

ЗАДАЧА 142

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКАХ

В задаче излагаются методы получения плоскополяризованного света, определяется направление колебаний плоскополяризованного света, пропущенного никодем и естественным кристаллом исландского шпата, изучаются различные случаи интерференции поляризованного света, определяется толщина кристаллических пластинок и величина двупреломления кристаллической пластинки. Все указанные явления изучаются на простейшем приборе, на котором весьма наглядно с помощью отражения от черной стеклянной пластинки (диэлектрика) получается поляризованный пучок света.

Основные понятия. Плоскополяризованный свет характеризуется тем, что в нем колебания электрического вектора совершаются в одном, определенном направлении. Плоскость, содержащую это направление и направление светового пучка, называют *плоскостью колебаний*. В естественном свете плоскость световых колебаний хаотически меняет свое направление в пространстве. Плоскость,

перпендикулярная к той, в которой совершаются световые колебания, носит название *плоскости поляризации* данной волны. Таким образом, плоскость световых колебаний и плоскость поляризации взаимно перпендикулярны.

Получать линейно поляризованный свет можно следующими способами:

1. С помощью отражения от диэлектрика (стекло, вода и пр.). При этом в общем случае получается свет только частично поляризованный; но при некотором угле падения световой волны на зеркало поляризация делается полной. Это происходит в том случае, когда тангенс угла падения равен показателю преломления вещества, из которого сделано зеркало. Этот угол называется *углом полной поляризации* (или просто — углом поляризации) и для стекла равен $\sim 57^\circ$. При полной поляризации плоскость колебаний отраженной волны перпендикулярна к ее плоскости падения.

2. С помощью преломления в стеклянной пластинке. Здесь поляризация всегда неполная. В то время как отраженная волна при угле полной поляризации целиком поляризована, в пучке преломленном поляризованного света будет лишь столько, сколько его имеется в пучке отраженном. Например, в случае стекла из пучка, падающего на поверхность стекла под углом поляризации, отражается только $\frac{1}{7}$ часть, а $\frac{6}{7}$ проходят через стекло, но в этом последнем пучке поляризованного света будет тоже только $\frac{1}{7}$, остальные $\frac{5}{7}$ остаются естественным светом.

Чтобы достичь большей степени поляризации и в преломленном световом пучке, его пропускают под углом поляризации (под углом 57°) через стопу тонких стеклянных пластинок, наложенных одна на другую (стопа Столетова).

3. Третий способ получения поляризованного света — с помощью преломления естественного света в кристаллах; при этом наблюдается двойное преломление, т. е. разделение световой волны в кристалле на две, идущие с разными скоростями.

4. С помощью поляризационных призм и поляроидов. В кристаллах оптически одноосных (исландский шпат, кварц и др.) волна, распространяющаяся в направлении оси симметрии высшего порядка, не претерпевает раздвоения, и свет не поляризуется. Направление, обладающее таким свойством, носит название *оптической оси*. Свет же, входящий в кристалл по всякому иному направлению, распадается на две полностью поляризованные волны с взаимно перпендикулярными плоскостями колебаний. Одна из этих волн, носящая название *обыкновенной*, распространяется во всех направлениях с одинаковой скоростью и, следовательно, характеризуется постоянным значением показателя преломления, обозначаемого n_0 . Направление световых колебаний в этой волне перпендикулярно к главному сечению кри-

сталла, т. е. к плоскости, проходящей через направление распространения света и направление оптической оси.

Вторая световая волна, называемая *необыкновенной*, распространяется в кристалле с различными скоростями в зависимости от направления распространения и, следовательно, характеризуется различными показателями преломления. Значение показателя преломления необыкновенной волны, максимально отличающееся от значения для обыкновенной волны, обозначается через n_e .

Обе световые волны, обыкновенная и необыкновенная, полностью поляризованы. При этом световые колебания необыкновенной волны совершаются в плоскости главного сечения кристалла, а колебания обыкновенной волны к ним перпендикулярны. Таким образом, общая поверхность световых волн в одноосном кристалле представляет собой сложную поверхность, состоящую из шара и эллипсоида, вписанного в шар (положительный кристалл) или описанного (отрицательный кристалл) вокруг шара; при этом шару соответствует обыкновенная волна, а эллипсоиду — необыкновенная. Линия, соединяющая точки касания эллипсоида и шара, будет направлением, в котором скорости обыкновенной и необыкновенной волн равны и, следовательно, не будет происходить явления дупреломления. Это и будет направлением оптической оси.

В оптически двуосных кристаллах поверхность световой волны имеет значительно более сложную форму и представляет собой двухполостную поверхность. Световая волна, попавшая в такой кристалл, распадается на две волны, световые колебания в которых совершаются в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Скорость распространения световых волн в различных направлениях различна, имеются лишь два направления, в которых скорости обеих волн равны. Эти два направления и будут *оптическими осями* кристалла. Угол между оптическими осями зависит от величины трех главных показателей преломления кристалла и может быть для разных веществ весьма различным. В том случае, когда острый угол между оптическими осями делится пополам направлением, в котором распространяются световые волны с максимальной и средней скоростью, кристалл считается оптиически *положительным*. Если же в указанном направлении распространяются световые волны с минимальной и средней скоростями, кристалл считается оптиически *отрицательным*. Плоскость, проходящая через оптические оси, называется *главным сечением* кристалла.

