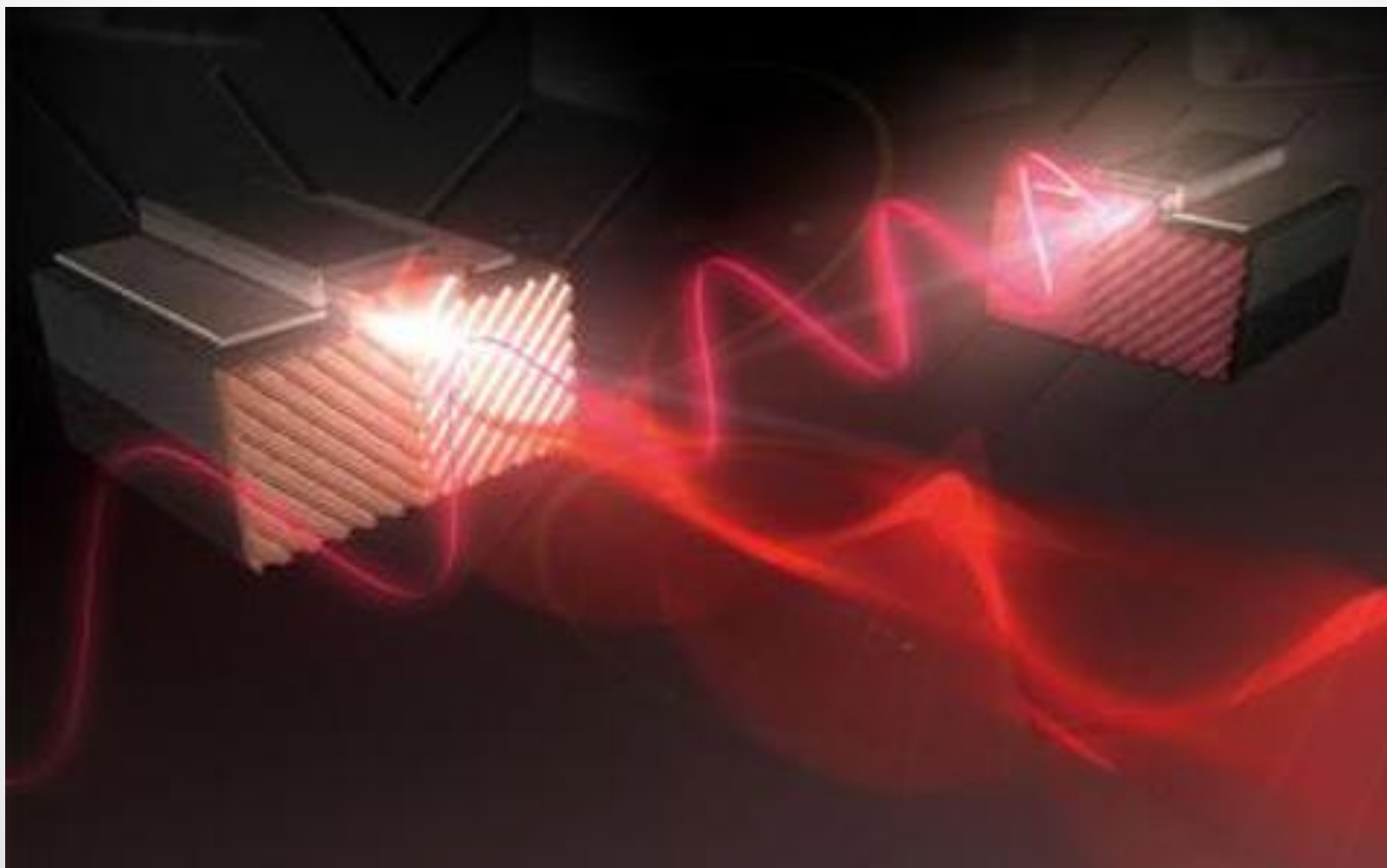




Поляризация света



Вопросы

1. Естественный и поляризованный свет.
2. Закон Малюса.
3. Явление двойного лучепреломления.
4. Поляризация света при отражении и преломлении на границе двух диэлектриков.
5. Вращение плоскости поляризации.
6. Искусственная оптическая анизотропия.
7. Использование поляризованного света.
8. Поляризованный свет в Природе.

1. Естественный и поляризованный свет

Электромагнитные (ЭМ) волны характеризуются состоянием поляризации.

Свет, у которого направления колебаний светового вектора (вектор $\vec{E}$) каким-либо образом упорядочены, называется поляризованным.

Состояние поляризации определяется *источником электромагнитного излучения* и *средой*, в которой происходит распространение ЭМ волн.

1. Естественный и поляризованный свет

Обычные источники света представляют собой совокупность огромного количества микроисточников (атомы, молекулы, ионы, заряженные частицы), излучающих независимо друг от друга с разными значениями амплитуд, частот, фаз и направлений светового вектора.

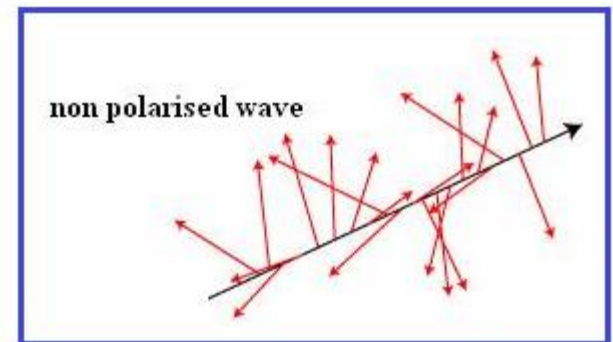
Поэтому в результирующей световой ЭМ волне ориентация вектора $\vec{E}$ хаотически *меняется во времени.*

Такой свет называют

естественным.

Естественный свет является

неполяризованным.



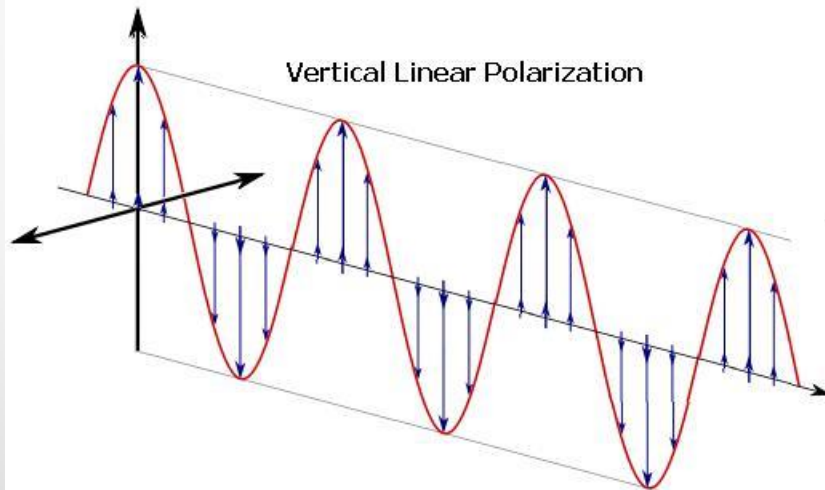
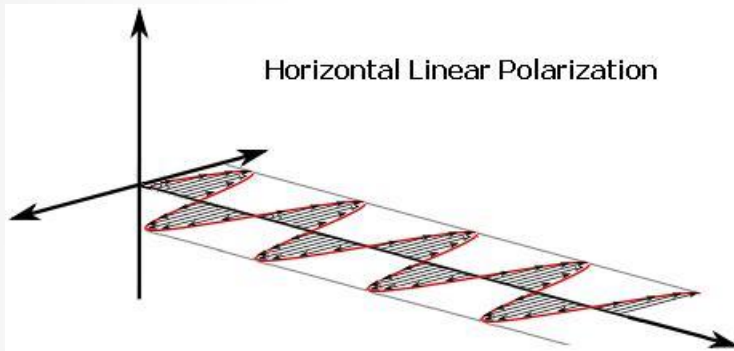
1. Естественный и поляризованный свет

- *Свет, у которого направления колебаний светового вектора каким-то образом упорядочены, называется поляризованным.*
- *Свет, у которого вектор $\vec{E}$ колеблется только в одном направлении, перпендикулярном лучу, называется плоско поляризованным или линейно поляризованным.*
- *Плоскость, проходящая через направление колебаний светового вектора и направление распространения волны, называется плоскостью поляризации (плоскость колебаний).*
- *Свет, у которого вектор $\vec{E}$ изменяется со временем так, что его конец описывает эллипс, лежащий в плоскости, перпендикулярной лучу, называется эллиптически поляризованным.*
- *Свет, у которого вектор $\vec{E}$ изменяется со временем так, что его конец описывает окружность, лежащую в плоскости, перпендикулярной лучу, называется циркулярно поляризованным (поляризованным по кругу).*

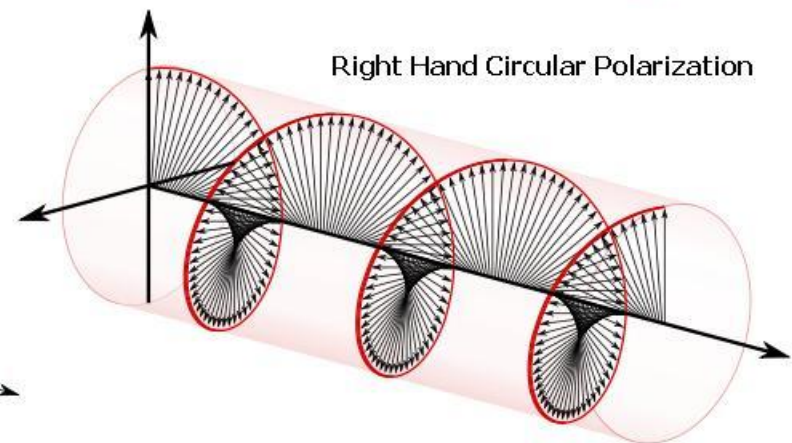
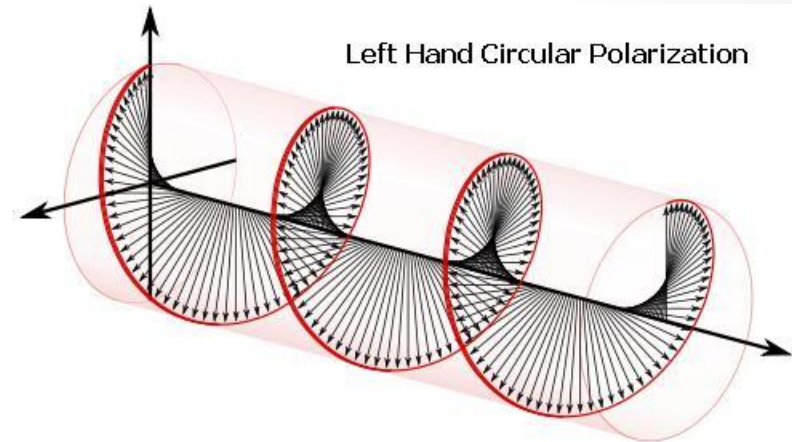
1. Естественный и поляризованный свет

Световой вектор в поляризованной волне

Линейная поляризация



Циркулярная поляризация



1. Естественный и поляризованный свет

При эллиптической поляризации *концы светового вектора* в фиксированный момент времени при разных значениях координаты x светового луча лежат *на винтовой линии*.

