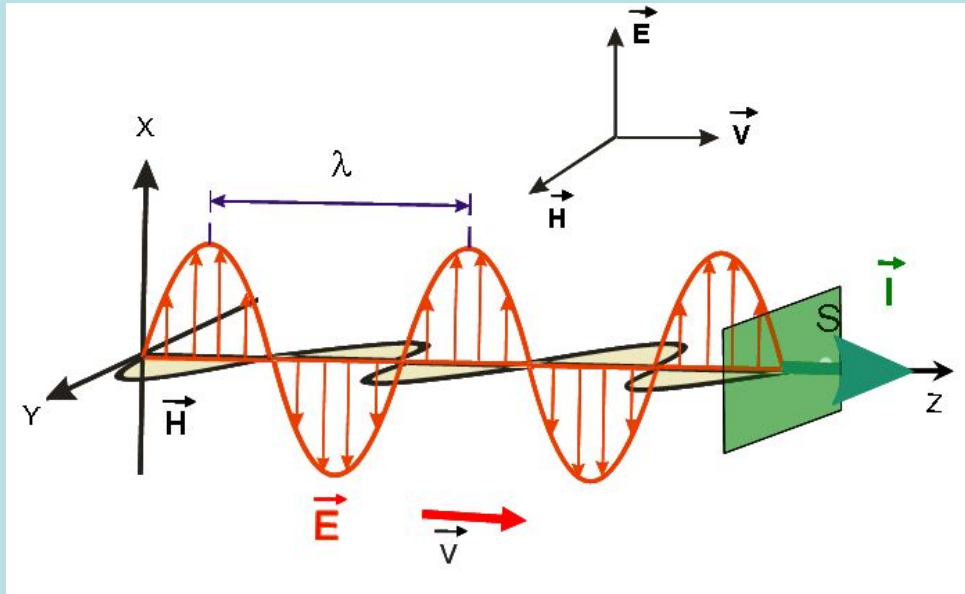


Лек 4.

М4.4.Поляризация света.(2ч.)

- 1.Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Виды поляризации Степень поляризации.
2. Способы получения линейно-поляризованного света. Поляризация света при отражении и преломлении на границе двух диэлектриков. Закон Брюстера.
- 3.Двойное лучепреломление. Поляризационные призмы и поляроиды.
- 4.Анализ поляризованного света. Закон Малюса
- 5.Искусственная оптическая анизотропия. Эффекты Керра.
- 6.Оптически активные вещества. Вращение плоскости поляризации света. Явление Фарадея.

1. Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Виды поляризации *Степень поляризации.*



Свет - электромагнитная волна.

Электромагнитная волна описывается взаимно перпендикулярными векторами: напряженности электрического $\vec{E}$ и магнитного $\vec{H}$ полей, изменяющимися в одинаковой фазе и перпендикулярными к направлению распространения (вектору скорости волны).

Свет, в котором направления колебаний **светового** вектора (вектора E) быстро ($\sim 10^{-8}\text{с}$) и беспорядочно сменяют друг друга и с равной вероятностью могут происходить во всех направлениях **называют естественным**, или **неполяризованным**



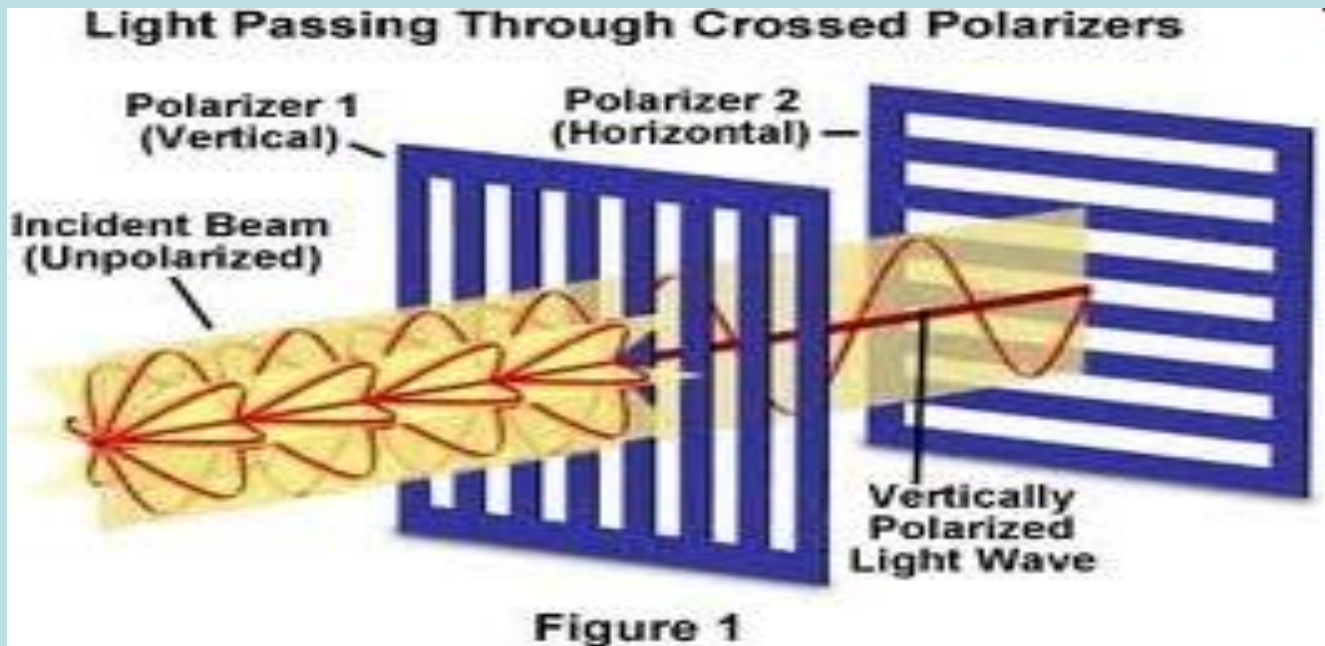
Поляризованным
называется свет, в
котором направления
колебаний светового
вектора упорядочены
каким либо образом.