Отличить естественный свет от поляризованного и определить направления световых колебаний в нем можно при помощи *анализаторов*; те же приборы служат и для получения поляризованного света. Анализатором служит прибор, носящий название *призмы Николя* или просто *николя*. Он состоит из длинного кристалла $abcd$ (рис. 1) исландского шпата, разрезанного наклонно по плоскости gf на две части, склеенные затем канадским бальзамом. Если

естественная световая волна S падает на одну из коротких граней николя под углом не более 33° , то она всегда разделяется в кристалле на обыкновенную S_o и необыкновенную S_e волны, причем необыкновенная волна проходит через весь кристалл, тогда как обыкновенная, достигая канадского бальзама, претерпевает полное внутреннее отражение (показатель преломления канадского бальзама меньше показателя преломления исландского шпата для обыкновенной волны, но больше показателя преломления для необыкновенной волны). Таким образом, николь пропускает только необыкновенную волну, колебания которой совершаются в плоскости главного сечения.

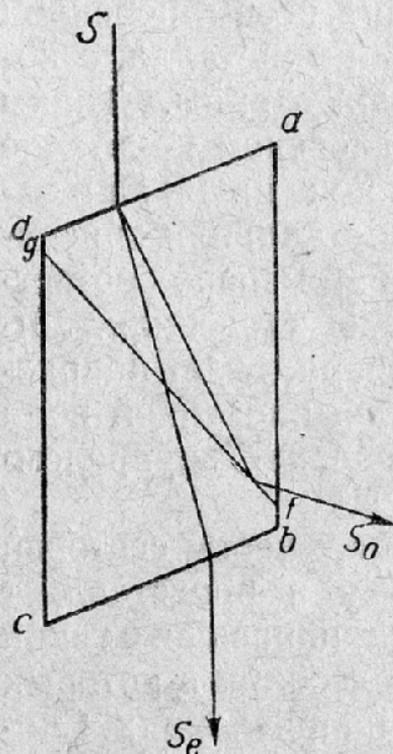


Рис. 1.

В натуральном ромбоэдре исландского шпата приходится иметь дело с обеими волнами сразу; оба световых пучка имеют одинаковую яркость, если они произошли из естественного света; но если на кристалл падает свет, уже поляризованный, яркости обоих пучков будут различны. Если пучок естественного света падает на грань кристалла нормально, то обыкновенная волна проходит через него без отклонения, а необыкновенная отклоняется в сторону и по выходе из кристалла идет параллельно обыкновенной волне. Поэтому, если вращать ромбоэдр вокруг направления пучка падающего света, вышедший из кристалла пучок обыкновенного света будет оставаться неподвижным, а пучок необыкновенного света будет вращаться вокруг него,

что дает возможность отличать их друг от друга. Если на анализатор падает свет, плоскость световых колебаний в котором составляет угол α с главной плоскостью анализатора, то интенсивность пропущенного анализатором света будет

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

где I_0 есть интенсивность падающего светового пучка. Если обе плоскости взаимно перпендикулярны, то будет полное затемнение поля.

Описание прибора. На горизонтальном основании укреплены две вертикальные стойки, короткая и длинная, между которыми зажимается пластинка из черного стекла P (рис. 2), вращающаяся вокруг горизонтальной оси. Пластинка представляет собой поляризатор, так как рассеянный свет от осветителя, падающий на нее сбоку, после отражения становится линейно поляризованным. Поляризованный свет, полученный при отражении, направляется вертикально вверх к столику T . Столик снабжен кругом, разделенным на градусы и вращающимся в своей плоскости, причем углы

поворота отсчитываются при помощи неподвижного указателя. В круглый вырез столика помещается или стеклянная пластинка с начерченным на ней крестом, или металлическая диафрагма с круглым отверстием; таких диафрагм имеется две с отверстиями различных диаметров. На столик кладут кристаллические пластинки, подлежащие изучению.

В качестве анализатора A в данном приборе употребляется николь, помещающийся на верхней платформе Q . Деления на Q служат для определения положения анализатора относительно поляризатора P (т. е. относительного положения плоскости главного сечения анализатора и плоскости колебания света, отраженного от зеркала), для этого на анализаторе сделана сбоку метка — черная черта. Иногда анализатор заменяется ромбоэдром из исландского шпата (на рисунке не показано) для одновременного наблюдения обыкновенного и необыкновенного световых пучков.

При приборе имеется линза для более отчетливого рассматривания предметов, находящихся на столике T ; ее кладут на анализатор.

Установка прибора. Прежде всего следят за тем, чтобы центры кругов T и Q приблизительно находились на одной вертикали.

Прибор помещают на подставке несколько выше источника рассеянного света (например, матовой лампы); зеркало P наклоняют так, чтобы свет падал на него под углом поляризации и непосредственно отражался вертикально вверх. Для более легкого нахождения этого угла некоторые приборы снабжаются лимбом, а зеркало — указателем, скользящим по этому лимбу.

Свет, прошедший через анализатор, будет полностью поляризован, если можно найти такое положение анализатора, при котором светлый кружок в диафрагме, положенной на T , полностью исчезает. При этом плоскость световых колебаний будет перпендикулярна к плоскости падения естественного света на P .

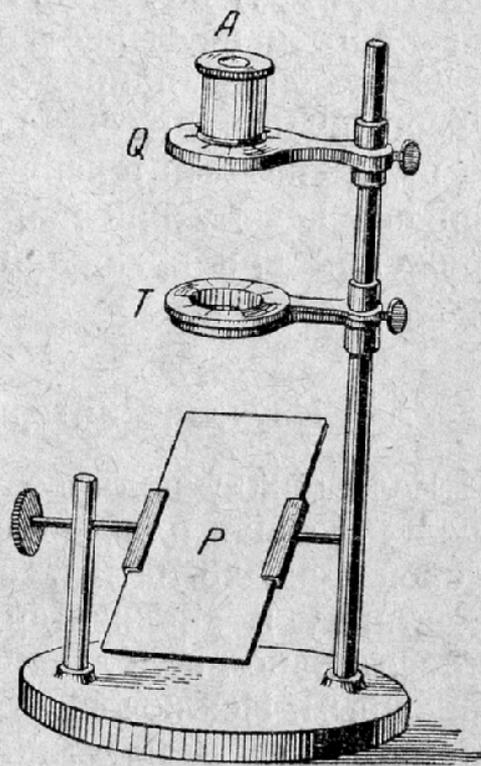


Рис. 2.