Линейно поляризованный свет можно рассматривать как частный случай эллиптически поляризованного света, когда эллипс вырождается в отрезок прямой линии.

Другим частным случаем является *свет с круговой поляризацией*.

1. Естественный и поляризованный свет

Существуют две концепции, устанавливающие взаимосвязь между линейно поляризованным и циркулярно поляризованным светом:

- циркулярно-поляризованный свет представляется как суперпозиция двух ортогональных линейных поляризаций,
- линейно-поляризованный свет представляется как суперпозиция левой и правой циркулярных поляризаций.

1. Естественный и поляризованный свет

Для получения поляризованного света используются специальные устройства – поляризаторы.

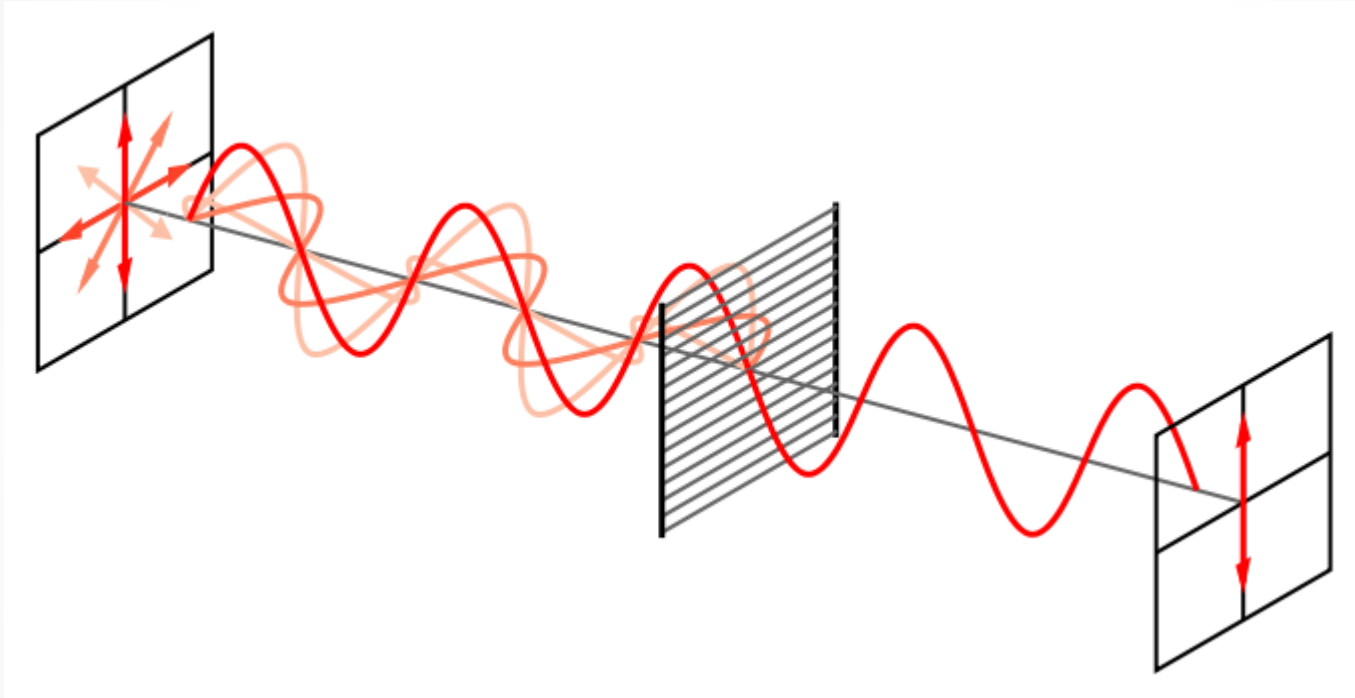
В соответствии с типом поляризации, получаемой с помощью поляризаторов, они делятся на *линейные и круговые*. *Линейные поляризаторы* позволяют получать *плоско поляризованный свет*, *круговые поляризаторы* – *свет, поляризованный по кругу*.

Линейные поляризаторы работают с использованием одного из трёх физических явлений:

- *линейный дихроизм,*
- *двойное лучепреломление,*
- *поляризация света при отражении на границах раздела сред.*

Круговые поляризаторы обычно представляют собой комбинацию линейного поляризатора и четвертьволновой фазовой пластинки.

1. Естественный и поляризованный свет

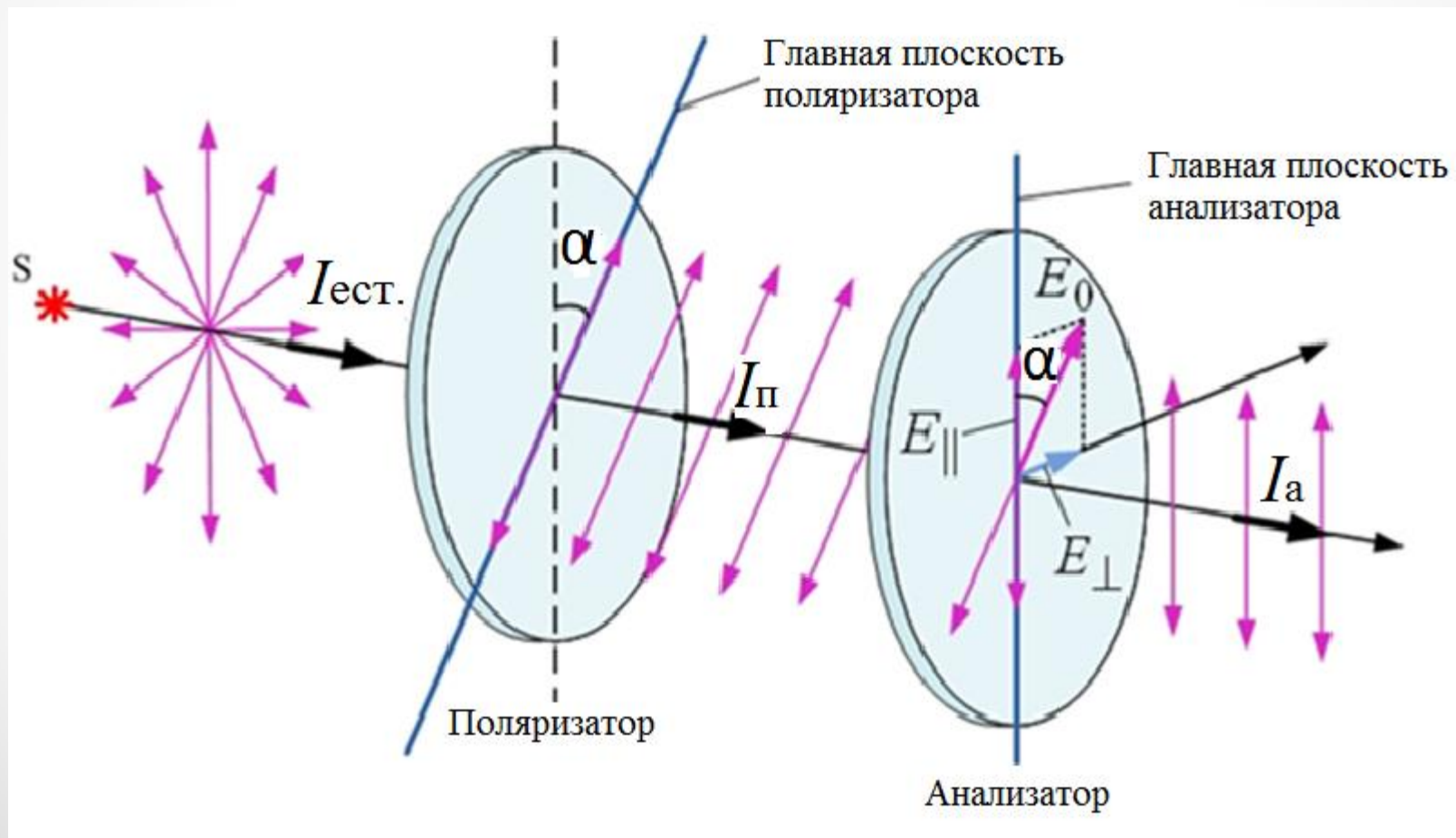


Линейный поляризатор - устройство для получения линейно поляризованного света.

Главная плоскость линейного поляризатора определяет плоскость колебаний светового вектора в волне, прошедшей через поляризатор.

1. Естественный и поляризованный свет

Линейный поляризатор может служить и в качестве **анализатора** – устройства с помощью которого **анализируется состояние поляризации световой волны** и **определяется степень поляризации P** .



1. Естественный и поляризованный свет

Состояние поляризации произвольной ЭМ волны характеризуется степенью поляризации P .

Для определения P свет пропускают через линейный поляризатор. Поворачивая поляризатор (*анализатор*), определяют максимальное и минимальное значения интенсивности проходящей ЭМ волны.

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

Для естественного света $P = 0$, для линейной поляризации $P = 1$.

Частично поляризованный свет характеризуется тем, что в нем имеется преимущественное направление колебаний электрического вектора, поэтому такой свет можно рассматривать как смесь линейно поляризованного и естественного света.

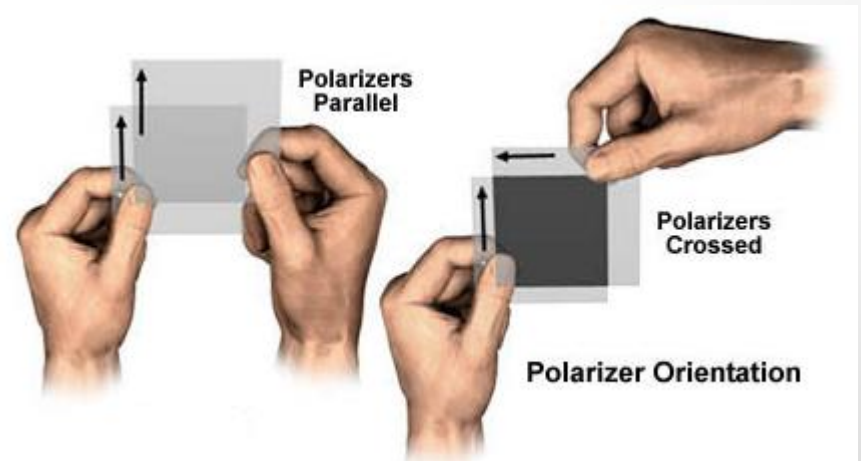
2. Закон Малюса

Линейный дихроизм — различное **поглощение веществом света** со взаимно перпендикулярными направлениями линейной поляризации.

