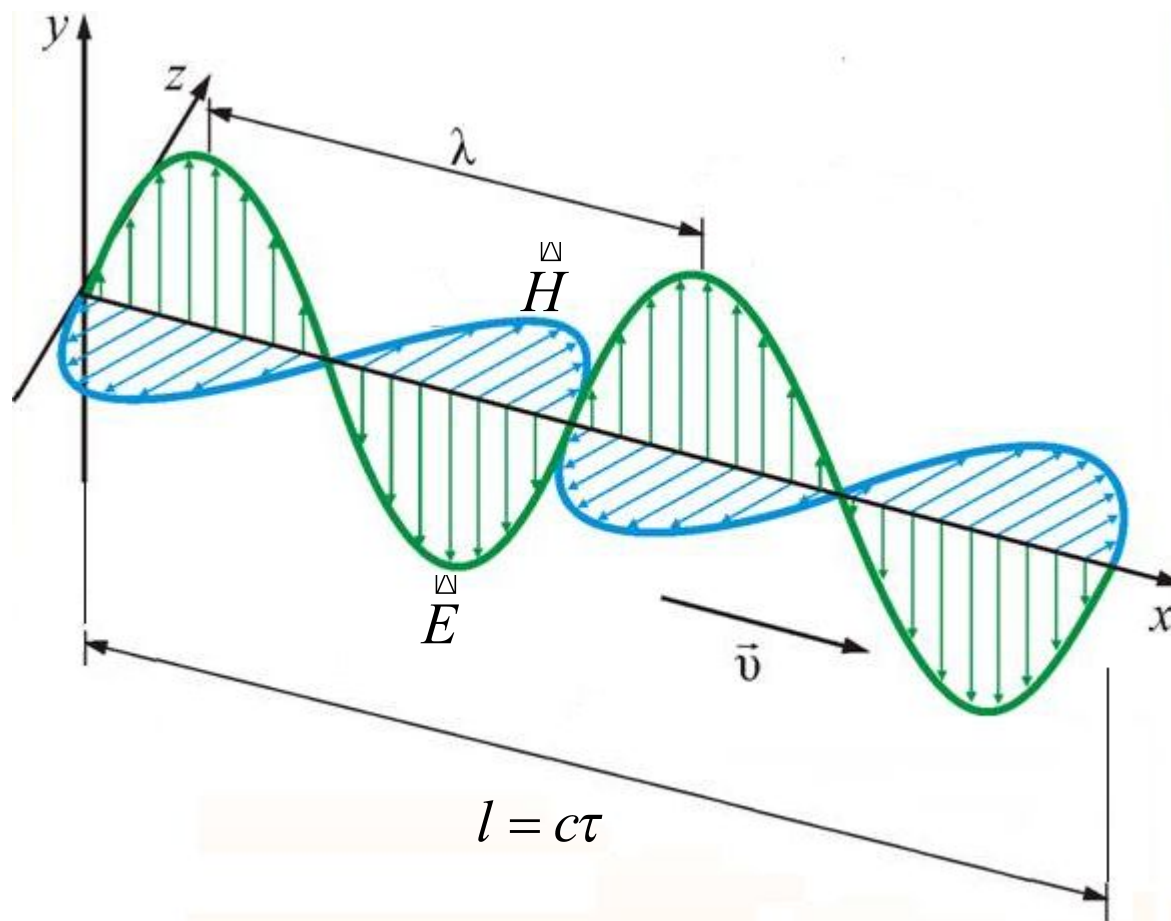
Такой свет называется естественным.

Излучающий атом рассматривается, как колеблющаяся диполь.

Каждый из диполей в течении одного акта испускания, испускает цуг волн линейно поляризованного света.

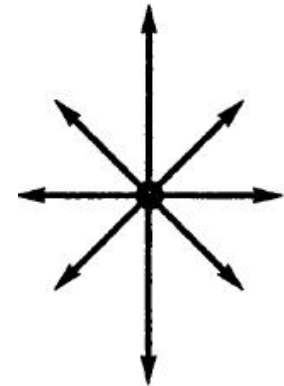
Множество таких волн, с различными начальными фазами и разной поляризацией, дают естественный свет.

Равновероятно любое положение плоскости поляризации.



Поляризованный свет – свет, в котором колебания вектора \vec{E} каким-либо образом **упорядочены**.