Упражнение 1

Изучение явлений, наблюдаемых в линейно поляризованном свете

1. Находят направление плоскости световых колебаний, пропускаемых анализатором, и направление плоскости его главного сечения по отношению к диагоналям. Для этого следят, как

изменяется освещение поля при вращении анализатора A на 360° ; отмечают те положения его относительно плоскости колебаний падающего света, при которых наблюдаются наибольшее и наименьшее освещение поля, и объясняют наблюдаемые изменения.

2. Вместо анализатора A помещают на платформу Q ромбоэдр из исландского шпата. При малой диафрагме на столике T через ромбоэдр видны два ее изображения в виде двух отдельных кружков, а при диафрагме с широким отверстием оба изображения отчасти налегают друг на друга. Эти изображения относятся к пучкам обыкновенного и необыкновенного света.

Определяют направление плоскости колебаний обыкновенного и необыкновенного света и положение главного сечения в ромбоэдре по изменениям интенсивности обоих изображений диафрагмы. Объясняют, почему при широкой диафрагме яркость общей части изображений при вращении остается одинаковой.

Упражнение 2

Изучение интерференции поляризованного света

Если между поляризатором P и анализатором A помещена двупреломляющая пластинка, вырезанная не перпендикулярно к оптической оси, то белый свет, прошедший из поляризатора через пластинку и анализатор, не будет вполне погашен ни при каком относительном положении указанных трех объектов, но выйдет окрашенным. Исключение будет только в том случае, когда главные направления в пластинке совпадают с главными направлениями перекрещенных поляризатора и анализатора. Получающаяся окраска — не монохроматическая, а сложная (смешанная) и более или менее разбавленная примесью белого цвета.

Окраска зависит также и от угла падения света на пластинку. Когда свет проходит параллельным пучком и сама пластинка плоскопараллельна, то все поле одинаково окрашено. Если пластинка не плоскопараллельная, то окраска будет различная, соответственно изменению толщины пластинки; так, сферически вогнутая или выпуклая пластинка даст цветные кольца, клинообразная — прямые полосы.

Описанное явление в общих чертах объясняется так: каждая монохроматическая волна поляризованного пучка света, вступая в двупреломляющую пластинку, вообще говоря, разделяется на две волны, поляризованные под прямым углом друг к другу, колебания в которых параллельны главным направлениям H_1 и H_2 (рис. 3). Эти волны при небольшом угле падения и при малой толщине пластинки идут в ней почти по одному направлению и выходят из нее, почти совпадая. Пройдя пластинку с различными скоростями, они приобретают некоторую разность хода и, следовательно, соответствующую разность фаз. Вследствие взаим-

ной перпендикулярности колебаний они не могут интерферировать; при этом получается свет, поляризованный эллиптически. Анализатор A из каждой волны пропускает лишь компоненты, поляризованные в одной плоскости. Эти волны интерферируют в зависимости от разности хода, полученной ими в кристаллической пластинке, упомянутой в начале описания этого упражнения.

Эта разность хода различна для волн различного направления и различной длины. Таким образом, в выходящем из поляризационной системы световом пучке монохроматические составные части присутствуют не в такой пропорции, как первоначально, и световой пучок становится окрашенным.

Пусть монохроматический свет падает на пластинку нормально. На рис. 3 плоскость чертежа перпендикулярна к проходящему через точку O пучку света, PO — плоскость световых колебаний в поляризаторе, AO — в анализаторе, OH_1 и OH_2 — в кристаллической пластинке, $OK = a$ — амплитуда колебаний света, вышедшего из поляризатора.

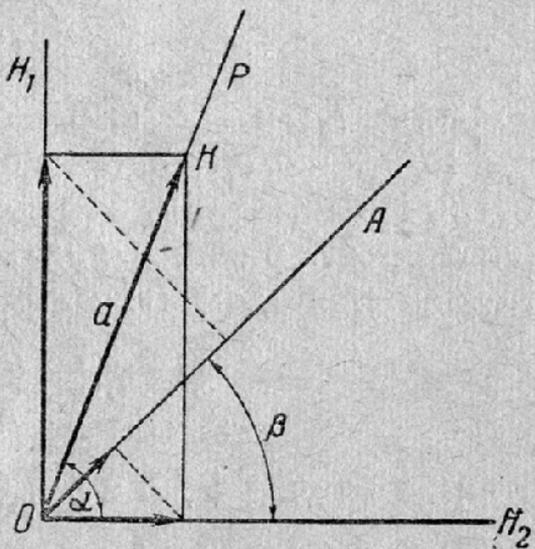


Рис. 3

Анализатор пропустит лишь слагающие с колебаниями, направленными по OA ; амплитуды их будут $a \cos \alpha \cos \beta$ и $a \sin \alpha \sin \beta$. Две волны, окончательно выходящие из анализатора, получили в пластинке разность хода R и разность фаз δ . Волны эти, слагаясь, дают волну, амплитуда колебаний которой находится из уравнения

$$A^2 = a^2 \cos^2 \alpha \cos^2 \beta + a^2 \sin^2 \alpha \sin^2 \beta + 2a^2 \cos \alpha \cos \beta \sin \alpha \sin \beta \cos \delta.$$

Заменяя $\cos \delta = 1 - 2 \sin^2 \delta/2$, получим для интенсивности прошедшего света

$$\begin{aligned} I &= I_0 \left[(\cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta)^2 - 4 \cos \alpha \cos \beta \sin \alpha \sin \beta \sin^2 \frac{\delta}{2} \right] = \\ &= I_0 \left[\cos^2 (\alpha - \beta) - \sin 2\alpha \sin 2\beta \sin^2 \frac{\delta}{2} \right]. \end{aligned}$$