Различают следующие виды поляризации:

1

плоско- или линейно поляризованный свет

колебания светового вектора происходят только в одной, проходящей через направление распространения волны плоскости.

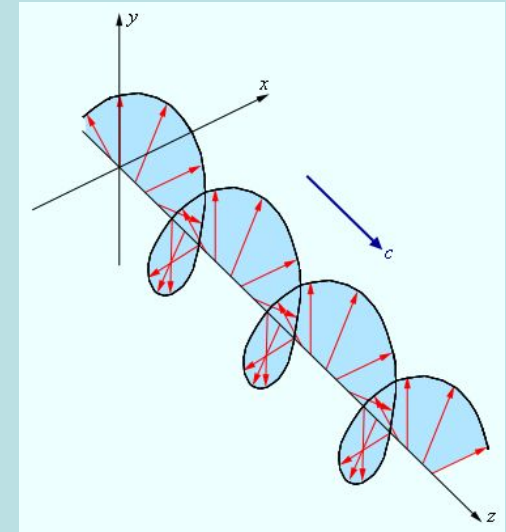


2

Эллиптически поляризованный свет.



Вектор E вращается вокруг направления распространения света и изменяется по модулю.

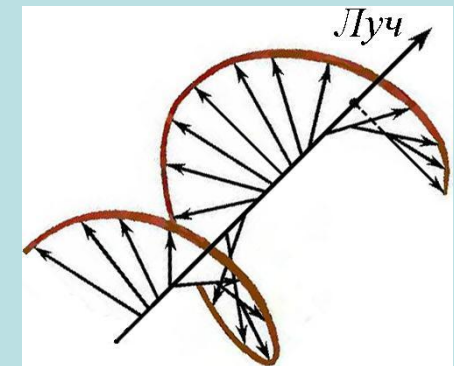


3

Свет, поляризованный по кругу (круговая поляризация).



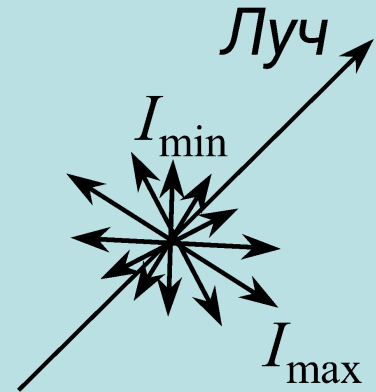
Вектор E вращается вокруг направления распространения света, оставаясь постоянным по модулю. Вектор вращается вокруг направления распространения света, оставаясь постоянным по модулю.



Часто используют понятие **частично - поляризованный** свет.

Состояние поляризации произвольной электромагнитной волны задаётся **степенью поляризации** P .

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

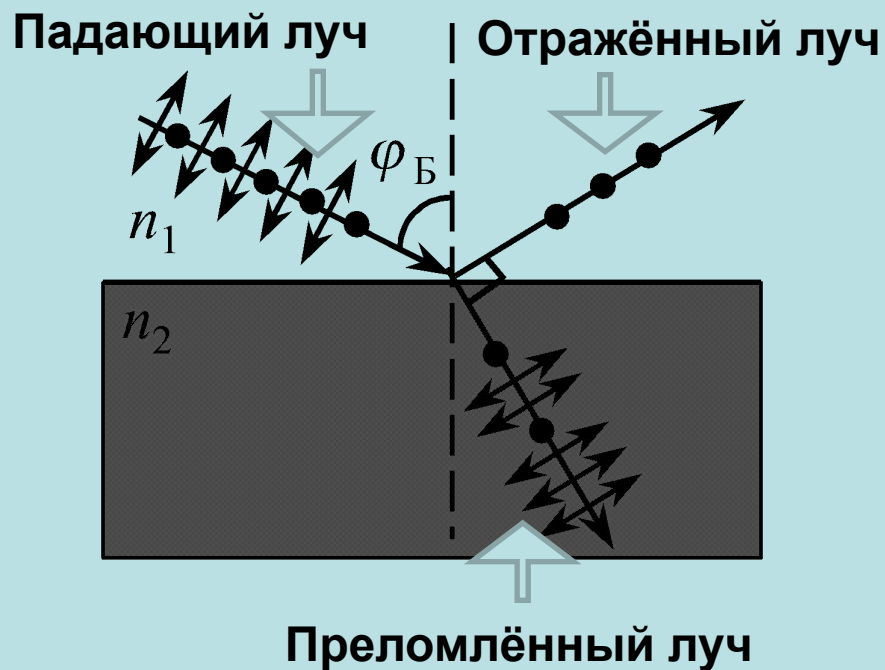


$I_{\max}$ - максимальное значение интенсивности проходящей поляризатор электромагнитной волны.

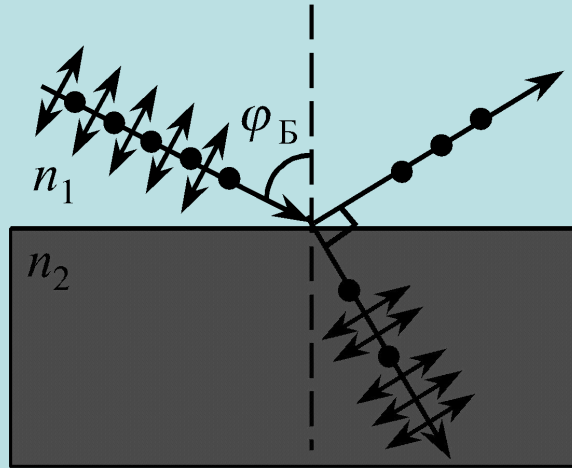
$I_{\min}$ - минимальное значение интенсивности проходящей поляризатор электромагнитной волны.

2. Способы получения линейно-поляризованного света. Поляризация света при отражении и Падающий луч на границе двух диэлектриков. Закон Брюстера.

1 Поляризация при отражении и преломлении



В отраженном луче преобладают колебания, перпендикулярные к плоскости падения (обозначены точками), а в преломленном — параллельные плоскости падения (обозначены стрелками).



Степень поляризации зависит от угла падения и показателя преломления второй среды относительно первой.

Отраженный луч **полностью линейно поляризован, если значение угла падения удовлетворяет условию:**

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{Б}} = \frac{n_2}{n_1}$$

Закон Брюстера Угол $\Phi_{\text{Б}}$ называют **углом Брюстера.**

2

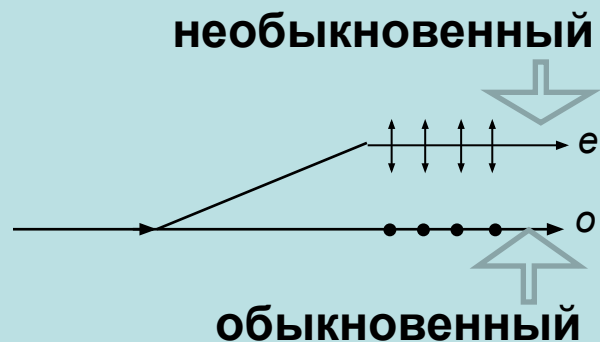
Поляризация при двойном лучепреломлении



Скорость распространения световой волны в кристаллическом веществе может зависеть от направления распространения световой волны.

Явление зависимости скорости распространения световой волны от её направления в кристалле называется **оптической анизотропией**.

Оптическая анизотропия была открыта в **1669** г. **Э. Бартолином** при наблюдении двойного лучепреломления света в кристалле исландского шпата, являющегося кристаллом гексагональной системы.



Если узкий параллельный пучок естественного света направить перпендикулярно на кристалл исландского шпата, то из кристалла выйдут два луча, имеющие направления, параллельные первоначальному

Один из них является продолжением первичного (**обыкновенный-о**), а второй смещен в сторону (**необыкновенный-е**), т.е. для него угол преломления в кристалле отличен от нуля при равном нулю угле падения (закон преломления не выполняется).



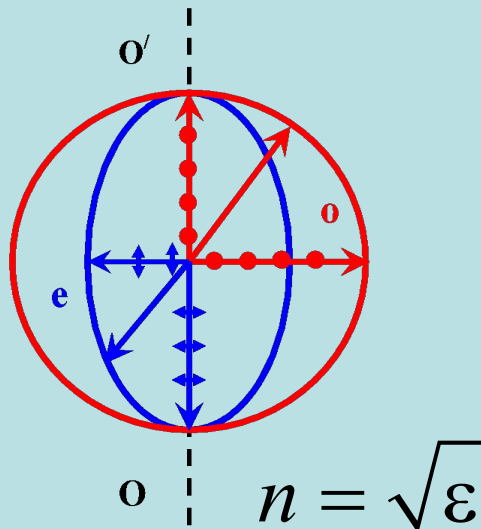
У кристалла исландского шпата существует направление (параллельное оси симметрии кристалла), вдоль которого двойное лучепреломление не наблюдается: падающий пучок света не раздваивается, а состояние его поляризации не изменяется.

У одноосных кристаллов имеется только одно направление распространения света, для которого не наблюдается двойное лучепреломление.

Это направление называется оптической осью кристалла. Любая плоскость, проходящая через оптическую ось, называется главным сечением или главной плоскостью кристалла.

3. Двойное лучепреломление. Поляризационные призмы и поляроиды.

Двойное лучепреломление объясняется анизотропией диэлектрических свойств кристаллов.



В кристаллах некубической структуры **диэлектрическая проницаемость** оказывается зависящей от направления.

В **одноосных** кристаллах ϵ в направлении оптической оси и в направлениях, перпендикулярных к ней, имеет различные значения $\epsilon_{||}$ и $\epsilon_{\perp}$

Из анизотропии ϵ вытекает, что электромагнитным волнам с различными направлениями колебаний вектора $\vec{E}$ соответствуют разные значения показателя преломления и различная скорость световых волн

Обыкновенная световая волна - колебания вектора напряжённости электрического поля совершаются в плоскости, перпендикулярной оптической оси кристалла.

Скорость обыкновенной световой волны не зависит от направления её распространения в кристалле.

Необыкновенная световая волна - колебания вектора напряжённости электрического поля совершаются в плоскости, проходящей через оптическую ось кристалла.

Скорость необыкновенной световой волны зависит от направления ее распространения в кристалле.

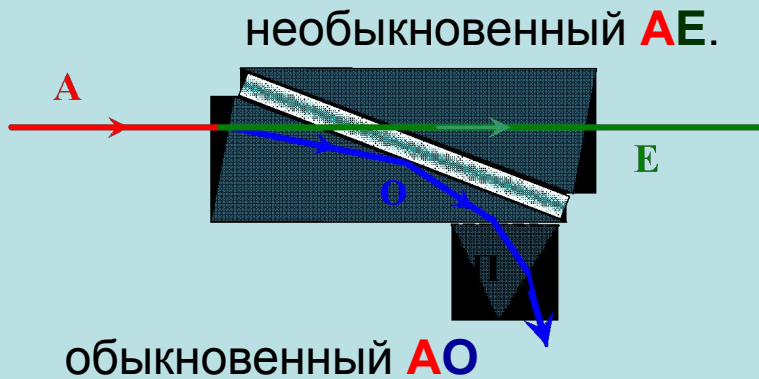
Поляризованный световой луч можно получить также при его прохождении через кристаллы, в которых поглощение проходящих через них электромагнитных волн зависит от направления колебаний вектора напряжённости электрического поля.

Явление избирательного поглощения одного из лучей в кристалле называется дихроизмом.

Дихроизмом обладают такие вещества как **турмалин, сульфат йодистого хинина**.

В турмалине обыкновенный луч поглощается сильнее необыкновенного. При прохождении обыкновенный лучом расстояния в **1мм** он оказывается полностью поглощённым.

Призма Николя



Кристалл разрезают на две части в плоскости, перпендикулярной главному сечению кристалла, и склеивают тонким слоем **канадского бальзама**

$$n_e = 1.4863 \quad n_o = 1.6585$$

Для обыкновенного луча канадский бальзам представляет собой оптически менее плотную среду, чем исландский шпат, для необыкновенного – оптически более плотную

Обыкновенный луч испытывают на границе с канадским бальзамом полное внутреннее отражение.

Необыкновенный луч не испытывает полного отражения и выходит из призмы параллельно своему направлению входа в нее.

Явление двойного лучепреломления в Призме Николя позволяет получить поляризованный свет для практического применения.

Вывод. Линейно – поляризованный свет можно получить:

1

Пропуская естественный свет через столу одинаковых параллельных друг другу пластинок, установленных под углом Брюстера к падающему свету.

