

Тема 3. Поляризация света

Следствия из теории Максвелла (см. раздел Интерференция света) объясняют векторную диаграмму электромагнитной волны.

Важны два обстоятельства:

- 1) поперечность электромагнитных волн, несимметричность относительно направления скорости распространения, \vec{E} и \vec{H} -поло-
- 2) однозначная (пространственная) связь векторов \vec{E} и \vec{H} - положение одного полностью определяет положение другого, т.к. векторы \vec{E} , \vec{H} и \vec{v} образуют правоугольную систему координат.

Только поперечные волны обладают по самой природе присущим им свойством, известным под названием поляризация волн.

Под поляризацией света понимается пространственное соответствие между направлением распространения света и направлением его электрического (или магнитного) вектора. Ведь теория Максвелла утверждает только, что эти векторы лежат в плоскости перпендикулярной к направлению распространения света, но не накладывают никаких ограничений на их поведение в этой плоскости.

Как ведет себя, например, электрический вектор? Будет ли он фиксирован в каком-то определенном направлении, или вообще в этой плоскости, и в каком именно (линейная поляризация), совсем ли не будет фиксирован, или только частично, или же его направление может изменяться по определенному закону.

Возможны все эти случаи, и все они составляют разные типы поляризации света.

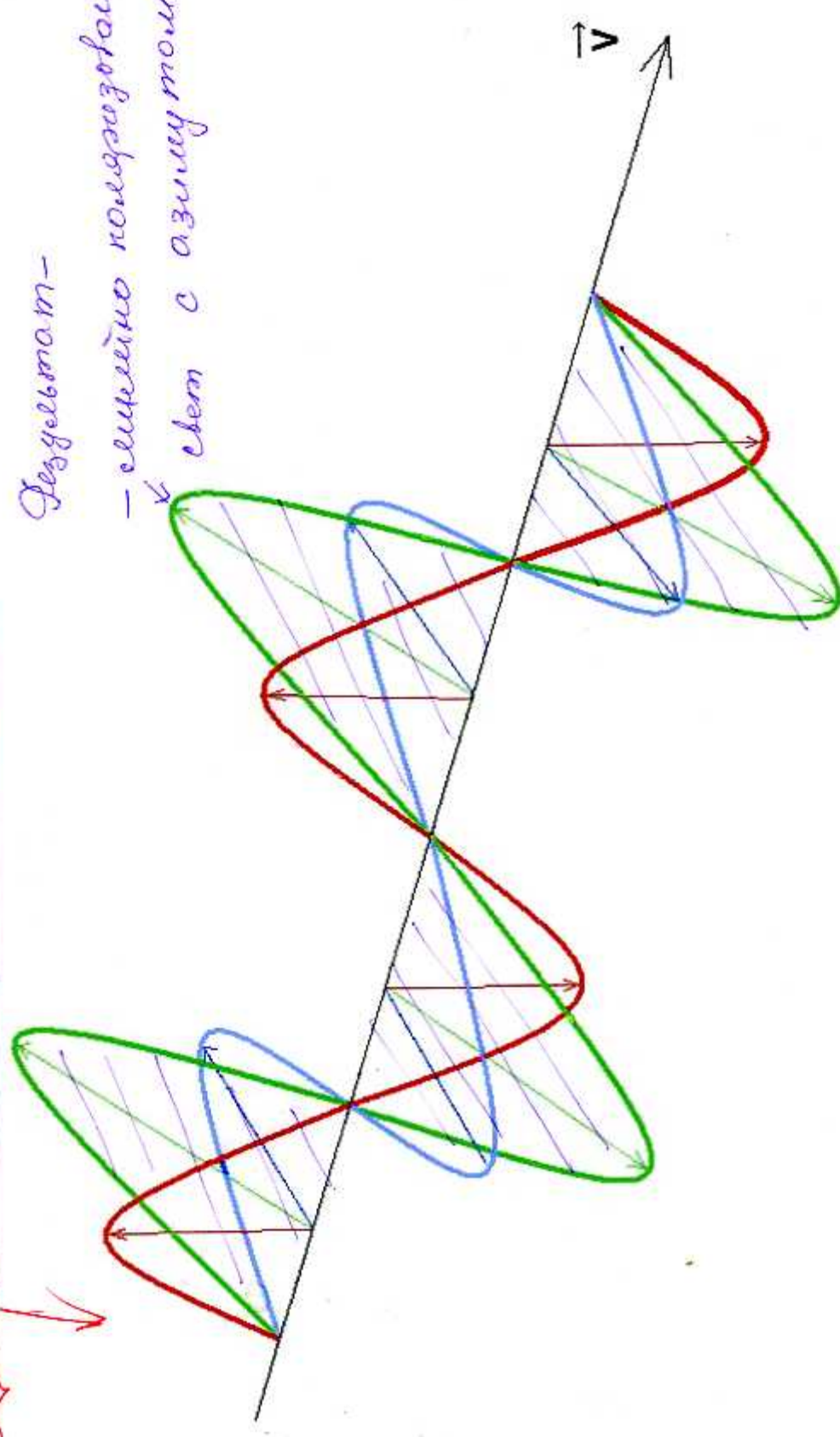
Если при распространении световой волны (как единого целого совокупности элементарных электромагнитных волн) направление колебаний электрического вектора бессистемно, хаотически меняется, и, следовательно, любое его направление в плоскости \perp к направлению волны, равновероятно, то такой свет называют неполяризованным, или естественным.

Если колебания электрического вектора фиксированы строго в определенном направлении, то свет называется линейно поляризованным. Различают только линейно поляри-

Он может быть вертикально линейно поляризован, горизонтально линейно поляризован, или линейно поляризован по какому-либо другому направлению.

Из когерентных линейно поляризованных лучей при определенной разности фаз можно получить излучение поляризованное по кругу или эллиптически поляризованное (см. рис.)