При скрещенных николях $\alpha = \beta + 90^\circ$,

$$I = I_0 \sin^2 2\alpha \sin^2 \frac{\delta}{2}.$$

При параллельных николях $\alpha = \beta$

$$I = I_0 \left(1 - \sin^2 2\alpha \sin^2 \frac{\delta}{2} \right).$$

Выразим разность фаз δ через показатели преломления волн. Пусть d — толщина пластинки, а v_1 и v_2 — скорости двух поляри-

зованных волн, распространяющихся в пластинке в одном и том же направлении. Зависимость разности хода R от d , v_1 и v_2 легко может быть выведена. Пусть время прохождения волны со скоростью v_1 через кристаллическую пластинку равно t_1 , а то же время для волны со скоростью v_2 равно t_2 . Тогда расстояние, пройденное первой волной в воздухе в момент, когда вторая волна выходит из кристалла в воздух, равно $(t_2 - t_1)v$, где v — скорость света в воздухе. Это выражение и есть разность хода R . Таким образом,

$$R = v(t_2 - t_1).$$

Заменяя t_2 и t_1 выражениями d/v_2 и d/v_1 , получаем $R = d(v/v_2 - v/v_1)$, а так как $v/v_2 = n_2$ и $v/v_1 = n_1$, где n' — показатель преломления, а индексы 1 и 2 соответствуют большей и меньшей скорости распространения волны в кристалле, то $R = d(n_2 - n_1)$, следовательно, разность фаз

$$\delta = \frac{2\pi R}{\lambda} = \frac{2\pi d}{\lambda}(n_2 - n_1).$$

Итак, в случае P , перпендикулярного к A ,

$$I = I_0 \sin^2 2\alpha \sin^2 \frac{\pi d}{\lambda}(n_2 - n_1). \quad (1)$$

Отсюда вытекает, что $I = 0$ в двух случаях: либо при $\alpha = 0$, либо при $\frac{\pi}{\lambda} d(n_2 - n_1) = m\pi$, где m — целое число или нуль.

Первое условие, $\alpha = 0$, означает, что направления колебания света в николях совпадают с направлениями колебаний света в пластинке, т. е. что в пластинке разложения света на две компоненты не происходит. Второе условие может быть осуществлено в следующих двух случаях: или при $n_2 - n_1 = 0$, т. е. если пластинка вырезана перпендикулярно к оптической оси, или при $d(n_2 - n_1) = m\lambda$, откуда видно, что пластинка будет казаться темной только в случае применения монохроматического света; в белом же свете будут уничтожаться только те световые колебания, для которых в данной разности хода укладывается целое число волн, и, следовательно, пластинка всегда будет казаться окрашенной в определенный цвет в зависимости от величины $d(n_2 - n_1)$.

Интенсивность света будет максимальной при $\alpha = 45^\circ$, т. е. в том случае, когда пластинка помещена так, что ее главные направления делят углы между главными направлениями анализатора и поляризатора пополам.

Вторым условием максимума для монохроматического света будет

$$\frac{\pi}{\lambda} d(n_2 - n_1) = (2m + 1) \frac{\pi}{2}, \quad \text{т. е. } d(n_2 - n_1) = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

Если P параллельно A , то

$$I = I_0 \left[1 - \sin^2 2\alpha \sin^2 \frac{\pi}{\lambda} d (n_2 - n_1) \right]. \quad (2)$$

В этом случае условия интерференции будут обратны условиям, выведенным для P , перпендикулярного к A .

При наблюдении в белом свете интерференционные окраски при параллельных P и A будут дополнительными к окраскам, наблюдаемым в скрещенных P и A . В этом легко убедиться, заменяя анализатор ромбоэдром D и наблюдая через широкую диафрагму. Оба изображения будут отчасти накладываться друг на друга, и общая их часть будет оставаться все время белой.

Разность между длинами двух ближайших погашенных волн (а следовательно, и дающих свет) может быть вычислена из условия

$$(m - 1)\lambda = m(\lambda - \delta\lambda), \quad \text{откуда} \quad \delta\lambda = \lambda/m,$$

т. е. чем больше m (чем больше разность хода), тем ближе в спектре будут расположены усиливающиеся волны. При достаточно большой разности хода свет очень многих длин волн во всех областях спектра даст максимум интенсивности, и прошедший свет будет казаться белым. Поэтому явление интерференции поляризованного света наблюдается только при малой разности хода, т. е. в тонких пластинках.

Установив A перпендикулярно к P , помещают на столик кварцевую пластинку. Требуется: найти и отметить направление колебаний света по отношению к ее сторонам a и b ; проследить, как будут изменяться окраска пластинки и интенсивность освещения в белом свете при вращении ее на 360° .

Поставив A параллельно P , проделывают то же самое и при помощи ромбоэдра убеждаются, что это изображение окрашено в дополнительный цвет по отношению к цвету, наблюдавшемуся в предыдущем случае.

Приведя пластинку в диагональное положение по отношению к A и P (главные направления в пластинке расположены под углом 45° к главным направлениям A и P), при A , перпендикулярном к P , определяют все изменения в цвете и интенсивности освещения пластинки при вращении анализатора на 360° и объясняют наблюдаемые явления.

Если при скрещенных P и A поместить под анализатором пластинку из кварца, дающую чувствительный оттенок ¹⁾,

¹⁾ Чувствительным оттенком называется оттенок лиловато-красного цвета, к изменениям которого особенно чувствителен человеческий глаз. Чтобы при скрещенных николях получить такой оттенок, следует взять пластинку из кварца, дающую разность хода около 560 мкм. При этом свет этой длины волны (желто-зеленый), согласно уравнению (1), будет целиком погашен, и пластинка будет казаться окрашенной в чувствительный оттенок.

