

Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского
Радиофизический факультет

Отчёт по лабораторной работе №312
Изучение явлений двулучепреломления и поляризации
света на приборе Норренберга

Выполнили (420гр):
Горюнов О.А., Плешков Д.С., Сиднев А.А.

2022 г.

Содержание

1 Теоретическая часть	4
1.1 Введение	4
1.2 Двойное преломление и поляризация света в кристаллах	6
1.3 Поляризация световых волн при отражении и преломлении	7
1.4 Интерференция поляризованного света в параллельных лучах. Фазовые пла- стинки, вращение поляризации.	9
1.5 Бикварц	13
2 Практическая часть	14
2.1 Двойное преломление естественного света	14
2.1.1 Исландский шпат	14
2.1.2 Двулучепреломление естественного света	14
2.1.3 Какая волна в кристалле распространяется быстрее?	16
2.1.4 Ход лучей в кристалле	17
2.2 Наблюдение с полярископом	18
2.2.1 Наблюдение за изображением с анализатором	18
2.2.2 Двойное преломление поляризованного света	18
2.3 Опыты с чёрным зеркалом и стопой пластинок	19
2.3.1 Чёрное зеркало	19
2.3.2 Стопа пластин	20
2.4 Получение линейно, эллиптически и циркулярно поляризованного света . .	21
2.4.1 Определение типа пластинок	21
2.4.2 Наблюдение в белом свете	21
2.4.3 Фазовые пластины	22
2.5 Кварцевая пластина	23
2.5.1 Вращение плоскости поляризации кварцевой пластины	23
2.5.2 Наблюдение чередования цветов в кварцевой пластине	24
2.5.3 Бикварц	24
2.5.4 Наблюдение дополнительных цветов в половинках бикварца	25

2.6 Удвоитель Норренберга	25
3 Вывод	26

Цель работы - изучить явления двулучепреломление и поляризации в кристалах, а также интерференцию поляризованного света с помощью прибора Норенберга.

1 Теоретическая часть

1.1 Введение

Прибор Норенберга - универсальный учебный поляризационный прибор. Его можно использовать и как поляриском и как поляриметр. Он дает возможность получать поляризованный свет, изменить поляризацию света, анализировать поляризованный свет, наблюдать интерференцию в поляризованном свете и измерять углы поворота плоскости поляризации в оптически активных средах.

Прибор Норренберга состоит из поляризатора, анализатора, трех поворотных столовиков, револьверной обоймы для быстрой смены светофильтра и специального осветителя, смонтированного на общем основании с прибором.

Поляризатором служит прозрачное стеклянное зеркало в оправе, допускающей поворот вокруг горизонтальной оси и установку зеркала под углом Брюстера к отраженному вверх или вниз пучку света. Как известно, свет отраженный под углом Брюстера полностью линейно поляризован. Световая трубка осветителя имеет лишь две необходимые степени свободы, а именно: перемещение ее вверх и вниз (по двум вертикальным направлениям) и поворот вокруг горизонтальной оси, этого достаточно для направления светового пучка на поляризующее зеркало под углом Брюстера.

Особенностью прибора Норренберга нашей конструкции является возможность быстрой установки его как по обычной, простой схеме, так и по схеме «удвоителя Норренберга». В удвоителе поляризованный свет проходит через исследуемый образец дважды (вниз и после отражения от вспомогательного горизонтального зеркала вверх, по направлению к

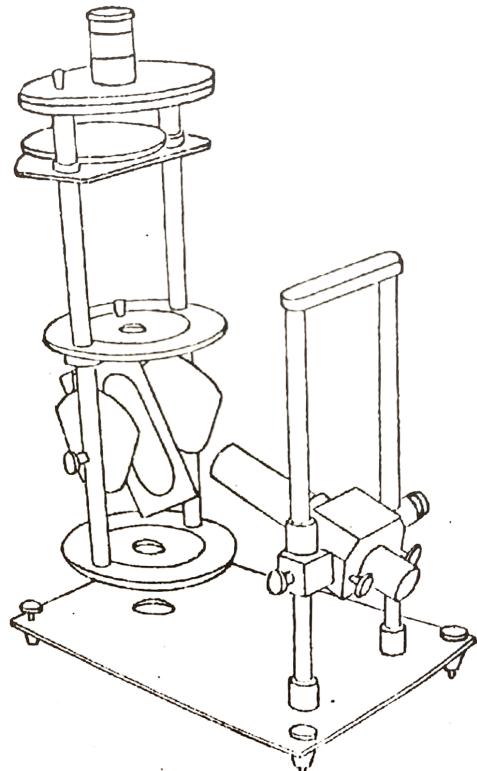


Рис. 1: Прибор Норенберга

глазу наблюдателя). Двойное прохождение света через образец позволяет наблюдать ряд новых интересных явлений.

Верхний столик предназначен для установки и поворота сменных анализаторов, которыми поочередно могут быть поляризационная призма из исландского шпата, пленочный поляроид в специальной оправе, черное зеркало и стопа стеклянных пластин.

Исследуемые образцы обычно помещают на среднем столике, а в схеме удвоителя их можно помещать как на среднем, так и на нижнем столике прибора.

Настроенный прибор Норренберга посыпает на исследуемый образец линейно поляризованный свет с колебаниями вектора \vec{E} , происходящими перпендикулярно плоскости падения в направлении перпендикуляра, соединяющего стойки прибора.

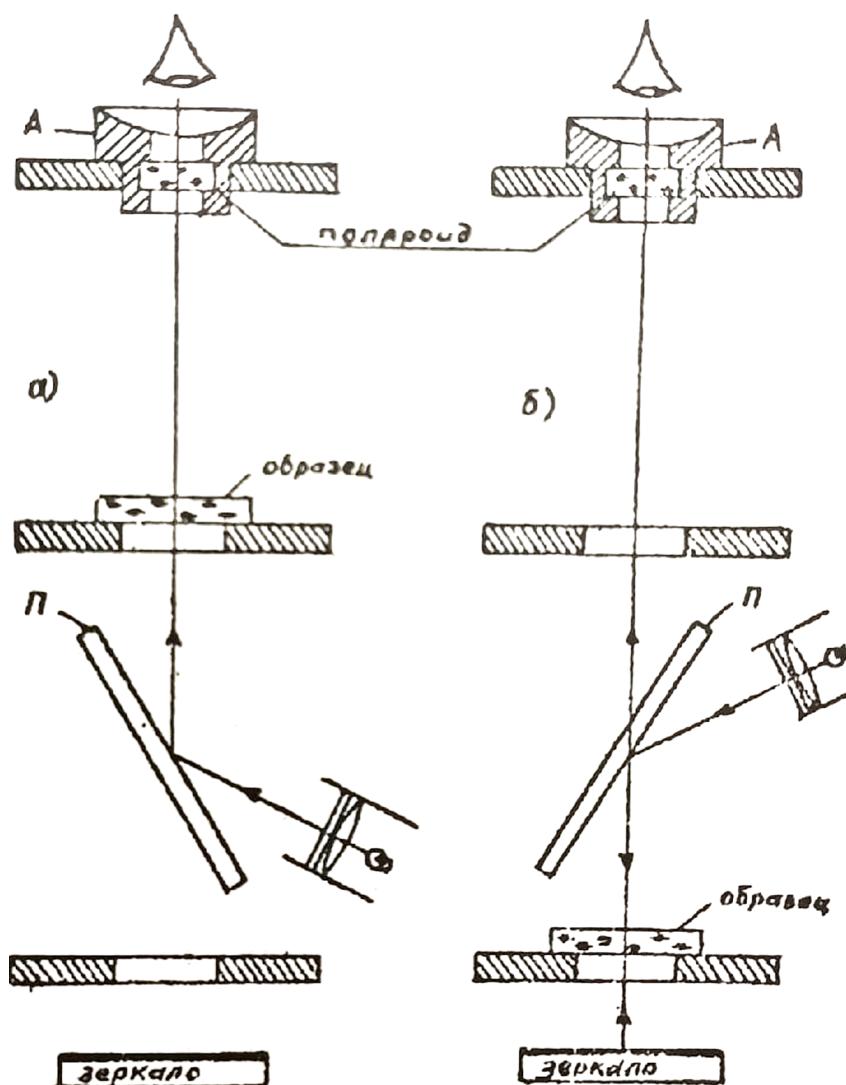


Рис. 2: Ход лучей в обычном приборе (а) и в удвоителе Норенберга (б)