Сильным дихроизмом обладают кристаллы **турмалина**.

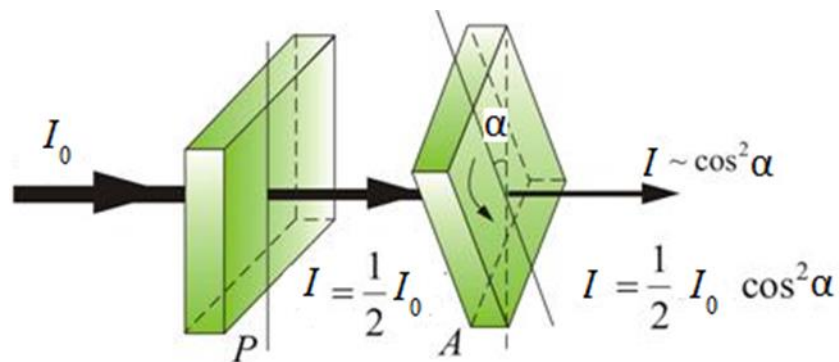


Поляризаторы, основанные на явлении дихроизма, называются **поляроидами**.



2. Закон Малюса

В опыте использовались *поляризаторы из турмалина*

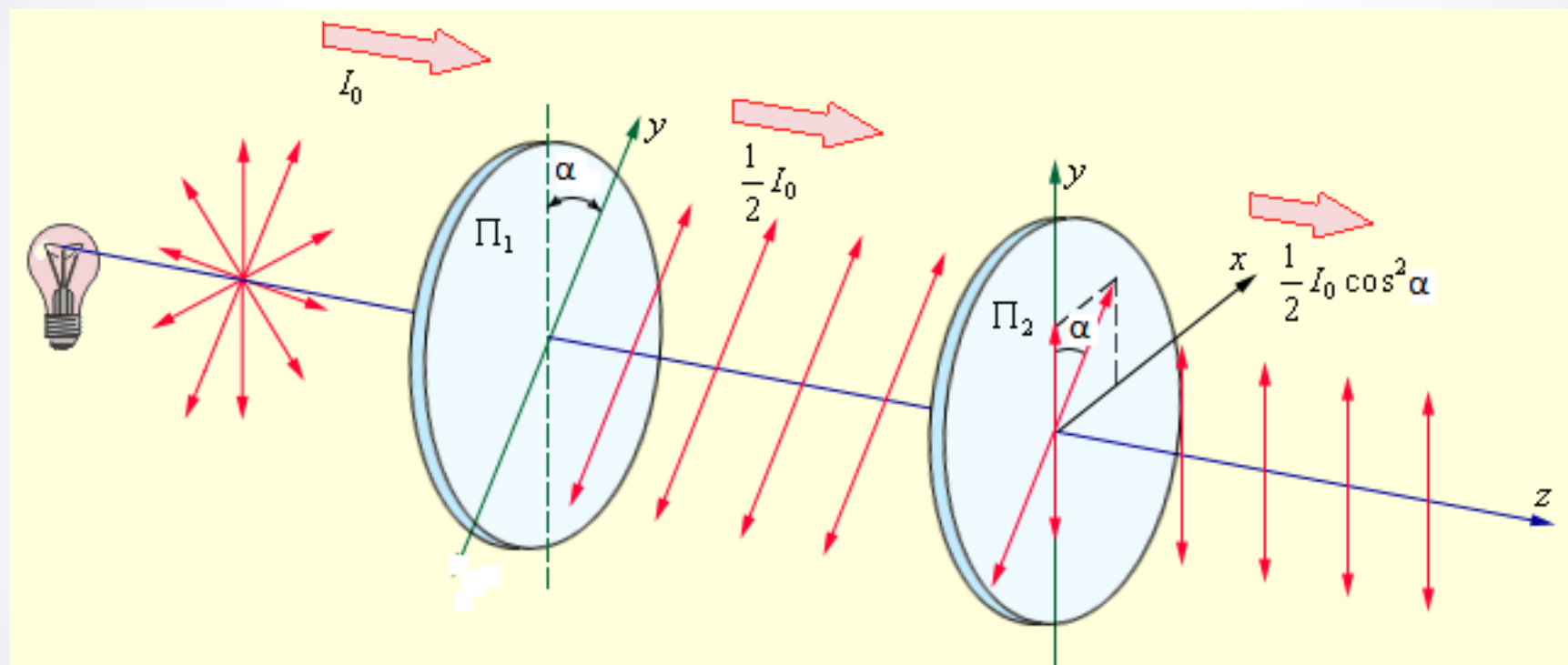


α – угол между плоскостью колебаний светового вектора и главной плоскостью поляризатора



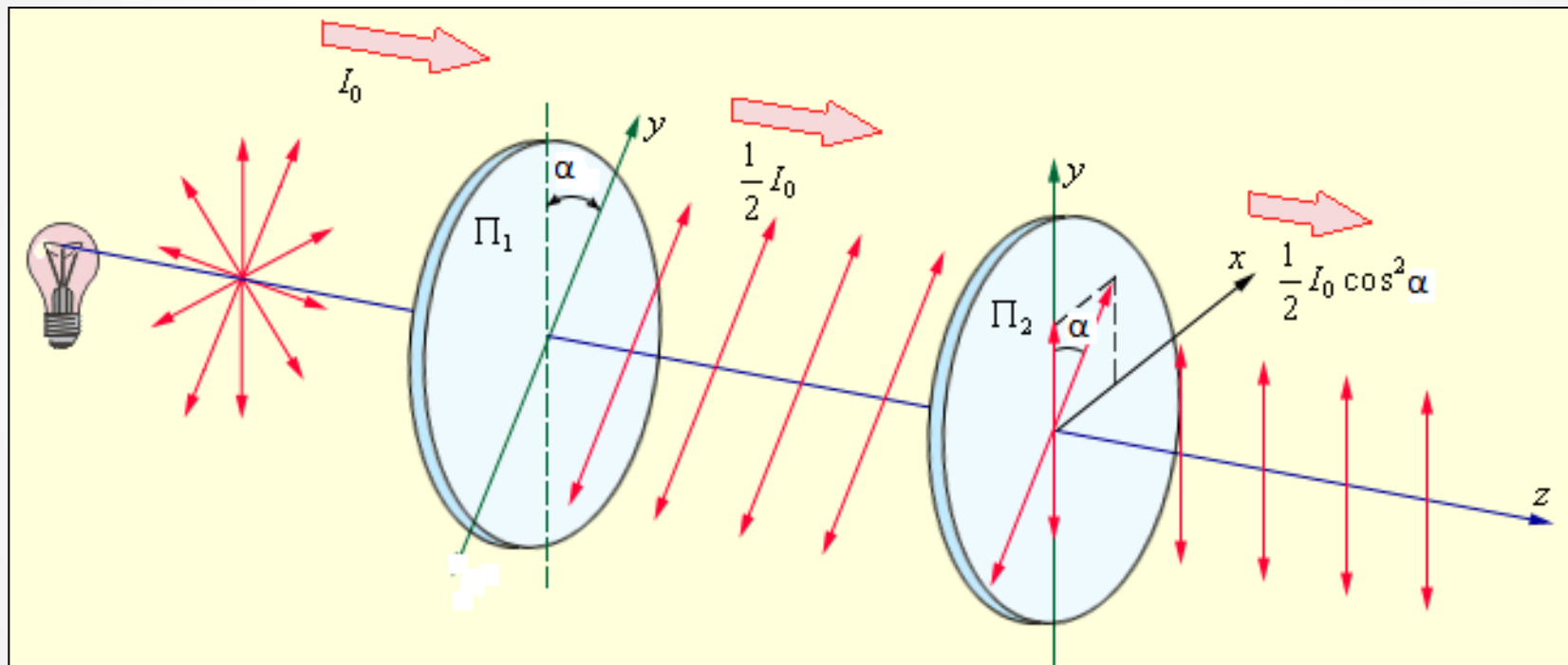
Этьен Луи Малюс
(1775-1812)

2. Закон Малюса



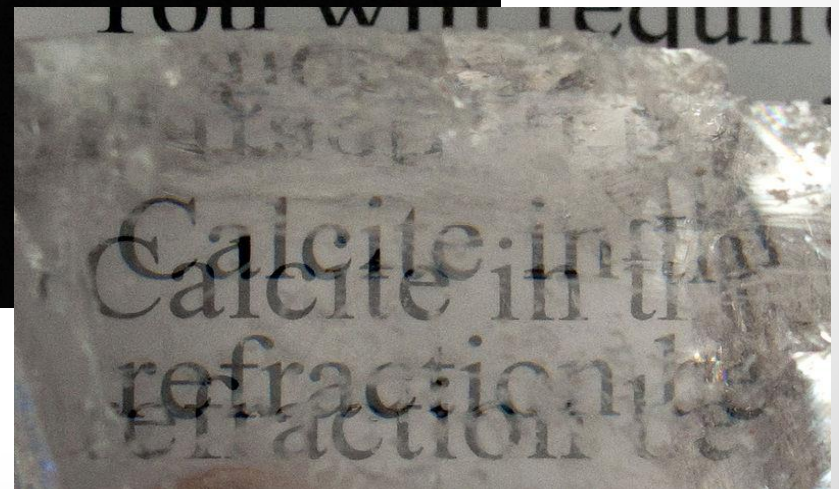
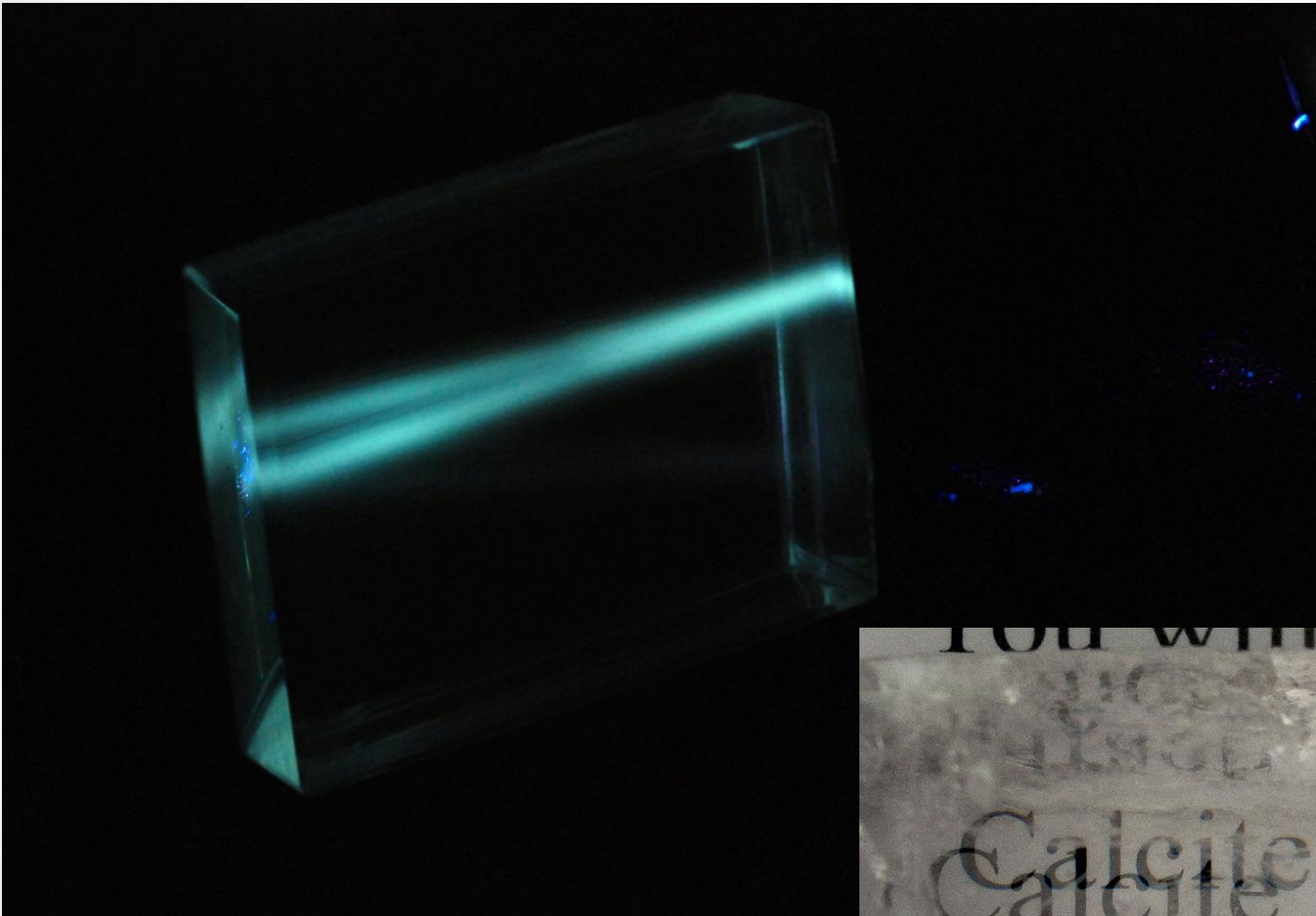
2. Закон Малюса

Естественный свет, проходя через **первый поляризатор**, становится **линейно поляризованным**. **Интенсивность светового потока уменьшается в два раза**.



После выхода из **анализатора (второго поляризатора)** плоскость колебаний светового вектора оказывается **повернутой на угол**, равный углу между главными плоскостями первого и второго поляризаторов. **Интенсивность светового потока определяется значением квадрата косинуса этого угла**.

3. Явление двойного лучепреломления



3. Явление двойного лучепреломления



3. Явление двойного лучепреломления

Двойное лучепреломление — расщепление светового луча на два при распространении в **прозрачных анизотропных средах**.

Впервые обнаружено датским учёным Р. Бартолином в 1669 г. для кристалла **исландского шпата** (разновидность кальцита CaCO_3).

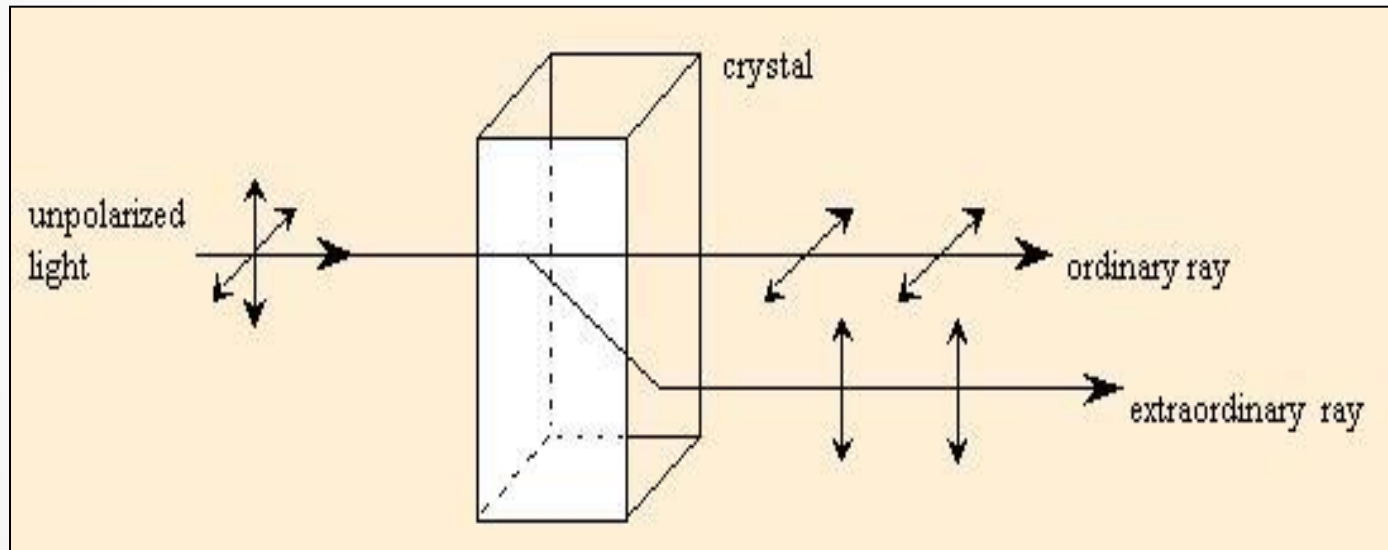
Даже если луч света падает перпендикулярно к поверхности кристалла, то он расщепляется на два луча.

Первый луч продолжает распространяться прямо, и называется **обыкновенным** (*o* — ordinary), второй отклоняется в сторону, и называется **необыкновенным** (*e* — extraordinary).

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

3. Явление двойного лучепреломления

Вышедшие из кристалла световые лучи *поляризованы*
во взаимно перпендикулярных плоскостях.



3. Явление двойного лучепреломления

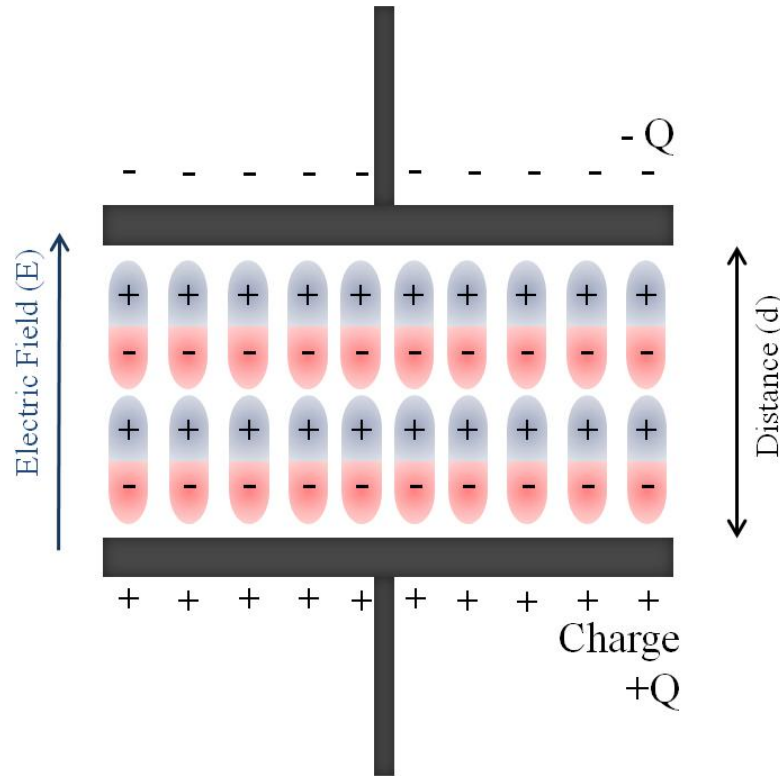
Направление в кристалле, вдоль которого луч света распространяется, не испытывая двойного лучепреломления, называется *оптической осью кристалла*. В зависимости от типа симметрии кристаллы бывают **одноосные** и **двуосные**, т. е. имеют **одну или две оптические оси**.

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

Колебания светового вектора **в обыкновенном луче** происходят **перпендикулярно главной плоскости**, в **необыкновенном** — **в главной плоскости**.

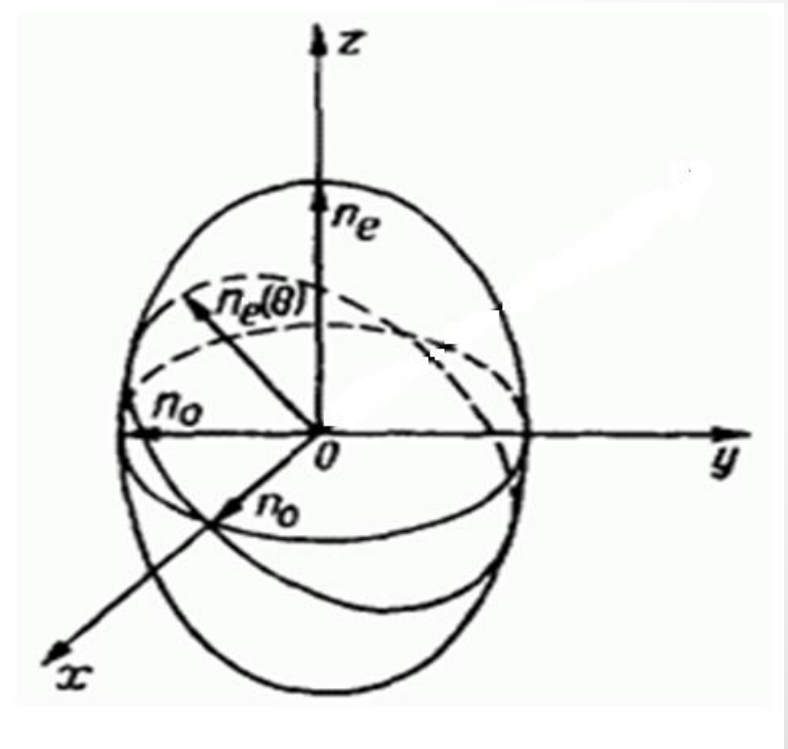
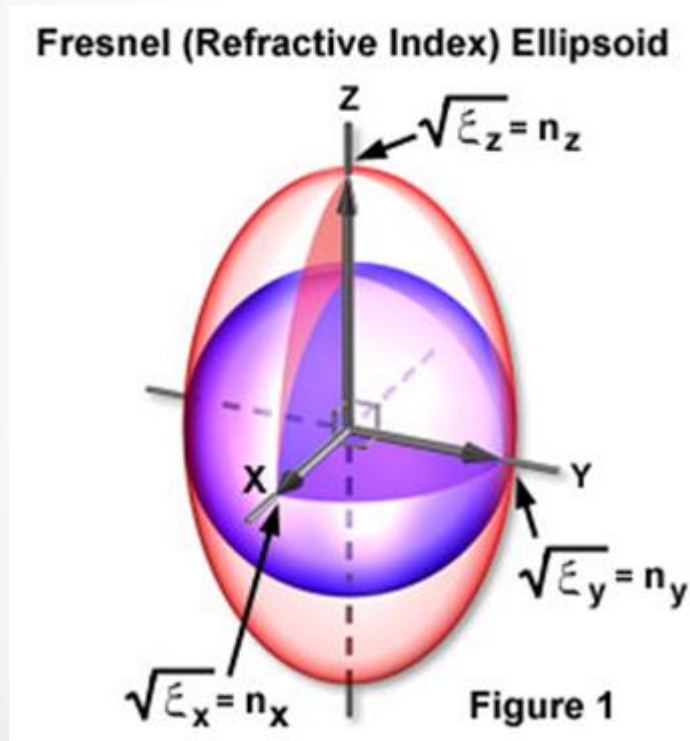
3. Явление двойного лучепреломления

**Анизотропия диэлектрической проницаемости
(зависимость от направления в кристалле)**



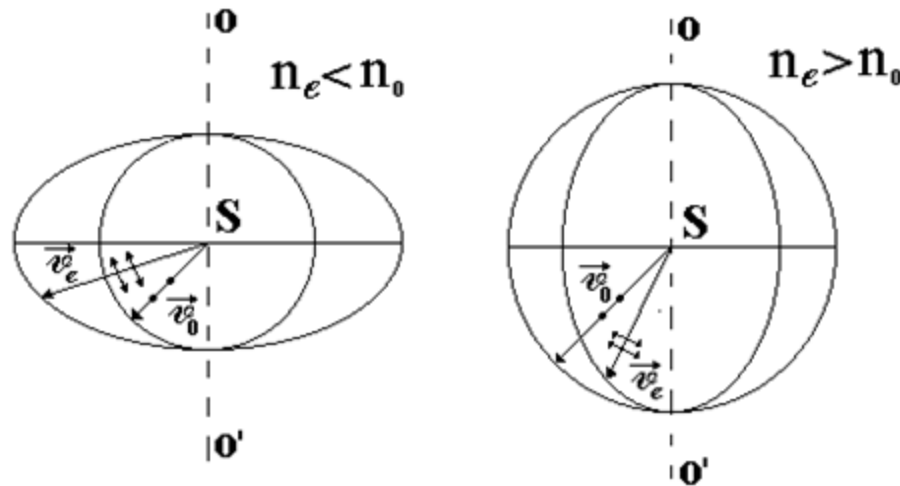
3. Явление двойного лучепреломления

Следствием является зависимость показателя преломления от направления в одноосном анизотропном кристалле

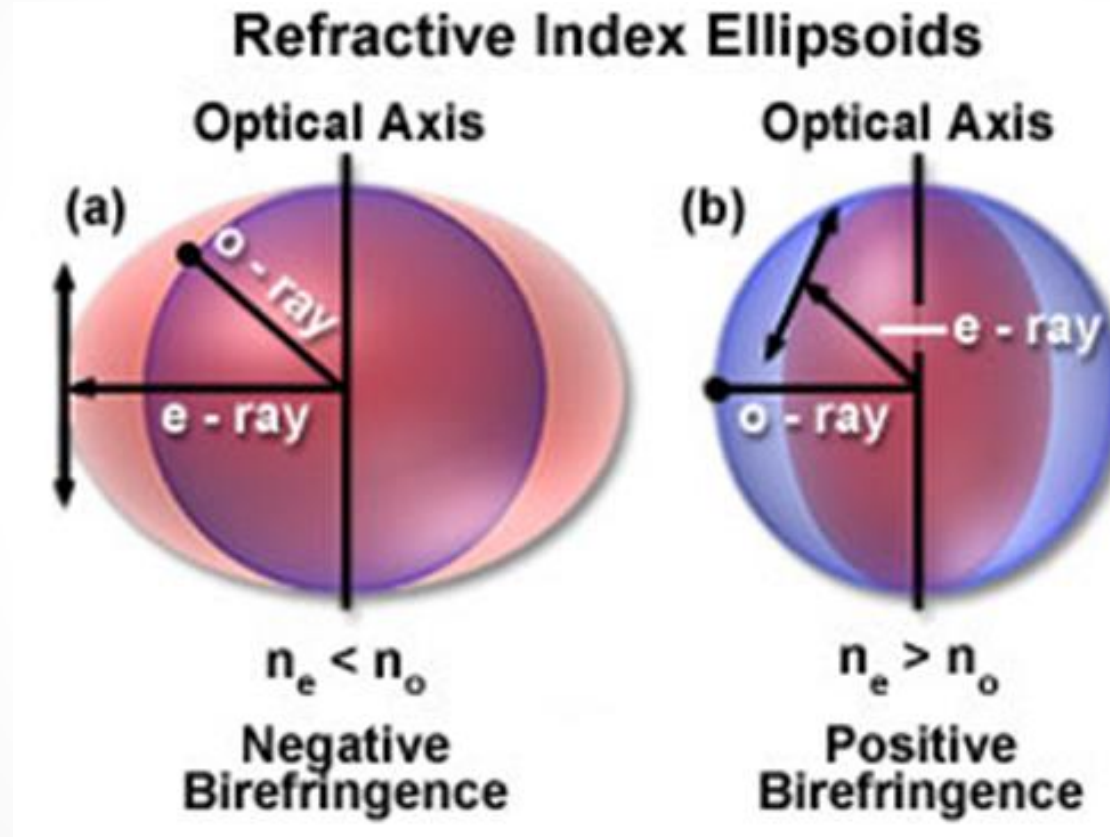


3. Явление двойного лучепреломления

Волновой фронт световой волны от точечного источника в одноосном кристалле для о – и е – поляризаций

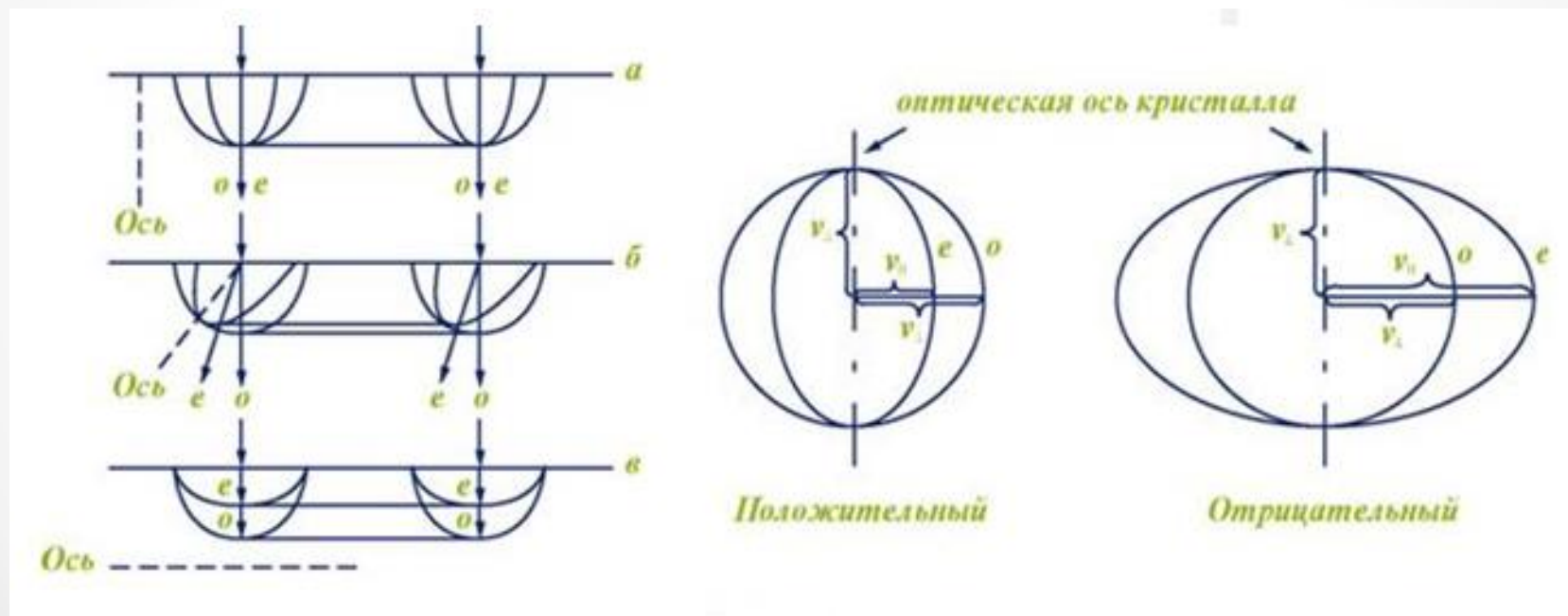


3. Явление двойного лучепреломления



3. Явление двойного лучепреломления

Волновые фронты в одноосном кристалле для o – и e – поляризаций



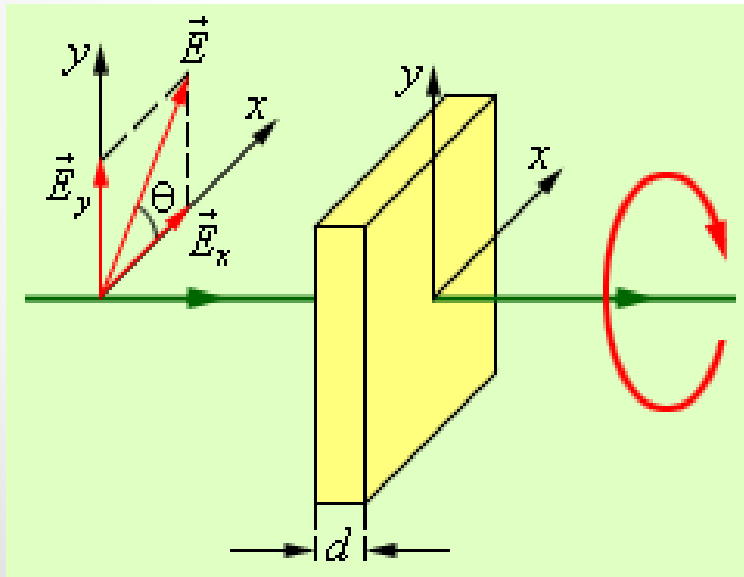
3. Явление двойного лучепреломления

Кристаллическая фазовая пластинка

Рассмотрим нормальное падение линейно поляризованного света на пластинку, вырезанную параллельно оптической оси (ось Oy). Плоскостью главного сечения является плоскость YOz .

Падающий на пластинку свет представим как совокупность двух волн, поляризованных вдоль оптической оси и перпендикулярно к ней. Одна из них в пластинке будет необыкновенной волной, другая – обыкновенной.

На выходе из пластинки две волны приобретают дополнительную разность фаз, определяемую разностью показателей преломления и толщиной пластинки:



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

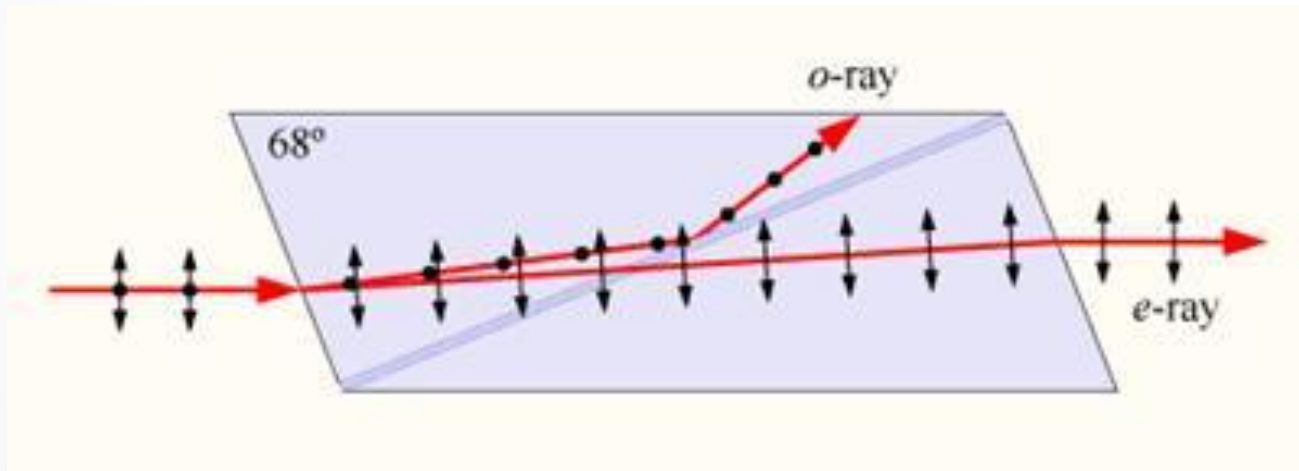
При $\Delta\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$ свет на выходе из пластинки оказывается эллиптически поляризованным. Оптическая разность хода двух волн при этом:

$$\Delta = (n_o - n_e)d = \pm \frac{\lambda_0}{4}.$$

Такую пластинку называют **четвертьволновой фазовой пластинкой**.

3. Явление двойного лучепреломления

Призма Николя (николь) используется в качестве поляризатора. Призма из исландского шпата, разрезанная по диагональной плоскости и склеенная канадским бальзамом. **В основе работы два эффекта** – двойное лучепреломление и полное внутреннее отражение.



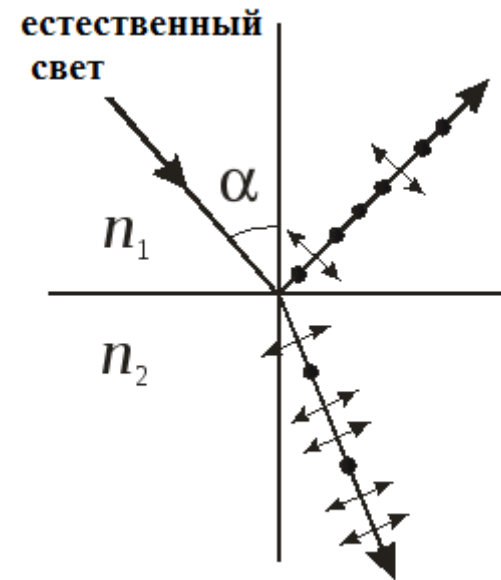
Показатель преломления канадского бальзама: $n_o > n > n_e$. На прослойке бальзама **обыкновенный луч претерпевает полное внутреннее отражение и отклоняется в сторону. Необыкновенный луч проходит через прослойку и выходит из призмы.**

4. ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА ПРИ ОТРАЖЕНИИ И ПРЕЛОМЛЕНИИ НА ГРАНИЦЕ ДВУХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Отраженный и преломленный световые лучи частично поляризованные.

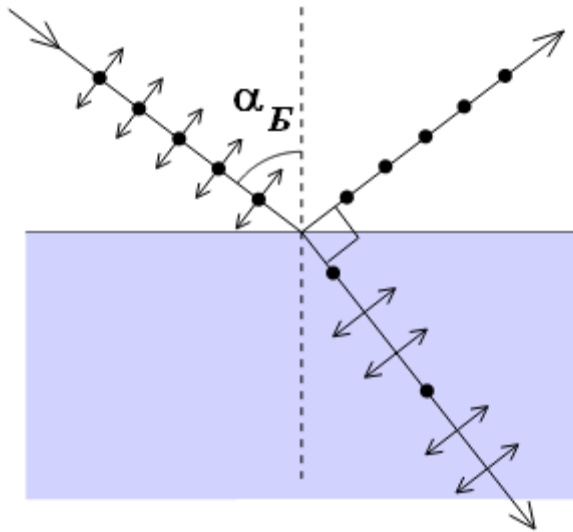
В отраженном свете у светового вектора преобладает **направление, перпендикулярное плоскости падения.**

В проходящем свете – **в плоскости падения.**



4. ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА ПРИ ОТРАЖЕНИИ И ПРЕЛОМЛЕНИИ НА ГРАНИЦЕ ДВУХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Степень поляризации зависит от угла падения светового луча. При определенном угле падения (**угол Брюстера**) отраженный луч полностью поляризован.

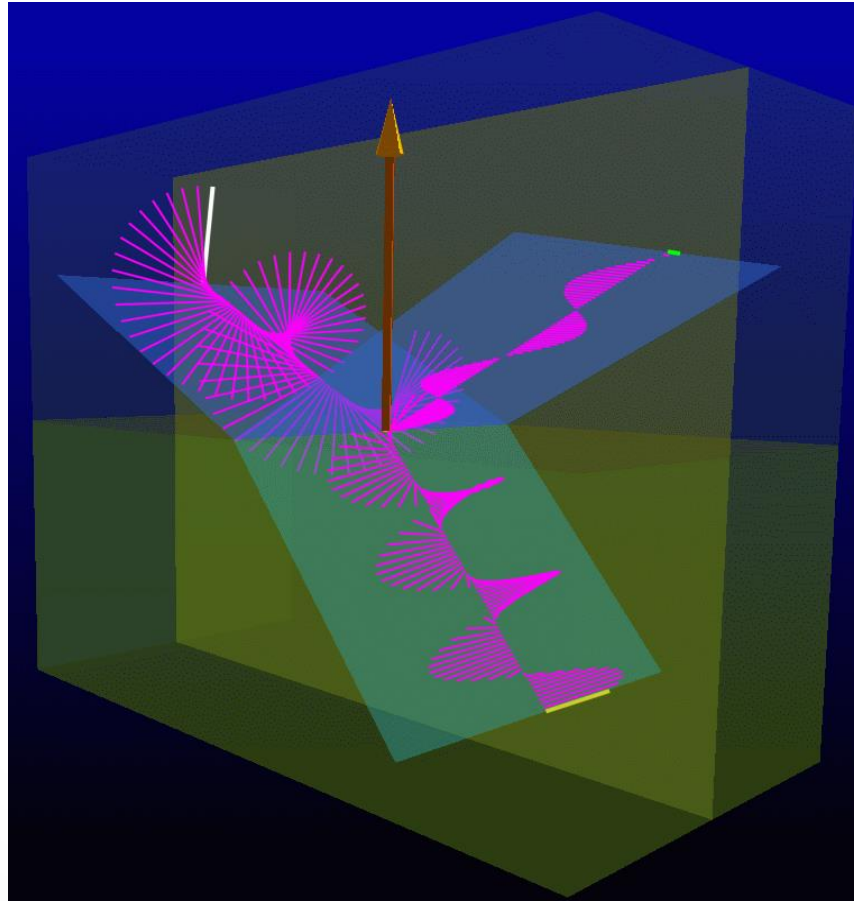


$$\operatorname{tg}(\alpha_B) = \frac{n_2}{n_1}$$



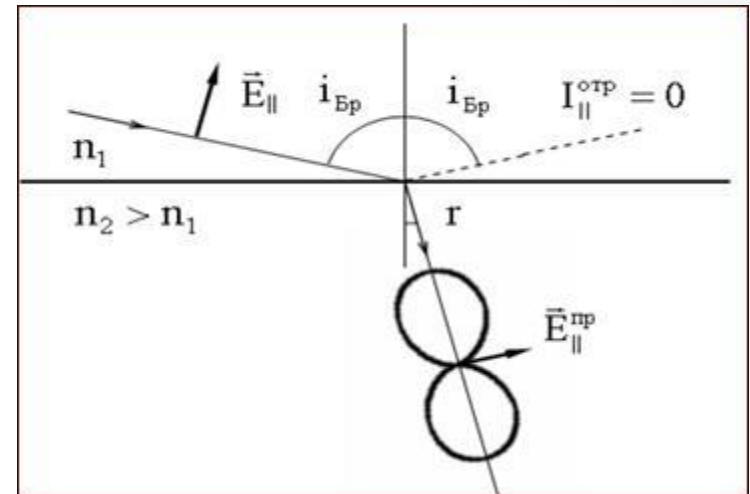
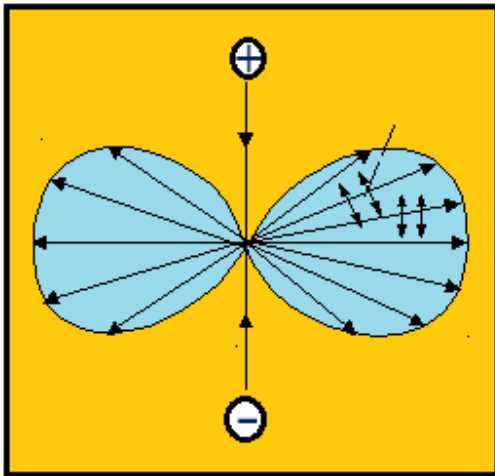
Дэвид Брюстер (1781-1868)

4. ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА ПРИ ОТРАЖЕНИИ И ПРЕЛОМЛЕНИИ НА ГРАНИЦЕ ДВУХ ДИЭЛЕКТРИКОВ



4. ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА ПРИ ОТРАЖЕНИИ И ПРЕЛОМЛЕНИИ НА ГРАНИЦЕ ДВУХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Диаграмма
направленности
ЭМ излучения
электрического
диполя.

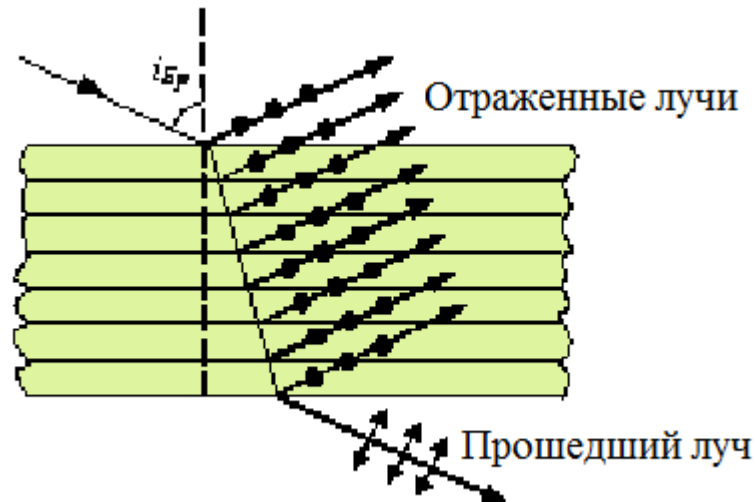


ЭМ излучение атомных
диполей при угле Брюстера.
В отраженной волне отсутствует
составляющая вектора E ,
лежащая в плоскости падения.

4. ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА ПРИ ОТРАЖЕНИИ И ПРЕЛОМЛЕНИИ НА ГРАНИЦЕ ДВУХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Стопа Столетова - стопка стеклянных пластинок.

При падении естественного света под углом Брюстера на стопу Столетова отраженный и преломленный свет оказываются линейно поляризованными.



5. Вращение плоскости поляризации

При прохождении плоско поляризованного света через некоторые вещества наблюдается вращение плоскости колебаний светового вектора.

Такие вещества называются оптически активными (ОАВ):

- **Кристаллы** (кварц, киноварь).
- **Жидкости** (скипидар).
- **Растворы ОАВ** в неактивных растворителях (водный раствор сахара).

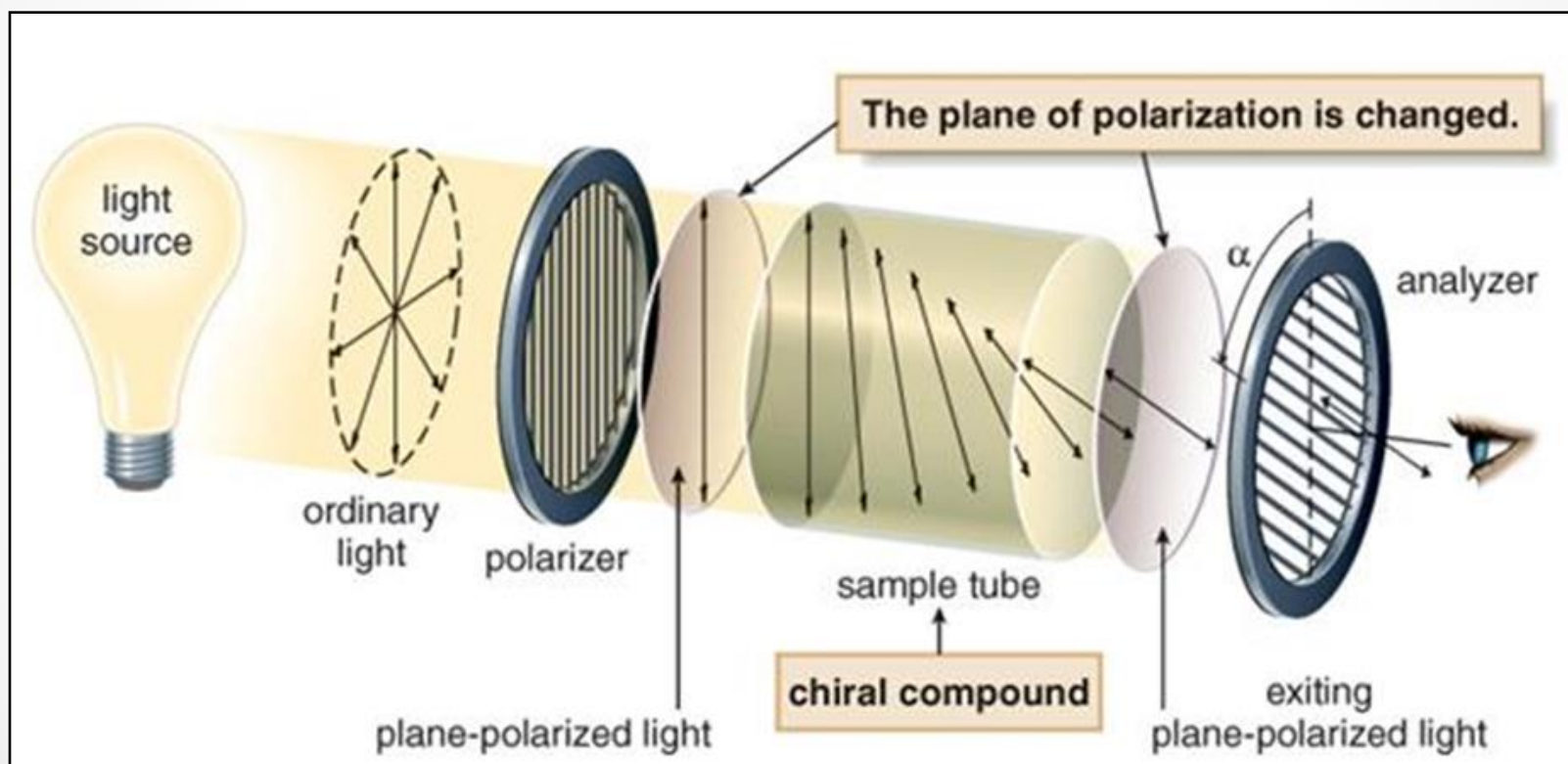
В растворах угол поворота плоскости поляризации:

$$\varphi = \alpha \cdot c \cdot l$$

α – удельная постоянная вращения, c – концентрация ОАВ, l – путь луча в растворе.

5. Вращение плоскости поляризации

Исследование вращения плоскости поляризации



5. Вращение плоскости поляризации

Удельное вращение зависит от природы вещества, температуры и длины волны света.

Оптический винт Н.А. Умова

Прохождении плоско поляризованного белого света через раствор сахара



5. Вращение плоскости поляризации

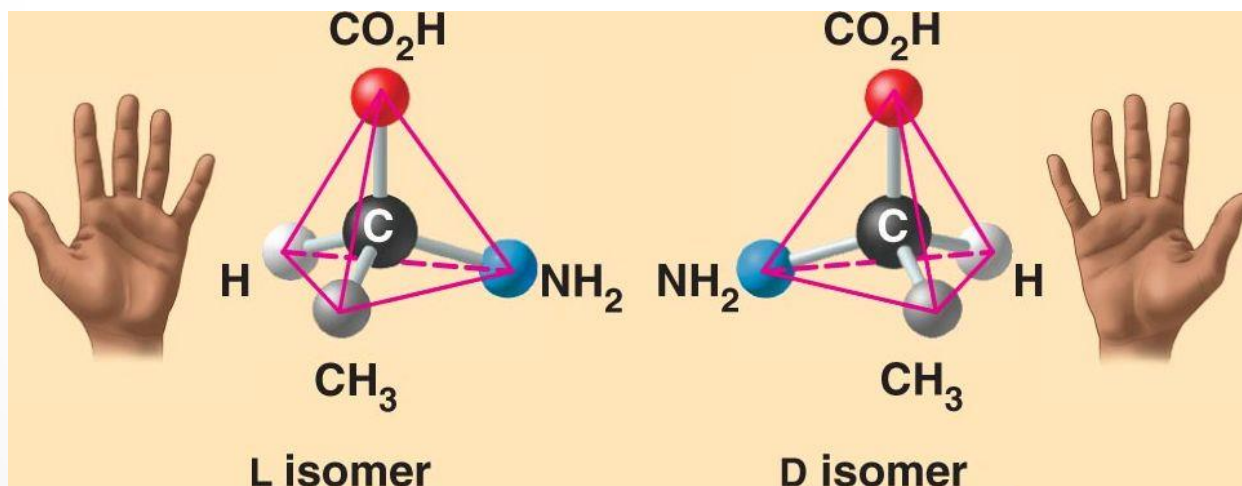
В зависимости от направления вращения плоскости поляризации ОАВ делятся на право- и левоповорачивающие. Если смотреть навстречу световому лучу, то в первом случае плоскость поляризации поворачивается по часовой стрелке, во втором - против часовой стрелки.

Вращение плоскости поляризации объяснено О. Френелем (1817 г.): **скорость распространения света в оптически активных веществах различна для лучей, поляризованных по кругу вправо и влево.**

Плоская поляризация представляется как суперпозиция двух круговых.

5. Вращение плоскости поляризации

Хиральность ($\chi\epsilon\text{ip}$ — рука) - свойство молекулы не совмещаться в пространстве со своим зеркальным отражением.



6. Искусственная оптическая анизотропия

1. Фотоупругость - изотропное вещ-во становится анизотропным, если его подвергнуть механической деформации. Разность показателей преломления:

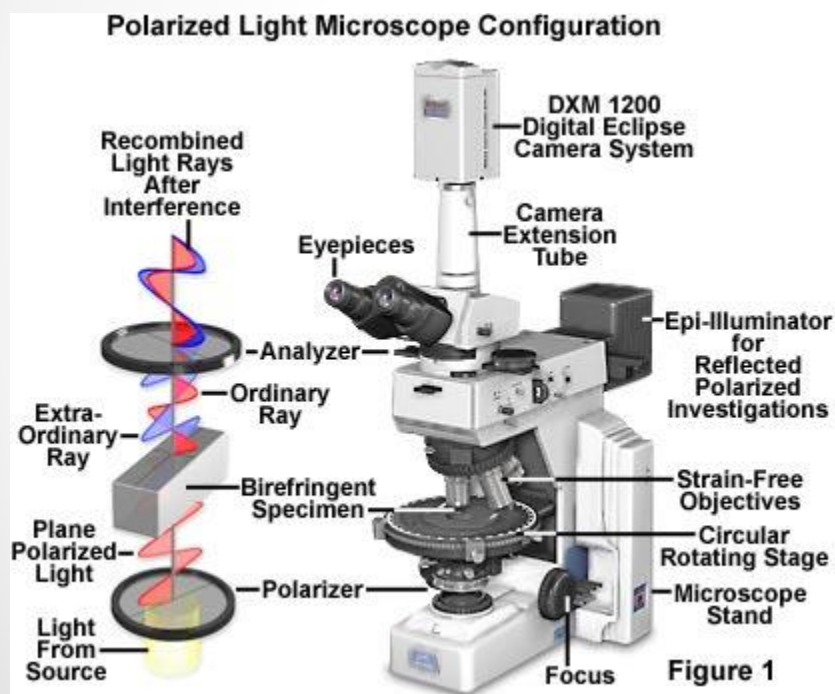
$$n_o - n_e = K\sigma.$$

2. Эффект Керра - возникновение анизотропии у прозрачного изотропного диэлектрика, если его поместить во внешнее электрическое поле. Разность показателей: $n_o - n_e = B\lambda_o E^2$.

3. Эффект Коттона-Мутона - возникновение оптической анизотропии у изотропных веществ при помещении их в сильное внешнее магнитное поле. Разность показателей: $n_o - n_e = C\lambda_o H^2$.

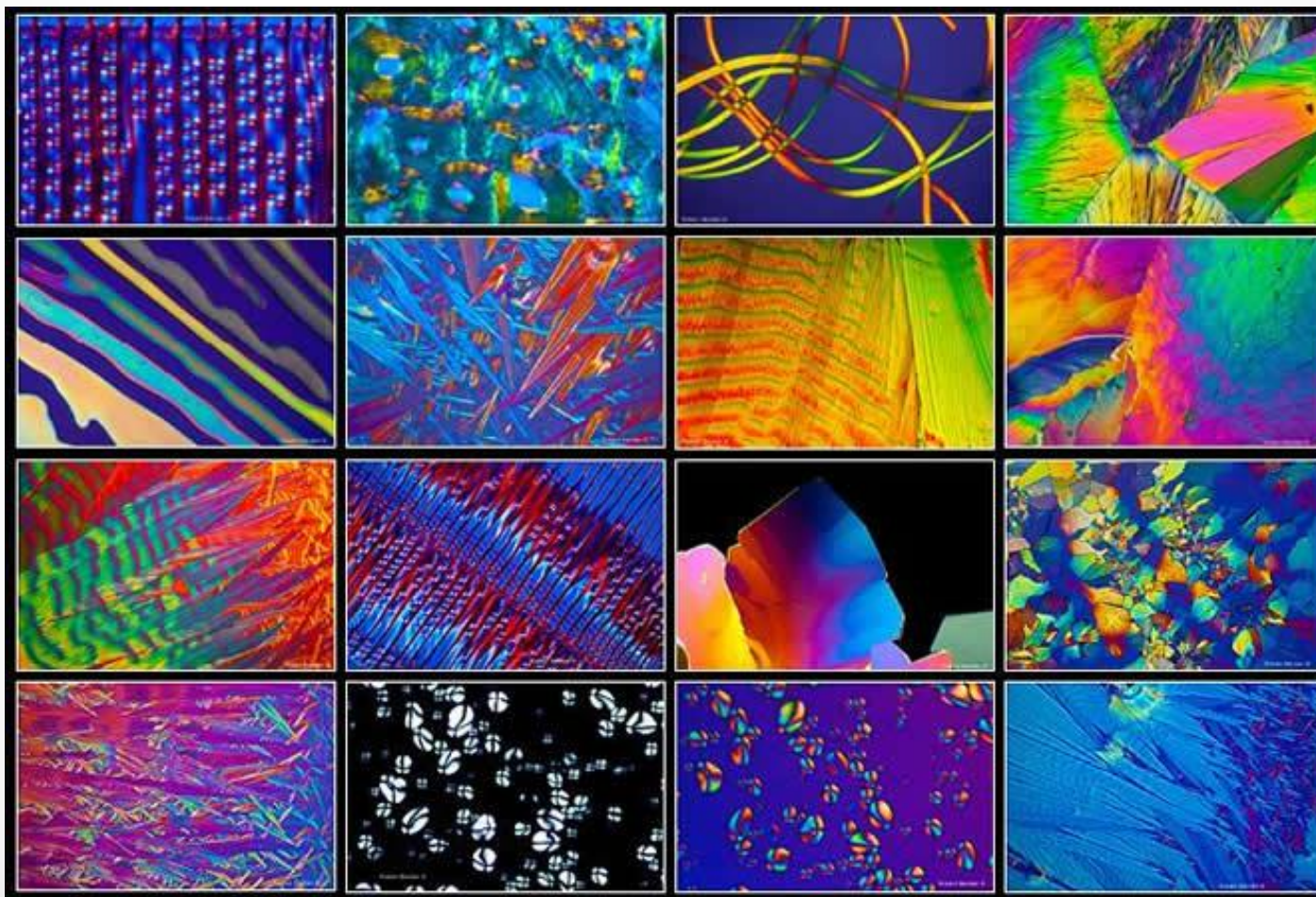
7. Использование поляризованного света

Поляризационный микроскоп



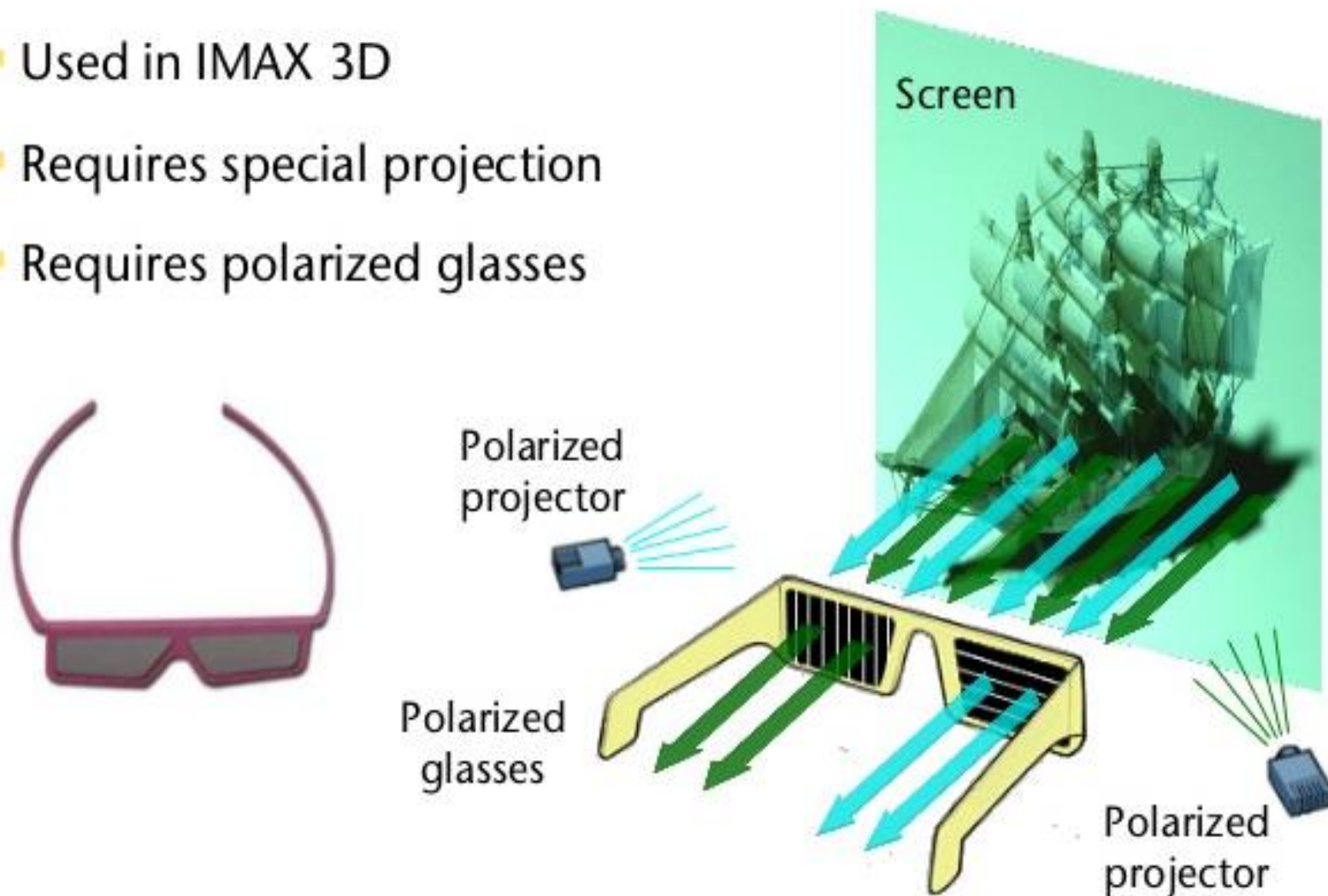
7. Использование поляризованного света

Поляризационный микроскоп



7. Использование поляризованного света

- Used in IMAX 3D
- Requires special projection
- Requires polarized glasses



8. Поляризованный свет в Природе

Умение различать поляризованный свет и прямые солнечные лучи позволяет рыбам лучше видеть под водой, где большая часть света поляризована. Кожа морских рыб устроена так, что она делает ее обладательницу почти невидимой, если на нее смотреть снизу со стороны хвоста или головы, откуда обычно атакуют хищники. Внутри кожи морских рыб содержится множество небольших пластинок из гуанина, которые **отражают поляризованные лучи только при определенных углах падения**. Это делает рыбу невидимой.



8. Поляризованный свет в Природе



Спасибо за внимание!