а слюдяную пластинку в четверть волны¹⁾ положить на столик прибора, то интерференционная окраска, наблюдаемая в приборе, будет изменяться в зависимости от взаимного расположения кварцевой и слюдяной пластинок. При совпадении направлений колебаний света с большей скоростью распространения в кварцевой и слюдяной пластинках результирующая разность хода R будет равна сумме разностей ходов в обеих пластинках, R_k и $R_{сл}$, т. е.

$$R = R_k + R_{сл} = 560 \text{ мкм} + 147 \text{ мкм}$$

и окраска будет зеленовато-голубой. При перпендикулярности этих направлений разности хода будут вычитаться одна из другой, т. е.

$$R = R_k - R_{сл} = 560 \text{ мкм} - 147 \text{ мкм}$$

и окраска будет оранжево-желтой. В том случае, когда направления колебаний света в слюдяной пластинке совпадают с главными направлениями поляризатора и анализатора, даваемая ею разность хода будет равна нулю, и результирующая разность хода

$$R = R_k = 560 \text{ мкм},$$

т. е. будет сохраняться окраска чувствительного оттенка.

Поместив между скрещенными поляризатором и анализатором кварцевую пластинку чувствительного оттенка и какую-либо другую из имеющихся в наборе, следят за изменением окраски и интенсивности света при вращении пластинок, сначала исследуемой, а затем кварцевой. Требуется объяснить наблюдаемые явления.

Упражнение 3

Определение толщины кристаллической пластинки и величины двупреломления

1. Определение толщины кристаллической пластинки с помощью кварцевого клина. Этот клин (рис. 4) вырезается таким образом, чтобы острое ребро его (вершина) было параллельно одному из главных направлений кристалла. Если клин поместить в приборе между скрещенными поляризатором и анализатором ($P \perp A$) в диагональном положении так, чтобы длинная его сторона делила угол между P и A пополам, то в монохроматическом свете на всем протяжении клина наблюдаются светлые и темные полосы, параллельные острому ребру клина, равноотстоящие друг от друга. Темные

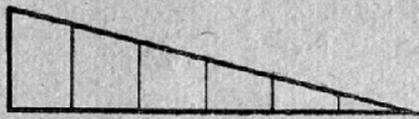


Рис. 4.

¹⁾ Под пластинкой в четверть волны подразумевают обычно пластинку, дающую разность хода в четверть длины волны желтой линии натрия.

полосы наблюдаются при разности хода

$$R = d(n_2 - n_1) = 2m \frac{\lambda}{2} = m\lambda,$$

а светлые — при

$$R = d(n_2 - n_1) = (2m + 1) \frac{\lambda}{2},$$

где d есть толщина клина, а m обозначает порядок полосы, т. е. целое число. Отсюда следует, что расстояние полос друг от друга возрастает пропорционально λ ; следовательно, для фиолетовых лучей полосы будут более сближены, чем для красных. Поэтому в белом свете на клине должны наблюдаться цветные полосы, окраска которых изменяется с толщиной клина почти в той же последовательности, как в кольцах Ньютона. При вращении клина вокруг падающего пучка света наблюдаются четыре положения, когда светлые полосы исчезают и все поле кажется темным. Это будет в том случае, когда главные направления H_1 и H_2 клина совпадают с направлением колебаний в P или A .

При $A \parallel P$ в этих четырех положениях клин будет казаться белым; в диагональных его положениях в монохроматическом свете будут наблюдаться светлые полосы там, где при скрещенных николях наблюдались темные полосы, и наоборот; в белом свете будут наблюдаться также цветные полосы, но дополнительные до белого по отношению к полосам при скрещенных николях.

По мере возрастания толщины клина окраска его в белом свете будет меняться, причем некоторые цвета будут периодически повторяться, например красный, фиолетовый, зеленый; поэтому эти спектры интерференции, так же как и спектры дифракции, разделяют на спектры 1-го, 2-го, 3-го и т. д. порядков и говорят, например, о красном цвете 1-го порядка, 2-го порядка и т. д. Различные цвета первых трех порядков очень яркие, и им соответствуют вполне определенные толщины клина; после 3-го порядка цвета начинают бледнеть и наиболее резко выступают только зеленый и красный; при большой толщине клина и эти цвета пропадают, и клин делается бесцветным, как это имеет место и для колец Ньютона. Это объясняется наложением в каждой точке друг на друга различных цветов, дающих при сложении белый свет.

В таблице 18 (в конце книги) для $P \perp A$ и для $P \parallel A$ даются последовательности цветов в спектрах первых трех порядков кварцевого клина, там же дана соответственная толщина клина в миллиметрах. Пользуясь этой таблицей, можно определить толщину данной кварцевой пластинки. Для этого следует наложить пластинку на клин так, чтобы в них совпадали разнородные главные направления (H_1 клина с H_2 пластинки); тогда в том месте, где толщина их одинакова, получится при $P \perp A$ черная полоса, а по обе стороны

ее будут идти спектры 1-го, 2-го и т. д. порядков; сдвинув несколько пластинку в сторону параллельно острому ребру клина, увидим на клине, какому цвету и какому порядку соответствует окраска пластинки, и тогда толщина ее определится по таблице. Кроме того, можно таким же образом определить порядок окраски любой кристаллической пластинки и эквивалентную ей толщину кварцевого клина.

Все описанные здесь явления следует наблюдать на кварцевом клине как в монохроматическом свете (применяя светофильтры), так и в белом для $P \perp A$ и $P \parallel A$ при диагональном положении клина.