1.2 Двойное преломление и поляризация света в кристаллах

Двойное преломление открыто в 1669 году датским ученым Эразмом Бартолином в кристаллах кальцита ($CaCO_3$), привезённых из Исландии. По месту находки кальцит назвали исландским шпатом. В 1690 году физик Христиан Гюйгенс открыл поляризацию света при двойном преломлении в кристаллах кальцита.

Природный кальцит легко колется по плоскостям спайности параллельным граням ромбоэдра. Поэтому ему нетрудно придать форму ромбоэдрической призмы или ромбоэдра. Ромбоэдр - это шестигранник, все шесть граней которого одинаковые ромбы. Его можно рассматривать как куб, сжатый вдоль одной из его пространственных диагоналей. Каждая из восьми вершин ромбоэдра есть вершина трехгранного угла, но две из них резко отличны от шести остальных. Две особенные вершины образованы тремя одинаковыми плоскими углами, равными 108° . каждая из шести остальных вершин образована тупым и двумя острыми углами в 78° .

Прямая, соединяющая две особенные вершины, есть короткая пространственная диагональ ромбоэдра и является его геометрической осью симметрии третьего порядка. При вращении ромбоэдра вокруг этой оси он через каждую третью полного оборота приходит в самосовпадение, занимая положение тождественное с исходным.

Направление оптической оси в кристалле $CaCO_3$ параллельно короткой пространственной диагонали ромбоэдра и образует углы $63^\circ 45'$ и $45^\circ 22'$ с его ребрами и гранями, соответственно. Плоскость, проходящую через падающий луч и направление оптической оси в точке падения, называют главной плоскостью или главным сечением двоякопреломляющего кристалла.

Для изготовления призмы Николя сильно удлинённую ромбоэдрическую призму из кальцита разрезают по плоскости, перпендикулярной главному сечению, на две равные части и склеивают их вновь канадским бальзамом. На рис.3 показано главное сечение АВСД призмы Николя.

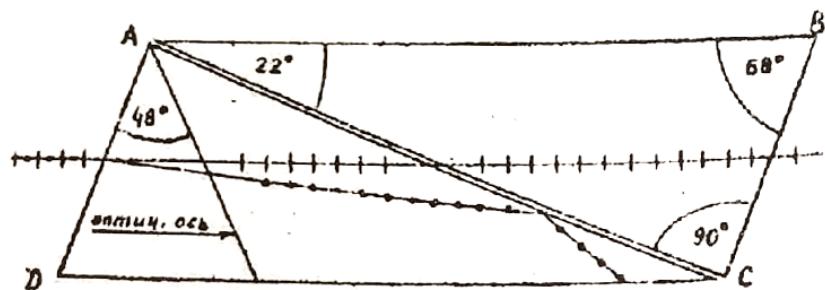


Рис. 3: Ход лучей в призме Николя

Обыкновенный луч, с колебаниями перпендикулярными главному сечению, испытывает полное отражение на границе с канадским бальзамом и поглощается на зачерненных боковых гранях призмы. Необыкновенный луч, с колебаниями в плоскости главного сечения, проходит через обе половинки призмы и дает линейно поляризованный свет на ее выходе.

Опыты Гюйгенса по наблюдению двойного преломления и поляризации света в кристаллах кальцита выполняются на специальном перископе с точечным источником света. Кристалл кальцита ставится на поворотный столик с центральным отверстием, над которым находится выдвижной пленочный поляроид в оправе и светодиод.

Для наблюдения двойного преломления естественном свете светящуюся точку рассматривают сквозь кристалл, через центрированный наглазник и поляроидный анализатор, располагаемые поочередно в специальном гнезде, на расстоянии наилучшего зрения от кристалла.

Для наблюдения в поляризованном свете в пространство между светодиодом и кристаллом вдвигается пленочный поляроид - поляризатор, а наглазник, в случае необходимости, заменяется поляроидным анализатором в идентичной с наглазником оправе.

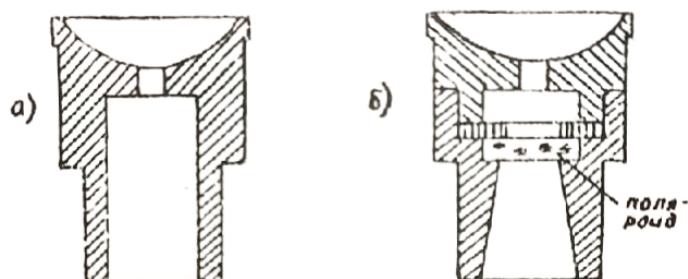


Рис. 4: Ход лучей в призме Николя

1.3 Поляризация световых волн при отражении и преломлении

Энергетический коэффициент отражения плоской световой волны по определению равен:

$$\rho = \frac{P_1}{P} = \frac{\bar{E}_1^2}{\bar{E}^2}$$

здесь P_1 и P , \bar{E}_1^2 и \bar{E}^2 - потоки энергии и средние по времени квадраты напряженности электрического поля в отраженной и падающей волне соответственно.

Из формулы Френеля следует, что коэффициент отражения ρ от плоской границы двух диэлектриков зависит от направления вектора \vec{E} в падающей волне. Так, если вектор \vec{E}

перпендикуляре к плоскости падени ($\vec{E} = E_{\perp}$) я, то:

$$\rho_{\perp} = \frac{\sin^2(\phi - \psi)}{\sin^2(\phi + \psi)} \quad (1)$$

Если же вектор \vec{E} параллелен плоскости падения ($\vec{E} = E_{\parallel}$), то:

$$\rho_{\parallel} = \frac{\operatorname{tg}^2(\phi - \psi)}{\operatorname{tg}^2(\phi + \psi)} \quad (2)$$

Графики зависимости ρ_{\perp} и ρ_{\parallel} от угла падения ϕ и угла преломления ψ (при $\frac{n_2}{n_1} = n = 1,52$) приведены на рис.5.

Из (1), (2) и рис.5 видно, что:

- 1) при любом ϕ $\rho_{\perp} > \rho_{\parallel}$:
- 3) при $\phi + \psi = 90^\circ$ (3), $\rho_{\perp} \neq 0$ при $\rho_{\parallel} = 0$.