2

Используя кристаллы в которых наблюдается явление двойного лучепреломления

а)

удаляя один из лучей

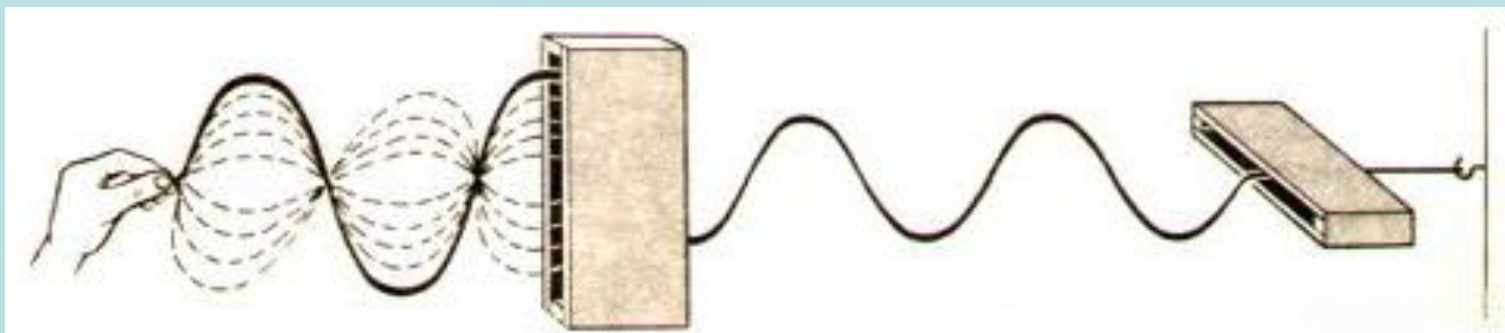
б)

используя явление дихроизма

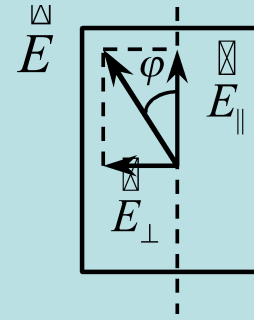
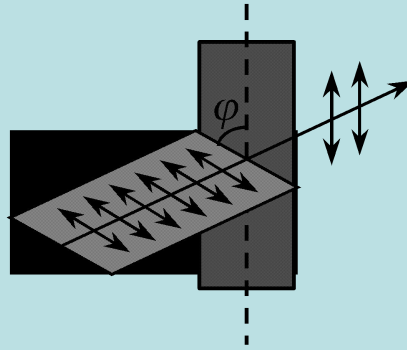
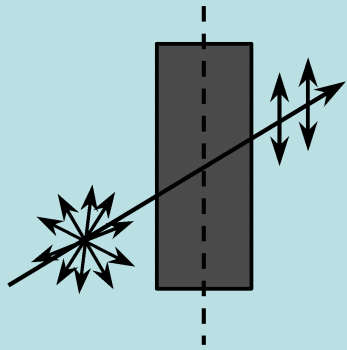
4. Анализ поляризованного света. Закон Малюса

Понятие поляризатора

Плоско-поляризованный свет можно получить из естественного с помощью приборов, называемых **поляризаторами**.



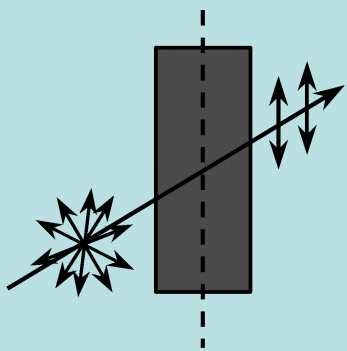
Эти приборы свободно пропускают колебания, параллельные плоскости, которую мы будем называть **плоскостью поляризации**, и полностью или частично задерживают колебания, перпендикулярные к этой плоскости.



Плоскость в которой колебания проходят свободно мы будем называть **плоскостью пропускания** поляризатора.

Колебания перпендикулярные этой плоскости, задерживаются полностью (**идеальный поляризатор**) или частично (**неидеальный поляризатор**).

Поляризаторы, которые используются для анализа поляризованного света, называются **анализаторами**.



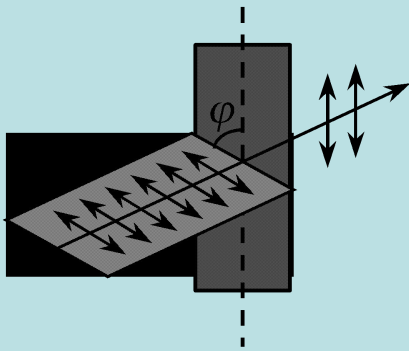
Пучок естественного света (излучаемый любым нелазерным источником) направить по нормали на поляризатор, то на выходе из поляризатора свет окажется плоско поляризованным.

Естественный свет можно представить как суперпозицию двух плоских некогерентных волн одинаковой интенсивности, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях.

При прохождении через поляризатор одна из этих волн полностью гасится поляризатором, а вторая проходит без изменений.

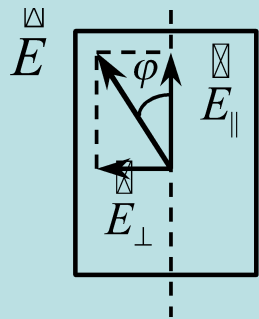
Следовательно, интенсивность естественного света $I_{\text{ест}}$ после прохождения через идеальный поляризатор уменьшается в два раза:

$$I = \frac{1}{2} I_{\text{ест}}$$



Пусть на поляризатор падает плоско поляризованный свет (значит, поляризатор в данном случае будет являться анализатором).

Плоскость поляризации света составляет угол Φ с плоскостью пропускания поляризатора.



$$E = E_{||} + E_{\perp},$$

Поляризатор пропускает лишь колебания вектора

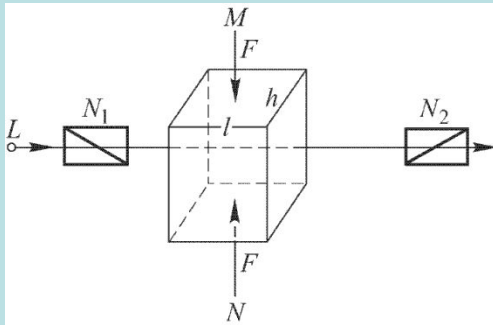
$$E_{||0} = E_0 \cos \varphi.$$

Переходя к интенсивностям, получаем **закон Малюса**: если на поляризатор падает плоско поляризованный свет интенсивности I_0 , то интенсивность прошедшего света

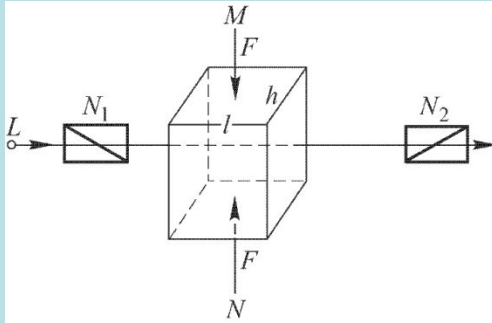
$$I = I_0 \cos^2 \varphi,$$

5. Искусственная оптическая анизотропия. Эффекты Керра.

Двойное лучепреломление может возникнуть в веществах, от природы оптически изотропных, но в которых под действием внешних полей выделяется определенное направление. Тогда оно называется искусственным двойным лучепреломлением или **искусственной оптической анизотропией**.



При одностороннем растяжении или сжатии прозрачного изотропного тела, например, стекла, направление деформации становится выделенным и играет роль оптической оси.



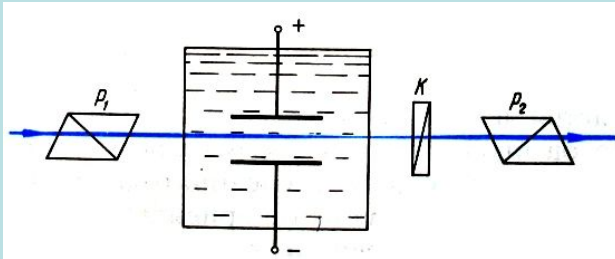
Опыт показывает, что разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей $n_o - n_e$, являющаяся мерой анизотропии, пропорциональна величине механического напряжения, возникающему в теле.

$$P = F/S = F/lh$$

P - величине силы, приходящейся на единицу площади:

$n_o - n_e = kP$ где k – константа вещества, причем эта разность может иметь разный знак в зависимости от вещества.

Эффект Керра.

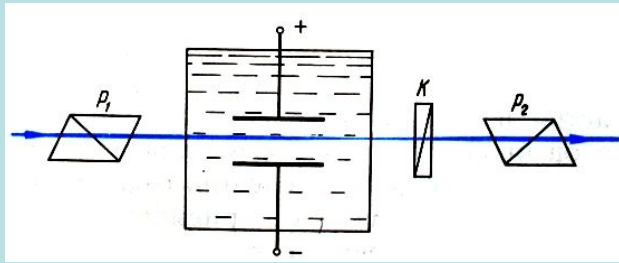


Двойное лучепреломление в жидкостях и аморфных телах возникает под действием электрического поля.

Это явление называется *эффектом Керра*.

Эффект Керра безынерционен: переход вещества из изотропного состояния в анизотропное при включении или выключении электрического поля происходит за время порядка 10^{-10} с.

Следовательно, его можно эффективно использовать в качестве идеального светового затвора в быстротекающих процессах (например, скоростная фото- и киносъемка).



$$n_e - n_o = KE^2$$

K – коэффициент пропорциональности,

E – модуль напряженности электрического поля.

Разность фаз, приобретаемая лучами на пути **l**

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} l(n_e - n_o) = 2\pi B l E^2,$$

$B = K/\lambda$ – постоянная Керра, характеризующая вещество.

Значения постоянной Керра для разных веществ
меняются в широких пределах

6. Оптически активные вещества. Вращение плоскости поляризации света. Явление Фарадея.

Вращение плоскости поляризации

Некоторые вещества, называемые оптически активными, обладают способностью вызывать вращение плоскости поляризации проходящего через них плоско-поляризованного света.

Это кристаллические тела, например, кварц; чистые жидкости, например, скипидар; некоторые растворы.

Кристаллические тела сильнее всего вращают плоскость поляризации в случае, когда свет распространяется вдоль оптической оси кристалла.

Угол поворота φ пропорционален пути l , пройденному лучом в кристалле:

$$\varphi = \alpha l$$

Коэффициент α называется *постоянной вращения*.

Эта постоянная зависит от длины волны.

Вращение плоскости поляризации

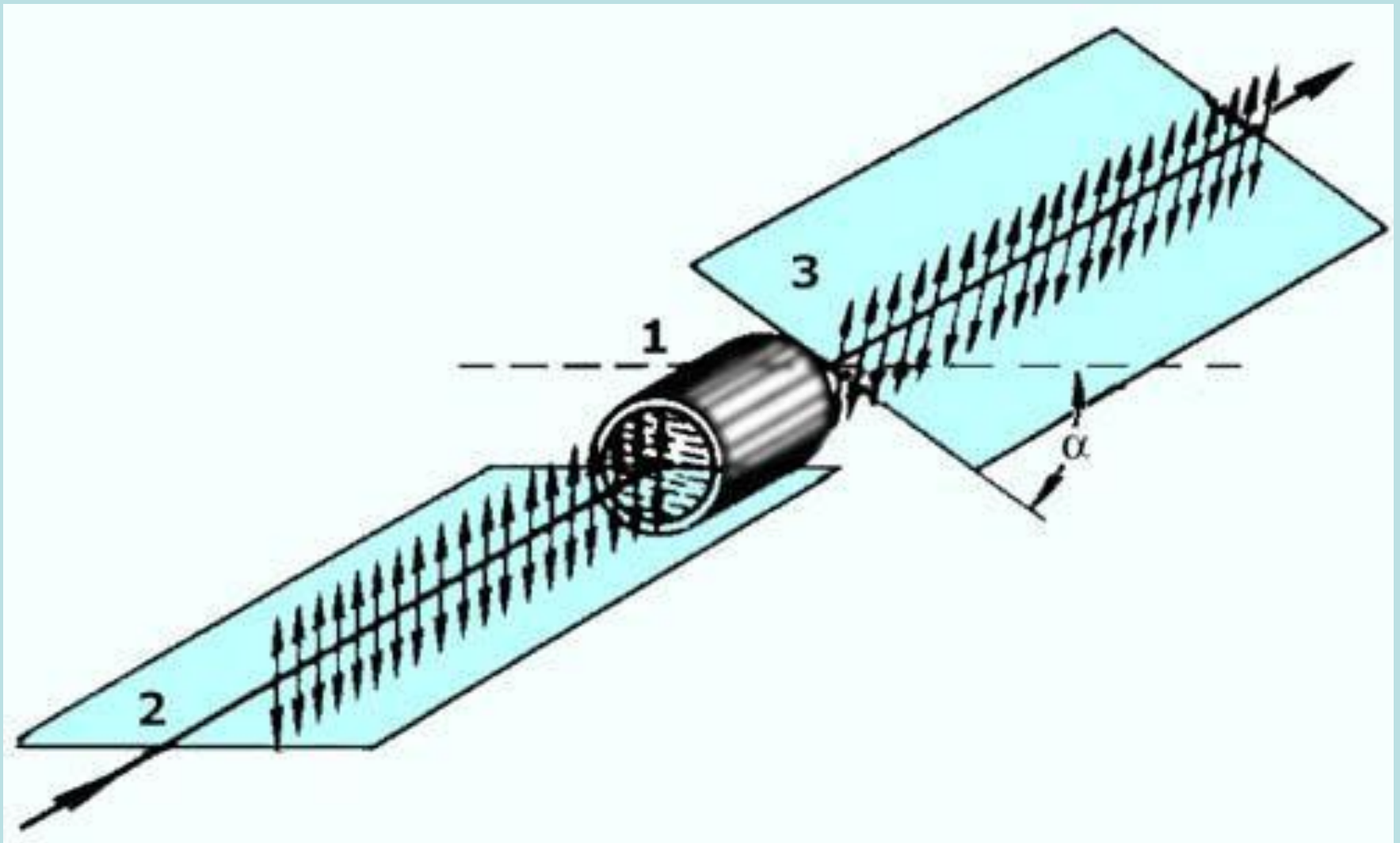
В зависимости от направления вращения плоскости поляризации оптически активные вещества подразделяют на *право-* и *лево-вращающие*.

Все оптически активные вещества могут быть право- и лево-вращающими.

Если между двумя скрещенными поляризаторами поместить оптически активное вещество, то поле зрения просветляется.

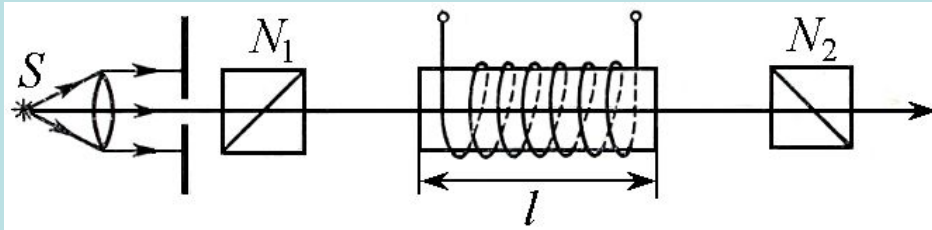
Чтобы снова получить темноту, нужно один из поляризаторов повернуть на угол φ .

Оптически активные вещества используются для определения концентрации растворов и различных других целей.



Эффект Фарадея.

Схема наблюдения эффекта Фарадея

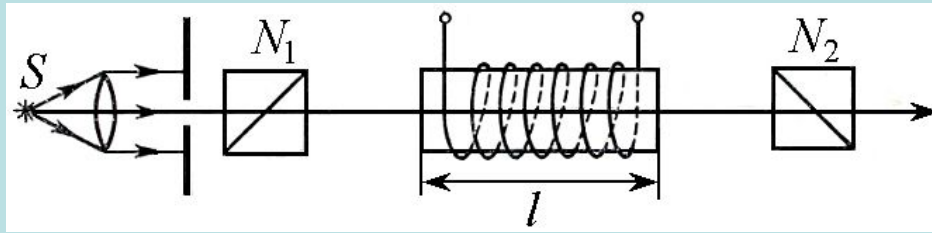


Фарадеем было обнаружено вращение плоскости поляризации при распространении света в оптически неактивной среде, возникающее под действием магнитного поля

Исследуемое вещество помещается внутрь соленоида, находящегося между скрещенными поляризаторами.

Если по катушке не течет ток, свет через систему не проходит.

Если катушку подсоединить к источнику тока, то в ней возникает магнитное поле, и свет проходит через поляризаторы.



Анализ прошедшего света показывает, что он остается плоско поляризованным, однако плоскость его поляризации повернута по отношению к плоскости поляризации падающего на вещество света. Угол поворота плоскости поляризации пропорционален длине пути l в веществе и индукции магнитного поля B :

$$\psi =$$

коэффициент R называется постоянной Верде

$$R/lB,$$

Эффект Фарадея используется для управления поляризацией света, а также в оптических изоляторах (устройствах, пропускающих свет только в одном направлении).

Искусственное двойное лучепреломление



Рис. 3.13

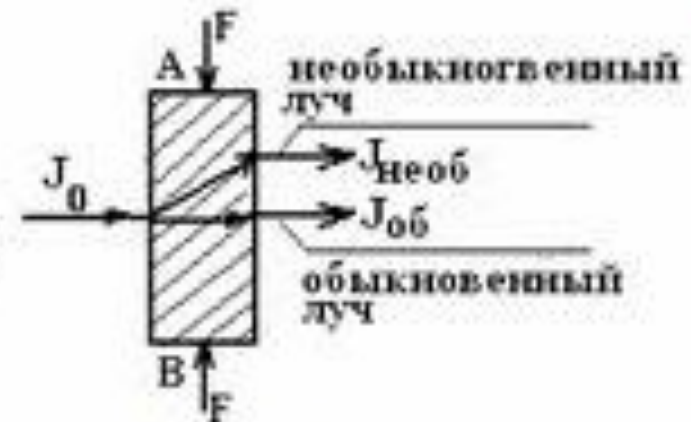


Рис. 3.14