Далее следует для пластинок из кварца разной толщины определить цвет и порядок окраски, а также толщину пластинок, пользуясь таблицей 18. То же самое следует сделать для слюдяных пластинок в $\lambda/4$, $\lambda/2$ и т. д.; определить характер их окраски, порядок спектра и эквивалентную толщину кварцевой пластинки, пользуясь опять клином и таблицей.

2. Определение величины двупреломления кристаллической пластинки известной толщины. Величина двупреломления пластинки, выражаемая разностью между показателями преломления волн, идущих нормально к пластинке, получается из соотношения

$$R = d(n_2 - n_1),$$

где R — разность хода, даваемая пластинкой, d — ее толщина, а $(n_2 - n_1)$ — величина двупреломления. Характерной оптической константой для кристалла является величина наибольшего двупреломления $(n_g - n_p)$, где n_g есть наибольший показатель преломления, а n_p наименьший. Эта константа определяется на пластинке, вырезанной параллельно плоскости оптических осей в двуосном кристалле или параллельно оптической оси в одноосном.

Кристаллическая пластинка помещается между скрещенными поляризатором и анализатором так, чтобы направления колебаний в обыкновенной и необыкновенной волнах, распространяющихся в пластинке, образовали угол в 45° с главными направлениями поляризатора и анализатора. В этом случае пластинка будет наиболее ярко освещена.

Величина двупреломления определяется при помощи цветной номограммы двупреломления (см. таблицу 19 в конце книги). Она построена так, что по горизонтальной оси отложены величины разности хода в миллимикронах, а по вертикальной — толщины пластинки в миллиметрах. Сама таблица раскрашена, и каждой разности хода соответствует определенная интерференционная окраска. Так как зависимость между разностью хода, толщиной пластинки и величиной двупреломления линейная, то геометрическое место точек, характеризующих одинаковую величину двупреломления,

есть прямая линия. Для различных величин ($n_g - n_p$) она имеет разный наклон к горизонтальной оси. На верхнем и правом обрезах таблицы нанесены величины двупреломления, соответствующие каждой наклонной прямой.

Определение величины ($n_g - n_p$) производится следующим образом:

1) находят полосу, соответствующую по окраске цвету кристаллической пластинки, помещенной между скрещенными анализатором и поляризатором;

2) находят точку пересечения этой полосы с линией, соответствующей толщине пластинки;

3) по наклонной прямой, идущей из точки пересечения этих двух линий, на верхнем и правом обрезах таблицы находят величину двупреломления.

По величине разности хода и известному двупреломлению можно также решить обратную задачу, т. е. найти толщину пластинки.

Берут пластинку кристалла с известным двупреломлением, например гипсовую; ее двупреломление

$$n_g - n_p = 1,531 - 1,521 = 0,010$$

для λ_{Na} . По таблице определяют ее разность хода и графически находят толщину: по линии — геометрическому месту точек с одинаковым двупреломлением — доходят до пересечения с полосой, имеющей ту же интерференционную окраску, что и пластинка. Из точки пересечения проводят горизонтальную линию и на левом краю таблицы отсчитывают толщину пластинки.

Полученный результат следует проверить делением величины разности хода, выраженной в миллимикронах, на заданную величину двупреломления для данного сечения кристалла.

Технические данные установки. Для выполнения задачи необходимо иметь ромбоэдр из исландского шпата, набор кварцевых, гипсовых или слюдяных пластинок толщиной от 0,02 до 0,2 мм, вырезанных соответствующим образом, кварцевую пластинку чувствительного оттенка, кварцевый клин 1-го, 2-го и 3-го порядков, набор слюдяных пластинок $\lambda/4$, $\lambda/2$ и λ , цветную номограмму двупреломления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. С. Л а н д с б е р г, Оптика, Гостехиздат, 1957.
2. Курс физики под ред. Н. Д. П а п а л е к с и, т. II, Гостехиздат, 1947.
3. Р. В у д, Физическая оптика, ОНТИ, 1936.
4. С. Э. Ф р и ш и А. В. Т и м о р е в а, Курс общей физики, т. III, Физматгиз, 1962.
5. Р. Д и т ч б е р н, Физическая оптика, «Наука», 1965, гл. 12.

Порядок выполнения задачи №142.

1. Проверка правильности ориентации пластинки Р:

Если естественный свет падает на нее под углом Брюстера, то отраженный свет должен быть полностью линейно поляризован.

Установите на верхнюю платформу Q анализатор А (в настоящем варианте задачи – это тонкая пленка-поляризатор, полностью поглощающая один из компонент). Слегка наклоняя пластинку Р вокруг горизонтальной оси и вращая анализатор А вокруг вертикальной оси, найдите такое их положение, при котором плоскость пластины Р при рассматривании через А будет максимально затемненной. Положение пластинки Р в дальнейшем не изменяется.

В листке-задании на схеме 1 отметить направление поляризации (направление колебаний вектора \vec{E}) отраженного луча, написать выражение для угла Брюстера и его значение для стекла ($n = 1,5$).

2. Изучение прохождения линейно поляризованного света через кристалл исландского шпата.

Установите на верхнюю платформу Q оправу с вмонтированным кристаллом исландского шпата, а на столик Г – диафрагму с меньшим отверстием. Линейно поляризованный свет, пройдя диафрагму и кристалл, расщепляется на два видимых световых пучка (обыкновенный и необыкновенный). Вращая оправу на 360° , наблюдают изменение интенсивности этих пучков. По результатам наблюдений и теоретического анализа выполняют задание 2а) в листке-задании, указывая освещенность каждого из пучков направление поляризации.

Заменяют диафрагму с меньшим отверстием на диафрагму с большим, проводят аналогичные наблюдения и выполняют задание 2б) в листке-задании, обращая особое внимание на то, что освещенность общей части обоих изображений остается неизменной (почему?).