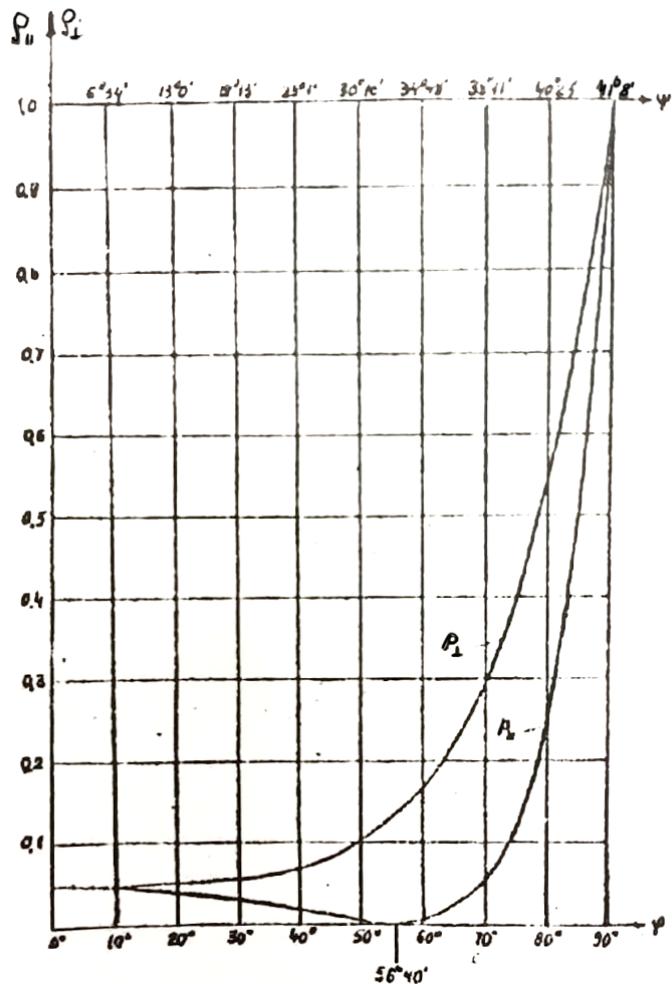


Рис. 5: График зависимости $\rho_{\perp}(\phi)$ и $\rho_{\parallel}(\phi)$

Это означает, что в отраженном свете всегда преобладает E_{\perp} . При отражении под углом Брюстера, удовлетворяющим условию (3) выше, отраженный свет полностью линейно поляризован ($E_{\perp} \neq 0$, $E_{\parallel} = 0$). При этом преломленный свет оказывается частично поляризованным.

Угол отражения, удовлетворяющий условию (3), называют углом полной поляризации или углом Брюстера ϕ_B по имени шотландского учёного Дэвида Брюстера, открывшего в 1812 году полную поляризацию при отражении. Из закона преломления:

$$\frac{\sin(\phi)}{\sin(\psi)} = n \quad (4)$$

и условия (3) следует:

$$\operatorname{tg}(\phi_B) = n \quad (5)$$

В качестве числовой характеристики частично поляризованного света используется понятие степени поляризации. Так, степень поляризации отраженного света по определению равна:

$$\Delta = \frac{I_{\perp} - I_{\parallel}}{I_{\perp} + I_{\parallel}} = \frac{\bar{E}_{\perp}^2 - \bar{E}_{\parallel}^2}{\bar{E}_{\perp}^2 + \bar{E}_{\parallel}^2}$$

Аналогично определяется степень поляризации преломленного света и света, прошедшего через прозрачную плоскую параллельную пластинку.

Прохождение света через пластинку эквивалентно двум последовательным преломлениям на её первой и второй границе с воздухом. При каждом преломлении степень поляризации возрастает на несколько процентов (порядка 6% при $n = 1,52$). Пропустив свет через стопу из достаточно большого числа ($N \approx 20$) тонких пластин, можно получить степень поляризации близкую к единице.

Таким образом, прозрачное стеклянное зеркало, зеркало из черного стекла и стопу стеклянных пластин можно использовать в качестве поляризатора или анализатора.

1.4 Интерференция поляризованного света в параллельных лучах. Фазовые пластиинки, вращение поляризации.

Пусть линейно поляризованный свет, прошедший через узкополосный фильтр Φ и поляризатор Π , падает на двупреломляющую пластинку толщины d нормально к её большим граням в положительном направлении оси z (рис.6). Пусть, кроме того, большие грани пластиинки параллельны оптической оси x , образующей углы α и β с направлениями колебаний вектора \vec{E} на выходе поляризатора Π и анализатора A соответственно. Электрическое поле \vec{E} в падающем на пластиинку параллельном пучке можно приближенно описать уравнением плоской бегущей волны:

$$\vec{E}(t) = \vec{E} \cos(\omega t - kz)$$

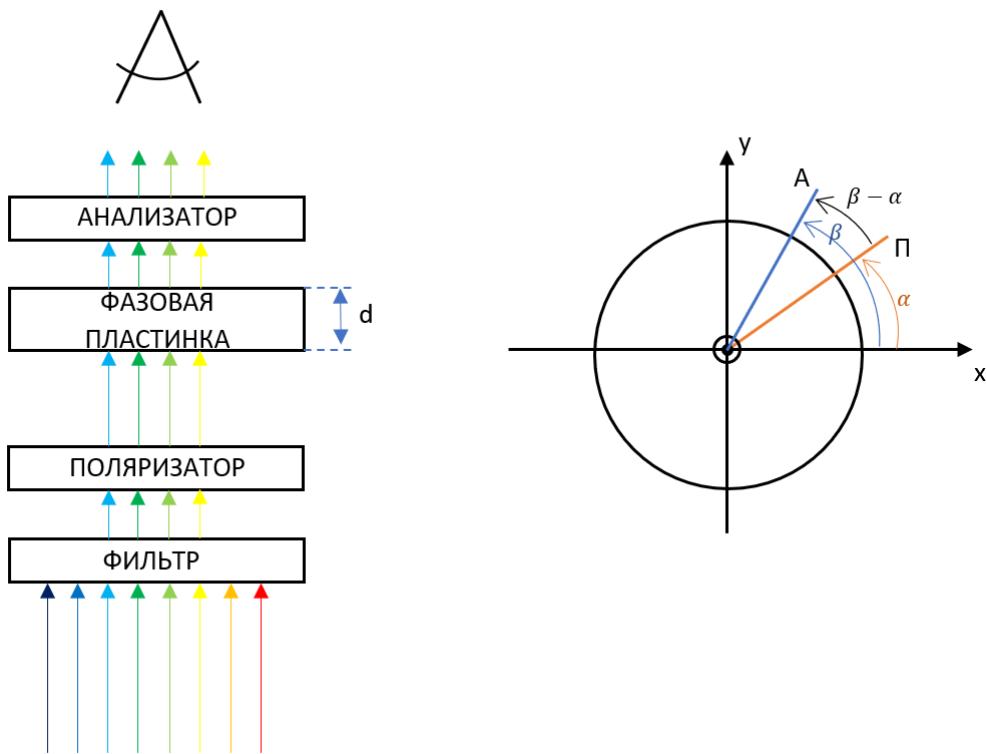


Рис. 6: К выводу формулы (7)

На входной грани $z = 0$ поле $\vec{E} \cos \omega t$ возбуждает в пластинке два взаимно перпендикулярных колебания \vec{E}_y (обыкновенная волна) и \vec{E}_x (необыкновенная волна) с амплитудами $E \sin \alpha$ и $E \cos \alpha$ и разными скоростями распространения вдоль оси z :

$$V_z^{\text{об}} = V_o = \frac{c}{n_o} \quad \text{и} \quad V_z^{\text{необ}} = V_e = \frac{c}{n_e}$$

Здесь n_o и n_e - главные показатели преломления обыкновенной и необыкновенной волн.