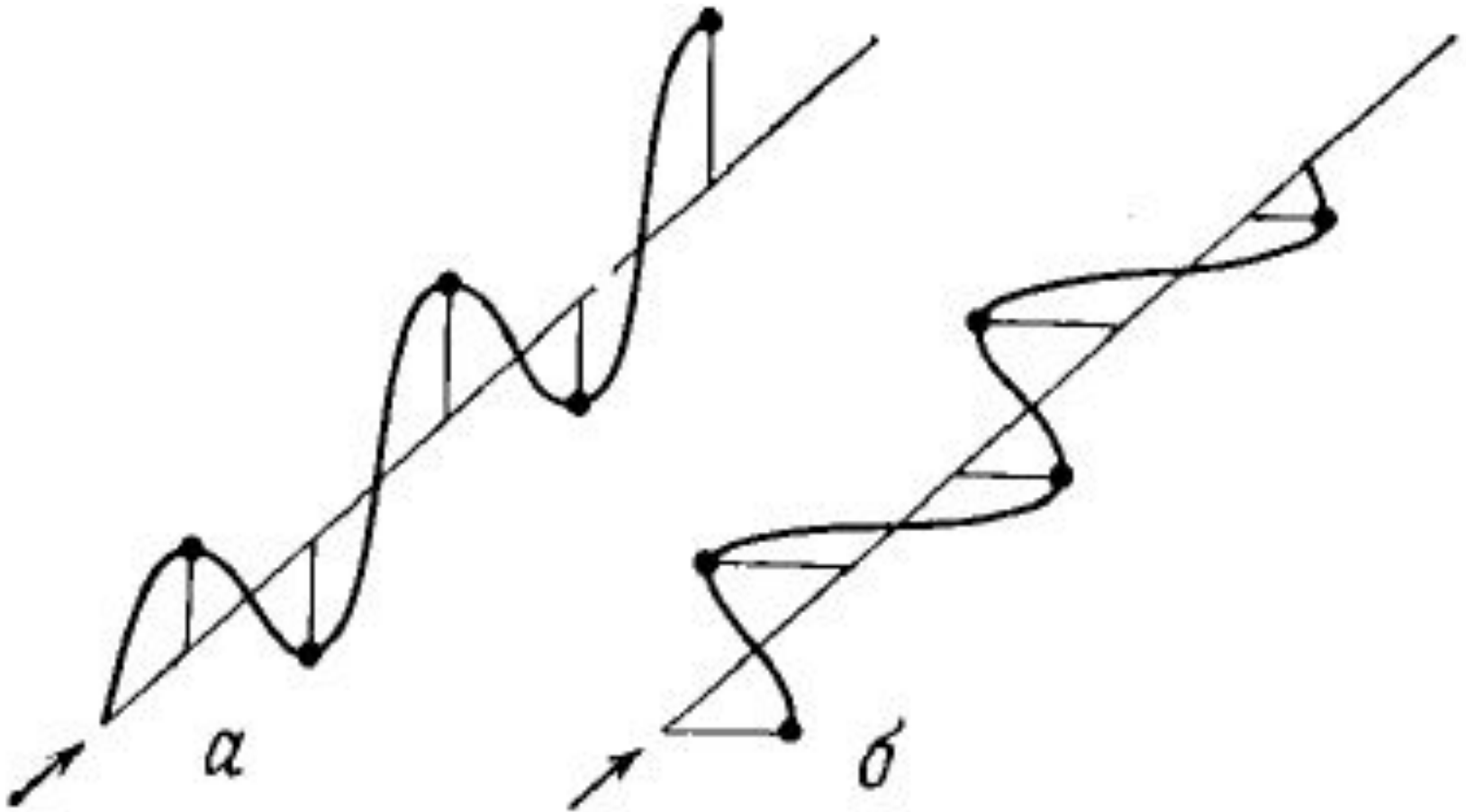
Частично поляризованный свет – свет, с преимущественным направлением колебаний вектора \vec{E} .



Плоскополяризованный свет – свет, в котором вектор \vec{E} колеблется только в одной, проходящей через луч плоскости (**плоскость поляризации**).



Плоскость поляризации – плоскость, проходящая через направление колебаний светового вектора плоскополяризованной волны и направление распространения этой волны.



Если пропускать частично поляризованный свет через поляризатор, то при вращении поляризатора вокруг направления луча интенсивность прошедшего света будет изменяться в пределах от I_{\max} и I_{\min} (за один полный поворот по два раза будет достигаться оба этих значения)