Периодические линейно поляризованный свет:
 $A_1 = A_2$ и совпадают по фазе $\varphi_1 = \varphi_2$

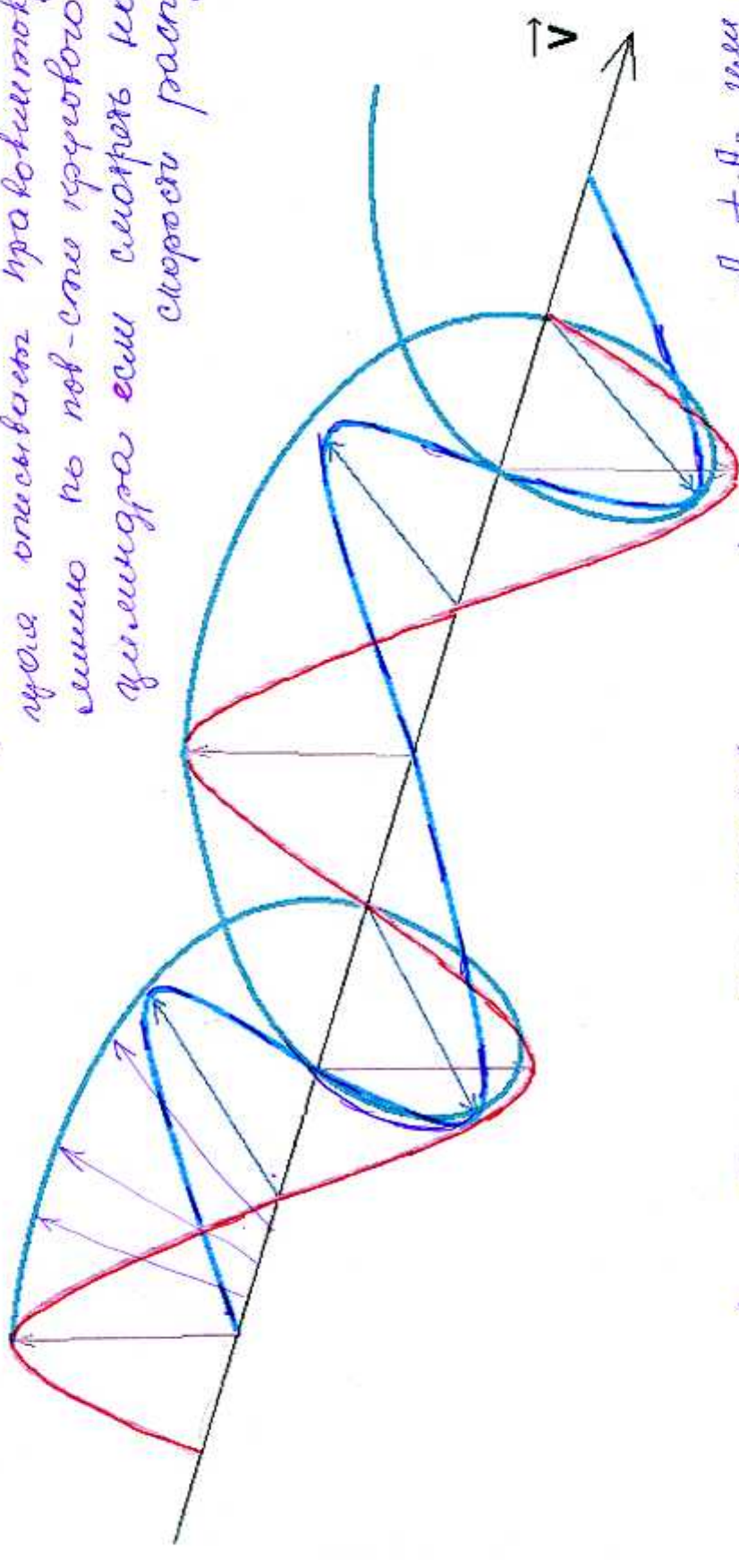


Результатом —
 — линейно поляризованный свет с азимутом $+45^\circ$

если обрат фаз $\pi (2/2)$ по азимут -45°

$\omega_1 = \omega_2$! Поучимся циркулярной поляризации из двух линейно поляризованных волн с разностью фаз $\pi/2$ (разность хода $\lambda/4$)

1-ая волна (красн.) отстает от 2-ой (син.) по фазе на $\pi/2$ - результирующую волну описывает правокрутую спираль по направлению движения если смотреть вдоль скорости распространения.



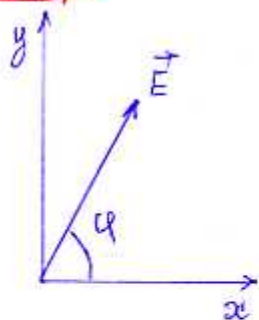
если $A_1 \neq A_2$ или разность фаз колебаний $-\Delta\varphi \neq \frac{\pi}{2}$, возникает эллиптическая поляризация.

если первая будет опережать вторую - то получится левая спираль.



Скорость направления света

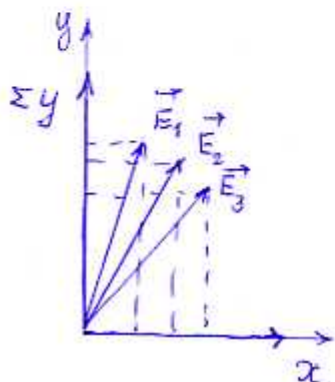
Полар.



Удобно графически изобразить поляризованный свет в виде проекции траектории колеблющегося вектора на плоскость перпендикулярную скорости распространения.

φ - азимут поляризации.

Если по одному направлению идет два луча - естественный и линейно поляризованный, то получившаяся смесь будет частично поляризованным светом.



Графически этот тип поляризации можно показать таким образом:

Выберем в плоскости колебаний электрического вектора произвольно ориентированную ортогональную систему координат.

Мысленно спроектируем все возможные положения электрического вектора на оси x и y , а затем просуммируем все x и y компоненты.

В случае естественного света эти две суммы всегда при любой ориентации систем координат будут равны, т.е.:

$$\Sigma x = \Sigma y$$

В случае линейно поляризованного света

$$\text{или } \Sigma x = 0, \text{ или } \Sigma y = 0$$

Наиболее общий случай - частичная поляризация, когда $\Sigma x \neq \Sigma y$

Частично поляризованный свет можно охарактеризовать величиной, называемой степенью поляризации - p .

Если интенсивность суммарной x -компоненты обозначить $I_x (I_{\max})$ а y -компоненту $I_y (I_{\min})$, то:

$$p = \frac{I_y - I_x}{I_y + I_x} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

Для линейно поляризованного света $p = 1$ или 100%, а для естественного $p = 0$ или 0%.