На выходе из пластинки получаются взаимоперпендикулярные колебания:

$$E_y = E \sin \alpha \cdot \cos(\omega t - k_y d) \quad \text{и} \quad E_x = E \cos \alpha \cdot \cos(\omega t - k_x d)$$

где

$$k_y = \frac{\omega}{V_o} = \frac{\omega n_o}{c} = k n_o, \quad k_x = \frac{\omega}{V_e} = \frac{\omega n_e}{c} = k n_e$$

Эти колебания сдвинуты по фазе на величину:

$$\delta = (k_x - k_y)d = k(n_e - n_o)d = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n d \quad (6)$$

зависящую только от длины волны λ и свойств пластинки. Разность главных показателей преломления $\Delta n = n_e - n_o$ называют величиной двупреломления или просто "двупреломлением". На вход анализатора **A** поступает суперпозиция двух векторных взаимно перпендикулярных колебаний с неравными амплитудами $E \sin \alpha$ и $E \cos \alpha$ и постоянным

сдвигом фаз δ , т.е. эллиптически поляризованное колебание, которое в специальных случаях может переходить в поляризованное по кругу (при $\alpha = \pm 45^\circ$ и $\delta = \pm\pi/2$). При эллиптической поляризации конец вектора \vec{E} движется по эллипсу, ориентация которого зависит от амплитуд $E\sin\alpha$, $E\cos\alpha$ и разности фаз δ . Из-за зависимости $\delta(\lambda)$ положение эллипса поляризации изменяется с изменением длины волны λ .

Анализатор **A** расположенный на расстоянии $z - d$ от пластиинки, пропускает в глаз наблюдателя сумму двух параллельных колебаний:

$$E = E\cos\alpha \cdot \cos\beta \cdot \cos(\omega t - k_x d - k(z - d)) + E\sin\alpha \cdot \sin\beta \cdot \cos(\omega t - k_y d - k(z - d))$$

с приобретенным в пластинке сдвигом фаз δ . Тем самым создаётся возможность наблюдать интерференцию в параллельном поляризованном свете. Для описания интерференционной картины необходимо знать интенсивность света I на выходе анализатора, которая с точностью до постоянного размерного множителя равна квадрату амплитуды E ($I \approx E^2$). Чтобы найти E^2 и получить для I выражение удобное для интерпретации, - обозначим $E\cos\alpha \cdot \cos\beta = a_1$, $E\sin\alpha \cdot \sin\beta = a_2$ и воспользуемся известной формулой квадрата амплитуды суммарного колебания:

$$E^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos\delta = (a_1 + a_2)^2 - 4a_1 a_2 \sin^2 \frac{\delta}{2}$$

После тригонометрических преобразований:

$$I = I[\cos^2(\beta - \alpha) - \sin 2\alpha \cdot \sin 2\beta \cdot \sin^2(\delta/2)] \quad (7)$$

Формула (7) описывает все возможные случаи прохождения параллельных линейно поляризованных лучей через пластиинку, параллельную оптической оси, и анализатор. Особый интерес представляет случай наблюдения в скрещенных и в параллельных николях.

При скрещенных николях $\beta - \alpha = \pi/2$ и

$$I_\perp = I \sin^2 2\alpha \cdot \sin^2(\delta/2) \quad (7a)$$

при параллельных николях $\beta - \alpha = 0$ и

$$I_\parallel = I(1 - \sin^2 2\alpha \cdot \sin^2(\delta/2)) \quad (7b)$$

Следовательно $I_\perp + I_\parallel = I$ (8).

Соотношение (8) справедливы для каждой спектральной компоненты в случае падающего на устройство белого света (для этого в схеме на рис.6 слева и соответственно в установке надо убрать фильтр **Φ**). Суммируя равенства (8) для компонент белого света, получим:

$$\sum_{\lambda} I_{\perp} + \sum_{\lambda} I_{\parallel} = \sum_{\lambda} I \quad (8a)$$

Как видно из формулы (7) интенсивность в интерференционной картине зависит от величины δ . Рассматривая двупреломляющую пластинку через анализатор, глаз будет видеть её светлой, темной в разных местах различно окрашенной в зависимости от значения и распределения сдвига фаз δ по поверхности пластины. Сам сдвиг фаз δ , как видно из (6), зависит от порядка интерференции $m = \frac{\Delta nd}{\lambda}$. При низких порядках интерференции наблюдаются цветные интерференционные окраски, появление которых следует из структуры формулы (7), в которой первое слакаемое $\cos^2(\beta - \alpha)$ постоянно для всех цветов, а второе - содержащее множитель $\sin^2(\delta/2)$, зависит от λ . Наиболее сочные интерференционные окраски наблюдаются в скрещенных николях, когда $\cos^2(\beta - \alpha) = 0$, а амплитуды $E_{sin\alpha}$ и $E_{cos\alpha}$ одинаковы. Положение пластиинки, при котором они равны $\alpha = \pm 45^\circ$ называется "диагональным" оно особенно благоприятно для наблюдения интерференционных окрасок при освещении белым светом.

Для изменения характера поляризации и анализа поляризованного света применяют фазовые пластиинки в половину и в четверть длины волны. Это двупреломляющие пластиинки, параллельные оптической оси, на выходе из которых сдвиг фаз между обычновенной и необыкновенной волной равен $\pm\pi$ или $\pm\pi/2$ соответственно. Толщины полуволновых и четверть-волновых пластиинок вычисляются из условия $\Delta nd = \frac{\lambda}{2}$ и $\Delta nd = \frac{\lambda}{4}$. Фазовые пластиинки чаще всего изготавливают из таких природных кристаллов, как исландский шпат ($CaCO_3$), кварц (SiO_2) и слюда.

При работе с образцами из кварца следует иметь в виду, что кварц, наряду с двойным преломлением, обладает еще одним удивительным свойством совсем иной природы, а именно - способностью вращать плоскость колебаний линейно поляризованного света. Эта способность называется оптической активностью и обусловлена особым, винтовым расположением молекул SiO_2 в кристаллической решетке кварца. Вращение плоскости колебаний наиболее сильно выражено именно тогда, когда двойное преломление отсутствует, т.е. при распространении света в кристалле по направлению оптической оси.

В природе встречаются две модификации кристаллов кварца - правой и левой. В правых и левых кристаллах плоскости колебаний поворачиваются в противоположных направлениях. Если для наблюдателя, смотрящего навстречу световому лучу, плоскость колебаний на выходе из кварца повернута по часовой стрелке, то такой кварц называется правоворщающим или правым.

Для того, чтобы избежать неоднозначности при экспериментальном определении направления вращения в кварце, толщина исследуемого образца должна быть достаточно мала (не более одного миллиметра).

Угол поворота плоскости колебаний в кварце пропорционален толщине образца d и равен $\alpha = \alpha_1 d$, где α_1 - удельное вращение, измеряемое в град/мм. Величина α_1 , сильно зависит от длины волны и быстро увеличивается при переходе от красного света к фио-

летовому. Зависимость $\alpha_1(\lambda)$ называется дисперсией вращения плоскости колебаний или дисперсией оптической активности.

Если на вход кварцевой пластинки поступает линейно поляризованный белый свет, то на её выходе плоскости колебаний различных спектральных компонент поля $\vec{E}(\lambda)$ развернуты в "цветовой веер от красного цвета к фиолетовому.