Выполняют задание 3 на листке задания (построение Гюйгенса). По результатам анализа необходимо уметь указать на схемах задания 2 направление оптической оси кристалла.

3. Устанавливают вместо оправы с кристаллом анализатор А и добиваются максимального затемнения поля зрения. На столик Г вместо диафрагмы помещают одну из квадратных кварцевых пластин в черной оправе, вырезанных параллельно оптической оси. Вращая пластину на 360° , следят за изменением освещенности прошедшего света (необходимо уметь объяснить наблюдаемые изменения).

4. Снимают со столика кварцевую пластинку и поворачивают вокруг вертикальной стойки столик с клином так, чтобы его центр совпал с осью светового пучка, и закрепляют столик в этом положении на вертикальной стойке. Осторожно вращают за накатку подвижный диск столика с клином вокруг оси светового пучка до тех пор, пока цветная картина интерференционных полос на клине, видимая через призму Николя, не станет наиболее четкой. Сравнивая наблюдаемую картину с цветной нонограммой и таблицей окраски клина (расположены на лабораторном столе) находят вершину клина.

5. На клин кладут одну из квадратных кварцевых пластин, использованных в упражнении 3. При этом кварцевая пластина должна быть ориентирована так, чтобы ее оптическая ось (т.е. одно из двух направлений, найденных в упражнении 3) была перпендикулярна оптической оси клина. Направление последней указано стрелкой на оправе клина. Поскольку, как указано выше, определение направления оптической оси было произведено ранее неоднозначно, окончательное установление этого направления производится в ходе проведения описанных ниже операций.

Перемещая кварцевую пластину вдоль длинной стороны клина и ведя наблюдения через призму Николя, находят черную полосу, появляющуюся на фоне интерференционной окраски клина. Если этой черной полосы не обнаруживается, то поворачивают кварцевую пластинку на 90° вокруг вертикальной оси и еще раз перемещают ее вдоль длинной стороны клина, отыскивая черную полосу. Когда черная полоска найдена, то очевидно, установлено однозначно и направление оптической оси в кварцевой пластинке. Именно оптическая ось кварцевой пластинки перпендикулярна оптической оси клина. Но, кроме того, найденная черная полоска позволяет определить разность хода для обыкновенной и необыкновенной волн, вносимую кварцевой пластинкой.

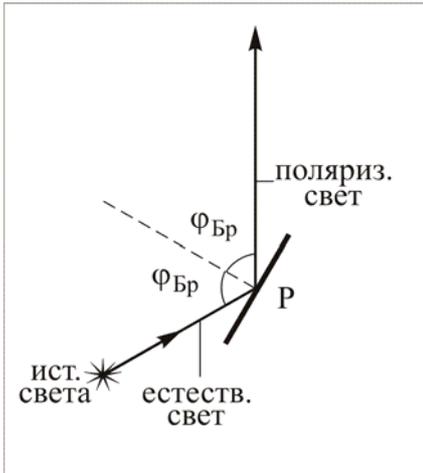
Смещая пластинку на столике вдоль ребра клина, смотрят, в каком порядке интерференции на поверхности клина лежит черная полоска. По интерференционной окраске пластинки и найденному порядку интерференции, с помощью шкалы, нанесенной на оси абсцисс цветной нонограммы, расположенной на лабораторном столе, определяют величину разности хода, вносимой кварцевой пластинкой. Проводят эти опыты со всеми кварцевыми пластинками.

Далее, зная толщины пластинок (их значения указаны в таблице при установке), определяют приносимой ими разности хода между обыкновенной и необыкновенной волнами, величину двойного лучепреломления кварца. Для самой тонкой пластинки величина двойного лучепреломления может быть найдена непосредственно по нонограмме с помощью семейства нанесенных на ней косых линий (см. описание задачи в книге «Физический практикум»).

6. Проводят качественные наблюдения интерференционных окрасок кристаллооптических препаратов тюльпана и ромбов. Помещают на столик прибора Т эти препараты. Наблюдения осуществляют через призму Николя, вращая ее и находя объяснения изменениям окраски препаратов.

Листок – задание к задаче 142.

Задание 1.



Укажите на схеме направление поляризации луча, отраженного от источника Р под углом Брюстера (—•••— или + + + +).

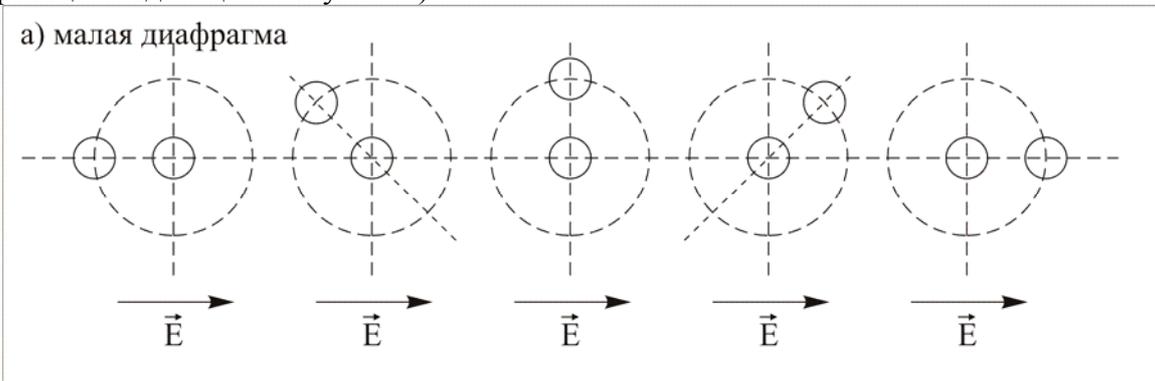
Напишите формулу зависимости угла Брюстера от показателя преломления n и рассчитайте его значение для стекла ($n = 1,5$).