Обратите внимание:

Естественный свет может быть представлен как совокупность двух взаимно перпендикулярно поляризованных лучей равной интенсивности (некогерентных). И наоборот - из двух взаимно перпендикулярно поляризованных (некогерентных) лучей равной интенсивности образуется естественный свет.

Частично поляризованный свет можно представить как совокупность естественного света и линейно поляризованного.

Поляризация при отражении света от границы диэлектрика (изотропной среды).

Вопрос: что такое изотропная среда?

При прохождении света через границу изотропных сред он всегда испытывает и отражение и преломление (по энергии-интенсивности), при этом и в отраженном и преломленном лучах возникает поляризация, причем линейная (экспериментальный факт - Малюс),

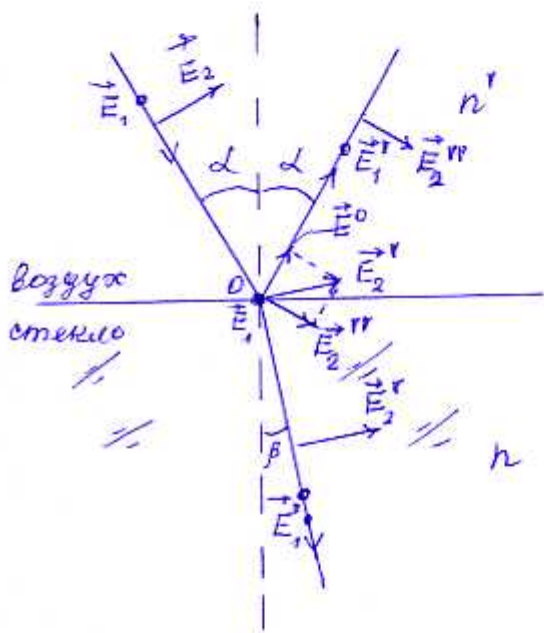
Представим себе, что на границу воздуха и стекла падает естественный свет интенсивностью I_0 (рис. 1). Это можно представить как совокупность двух взаимно перпендикулярно поляризованных компонент равной интенсивности. Вспомнив, что, интенсивность пропорциональна квадрату амплитуды ($I \sim A^2 \sim E^2$), поговорим о направлениях векторов напряженности электрического поля в падающей волне.

Эксперимент показал, что поляризация происходит в направлениях, связанных с плоскостью падения лучей на границу раздела сред, причем параллельно (летит в плоскости) плоскости падения луча и перпендикулярно плоскости падения.

На рис. 1 векторы $\vec{E}_1 \perp$ плоскости падения, $\vec{E}_2 \parallel$ плоск. пад. Причиной возникновения в точке O отраженного и преломленного лучей является взаимодействие падающего света со средой. Эти вторичные волны - следствие электромагнитных колебаний, вызванных в атомах среды падающим светом (атомы среды - вторичные источники по принципу Гейгенса). (точка O - вторичный источник)

В силу поперечности электромагнитных волн (следствие из уравнений Максвелла) вектор E_1 может распространяться как в отраженном, так и преломленном лучах, а от вектора E_2 в отраженном луче может распространяться только его часть - проекция вектора \vec{E}_2 на направление \perp отраженному лучу. Проекция вектора E_2 на направление отраженного луча - \vec{E}^0 распространяться не может.

Степень поляризации отраженного луча позволяют определить формулы Френеля.



В разделе "Электричество" Вы должны были встретиться с формулами Френеля, описывающими поведение вектора напряженности электрического поля на границе диэлектриков. Мы напишем эти выражения не для вектора, а для интенсивности, поскольку нас интересует коэффициент отражения света на границе раздела сред, который определяется как:

$$R = \frac{I_{\text{отр}}}{I_0}, \quad \text{где } I_{\text{отр}} = I_{\perp} + I_{\parallel} \quad (\text{отраженный})$$

I_0 - падающий естественный свет.

I_{\perp} - это интенсивность отраженного света, поляризованного перпендикулярно плоскости падения света

I_{\parallel} - это интенсивность отраженного света, поляризованного параллельно плоскости падения

} определяются формулами Френеля →

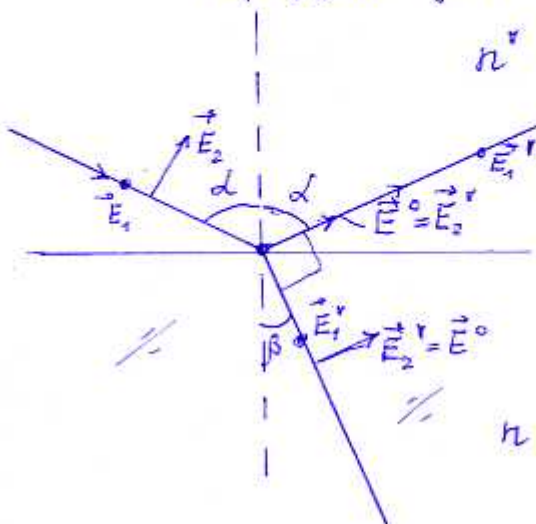
$$\rightarrow \begin{cases} I_{\perp} = 0,5 I_0 \frac{\sin^2(\alpha - \beta)}{\sin^2(\alpha + \beta)} \\ I_{\parallel} = 0,5 I_0 \frac{\cos^2(\alpha - \beta)}{\cos^2(\alpha + \beta)} \end{cases}$$

1) где α и β углы падения и преломления на границе сред (рис.)

2) Отсчет интенсивности идет от $0,5 I_0$, т.к. каждой компоненте в падающем естественном свете по $0,5 I_0$.

Формулы Френеля показывают, что поляризованная компонента ведет себя по-разному и зависит от угла падения лучей на границу сред.

Существует такой угол падения, при котором в отраженном луче присутствует только перпендикулярная компонента. Это происходит тогда, когда отраженный и преломленный лучи образуют угол 90° .



Условием наблюдения полной поляризации отраженного луча является соотношение: $\tan \alpha = \frac{n_2}{n_1}$. Экспериментально это явление описывает закон Брюстера, и оно носит название закона Брюстера, а угол α - $\alpha_{\text{Бр}}$ или угол полной поляризации.