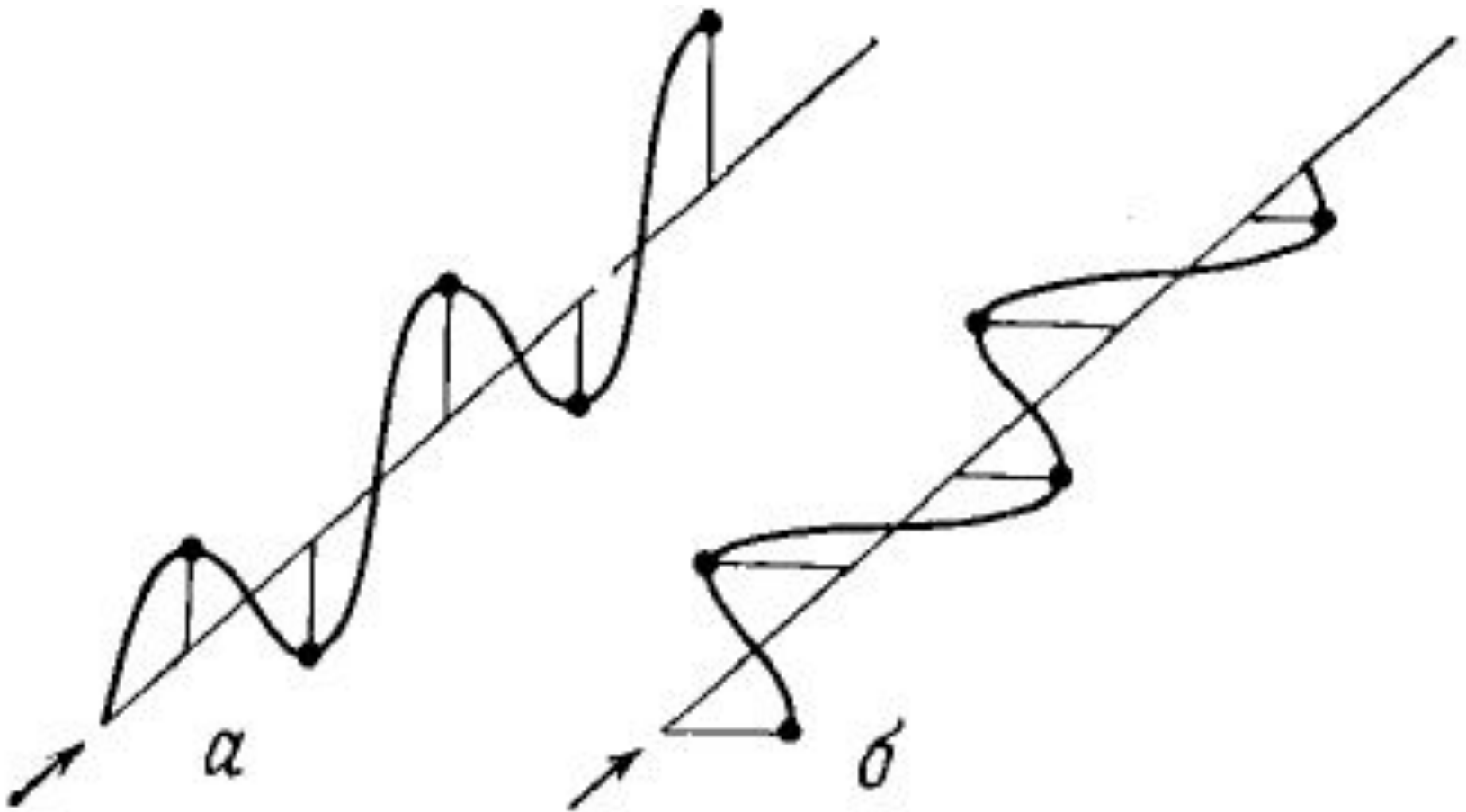
Степень поляризации – величина

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

где I_{\max} и I_{\min} – соответственно **максимальная** и **минимальная интенсивности** света, пропускаемого **поляризатором**.

Для **естественного** света $I_{\max} = I_{\min}$ и $P=0$.

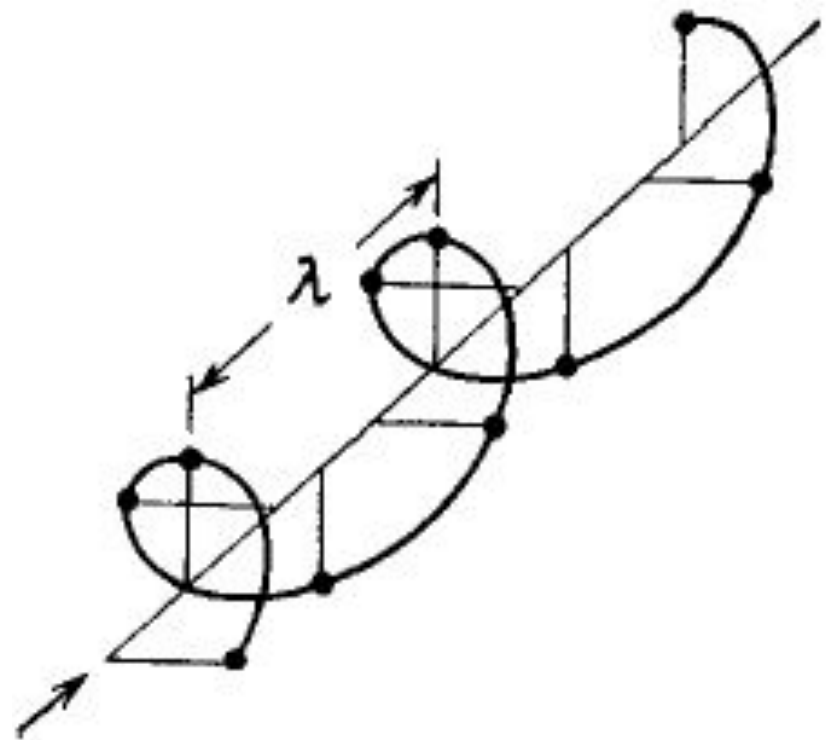
Для **плоскополяризованного** света $I_{\min} = 0$ и $P=1$.



Плоскополяризованный свет

Плоскость поляризации – плоскость, проходящая через направление колебаний светового вектора плоскополяризованной волны и направление распространения этой волны.

Эллиптически поляризованный свет – свет, для которого вектор (вектор E) изменяется со временем так, что его конец описывает эллипс, лежащий в плоскости, перпендикулярной лучу.



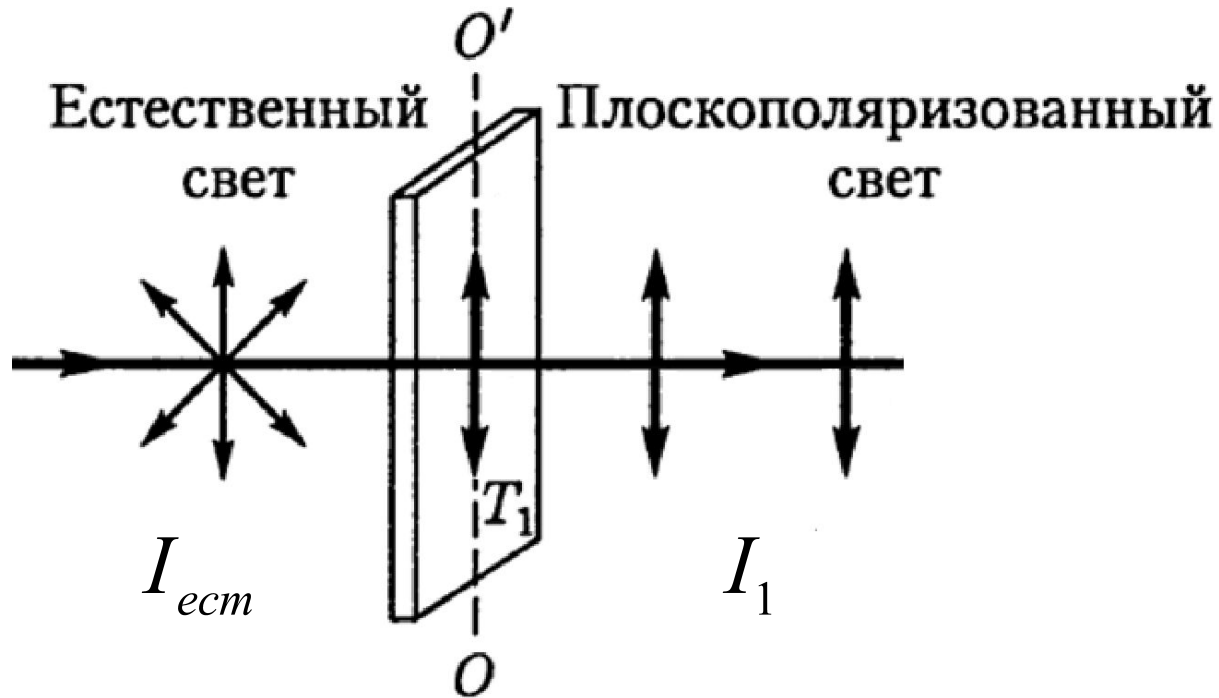
Вопрос. Как преобразовать естественный свет в плоскополяризованный?

Ответ. Для этого используют так называемые **поляризаторы** – кристаллы (**турмалин**), пропускающие колебания (вектора \vec{E}) только определённого направления.

Пример. **Поляризатор** может пропускать колебания, параллельные главной **плоскости поляризации**, и полностью задерживать колебания, перпендикулярные этой плоскости.

Закон Малюса

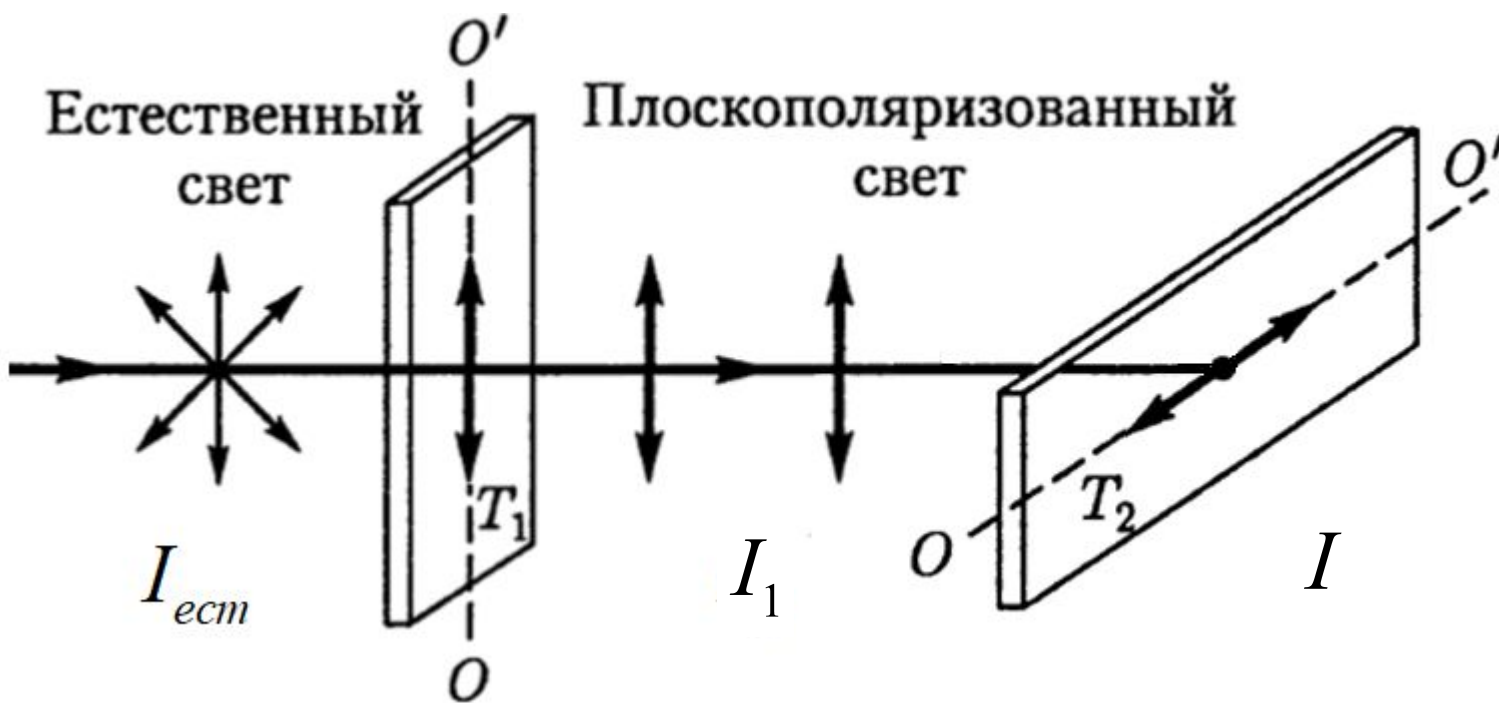
1. Направим **естественный свет** с интенсивностью $I_{ест}$ перпендикулярно пластинке турмалина T_1 , вырезанной параллельно оптической оси OO' .



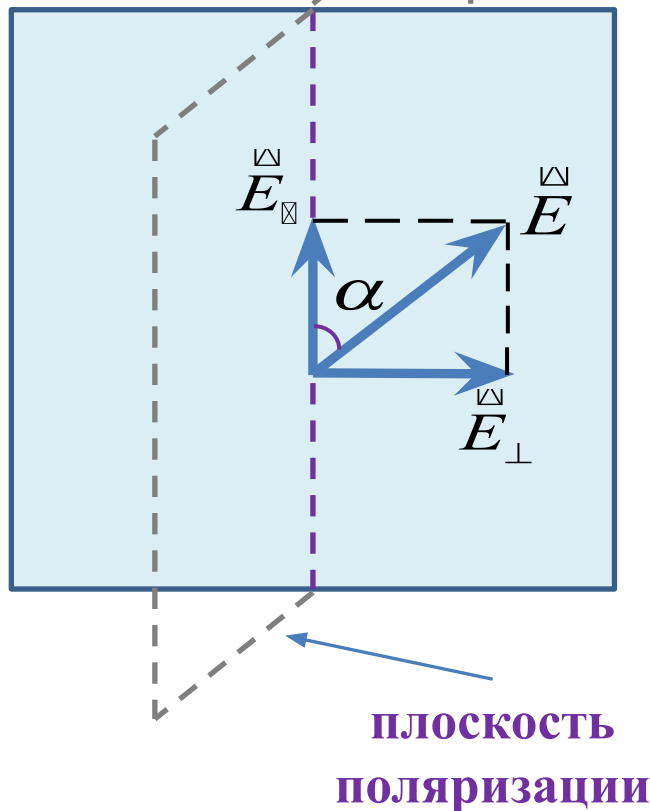
2. Никакие вращения пластины турмалина T_1 **не вызовут** изменения интенсивности вышедшего из него света.

3. На выходе из турмалина T_1 свет всегда будет **плоскополяризованным** с интенсивностью I_1 .

4. При появлении второго кристалла турмалина T_2 свет будет менять **интенсивность** I в зависимости от угла α между оптическими осями кристаллов.



Интенсивности света прошедшие через первый и второй поляризатор



Интенсивность пропорциональна квадрату амплитуды колебаний: $I \sim A^2$.

1. Пропустим **естественный свет** через *поляризатор* (кристалл турмалина).

2. Разложим **колебание** E на два колебания с амплитудами E_{\parallel} и E_{\perp} :

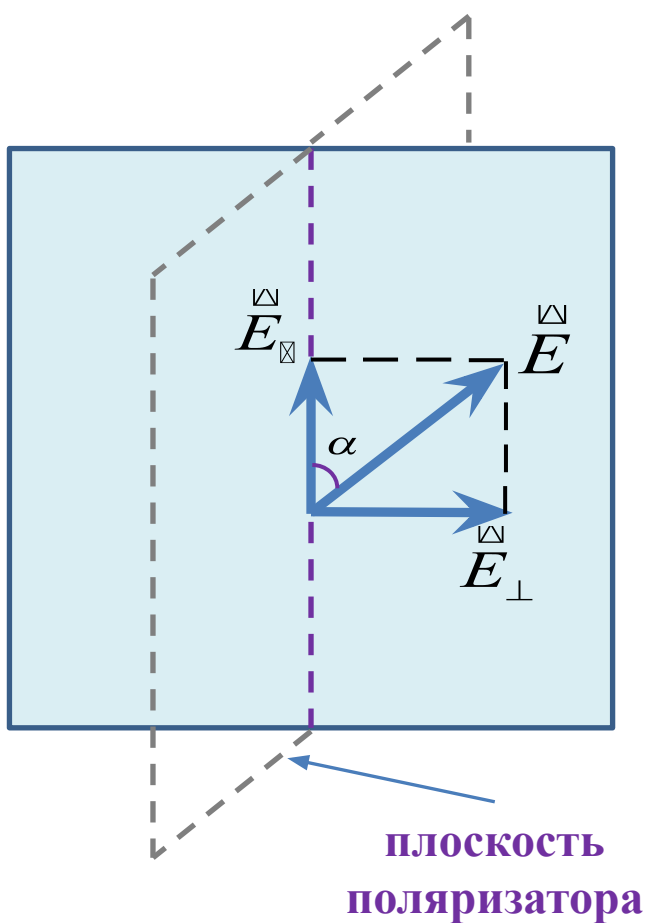
$$E_{\parallel} = E \cos \alpha;$$

$$E_{\perp} = E \sin \alpha.$$

3. Колебания с амплитудами $E_{\parallel} = E \cos \alpha$ пройдут через поляризатор

$$I_{\parallel} = I_{ест} \cos^2 \alpha$$

$$I_1 = I_{ест} \cos^2 \alpha$$



4. В естественном свете все значения α равновероятны, поэтому доля света, прошедшего через поляризатор, будет равна среднему значению

$$\langle \cos^2 \alpha \rangle = \frac{1}{2}$$

5. Тогда **интенсивность плоскополяризованного света**, прошедшего через первый поляризатор T_1 , будет равна

$$\frac{E_{\parallel}^2}{E^2} = \langle \cos^2 \alpha \rangle = \frac{1}{2}$$

$$I_1 = \frac{I_{ест}}{2}$$

Вывод: При вращении поляризатора вокруг направления естественного луча интенсивность прошедшего света остаётся одной и той же, изменяется лишь ориентация плоскости колебаний света.

1. Пусть на поляризатор падает плоскополяризованный свет амплитуды E_1 и интенсивности I_1 .

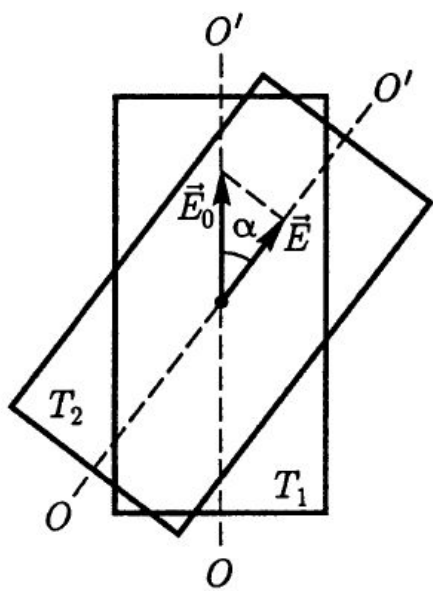
2. Разложим **колебание** E_1 на два колебания с амплитудами E_{\parallel} и E_{\perp} :

$$E_{\parallel} = E_1 \cos \alpha.$$

3. Колебания с амплитудами $E_{\parallel} = E_1 \cos \alpha$ пройдут через поляризатор

$$\frac{E_{\parallel}^2}{I} = \frac{E_1^2}{I_1} \cos^2 \alpha$$

$$I = I_1 \cos^2 \alpha \quad - \text{Закон Малюса.}$$



Подставим на пути естественного луча **два поляризатора**, плоскости которых образуют угол α .

Из первого поляризатора выйдет плоскополяризованный свет, интенсивность которого

$$I_1 = \frac{I_{ест}}{2}$$

Из второго поляризатора, согласно закону Малюса, выйдет свет интенсивности

$$I = I_1 \cos^2 \alpha$$

Интенсивность света, прошедшего через два поляризатора, равна

$$I = \frac{1}{2} I_{ест} \cos^2 \alpha,$$

При $I_{\max} = \frac{1}{2} I_{\text{ест}}$ (поляризаторы **параллельны**)

При $I_{\min} = 0$ (поляризаторы **скрещены**)

Закон Малюса

Интенсивность I света, прошедшего через **второй** кристалл (турмалина) меняется в зависимости от **угла α** между оптическими осями **первого** и **второго** кристаллов:

$$I = I_1 \cos^2 \alpha,$$

$$\left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} \right]$$

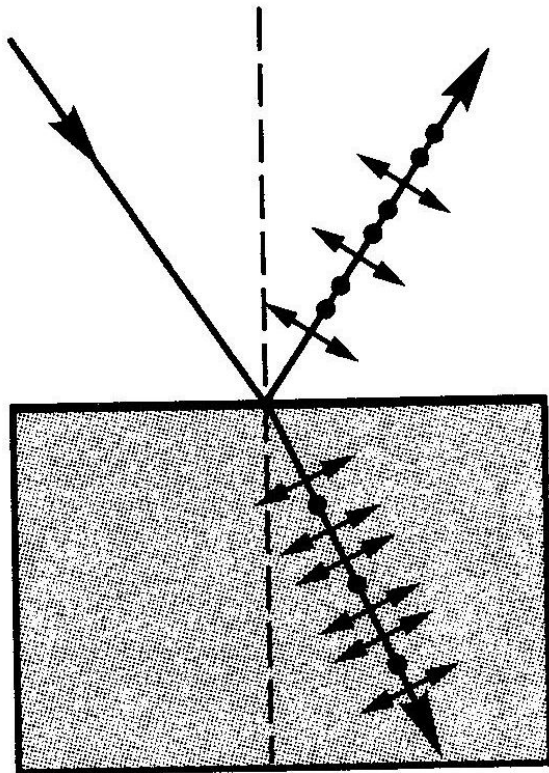
где

I_1 – **интенсивность** света, **падающего** на второй кристалл;

I – **интенсивность** света, **вышедшего** из него.

Поляризация света при отражении и преломлении

Если **естественный свет** падает на границу раздела двух диэлектриков (например, воздуха и стекла), то **отражённый** и **преломлённый** лучи являются **частично поляризованными**.



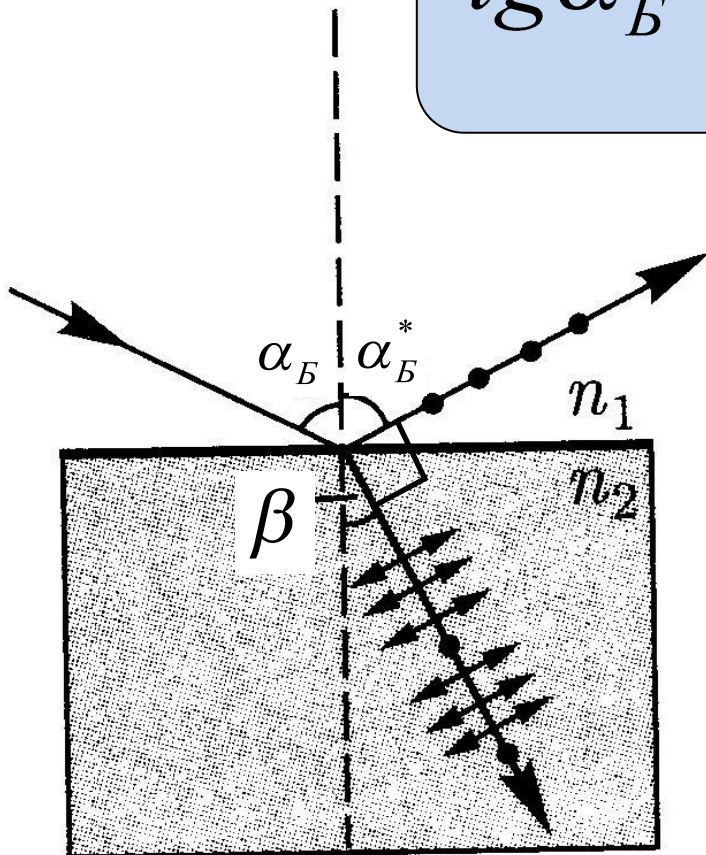
В отраженном луче преобладают колебания, перпендикулярные плоскости падения (**чёрные точки**), а **в преломленном** - колебания, параллельные плоскости падения (изображены **стрелками**).

Угол Брюстера

Если угол падения равен **углу Брюстера** α_B , который определяется соотношением

$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{n_2}{n_1},$$

то отраженный луч является **плоскополяризованным**.



n_2 — абсолютный показатель преломления второй среды;
 n_1 — абсолютный показатель преломления первой среды.

- **Преломленный** луч в этом случае поляризуется **максимально**, но не полностью.
- При этом **отраженный** и **преломленный** лучи **взаимно перпендикулярны**.

$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{\sin \alpha_B}{\cos \alpha_B} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Запишем **закон преломления**

$$\frac{\sin \alpha_B}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Приравняем

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

$$\cos \alpha_B = \sin \beta$$

Отсюда

$$\alpha_B + \beta = \frac{\pi}{2}.$$

По **закону отражения**

$$\alpha_B = \alpha_B^*$$

Поэтому

$$\alpha_B^* + \beta = \frac{\pi}{2}.$$

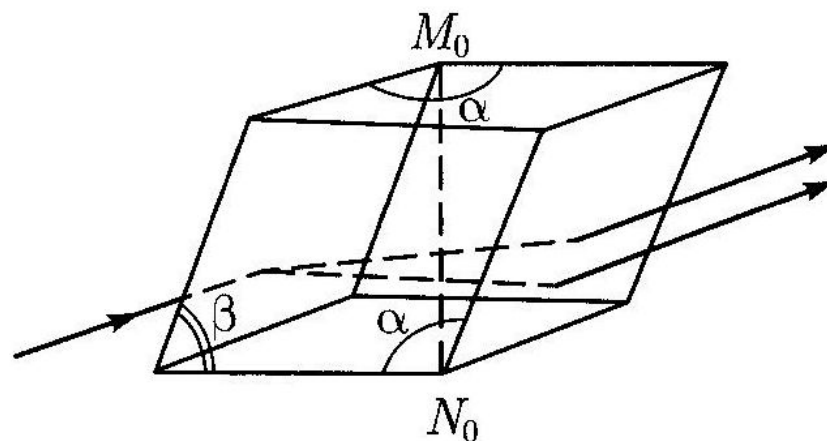
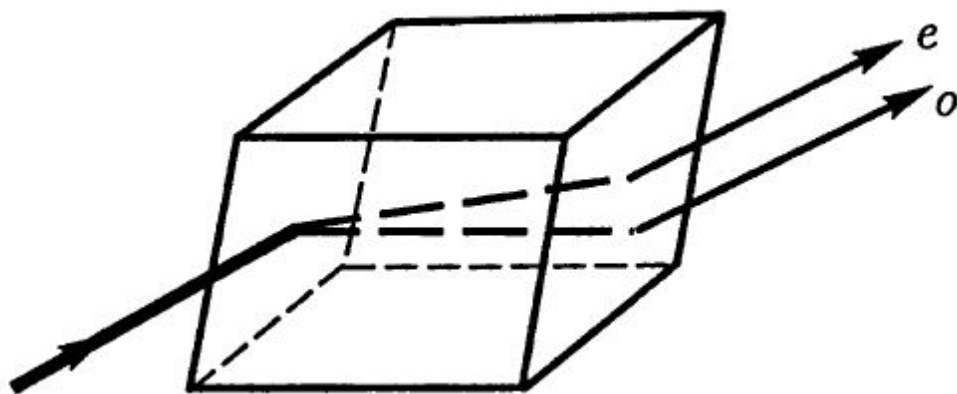
Двойное лучепреломление

Двойное лучепреломление – это способность прозрачных кристаллов (кроме оптически изотропных кристаллов кубической системы) **раздваивать** каждый падающий на них световой пучок.

Это явление объясняется **особенностями распространения света** в анизотропных средах и непосредственно вытекает из **уравнений Максвелла**.

Кристаллы в зависимости от типа их симметрии бывают **одноосные** и **двухосные**, т.е. имеют **одну** или **две оптические оси**.

Если на кристалл направить узкий пучок света, то из кристалла выйдут **два** пространственно разделенных луча **параллельных** друг другу и падающему лучу.



Даже в том случае, когда пучок падает на кристалл **нормально**, **преломленный** пучок разделяется **на два**: один из них является продолжением первичного (называется **обыкновенным (o)**), а второй отклоняется (называется **необыкновенным (e)**).

Направление в оптически анизотропном кристалле, по которому луч света распространяется, не испытывая двойного лучепреломления, называется **оптической осью кристалла**

(оптическая ось совпадет по направлению с диагональю M_0N_0 кристалла на предыдущем слайде).

Речь идёт именно о **направлении**, а не о прямой линии, проходящей через какую-то точку кристалла. Любая прямая, проходящая параллельно данному направлению, является **оптической осью кристалла**.

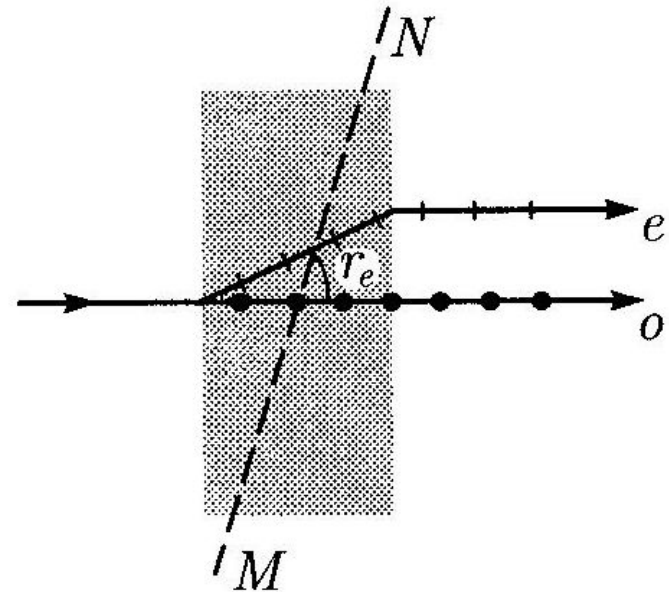
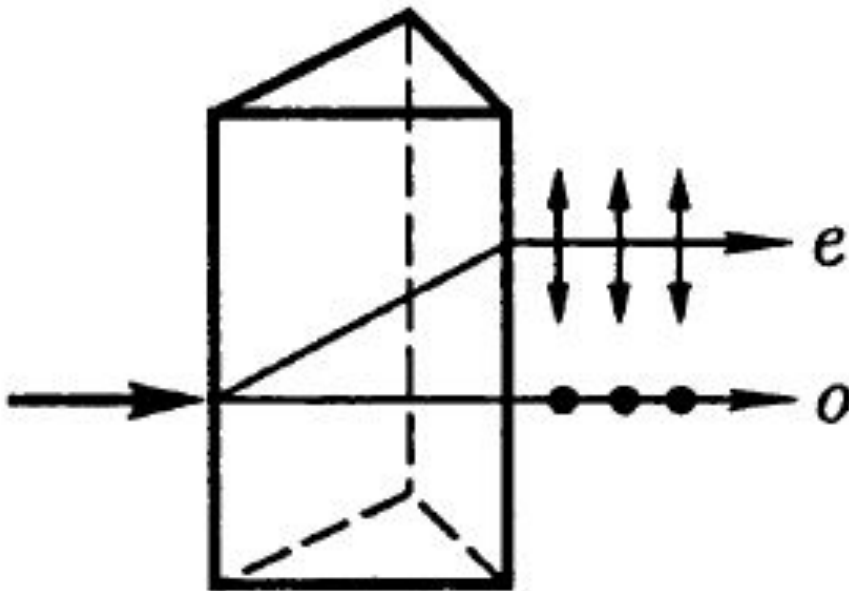
Плоскость, проходящая через направление луча света и **оптическую ось кристалла** называется **главной плоскостью кристалла**.

***o*- и *e*-лучи плоскополяризованы**

во взаимно перпендикулярных плоскостях:
колебания **светового вектора E** в ***o*-луче** происходят
перпендикулярно главной плоскости,
в ***e*-луче** – **в главной плоскости**.

MN - **оптическая ось кристалла**;

r_e – угол преломления **необыкновенного** луча.



***o*-луч** распространяется по всем направлениям кристалла с одинаковой скоростью

$$v_0 = \frac{c}{n_0}.$$

Показатель преломления n_0
для него есть величина **постоянная**.

Пояснение. При любом направлении **обыкновенного луча** колебания светового вектора **E** перпендикулярны оптической оси кристалла, поэтому **обыкновенный луч** распространяется по всем направлениям с одинаковой скоростью.

e-лучи распространяются по различным направлениям с разными скоростями

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

Показатель преломления n_e необыкновенного луча является переменной величиной, зависящей от направления луча.

Пояснение. Разные значения скоростей связаны с тем, что угол между направлением колебаний **светового вектора E** и **оптической осью** отличен от прямого и зависит от направления луча.

Для луча, распространяющегося
вдоль оптической оси,

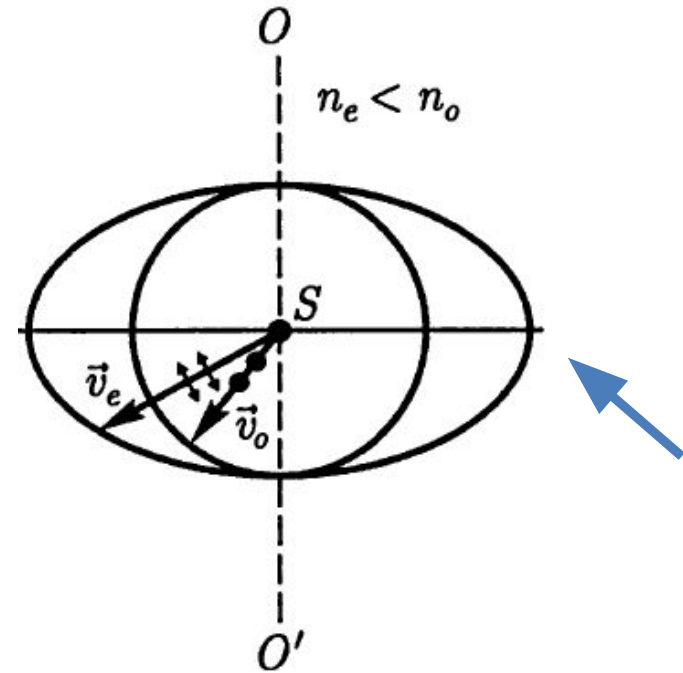
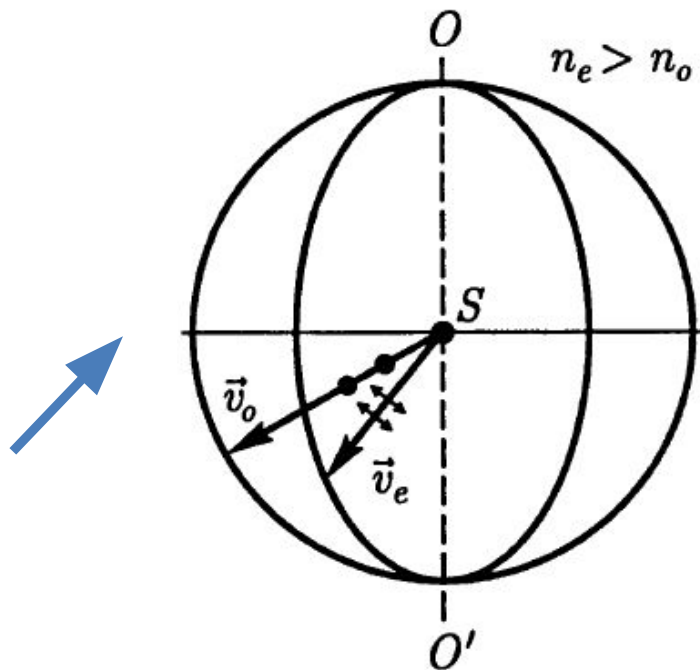
$$n_0 = n_e, v_0 = v_e,$$

т.е. вдоль оптической оси существует
только одна скорость распространения света.

Различие в v_e и v_0 для всех направлений, кроме
направления оптической оси, и обуславливает явление
двойного лучепреломления света
в одноосных кристаллах.

Особенности распространения лучей в одноосных кристаллах

положительный
кристалл



отрицательный
кристалл

S – точечный источник света;
 OO' – направление оптической оси.

Волновая поверхность o -луча – сфера;
 e -луча – эллипс.

Поляризатор и **анализатор** представляют собой два совершенно одинаковых кристалла.

Их можно поменять местами и это ни на что не повлияет.

Анализатор (второй **поляризатор**) – это кристалл T_2 , служащий для анализа поляризации **плоскополяризованного света**.