1.5 Бикварц

Бикварц состоит из двух одинаковых полукруглых пластинок из левого и правого кварца, склеенных по диаметральному сечению. толщина обеих пластинок одинакова и равна 3,75 мм. При такой толщине плоскости колебаний фиолетового света на выходе из бикварца повернуты в противоположных направлениях на 180° , а плоскости колебаний наиболее ярких в спектре зеленовато-желтых лучей - на 90° . Поэтому, в параллельных николях зеленовато-желтый свет будет полностью погашен, а фиолетовый - полностью пропущен, и при точной установке николей обе половинки бикварца будут окрашены в характерный серовато-фиолетовый оттенок.

При скрещенных николях окраска сместится на дополнительную зеленовато-желтого оттенка. Малейшее отклонение одного из николей от параллельной и скрещенной установки вызывает резкое различие в окраске обеих половинок бикварца. Поэтому бикварц позволяет установить николи в параллельное или скрещенное положение с более высокой точностью, чем при обычной установке их на темноту.

2 Практическая часть

2.1 Двойное преломление естественного света

2.1.1 Исландский шпат

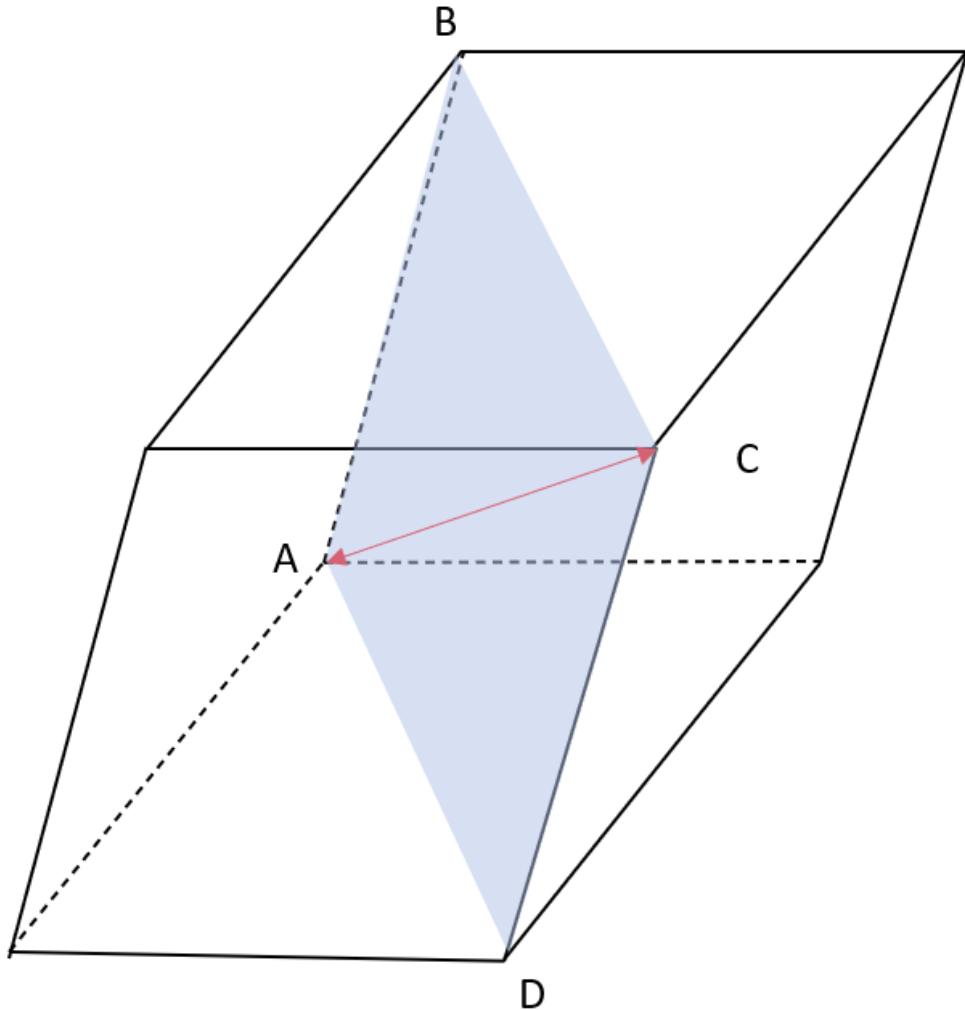


Рис. 7: Плоскость главного сечения исландского шпата

2.1.2 Двулучепреломление естественного света

Поставили ромбоэдр кальцита на поворотный столик поляризатора с точечным источником света. В результате увидим две точки, образованные обычным и необыкновенным лучами.

Необыкновенная точка лежит в плоскости главного сечения, поэтому при повороте кристалла необыкновенный луч движется вокруг обычного.

Наблюдение в разных положениях (красным нарисована оптическая ось кристалла):

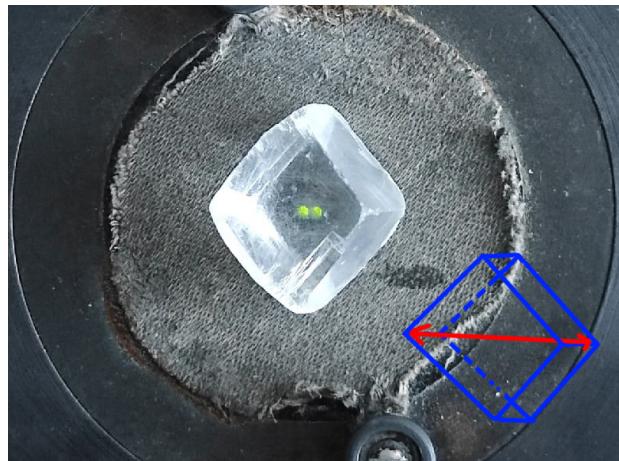


Рис. 8: 1 положение

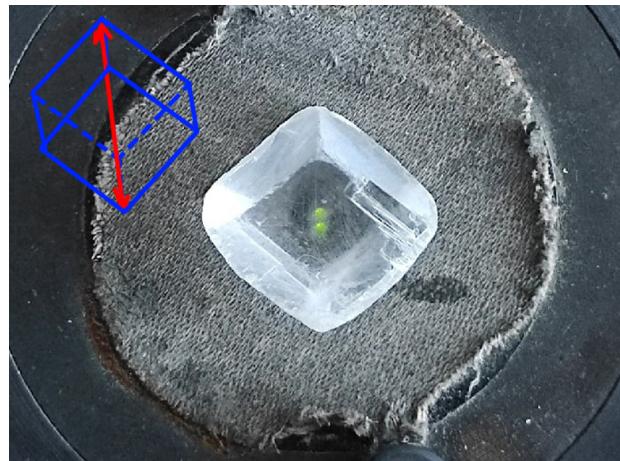


Рис. 9: 2 положение

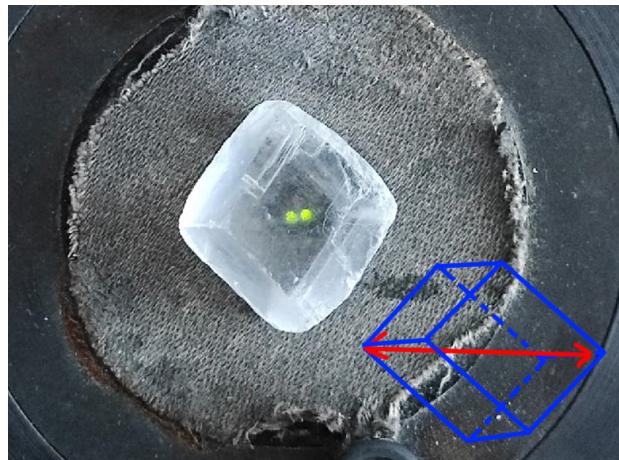


Рис. 10: 3 положение

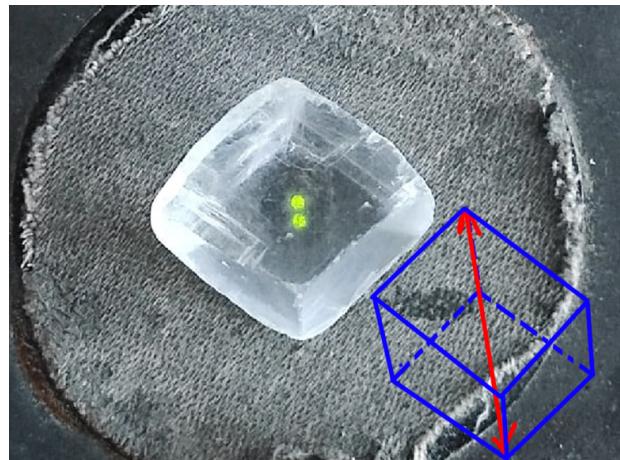


Рис. 11: 4 положение

2.1.3 Какая волна в кристалле распространяется быстрее?

Для рассуждения воспользуемся аналогией - какая глубина водоёма "кажется" наблюдателю с берега?

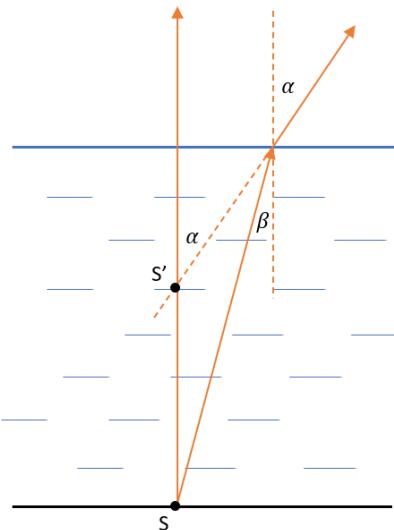


Рис. 12: "Кажущаяся глубина".

Как видно по рисунку наблюдатель точку, находящуюся в толще с большим показателем преломления, будет видеть выше. В нашем эксперименте, при вращении кристалика, остаётся неподвижной обыкновенная точка. Она же и кажется выше другой. Отсюда можно сделать вывод, что $n_o > n_e$. Если использовать определение $n = \frac{c}{v}$, то получим: $v_o < v_e$.

По определению у положительных кристаллов $v_o > v_e$ (или $n_o < n_e$), а у отрицательных кристаллов $v_e > v_o$ (или $n_e < n_o$). Получается, что в нашем опыте был *отрицательный* кристалл. И скорость распространения обыкновенного луча меньше необыкновенного.

2.1.4 Ход лучей в кристалле

Ход лучей в кристалле с помощью построений Гюйгенса:

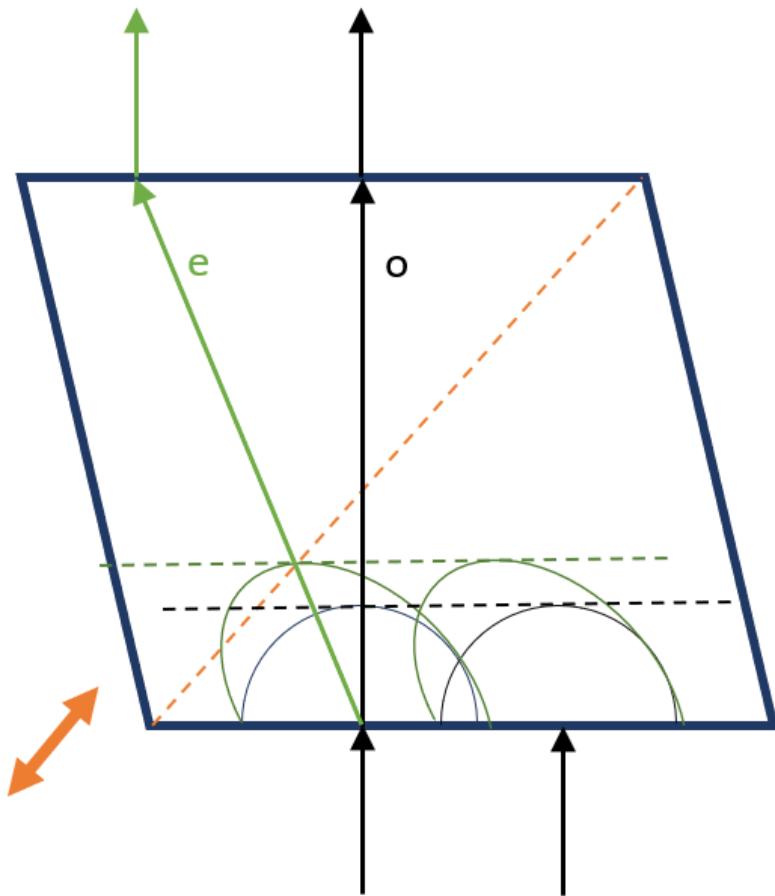


Рис. 13: "Построение хода лучей в кристалле".

2.2 Наблюдение с полярископом

2.2.1 Наблюдение за изображением с анализатором

Наблюдая за кристаллом через вращаемый анализатор можно увидеть изменение интенсивности точек при вращении. "Смена" точек происходит каждые $\frac{\pi}{2}$, а яркости двух точек сравниваются при повороте на $\frac{\pi}{4}$. Из этого следует, что свет в обычной и необыкновенной волне линейно поляризован. И на основании того, что направление \vec{E} необыкновенного луча лежит в плоскости главного сечения, можем изобразить направление колебаний \vec{E} обычной волны (на примере рис.9):



Рис. 14: Направление колебаний вектора \vec{E} в обычной и необыкновенной волнах.

2.2.2 Двойное преломление поляризованного света

Под столиком стоит поляризатор, который выделяет одну компоненту \vec{E} . Для определения его направления вращаем кристалл, до исчезновения одной из точек. Это может быть обыкновенная или необыкновенная волна, в зависимости от расположения главного сечения кристалла.

Двигая кристалл, определили тип волны. Далее, например, при угле $\frac{\pi}{2}$ между плоскостью пропускания поляризатора и главным сечением (то есть выделили о-волну) при вращении анализатора точка будет пропадать и появляться через каждые $\frac{\pi}{2}$. То есть, будем видеть точку только в положениях 0 и π .

2.3 Опыты с чёрным зеркалом и стопой пластинок

2.3.1 Чёрное зеркало

Угол Брюстера можно найти из условия:

$$\operatorname{tg}(\phi_B) = n \approx 1,52 \Rightarrow \phi_B \approx 56^\circ 40'$$

Поляризатор установлен под углом Брюстера к источнику. Так как у естественного света есть две компоненты \vec{E} , назовём их \vec{E}_{\parallel} и \vec{E}_{\perp} - которая лежит в плоскости падения и поперечная плоскости падения соответственно. После прохождения поляризатора, компонента, лежащая в плоскости падения, не отразиться \Rightarrow останется только компонента \perp плоскости падения.



Рис. 15: Фото установки.

Вместо анализатора поставили чёрное зеркало и выставили его под углом Брюстера. Вращая зеркало на столе, добивались затемнения изображения в зеркале. В этом случае перпендикулярная компонента для поляризатора станет продольной для зеркала. Тогда, так как волна падает под углом Брюстера \Rightarrow отражения не будет, то есть ничего не увидим.



Рис. 16: 1 положение



Рис. 17: 2 положение

2.3.2 Стопа пластин

Выставляем стопу пластин (вместо анализатора) на угол Брюстера аналогично зеркалу.

Вращая стопу на столе, добивались максимального затемнения изображения. В 1 положении (нет изображения): так как плоскость падения стопы пластин \parallel плоскости падения поляризатора, то поперечная компонента \vec{E}_\perp будет падать на пластинки и от каждой отражаться \Rightarrow , смотря сверху, мы ничего не увидим.

Во 2 положении: если повернуть стопу пластин на столике на $\frac{\pi}{2}$, то поперечная компонента \vec{E}_\perp теперь станет продольной для плоскости падения пластинок \Rightarrow не будет отражения, следовательно, мы увидим изображение.

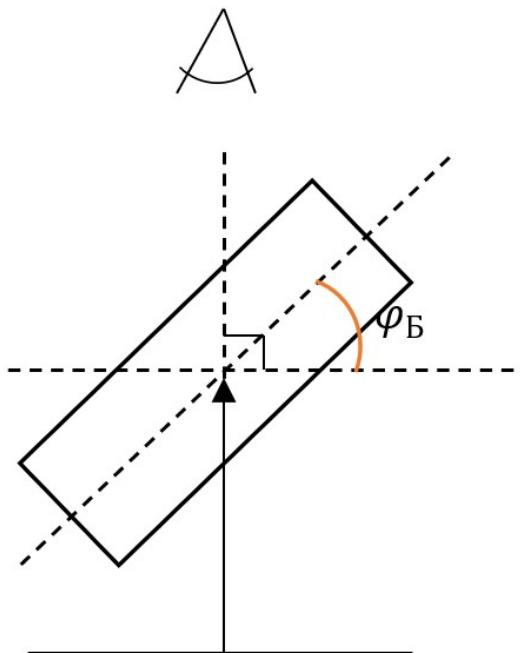




Рис. 18: 1 положение



Рис. 19: 2 положение

2.4 Получение линейно, эллиптически и циркулярно поляризованного света

2.4.1 Определение типа пластинок

Для определения типа пластинок анализатор ставили на затемнение (скрещенные николи $\cos(\beta - \alpha) = 0$). Пластинку кладут между поляризатором и анализатором, и, вращая пластинку, наблюдали за изменением интенсивности.

Если интенсивность не изменялась (т.е. оптическая ось перпендикулярна срезу) - не фазовая пластина.

Если интенсивность изменяется (т.е. оптическая ось параллельна срезу) - это фазовая пластина.

2.4.2 Наблюдение в белом свете

Убедились, что при наблюдении с образцами, где оптическая ось параллельна срезу, в белом свете, гашения (или появление) изображения происходит 4 раза за полный оборот.

2.4.3 Фазовые пластиинки

Ставим анализатор на затемнение, пластиинку на средний столик. Вращая пластиинку, добиваемся затемнения в анализаторе. После, по шкале поворачиваем столик с пластиинкой на 45° . И, вращая, анализатор наблюдаем за изменением интенсивности.

По формуле:

$$I = I_o[\cos^2(\beta - \alpha) - \sin 2\alpha \cdot \sin 2\beta \cdot \sin^2(\delta/2)], \quad \text{где } \delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta nd \quad (7)$$

<i>Номер пластиинки</i>	<i>Светофильтр</i>	<i>Изменение интенсивности</i>	<i>Вывод о типе пластиинки</i>
2	Красный	Интенсивность не меняется	$\lambda/4$
	Зелёный	Изменяется слабо	Не определена
	Белый свет	Меняется цвет: красный \rightarrow жёлтый \rightarrow холодный жёлтый	
4	Красный	Интенсивность изменяется до 0	$\lambda/2$
	Зелёный	Не изменяется	Не определена
	Белый свет	Меняется цвет: красный \rightarrow жёлтый \rightarrow холодный жёлтый	
	Красный	Изменяется слабо	Не определена
5	Зелёный	Изменяется до 0	$\lambda/2$
	Белый свет	Меняется цвет: красный \rightarrow жёлтый \rightarrow холодный жёлтый	

После прохождения пластиинки $\lambda/4$ возникает эллиптическая поляризация, так как пластиинка повёрнута на 45° (т.е. находится в диагональном положении) можно показать на основе формулы (7), что интенсивность не будет меняться:

$$\text{Если } \Delta nd = \frac{\lambda}{4} \Rightarrow \frac{\delta}{2} = \frac{\pi}{4} \Rightarrow \sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right) = \frac{1}{2}$$

$$\text{В диагональном положении } \alpha = \frac{\pi}{4} \Rightarrow \sin 2\alpha = 1$$

$$I = I_o[\cos^2(\beta - \frac{\pi}{4}) - \frac{1}{2} \sin 2\beta]$$

$$\cos^2(\beta - \frac{\pi}{4}) = \frac{1 + \cos(2\beta - \pi/2)}{2}$$

$$\Rightarrow I = I_o\left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin 2\beta - \frac{1}{2} \sin 2\beta\right] = \frac{I_o}{2}$$

Учтём, что изначально шёл поляризованный свет, тогда $I = I_{\text{ист}}/4$. То есть не зависит от поворота анализатора (угла β).

Какова будет интенсивность на выходе из анализатора, если пластинку в $\lambda/2$ установить в диагональное положение между скрещенными и между параллельными николями?

При скрещенных николях $\beta - \alpha = \frac{\pi}{2}$ и тогда, по формуле 7(а):

$$I_{\perp} = I \sin^2 2\alpha \cdot \sin^2(\delta/2) \quad (7a)$$

$$\text{При } \alpha = \frac{\pi}{4} \Rightarrow I_{\perp} = I$$

Тогда если учесть действие первого поляризатора интенсивность уменьшится вдвое: $I = I_{\text{ист}}/2$.

При параллельных николях $\beta - \alpha = 0$:

$$I_{\parallel} = I(1 - \sin^2 2\alpha \cdot \sin^2(\delta/2)) \quad (7b)$$

$$\text{При } \alpha = \frac{\pi}{4} \Rightarrow I_{\parallel} = 0$$

То есть ничего не увидим.

2.5 Кварцевая пластина

2.5.1 Вращение плоскости поляризации кварцевой пластиинки

Определили угол и направление вращения плоскости поляризации в кварцевой пластинке. Толщина кварцевой пластиинки 6 мм. Для этого выбрали красный светофильтр, совместили нулевые отметки на верхнем столике, анализатор поставили на затемнение (скрещенные николи), положили пластиинку на средний столик \Rightarrow из-за поворота оси поляризации в анализаторе увидим свет. Повернули верхний столик по часовой стрелке до затемнения в анализаторе и отметили угол поворота, аналогично против часовой стрелки.

Сделали опыт с разными светофильтрами:

<i>Светофильтр</i>	<i>Вращение по часовой стрелке</i>	<i>Вращение против часовой стрелки</i>
Красный	90°	90°
Зелёный	45°	135°

Если считать, что поляризация повернулась на острый угол, это соответствует углу поворота поляризации 90° для красного и 45° для зелёного.

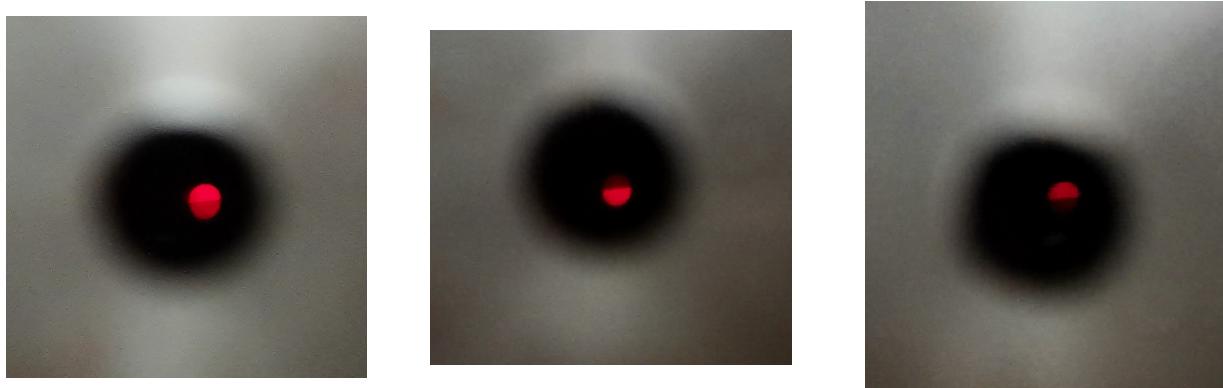
2.5.2 Наблюдение чередования цветов в кварцевой пластине

Наблюдали цвета в кварцевой пластинке:

Жёлтый -> Красный -> Синеватый -> Синий -> Голубой -> Холодный жёлтый ->
Жёлтый -> Красный -> Фиолетовый -> Голубой

2.5.3 Бикварц

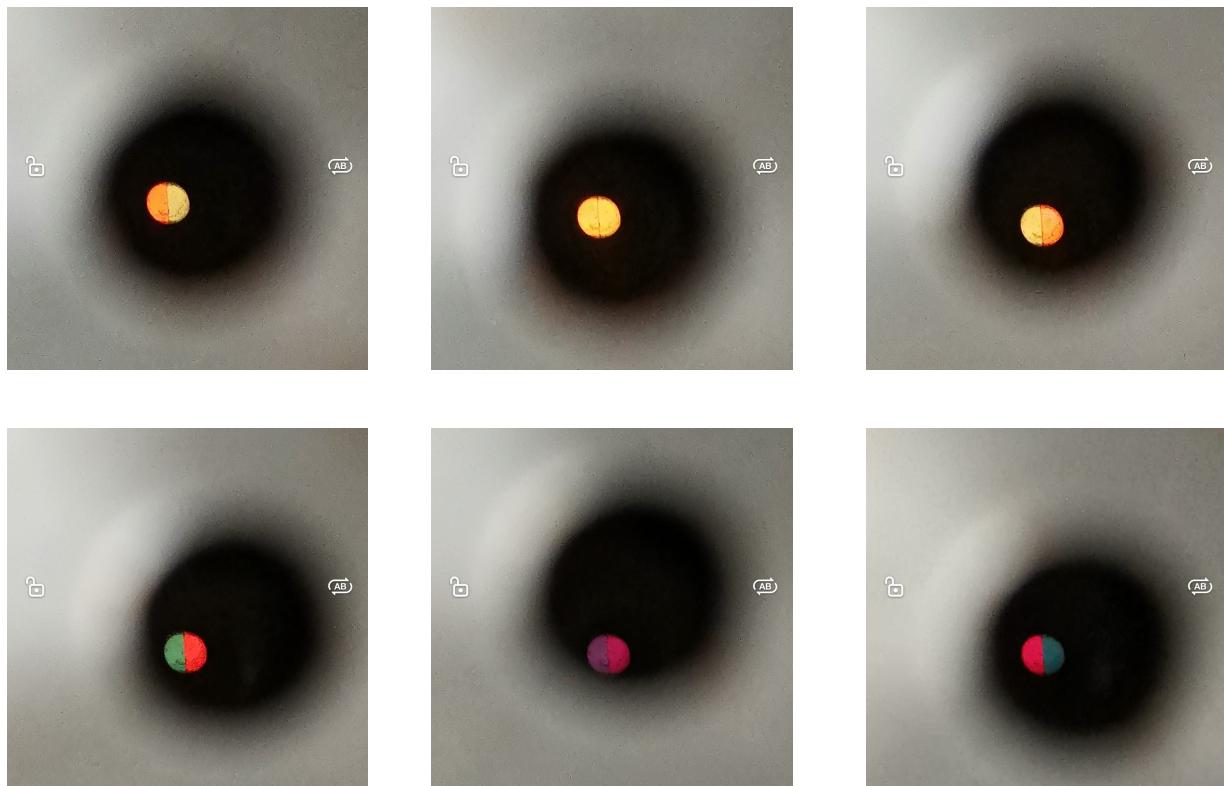
Убедились, что половинки бикварца поворачивают плоскость поляризации в противоположных направлениях. Для этого выбрали красный светофильтр и положили бикварц на столик. Вращая анализатор наблюдали как меняется интенсивность:



Наблюдалось затемнение то в одной половинке, то в другой.

2.5.4 Наблюдение дополнительных цветов в половинках бикварца

Для этого выбрали белый свет и, вращая анализатор, наблюдали изменение цветов. Причём цвета "выравниваются" (совпадают) на оранжевом (2 раза за поворот).



2.6 Удвоитель Норренберга

Установили прибор по схеме удвоителя Норенберга.

Убедились в том, что пластинка $\lambda/4$ "превращается" в пластинку $\lambda/2$. Для этого выбрали красный светофильтр, совместили "0" подвижной и неподвижной шкалы на нижнем столике. Поставили анализатор на затемнение и положили пластинку на нижний столик. Вращая пластинку добились затемнения. Повернув столик на 45° , вращали анализатор и наблюдали за изменением интенсивности.

В итоге при повороте анализатора интенсивность уменьшалась до $0 \Rightarrow \lambda/4$ работала как $\lambda/2$.

Убедились в отсутствии поворота плоскости поляризации через кварцевую пластинку. Для этого выбрали красный светофильтр, анализатор поставили на затемнение и положили пластинку на нижний столик. При этом наблюдалось полное затемнение, что говорит об отсутствии поворота поляризации.

3 Вывод

Выполнив лабораторную работу, мы:

- 1) Исследовали двойное преломление естественного света с исландским шпатом, определили расположение главного сечения и знак кристалла;
- 2) Провели опыты с чёрным зеркалом, стопой пластин и добивались полного затемнения изображения в них;
- 3) Получили линейно, эллиптически и циркулярно поляризованный свет с помощью фазовых пластинок. Также определили тип пластинок;
- 4) Провели опыт с кварцевой пластинкой, определили угол и направление вращения плоскости поляризации в ней. Наблюдали чередование цветов в кварцевой пластинке;
- 5) Убедились, что половинки бикварца поворачивают плоскость поляризации в противоположных направлениях. А также наблюдали дополнительные цвета в половинках бикварца;
- 6) Выполнили опыт с удвоителем Норенберга. Проверили, что пластина $\lambda/4$ работает как $\lambda/2$. Убедились в отсутствии поворота плоскости поляризации через кварцевую пластинку.