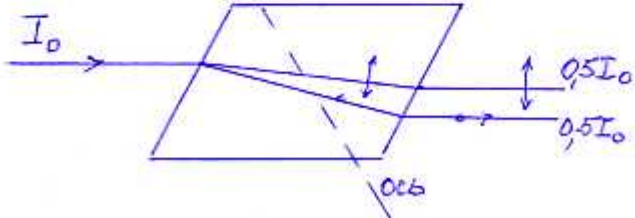
Из формулы Френеля при падении луча под углом Брюстера можно получить, что $I_{\parallel} = 0!$

Поляризация света при двойном лучепреломлении в анизотропных средах.

Вопрос: что такое анизотропная среда?

Явление двойного лучепреломления наблюдается в одноосных кристаллах: исландском шпате (CaCO_3), кварце, турмалине, слюде.

Мы рассмотрим первые два. Кристалл исландского шпата.



Экспериментально обнаружено, что луч естественного света, падающего на кристалл исландского шпата (как показано на рисунке) в кристалле разделяется на два луча линейно поляризованных перпендикулярно друг другу и идут в кристалле по разным направлениям.

Так же, как при отражении от изотропной среды, ориентации векторов напряженности электрического поля в этих лучах строго фиксированы в пространстве относительно плоскости главного сечения кристалла. Плоскостью главной сечения называется плоскость, образованная падающим лучом и направлением оптической оси. (на рис. плоскость шпата була).

Луч, поляризованный в плоскости перпендикулярной плоскости главной сечения, носит название обыкновенный. Для этого луча, показатель преломления исландского шпата одинаков для разных углов падения (обозначен n_o), и для него выполняется закон геометрической оптики (например, закон преломления). Показатель преломления исландского шпата для луча обыкновенного (зависит только от λ) но в среднем постоянным и можно считать, что равен $n_o = 1,658$.

Луч, поляризованный в плоскости главной сечения, носит название необыкновенный. Для этого луча показатель преломления исландского шпата для разных углов падения (обозначен n_e), и для него, соответственно не выполняются закон геометрической оптики. Показатель преломления исландского шпата для луча необыкновенного меняется в пределах $n_e = 1,486 \div 1,658$.

$n_e < n_o$, соответственно $v_o < v_e$, т.е. скорость распространения необыкновенного луча в кристалле исландского шпата больше скорости распространения луча обыкновенного. Такой кристалл называется отрицательным.

Двойное лучепреломление в одноосном кристалле отсутствует, если луч падает по направлению оси кристалла.

Большой интерес представляет случай распространения света в направлении перпендикулярном к оптической оси кристалла. Как показывает опыт, в этом случае также отсутствует двойное лучепреломление, но дополнительные исследования позволяют установить, что разность показателей преломления ($n_o - n_e$) оказывается наибольшей. Следовательно, если на кристалле падает линейно поляризованный свет с любым азимутом поляризации, то в нем вдоль и том же направлении (перпендикулярно к оптической оси кристалла) будут распространяться две волны с разными скоростями ($v_o = \frac{c}{n_o}$ и $v_e = \frac{c}{n_e}$) поляризованные в двух взаимноперпендикулярных направлениях.

В зависимости от толщины кристалла они выйдут из него с той или иной разностью фаз $\Delta\varphi$.

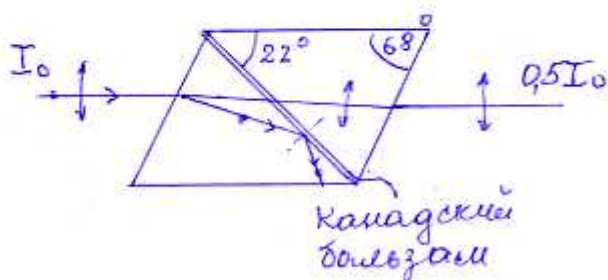
Типы (или виды) получившейся поляризации в зависимости от $\Delta\varphi$ рассмотрим позднее.

Для исследования влияния поляризованного излучения на физические, химические, биологические и др. объекты, надо получать поляризованное излучение. Для этих целей существует достаточно большое количество устройств.

Уже, наиболее часто используемый прибор, созданный из кристалла исландского шпата - призма Николя (николь).

Он состоит из кристаллов исландского шпата склеенных своим канадским балъзамом (сома канадской сосны). Угол склейки подобран таким образом, что обыкновенный луч претерпевает полное внутреннее отражение на границе шпата-балъзам и помещается нижней затронутой гранью кристалла, а необыкновенный, поляризованный в плоскости шпата луч, совпадающей с плоскостью падения лучей, проходит сквозь николь.

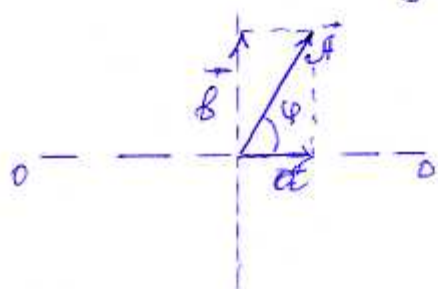
При таком ходе лучей показатель преломления исландского шпата для луча обыкновенного $n_o \approx 1,66$, для необыкновенного $n_e = 1,48$, канадской балъзам - среда изотропная с $n_g = 1,53$.



Если на николь падает естественный свет (и помещенная в нем нет) то на выходе из него необыкновенный луч интенсивностью $0,5 I_0$.

Поляр.

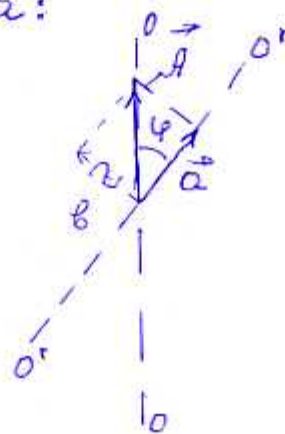
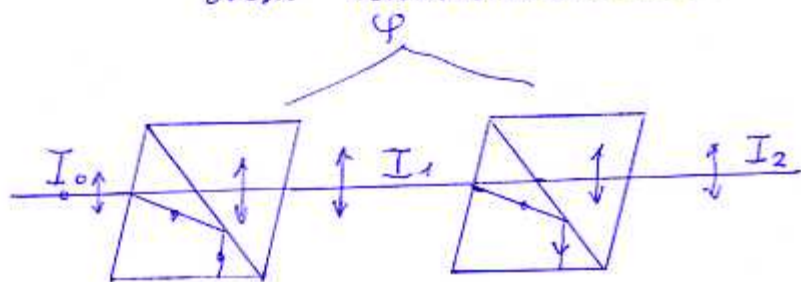
Если на николь падает линейно поляризованный свет с азимутальной поляризацией φ , он, естественно, разлагается на 2 луча, поляризованных, соответственно, в плоскости главного сечения и перпендикулярно плоскости главного сечения (рис. — OO плоскость гл. сеч. николя)



Если амплитуда колебаний в падающем луче A , интенсивность I_0 , соответственно, $I \sim A^2$
Амплитуда колебаний в луче, поляризованном в плоскости главного сечения (луч необыкновенного для данного николя) равна —

- $a = A \cos \varphi$, а интенсивность $I \sim A^2 \cos^2 \varphi = I_0 \cos^2 \varphi$
- закон Малюса. (обыкновенный луч не выходит)

Если есть система двух расположенных последовательно николей, между плоскостями главных сечений которых угол φ , а на первый николь падает естественный свет интенсивностью I_0 , тогда:



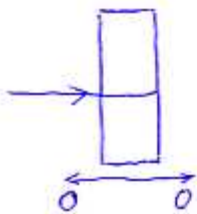
$I_1 = 0,5 I_0$, а, исходя из вышесказанного,

$$\underline{I_2 = I_1 \cos^2 \varphi = 0,5 I_0 \cos^2 \varphi}$$

Вращение плоскости поляризации.

Вещества, обладающие способностью вращать плоскость поляризации, называются оптически активными.

Этот эффект наблюдается у ряда кристаллических и аморфных тел. Из кристаллических тел наиболее часто вращение плоскости поляризации используется в кристаллах кварца. Если на пластинку, вырезанную из кварца перпендикулярно оптической оси, падает линейно поляризованный свет (вдоль оптической оси), как мы видели ранее, он не испытывает двойного лучепреломления, но зато, как показывает эксперимент, испытывает вращение плоскости поляризации.



Опыт показал, что угол поворота φ плоскости поляризации на выходе из пластинки толщиной d определяется выражением $\varphi = \alpha d$, где α - постоянная вращения, т.е. величина численно равная углу поворота плоскости поляризации при прохождении лучом единиц длины пути (размерность $^\circ/\text{см}$).

$\alpha \sim 1/\lambda^2$, т.е. сильно зависит от длины волны падающего на кристалл света. (Так для толщин кристалла $d = 1 \text{ мм}$ угол поворота для желтых лучей $\approx 20^\circ$, а фиолетовых $\approx 50^\circ$).

Аналогичные явления вращения плоскости поляризации наблюдаются в чистых жидкостях (скипидаре, камфоре, никотине и др.) и в растворах (сахара, патоки, уксусной кислоты и др.)

Оптическая активность жидкостей связана с асимметрией строения молекулы и зависит от концентрации растворов.

Если длина кюветы с оптически активным веществом обозначить - d , концентрацию вещества - c , α - постоянную вращения для данного вещества, то $\varphi = \alpha c d$.

Вращение плоскости поляризации используется в производственных растворах и биологических объектах (напр. в медицинских исследованиях сахара в крови, моче).

Пластины $\frac{\pi}{4}$ и $\frac{\pi}{2}$

Особый случай (как мы уже говорили выше (стр. 6)) представляет собой идеальное линейно поляризованный свет перпендикулярно оптической оси кристалла.

При прохождении света через такую систему в разных ситуациях можно получить из линейно поляризованного света свет с круговой или эллиптической поляризацией, и наоборот - из поляризованного по кругу, или эллипсу, получить свет линейно поляризованный.

Обычно для этих целей используются кристаллы кварца.

Кварц тоже имеет разные показатели преломления для лучей обыкновенного и необыкновенного.

Для длины волны $\lambda = 546 \text{ нм}$ показатель преломления кварца для луча обыкновенного $n_o = 1,544$, а необыкновенного $n_e = 1,533$, соответственно скорости распространения луча обыкновенного больше скорости необыкновенного $v_o > v_e$.

Поскольку при таком направлении падающего света расхождение возникло перпендикулярно поляризованным лучам не происходит, но скорости их разные, то в кварце обыкновенный луч по фазе опережает луч необыкновенный. Такой кристалл в отличие от кристалла исландского шпата носит название - положительный.

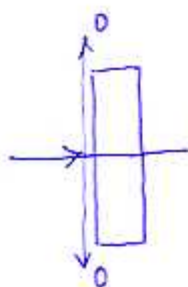
3) Если азимут поляризации в падающем луче не равен $\frac{\pi}{4}$ и лежит в пределах $0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$, на выходе из кристалла будет наблюдаться эллиптическая поляризация.

Если же азимут поляризованного света падающего на вырезанную параллельно оптической оси кристалла кварцевую пластинку (см. рис.) равен $\frac{\pi}{4}$, а толщина пластинки подобрана так, чтобы обыкновенный луч опережал по фазе необыкновенный на $\frac{\pi}{2}$, то из пластинки выйдет луч поляризованный по кругу.

Итак, самая тип толщина пластинки должна быть подобрана так, чтобы в ней разность фаз колебаний лучей обыкновенного и необыкновенного составила $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$

Зная, что разность фаз колебаний связана с их оптической разностью хода выражением:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta}{\lambda}, \quad \text{а } \Delta \text{ в этой пластинке: } \Delta = (n_o - n_e)d \quad \textcircled{9}$$



Можно записать

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi(n_e - n_o)d_{\min}}{\lambda} = \frac{\pi}{2}, \text{ тогда}$$

оптическая разность хода $d_{\min}(n_e - n_o) = \frac{\lambda}{4}$, а

d_{\min} соответственно:

$$d_{\min} = \frac{\lambda}{4(n_e - n_o)}$$

В общем случае толщина пластинки должна быть такой, чтобы разность фаз колеблющихся лучей при выходе из нее была кратна $\frac{\pi}{2}$.

$$\text{т.е. } \Delta\varphi = \frac{2\pi(n_e - n_o)d}{\lambda} = (2k+1)\frac{\pi}{2}, \text{ а}$$

$$d = (2k+1)\frac{\lambda}{4(n_e - n_o)}, \text{ где } k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Такого типа пластинки носят название четвертьволновые, или пластинка в четверть длины волны.

Если на такую пластинку падает свет с круговой поляризацией, то на выходе возникает свет с линейной поляризацией.

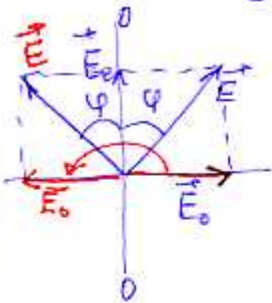
2) Если на кварцевую пластинку, вырезанную также перпендикулярно оптической оси падает линейно поляризованный свет, а толщина пластинки такая, что обыкновенный луч опережает по фазе необыкновенный на $\Delta\varphi$ кратную нечетному числу $\frac{\pi}{2}$, то на выходе из нее выйдет тоже линейно поляризованный свет, но с другой азимутальной поляризацией.

Тогда толщина такой пластинки определяется из выражения

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

а оптическая разность хода $d(n_e - n_o) = \frac{\lambda}{2}$

Такие пластинки носят название полуволновые.

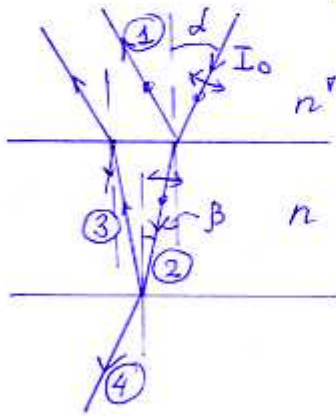


Пол.ар.

Задача 1. Естественный свет интенсивностью I_0 падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку.

Угол падения равен углу полной поляризации. При таком угле падения на стекло интенсивность отраженного луча составляет около 0,1 от интенсивности падающего естественного света. Определить интенсивность естественного и поляризованного света в лучах, помеченных цифрами на рисунке. Помощника света в стекле пренебречь.

$I_0 = 0,5I_{0\perp} + 0,5I_{0\parallel}$



① $I_{1\perp} = 0,1I_0$ - I_{\perp} полностью поляризован \perp плоскости падения

② $I_2 = 0,9I_0$ - частично поляризован, где

$I_{2\perp} = 0,5I_0 - 0,1I_0 = 0,4I_0$

$I_{2\parallel} = 0,5I_0$ - сколько было, столько осталось

$I_{2\text{ест}} = 0,4I_{0\perp} + 0,4I_{0\parallel} = 0,8I_0$

$I_{2\text{пол.ар.}\parallel} = 0,1I_0$

③ Есть плоскопараллельная пластинка. Показать, что, если на верхнюю грань пластинки падает луч под углом полной поляризации (углом Брюстера), т.е. выполняется условие:

$\text{tg } \alpha = \frac{n'}{n}$, то на нижней грани луч падает тоже под углом Брюстера, т.е. выполняется условие:

$\text{ctg } \beta = \frac{n'}{n}$

т.е. угол β - тоже угол полной поляризации с коэффициентом отражения 0,1. (к)

где $k = \frac{I_{\text{отр}}}{I_{\text{ест}}}$, тогда:

$I_{3\perp} = k \cdot I_{2\text{ест}} = 0,1 \cdot 0,8I_0 = 0,08I_0$

④ $I_4 = 0,9I_0 - 0,08I_0 = 0,82I_0$ - частично поляризован, где

$I_{4\perp} = 0,4I_0 - 0,08I_0 = 0,32I_0$

$I_{4\parallel} = 0,5I_0$ - сколько было, столько осталось

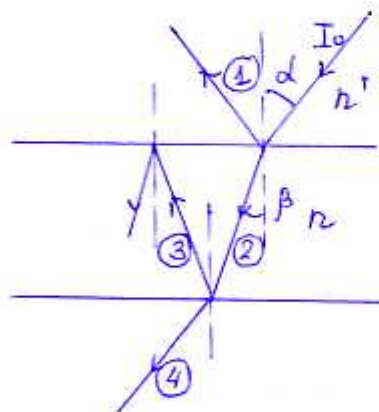
$I_{4\text{ест}} = 0,32I_{0\perp} + 0,32I_{0\parallel} = 0,64I_0$

$I_{4\text{пол.ар.}\parallel} = 0,18I_0$

Поляр.

Задача 2.

Луч естественного света проходит сквозь плоскопараллельную стеклянную пластинку ($n = 1,54$), падая на неё под углом Брюстера. Найдите степень поляризации лучей, прошедших сквозь неё.



Найдем коэффициент отражения:

$$K = \frac{I_{\text{отр}}}{I_{\text{ест}}} ; \quad (1) \quad \text{где } I_{\text{отр}} = I_{\perp} + I_{\parallel}$$
$$I_{\text{ест}} = I_0$$

по формулам Френеля:

$$\left. \begin{aligned} I_{\perp} &= 0,5 I_0 \frac{\sin^2(\alpha - \beta)}{\sin^2(\alpha + \beta)} \\ I_{\parallel} &= 0,5 I_0 \frac{\tan^2(\alpha - \beta)}{\tan^2(\alpha + \beta)} \end{aligned} \right\} (2)$$

$n = 1,54$
 $n' = 1$

При падении лучей под углом Брюстера:

$$\tan \alpha = \frac{n}{n'} = n = 1,54 \Rightarrow \alpha = 57^{\circ}, \text{ тогда } \beta = 33^{\circ}, \text{ т.к.}$$

при падении под углом Брюстера $\alpha + \beta = 90^{\circ}$,

отсюда:

$$\left. \begin{aligned} I_{\perp} &= 0,5 I_0 \frac{\sin^2 24^{\circ}}{\sin^2 90^{\circ}} = 0,083 I_0 \\ I_{\parallel} &= 0,5 I_0 \frac{\tan^2 24^{\circ}}{\tan^2 90^{\circ}} = 0 \end{aligned} \right\} \text{ и } K = \frac{0,083 I_0}{I_0} = 0,083$$

Далее как в задаче 1:

① $I_{1\perp} = 0,083 I$ - полностью поляризован

② $I_2 = 0,917 I_0$; где

$$I_{2\perp} = 0,05 I_0 - 0,083 I_0 = 0,417 I_0$$

$$I_{2\parallel} = 0,5 I_0$$

$$I_{2\text{ест}} = 0,834 I_0$$

Степень поляризации луча 2:

$$P_2 = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}} = \frac{I_{\parallel} - I_{\perp}}{I_{\parallel} + I_{\perp}} = \frac{(0,5 - 0,417) I_0}{0,917 I_0} = \frac{0,083}{0,917} = 0,0905 \approx 9\%$$

③ $I_{3\perp} = K \cdot I_{\text{ест}} = 0,083 \cdot 0,834 I_0 = 0,069 I_0$ полностью поляризован

④ $I_4 = 0,917 I_0 - 0,069 I_0 = 0,848 I_0$, где

$$I_{4\perp} = 0,417 I_0 - 0,069 I_0 = 0,348 I_0$$

$$I_{4\parallel} = 0,5 I_0$$

$$I_{4\text{ест}} = 0,348 I_{0\perp} + 0,348 I_{0\parallel} = 0,696 I_0$$

Степень поляризации луча 4:

$$P_4 = \frac{I_{\parallel} - I_{\perp}}{I_{\parallel} + I_{\perp}} = \frac{(0,5 - 0,348) I_0}{0,848 I_0} = \frac{0,152}{0,848} = 0,172 \approx 18\%$$

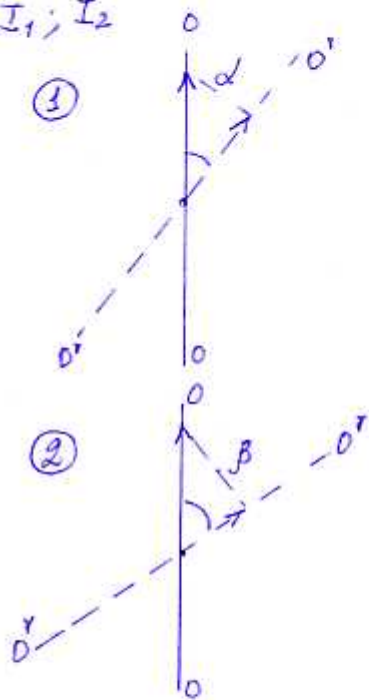
Вопрос: что такое угол Столемента, и для чего используется?

Поляр.

Задача 3

Угол между главными плоскостями двух поляризаторов равен 45° . Чему равна интенсивность света, прошедшего сквозь них, и во сколько раз она уменьшится, если угол увеличить до 60° . Падающий свет естественный, интенсивностью I_0

$\alpha = 45^\circ$
 $\beta = 60^\circ$
 $I_1; I_2$



OO - плоскость главного сечения первого николя.
O'O' - плоскость главного сечения второго николя.

① Из первого николя выйдет луч интенсивностью $0,5 I_0$, линейно поляризованный в плоскости OO. Пройдя второй николю, луч разлагается на два и на выходе остается одна интенсивность:

$I_1 = 0,5 I_0 \cos^2 \alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = 0,25 I_0$ (по закону Малюса)

② Аналогично

$I_2 = 0,5 I_0 \cos^2 \beta = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{8} = 0,125 I_0$, и

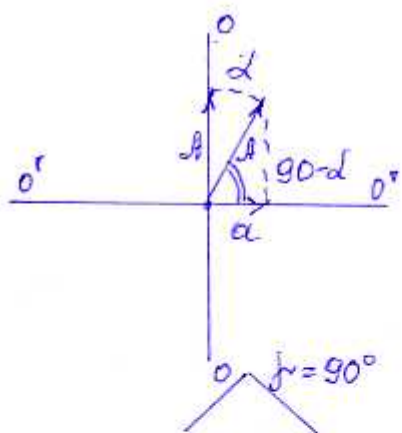
$\frac{I_1}{I_2} = 2$

Д.С. При отсутствии поглощения света в средах.

Задача 4

Естественный свет, интенсивностью I_0 падает на систему скрещенных николей, между которыми стоит клетка, заполненная жидкостью, вращающей плоскость поляризации. Длина клетки $l = 15$ см, удельное вращение $\varphi = 2^\circ/\text{см}$. Найти соотношение между интенсивностями выходящего и падающего лучей. (Поглощения света в средах нет).

$l = 0,15 \text{ м}$
 $\varphi = 2^\circ/\text{см}$
 $I = ?$



Скрещенные николи - означает, что между их главными плоскостями угол $\beta = 90^\circ$ (т.е. $OO \perp O'O''$)

Если между ними нет николя, на выходе интенсивность будет равна 0.

В нашей системе:

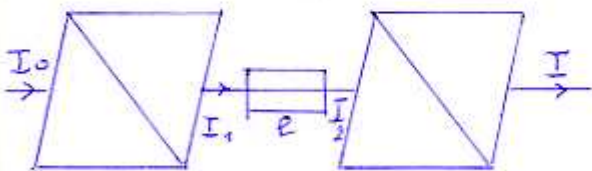
$I_1 = 0,5 I_0$

Попав в клетку луч испытывает только вращение плоскости поляризации на угол $\alpha = \varphi \cdot l = 30^\circ$, т.е. $I_2 = I_1$

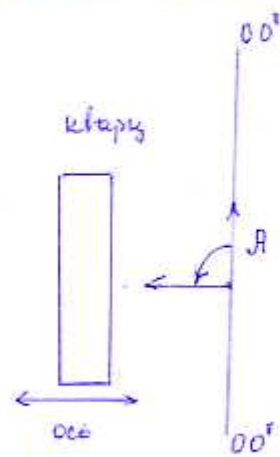
Пройдя 2-й николю луч опять разлагается на два и на выходе будет луч с амплитудой $a = A \cos(90 - \alpha)$ и тогда по закону Малюса

$I = 0,5 I_0 \cos^2(90 - \alpha) = 0,5 I_0 \cos^2 60^\circ = \frac{1}{8}$

Окончательно: $\frac{I}{I_0} = \frac{1}{8}$



Решар. Задача 5



Кварцевая пластинка, вырезанная перпендикулярно оптической оси и помещенная между поляризатором и анализатором с параллельными главными плоскостями, полностью затемняет поле зрения при прохождении через систему света с длиной волны λ . Толщина пластинки $d = 4,5 \text{ мкм}$. Найдите постоянную вращения кварца (α) для данной λ . (Помощь света в кристаллах пренебречь.)

По условию задачи плоскости главных осей никелей совпадают (на рис $OO'' \parallel O'O''$).

Из первого никеля (поляризатора) выходит луч полностью линейно поляризованный в плоскости главного сечения (обыкновенный).

Если бы между никелями не было пластинки кварца, то из анализатора (2-го никеля) вышел бы луч (обыкновенный и для него) с той же амплитудой A и интенсивностью $0,5 I_0$.

Но в пластинке кварца, стоящей за 1-ым никелем, при заданной ориентации кристалла (луч идет по направлению оптической оси кварца), линейно поляризованный луч испытывает вращение плоскости поляризации.

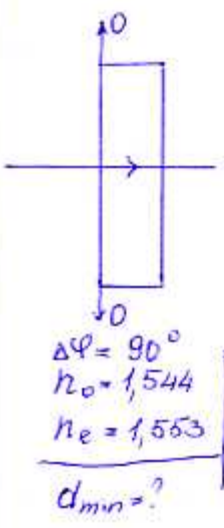
Первый раз затемнение произойдет (т.е. из 2-го никеля луч не выйдет) тогда, когда на 2-ой никель будет падать луч линейно поляризованный перпендикулярно плоскости главного сечения этого никеля (он будет для него лучом обыкновенным). Это произойдет тогда, когда в пластинке луч испытает поворот плоскости поляризации на угол $\varphi = 90^\circ$ (рис).

Тогда:

$$\varphi = \alpha \cdot d \Rightarrow \underline{\underline{\alpha = \frac{\varphi}{d} = \frac{90^\circ}{4,5} = 20^\circ/\text{мкм}}}$$

Номер: Задача 6

Какова должна быть минимальная толщина кристалла кварца (d_{min}) для того, чтобы сдвиг фаз обыкновенного и необыкновенного лучей составил 90° , если на кристалл падает свет с длиной волны $\lambda = 546 \text{ нм}$. Показатели преломления кварца для обыкновенного луча $n_o = 1,544$, а для необыкновенного - $n_e = 1,553$. Направление распространения падающего луча перпендикулярно оптической оси кристалла.



При заданной ориентации кристалла кварца луч света (линейно поляризованный) идет перпендикулярно оптической оси. В этом случае он разлагается на 2 луча, поляризованных в 2х взаимно перпендикулярных направлениях, но не испытывает двойного лучепреломления. Эти два луча (обыкновенный и необыкновенный для кварца) распространяются в том же направлении, но с разной скоростью, т.к. показатели преломления кварца для них разные, а $v = \frac{c}{n}$. Таким образом $v_o > v_e$ и обыкновенный луч опережает по фазе необыкновенный и возникает Δφ.

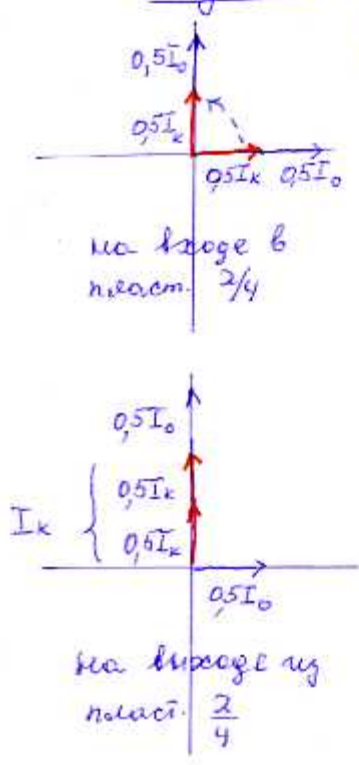
По условию задано $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$, оптическая разность хода этих лучей $\Delta = d(n_e - n_o)$, тогда

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi d_{min}(n_e - n_o)}{\lambda} = \frac{\pi}{2}, \text{ откуда}$$

$$d_{min} = \frac{\lambda}{4(n_e - n_o)} = \frac{546 \cdot 10^{-9}}{4(9 \cdot 10^{-3})} = \frac{546}{36} = 15,166 \approx 15,2 \text{ нм}$$

Задача 7.

Смесь света, поляризованного по кругу (I_k) и естественного (I_o) проходит через четверть-волновую пластинку (пластинку $\frac{\lambda}{4}$) и анализатор (призму Николя). При вращении анализатора интенсивность прошедшего света изменяется в 3 раза (I_{max}/I_{min}). Найти отношение I_k/I_o (помощники в срезах нет).



Поляризованный по кругу луч разлагается на две когерентные составляющие равной интенсивности (не испытывая двойного лучепреломления), и, как в предыдущей задаче, обыкновенный луч опережает по фазе необыкновенный на 90° . На выходе из пластинки $\frac{\lambda}{4}$ будет линейно поляризованный (в плоскости главного сечения кварца) луч интенсивностью I_k .

Решение.

Продолжение задачи 7

Всесторонний свет - это некогерентное излучение (в нем разность фаз колебаний хаотически бесцельно меняется).

При прохождении пластинки кварца он испытает простое разложение на две компоненты и на выходе будут два луча взаимно перпендикулярно поляризованные (обыкновенный и необыкновенный) равной интенсивности по $0,5I_0$ каждый.



Дано:

$$\frac{I_{\max}}{I_{\min}} = 3$$

$$\frac{I_k}{I_0} = ?$$

При вращении анализатора тогда, когда плоскость его главного сечения совпадет с плоскостью главного сечения пластинки кварца, на выходе из него будет свет интенсивностью $I_k + 0,5I_0$ - max возможно.

Когда плоскость главного сечения анализатора будет перпендикулярна плоскости главного сечения пластинки, на выходе из него будет свет интенсивностью $0,5I_0$ - min.

$$\text{Тогда: } \frac{I_{\max}}{I_{\min}} = \frac{I_k + 0,5I_0}{0,5I_0} = 3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{I_k}{0,5I_0} + 1 = 3 \Rightarrow \frac{2I_k}{I_0} = 2 \Rightarrow \frac{I_k}{I_0} = 1$$