$$\varphi_{\text{Бр}} = \quad = \quad (\text{при } n = 1,5)$$

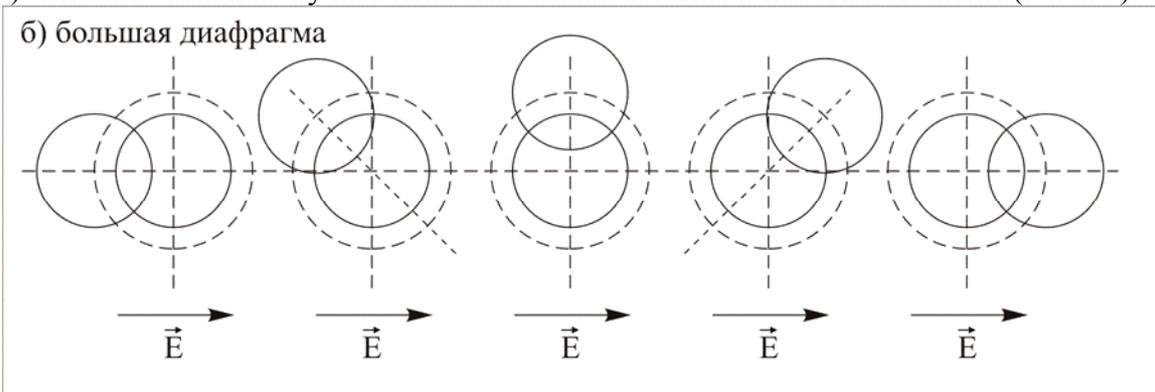
Задание 2.

Схема наблюдения прохождения поляризации излучения через кристалл исландского шпата.

(\vec{E} – поляризация падающего излучения)

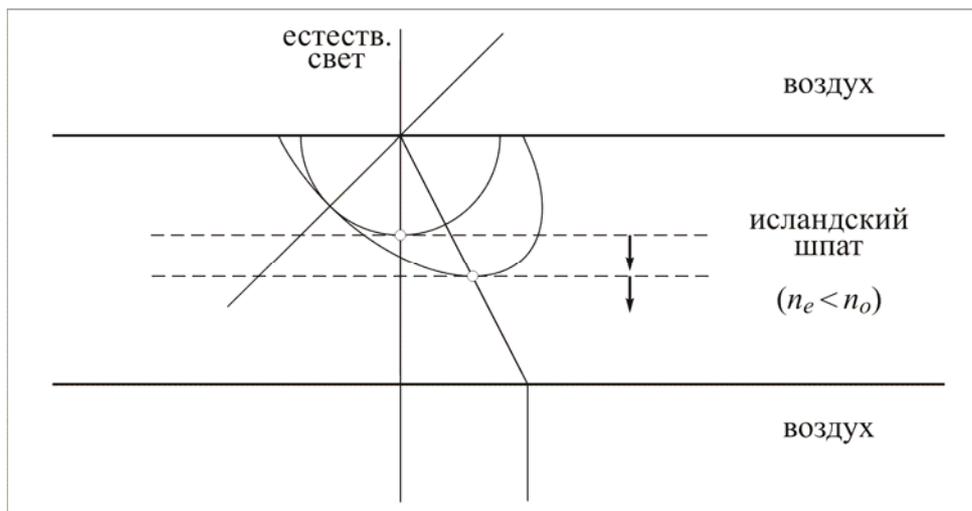


Укажите яркость каждого из пучков (● или ● или ○) и направление поляризации для них (напр. ⊗ или ⊙). Укажите какой из пучков является обыкновенным и необыкновенным (o или e).



Задание 3.

Построение Гюйгенса.



Укажите на построении Гюйгенса для нормального падения естественного света на кристалл

исландского шпата:

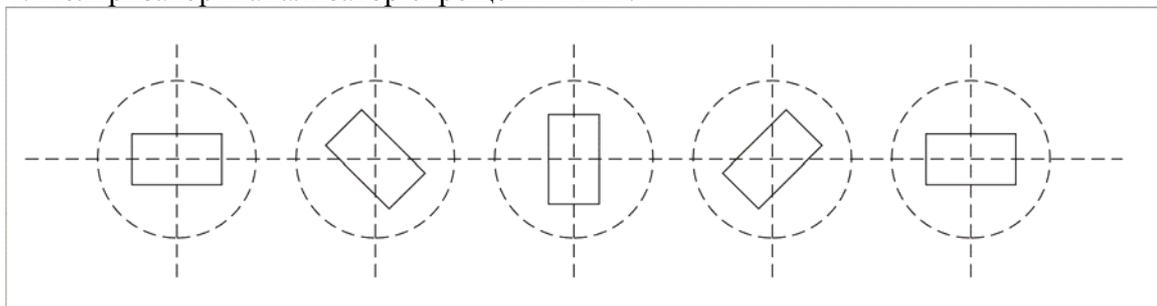
- 1) обыкновенный и необыкновенный лучи (o или e);
- 2) направление поляризации каждого из них ($\bullet\bullet\bullet$ или +++);
- 3) оптическую ось кристалла;
- 4) векторы нормали в волновом фронте \vec{N}_o и \vec{N}_e ;
- 5) лучевые векторы \vec{S}_o и \vec{S}_e .

Задание 4.

Клин между поляризатором P и анализатором A.

Укажите засветку клина (■ или □ или $\frac{\kappa}{2\pi} \frac{\Phi_{\kappa\Phi}}{1\pi}$), его оптическую ось и острое ребро (□ ↗).

1. Поляризатор и анализатор скрещены $P \perp A$:



2. Поляризатор и анализатор параллельны $P \parallel A$:

