

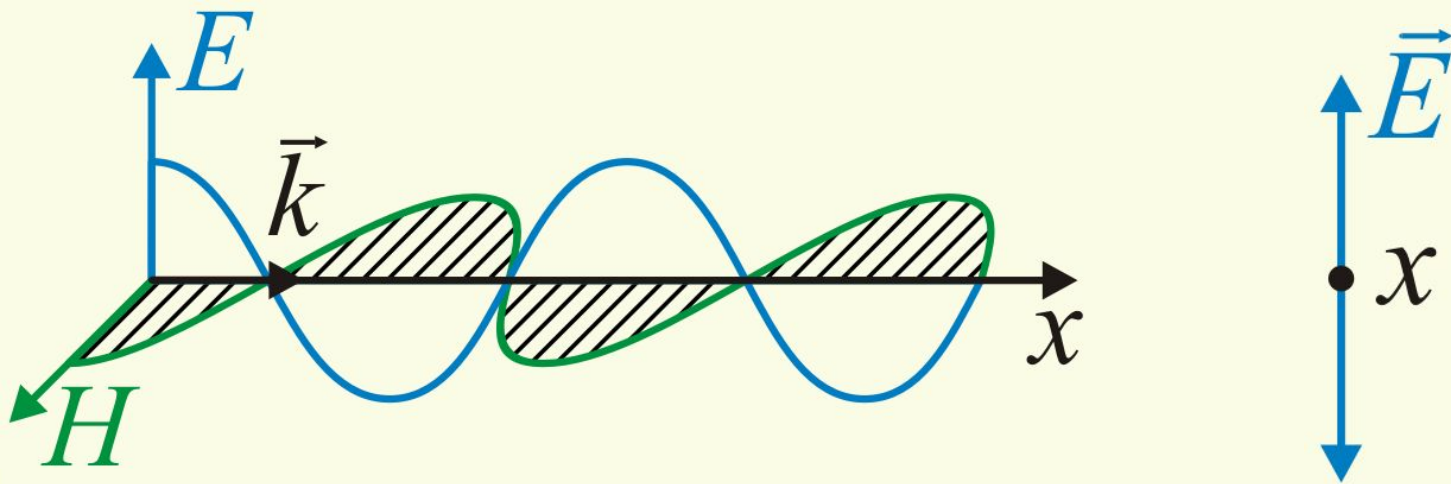
Поляризация света

Лекция 4

§§ Линейная поляризация

Световые (электромагнитные) волны – **поперечны**, т.е. силовые векторы

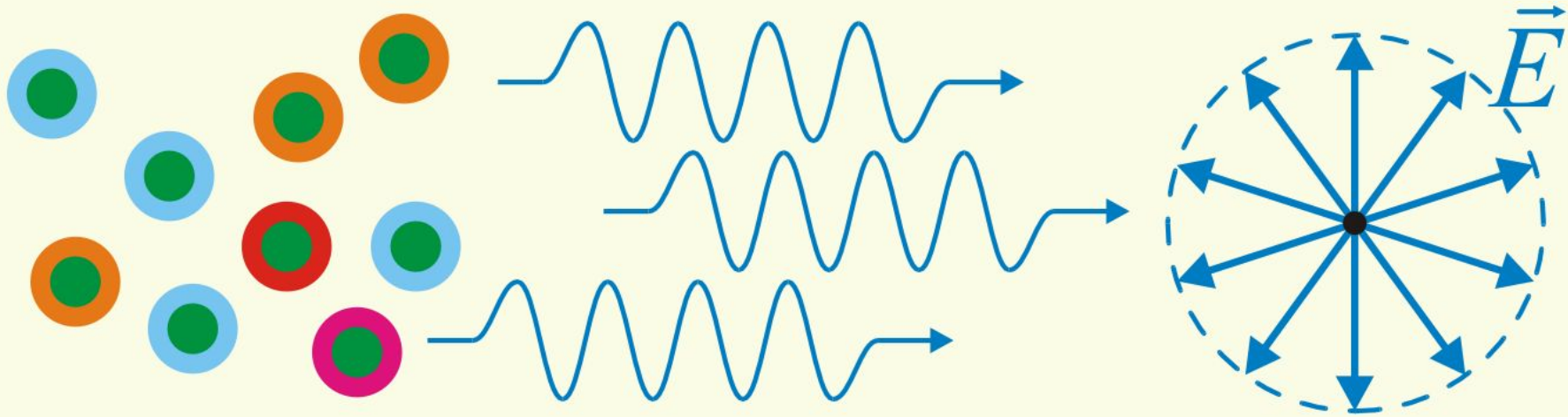
$\vec{E} \perp \vec{H} \perp \vec{k}$, где \vec{k} – волновой вектор



Вектор \vec{E} – **световой вектор**

Свет, в котором вектор \vec{E} колеблется в одной плоскости (вдоль прямой), называется **плоско(-)поляризованным** или **линейно(-)поляризованным**.

Плоскость колебаний вектора \vec{E} называется **плоскостью поляризации**

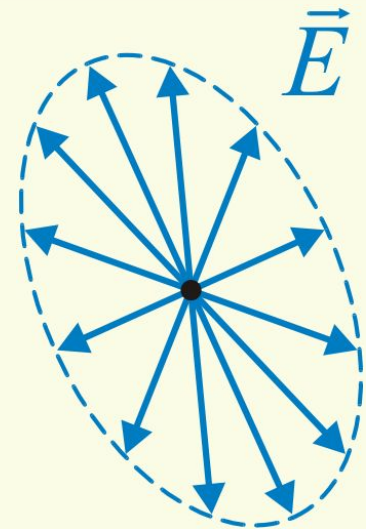


Деполяризованное излучение является суммой световых волн со всеми возможными направлениями колебаний вектора \underline{E} , так, что результирующее направление \underline{E} **беспорядочно изменяется.**

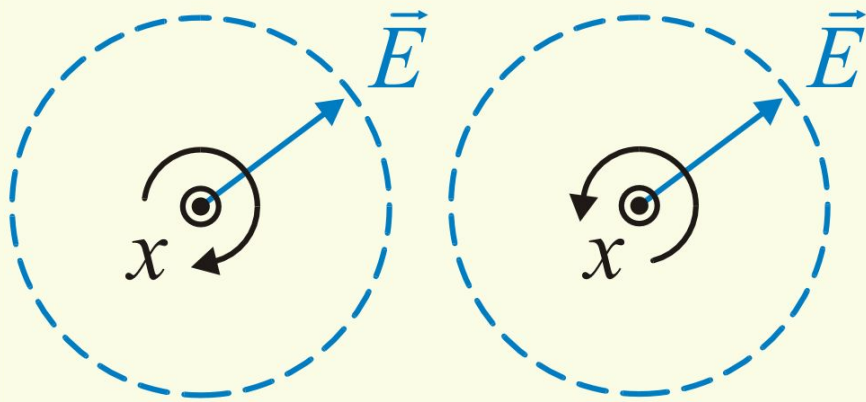
Свет, в котором в каждый момент времени вектор \underline{E} имеет случайное направление, называется **естественным**.

Частично поляризованный свет можно рассматривать как смесь естественного и линейно поляризованного излучения.

Частично поляризованный свет характеризуется тем, что одно из направлений колебания вектора \vec{E} является преимущественным.

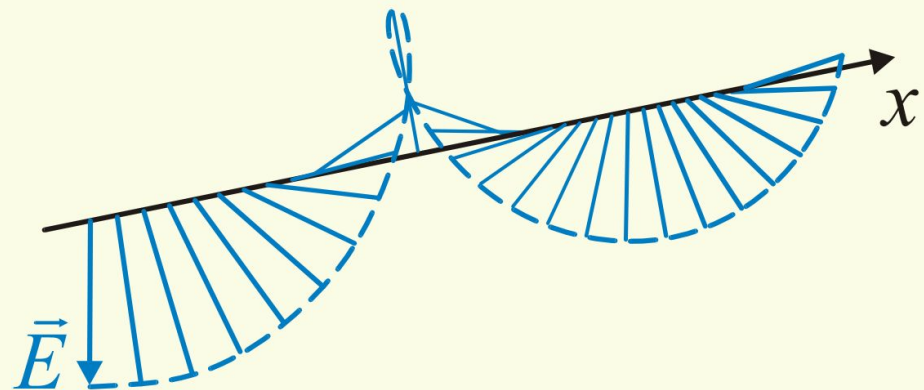


Круговая (эллиптическая)



левая

правая

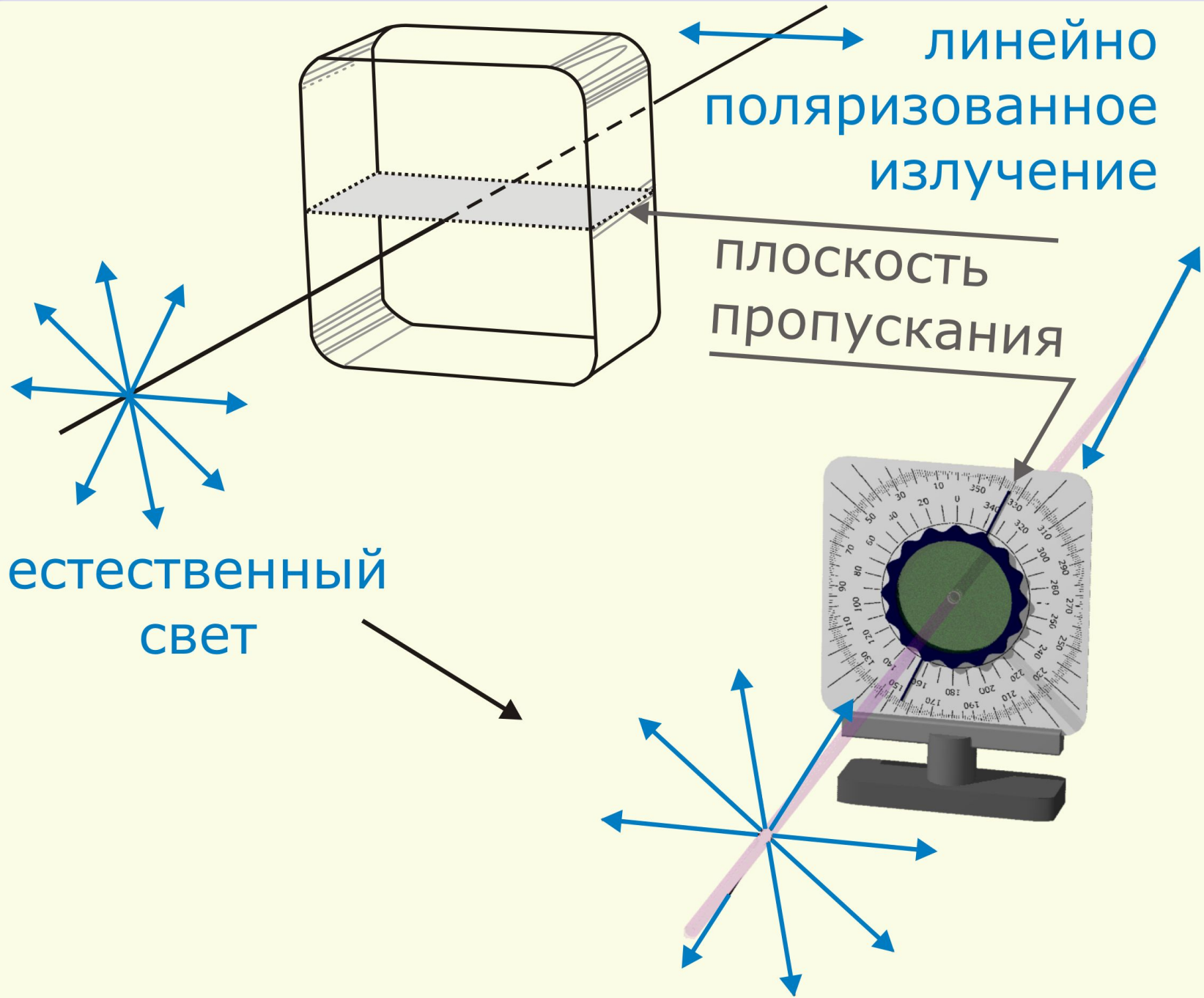


§§ Поляризаторы

Линейно поляризованное излучение можно получить с помощью

поляризаторов – устройств, которые свободно **пропускают** колебания, параллельные выделенной плоскости (**плоскости пропускания**)

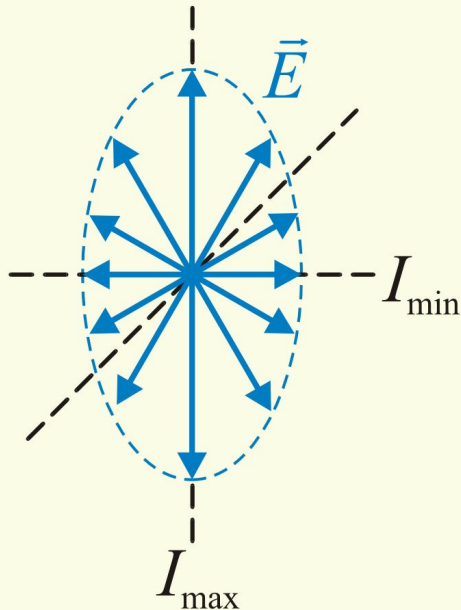
и полностью задерживают колебания, перпендикулярные этой плоскости.



С помощью поляризатора можно анализировать состояние поляризации излучения.

В этом случае устройство называют **анализатором**.

Рассмотрим частично поляризованное излучение с помощью анализатора.



$$I_{\max} + I_{\min} = I_0$$

– интенсивность падающего на поляризатор излучения

Степень поляризации

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

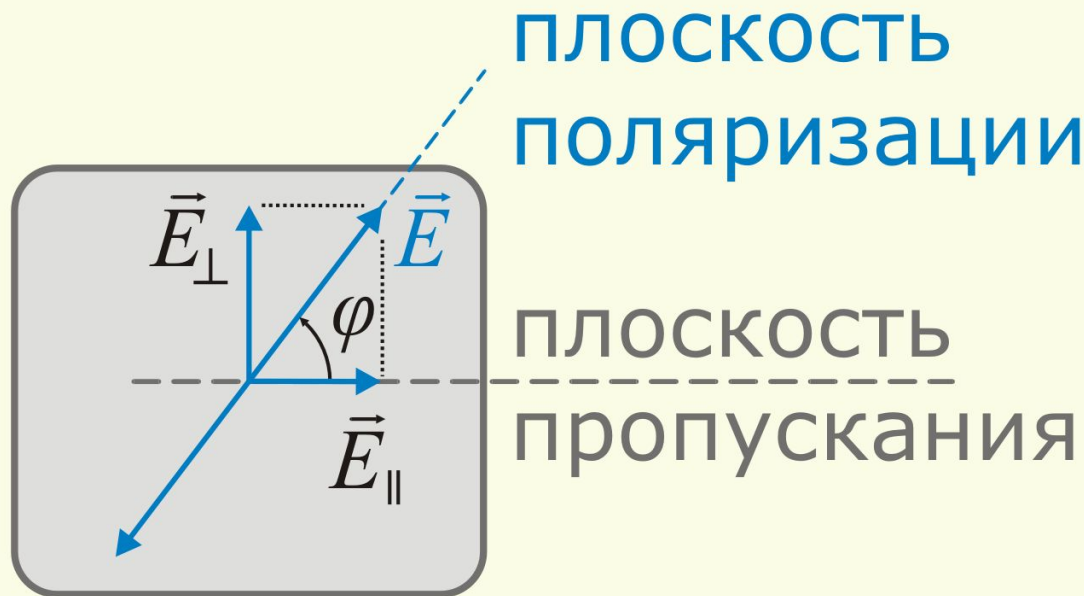
$P = 0$ – для естественного света и круговой поляризации.

$P = 1$ – для линейной поляризации.

$0 < P < 1$ – для частично поляризованного излучения и эллиптической поляризации.

§§ Закон Малюса

Пусть на анализатор падает линейно поляризованное излучение.



Пусть

$$\vec{E} = \vec{E}_{\perp} + \vec{E}_{\parallel}$$

тогда

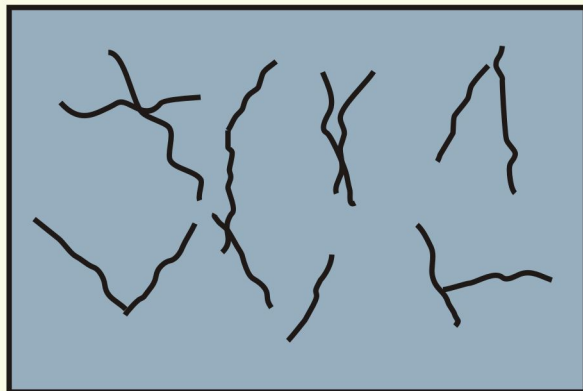
$$E_{\parallel} = E_0 \cos \varphi$$

$$I = I_0 \cos^2 \varphi \quad - \quad \underline{\underline{\text{закон Малюса}}}$$

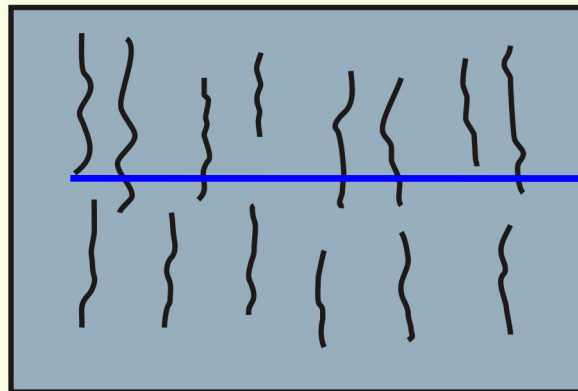
§§ Поляроиды

Рассмотрим еще один способ получения поляризованного излучения из естественного света.

В пленку (целлулоид или желатин) вводят вещество с «длинными» молекулами



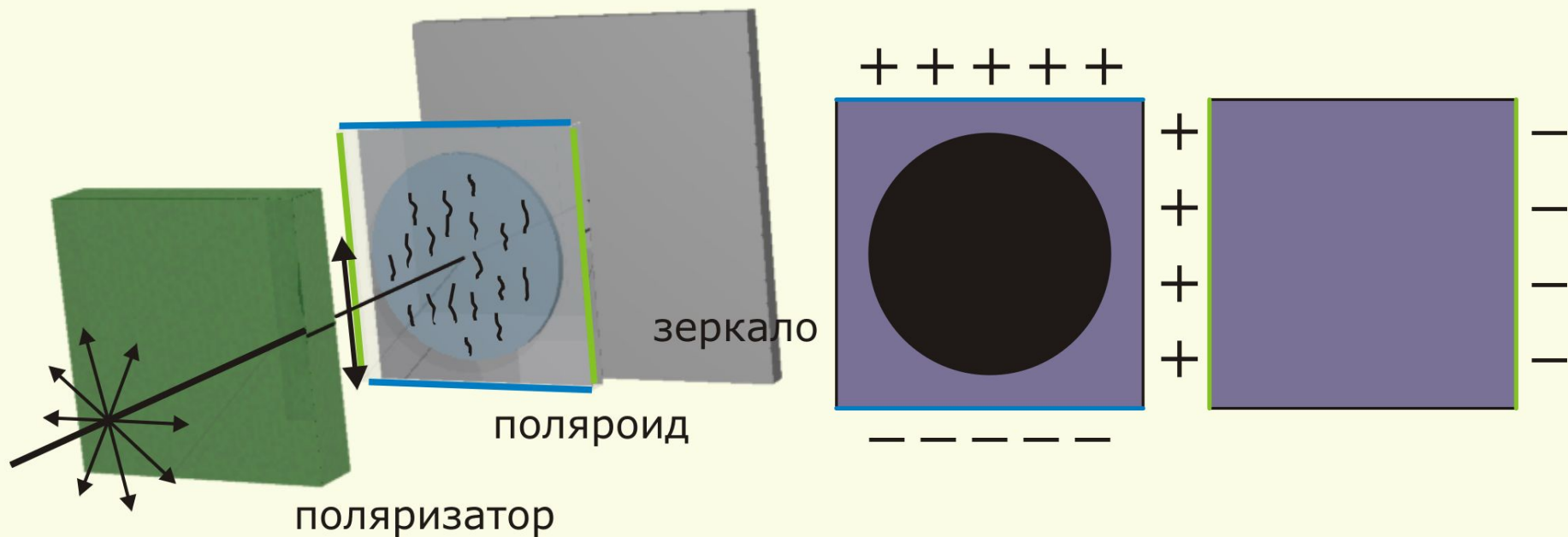
до обработки



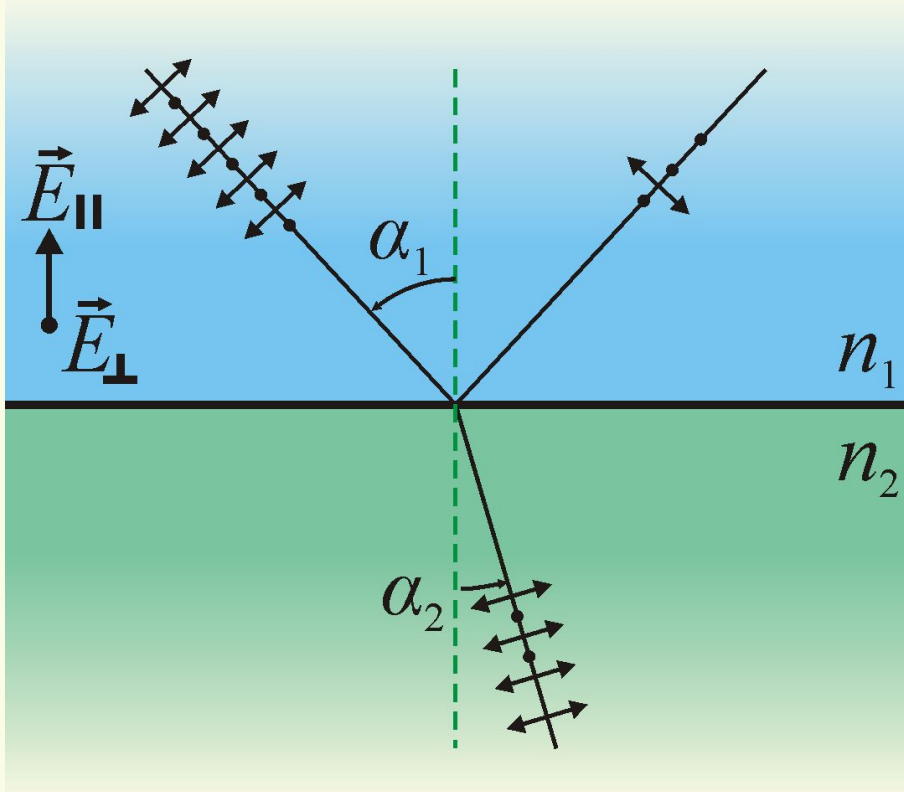
после обработки

плоскость
пропускания

Если такие молекулы **ПОДВИЖНЫ**, то прикладывая электрическое поле в различных направлениях, можно изменять ориентацию плоскости пропускания



§§ Поляризация при отражении



E_{\parallel} – составляющая,
параллельная
плоскости
падения

E_{\perp} – составляющая,
параллельная
границе

амплитуда преломленной и
отраженной волны определяется
из уравнений Максвелла

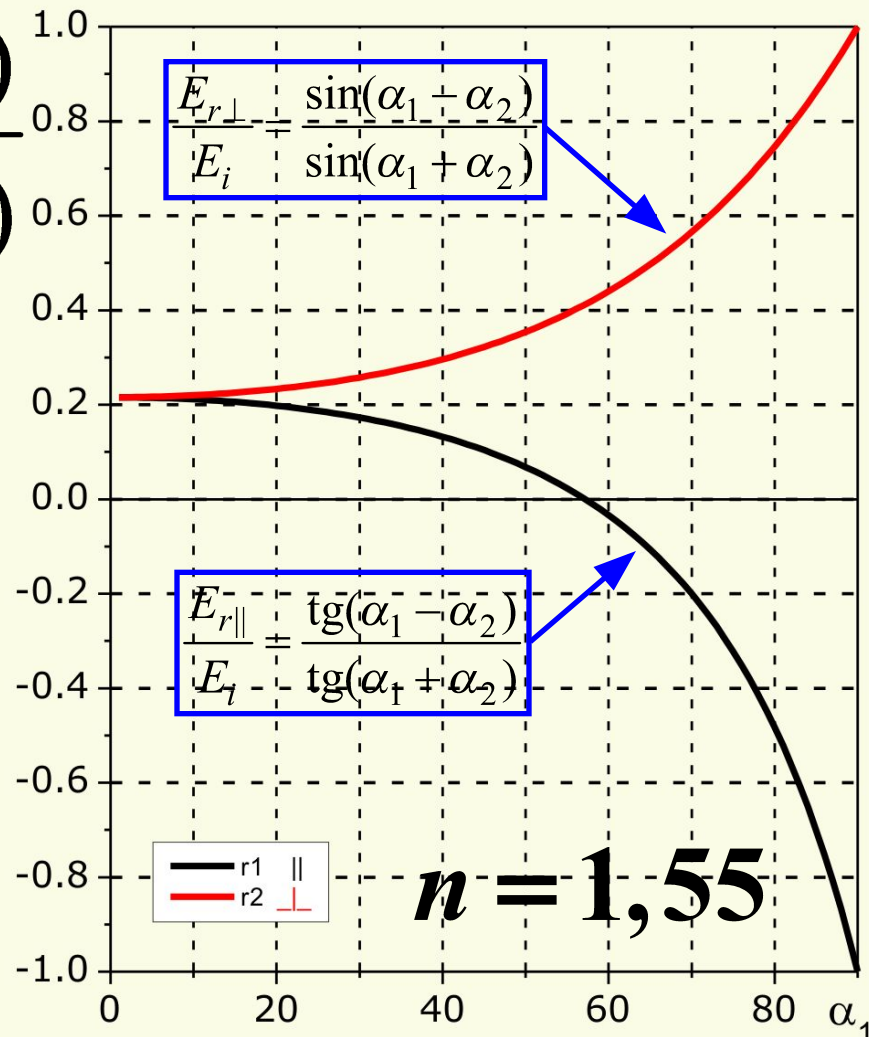
Формулы Френеля для отраженной волны:

$$E_{r\perp} = -E_{i\perp} \frac{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}$$

$$E_{r\parallel} = -E_{i\parallel} \frac{\text{tg}(\alpha_1 - \alpha_2)}{\text{tg}(\alpha_1 + \alpha_2)}$$

при $\alpha_1 + \alpha_2 = \frac{\pi}{2}$

излучение становится полностью поляризованным в плоскости, перпендикулярной плоскости падения



Из закона преломления следует

$$\boxed{\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{n_2}{n_1}} \quad - \quad \underline{\text{закон Брюстера}}$$

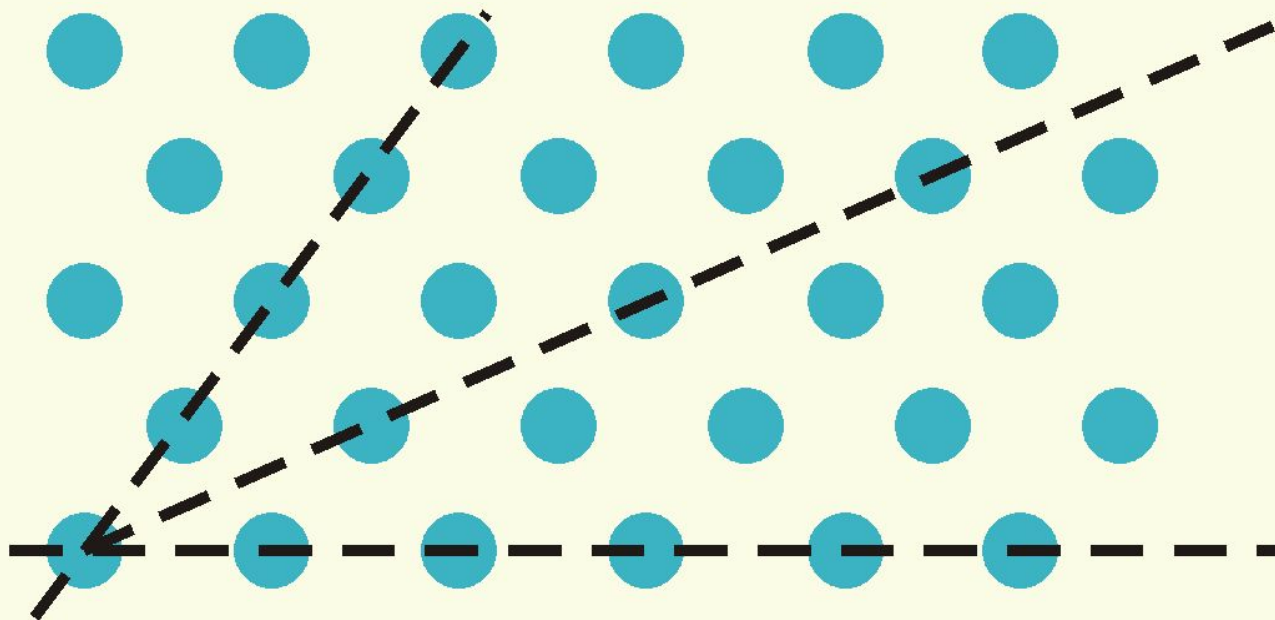
α_B – угол полной поляризации

Поляризация проходящих лучей не полная ($P \sim 15\%$).

При $\alpha_1 < \alpha_2$ отражение от оптически менее плотной среды происходит **без скачка фазы**, а от более плотной – происходит скачок фазы на π (т.е. **потеря полуволны**).

§§ Двойное лучепреломление

Большинство кристаллов **оптически анизотропные**, т.е. их оптические свойства в разных направлениях не одинаковы.



При прохождении света через такие кристаллы наблюдается явление **двойного лучепреломления**.

Падающий на кристалл луч разделяется на два, распространяющихся в разных направлениях с различной скоростью.



Бартолин(ус),
1669 г.

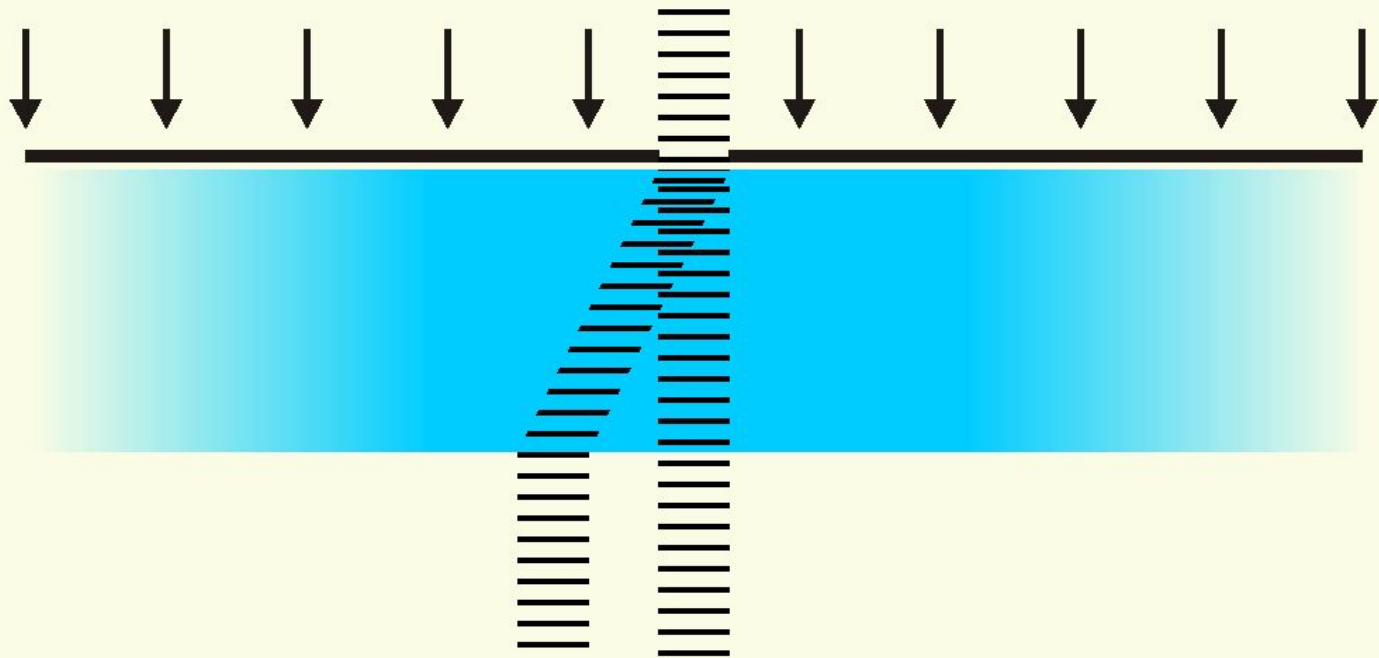
Двулучепреломляющие кристаллы бывают **одноосные** и **двуосные**.

Оптически одноосными называют кристаллы, свойства которых обладают симметрией относительно некоторого направления, называемого **оптической осью** кристалла.

Оптическая ось – не отдельная линия (как, например, ось вращения или симметрии), а именно **определенное направление** в кристалле.

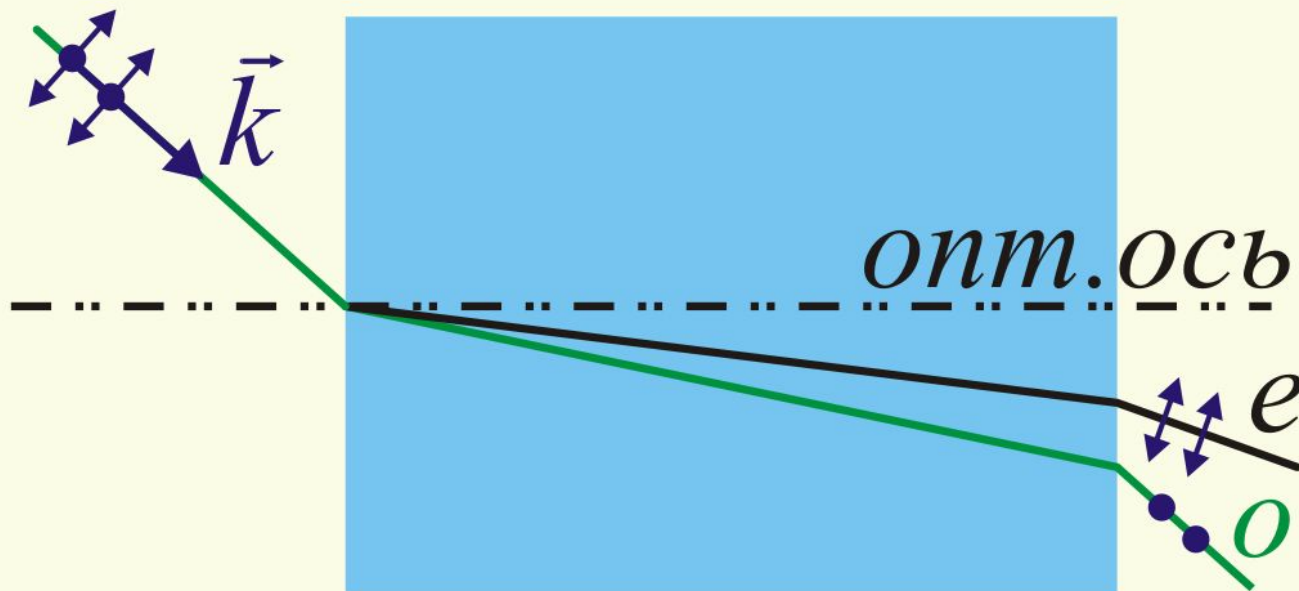
При распространении света вдоль оптической оси **разделения луча не происходит.**

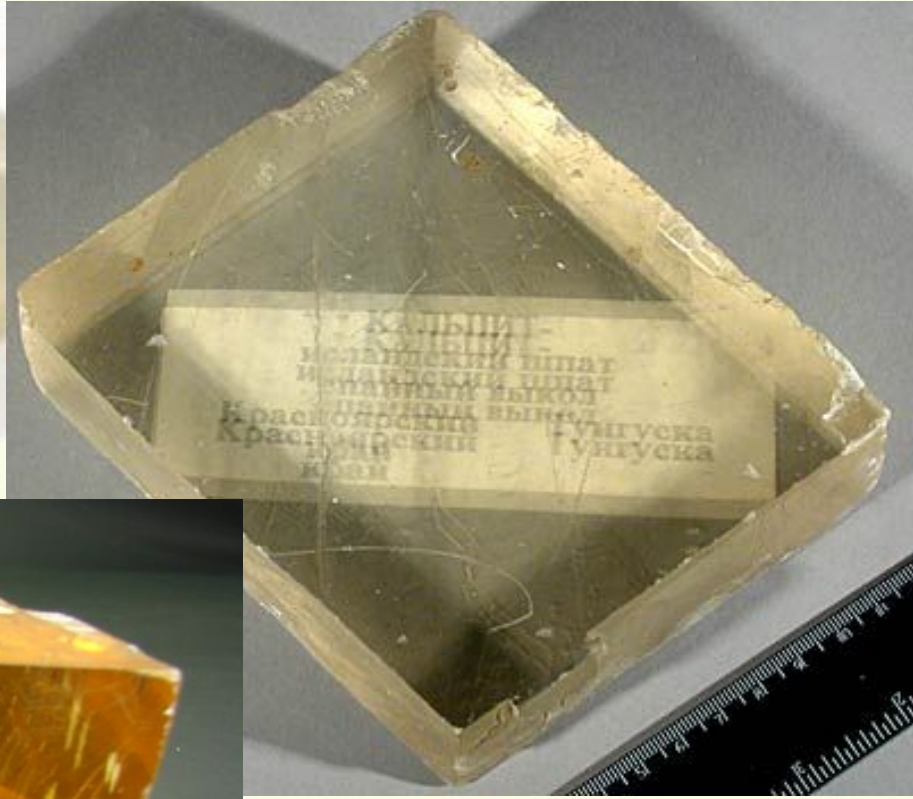
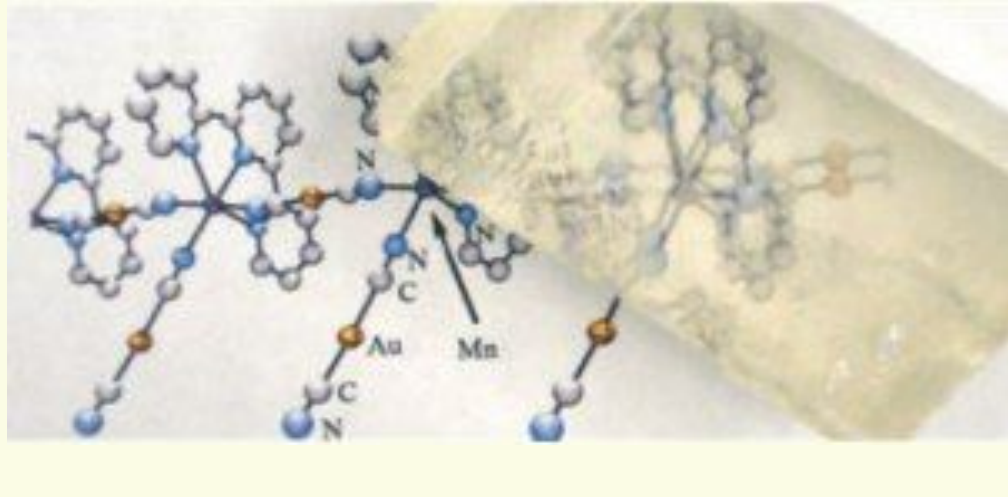
Если вырезать пластинку вдоль оси, то разделение лучей происходит и при нормальном падении:



Плоскость, в которой лежит нормаль к фронту волны (вектор \vec{k}) и оптическая ось, называется **главным сечением** (главной плоскостью).

Главное сечение – это не какая-то определенная плоскость, а целое семейство параллельных плоскостей.





Луч, в общем случае, разделяется на два:

- 1) *o* (*ordinary*) – обыкновенный луч
подчиняется закону преломления
поляризован «перпендикулярно»
главной плоскости кристалла
- 2) *e* (*extra ordinary*) - необыкновенный
Для него показатель преломления
зависит от направления
распространения.
Поляризован || главной плоскости

Примеры одноосных кристаллов

а) CaCO_3 (кальцит, исландский шпат)

$$n_o = 1.66, n_e = 1.48 \dots 1.66$$



б) SiO_2 (кварц)

$$n_o = 1.544,$$
$$n_e = 1.544 \dots 1.553$$



§§ Оптический дихроизм

Некоторые одноосные кристаллы обладают различным поглощением для лучей с различной ориентировкой вектора \vec{E} .

Например, пластинка **турмалина** толщиной 1 мм или **герапатита** (серно-кислый йод-хинин) толщиной 0,1 мм практически полностью поглощают **обыкновенный луч**.

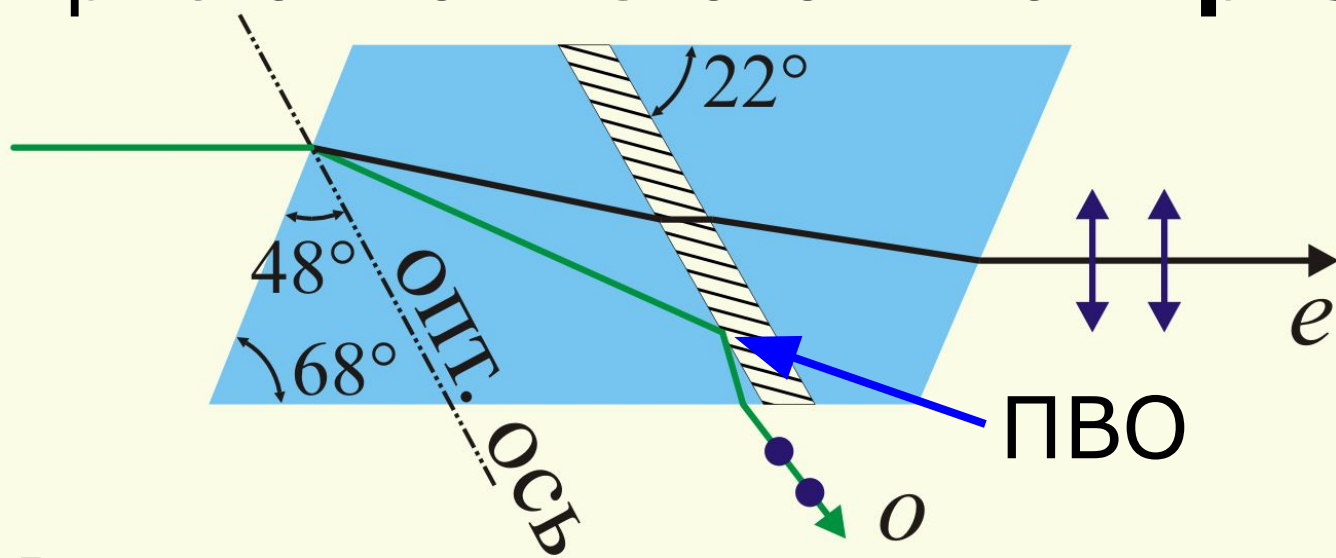
Обычно такие кристаллы обладают и селективным (избирательным) по длине волны поглощением.

Турмалин (эльбаит):



§§ Призмы Николя и Глана

Для «разведения» лучей из прозрачных кристаллов изготавливают **призмы** ($1-P \approx 10^{-6}$)



(до обработки)

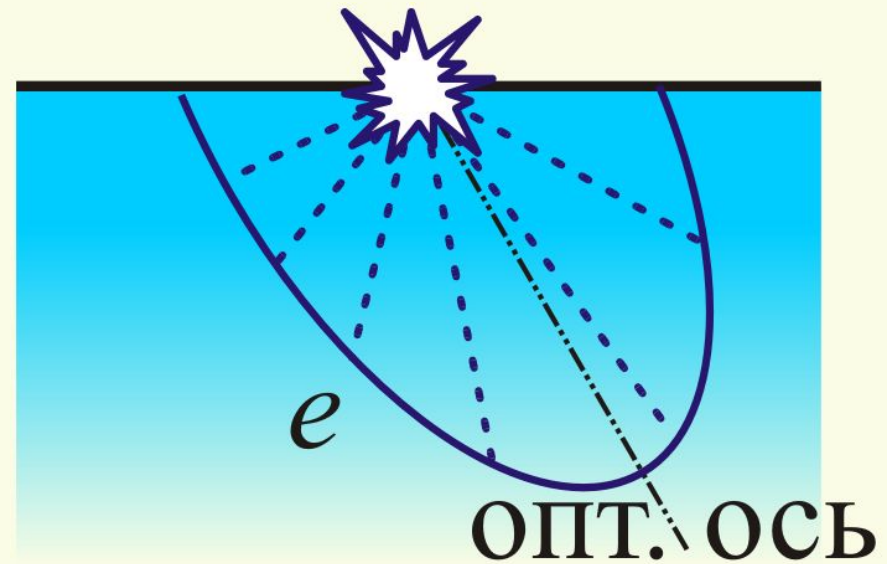
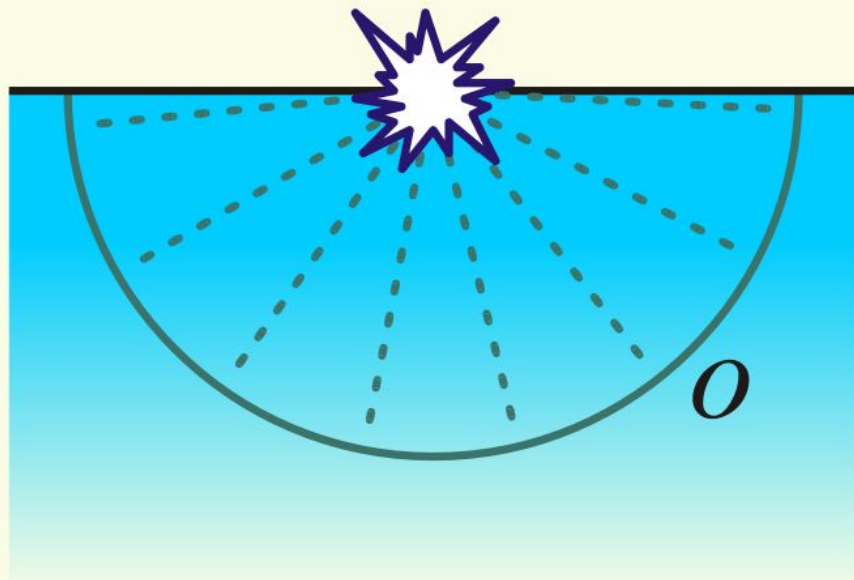
Разрезана по диагонали и склеена
веществом с показателем преломления
между n_o и n_e (смола канадской пихты)
Призма Глана имеет форму **кубика**.

§§ ВП в одноосном кристалле

Двойное лучепреломление обусловлено анизотропией кристалла – зависимостью скорости распространения и показателя преломления от направления распространения волны.

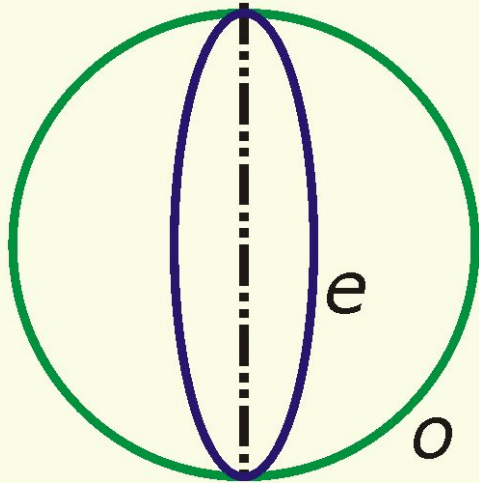
Построим волновые поверхности для o и e лучей.

Для обыкновенного луча n , а значит и скорость распространения v , одинаковы для всех направлений и волновая поверхность – сфера.

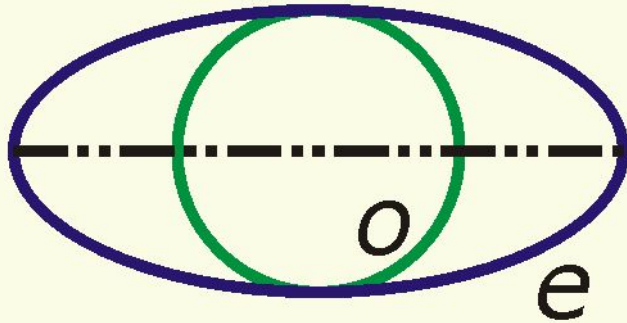


Для необыкновенного, ВП – эллипсоид вращения с осью, совпадающей с оптической осью кристалла.

Фазовые скорости для o и e лучей
отличаются и возможны два случая:

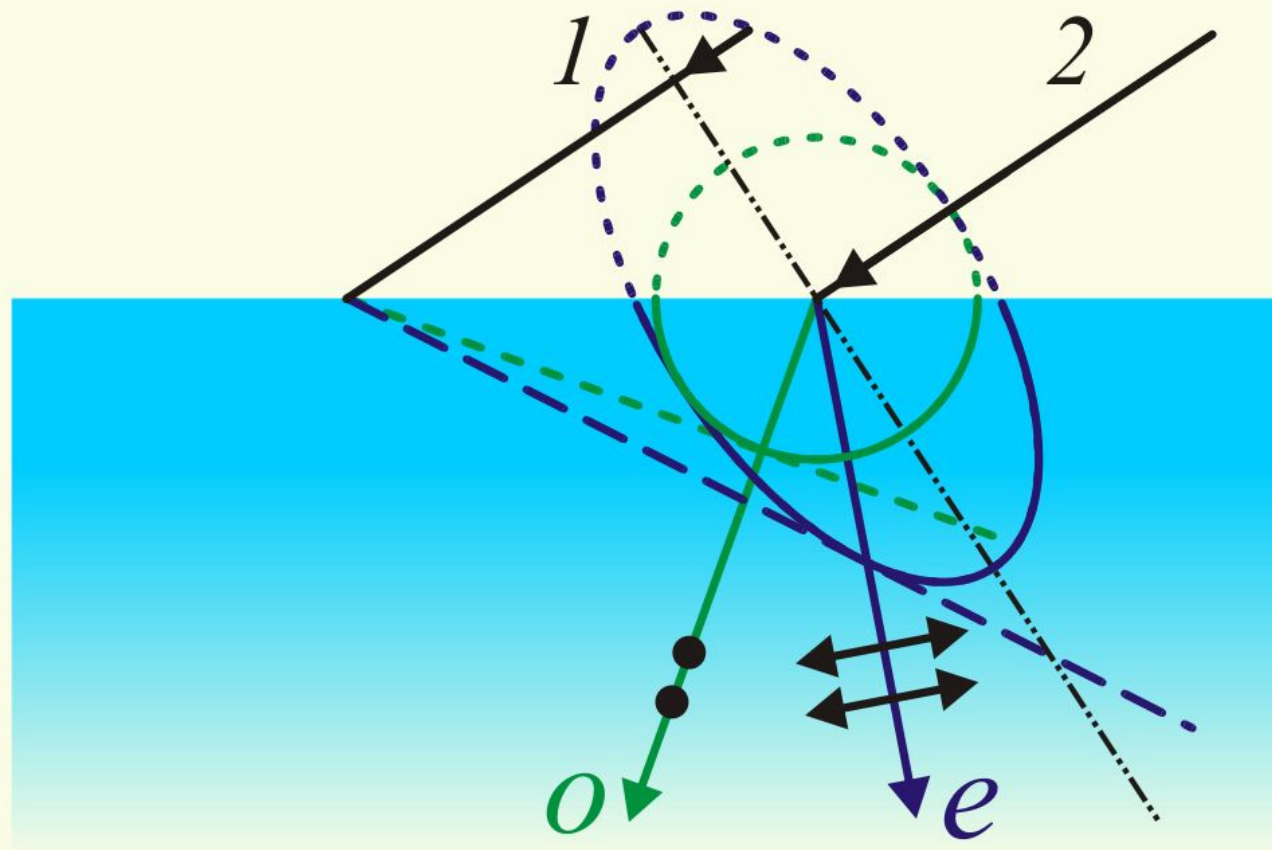


положительный
кристалл



отрицательный
кристалл

Пусть плоский волновой фронт падает на поверхность одноосного кристалла. Определим направления o и e лучей для «—» кристалла



Комментарии к рисунку:

Волновой фронт в кристалле тоже плоский

Построим сферу и эллипс, соответствующие обыкновенному и необыкновенному лучу.

Преломленные лучи проходят **через точку касания** огибающей и соответствующей волновой поверхности.

§§ Двуосные кристаллы

В таких кристаллах есть два направления, в которых свет не разделяется на два луча (две опт. оси).

В двуосных кристаллах два луча – необыкновенные, т.е. показатели преломления для них зависят от направления распространения в кристалле.

Волновые поверхности – пересекающиеся эллипсоиды.

§§ Наведенная анизотропия

Кристаллы – естественные анизотропные среды.

Оптически изотропные среды (стекло, жидкости) становятся анизотропными при односторонней деформации или помещении их в силовое поле.

фотоупругость, эффект Керра, эффект Фарадея и пр.

Время появления (исчезновения) анизотропии $\sim 10^{-10}$ сек.

§§ Применение поляризации

- 1) определение характеристик излучения;
- 2) исследование сред (определение n , состава, оптически активные среды);
- 3) технические применения (ЖК);
- 4) в природе (птицы, рассеяние).

