

РАБОТА № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВОЙНОГО ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННО-ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО СВЕТОФИЛЬТРА

Оборудование: спектрограф ИСП-51 или монохроматор УМ-2, источник сплошного спектра, поляризатор и анализатор, источник линейчатого спектра, набор кристаллических пластинок, интерференционно-поляризационный светофильтр.

Цель работы: исследование интерференции поляризованного света, зависимости показателя преломления двойкопреломляющего кристалла и угла поворота плоскости поляризации от длины волны света, определение основных характеристик интерференционно - поляризационных светофильтров.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

В данной работе изучаются физические явления в плоскопараллельных пластинках двойкопреломляющего одноосного кристалла (кварца), вырезанных в первом случае перпендикулярно оптической оси кристалла, во втором — параллельно оптической оси. При исследовании физических явлений в проходящем через двойкопреломляющие кристаллы света необходимо исходить из следующего.

1. Два световых пучка, поляризованные в одной плоскости, интерферируют при тех же условиях, что и неполяризованные пучки, если они были получены из одного и того же плоскополяризованного пучка или из одной и той же компоненты неполяризованного пучка.

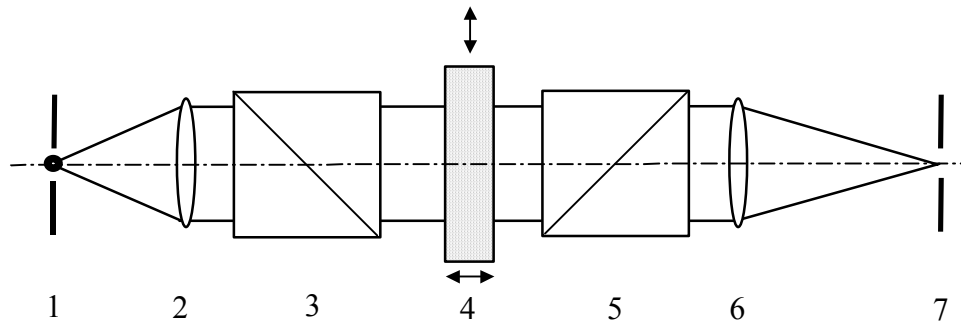
2. Два световых пучка, поляризованные во взаимно перпендикулярных плоскостях, ни при каких условиях не дают интерференционной картины.

3. Два плоскополяризованных пучка, полученные из взаимно перпендикулярных компонент неполяризованного света, не могут интерферировать даже после совмещения каким-либо образом плоскостей колебаний в обоих пучках.

4. Два пучка света с круговой поляризацией, у которых направления вращения противоположны, не интерферируют ни при каких условиях.

5. Два пучка света с круговой поляризацией, у которых направления вращения одинаковы, дают интерференционную картину при тех же условиях, что и два пучка естественного света, если они получены из одного и того же исходного пучка поляризованного света. Этот исходный пучок может быть плоскополяризованным или поляризованным по кругу.

6. Два пучка света с круговой поляризацией, имеющие одинаковые направления вращения, но полученные из двух взаимно перпендикулярных



Р и с. 1. Схема для исследования поляризационных явлений в двоякопреломляющих кристаллах:

1 — источник света; 2— объектив коллиматора; 3 — поляризатор; 4 — кристаллическая пластинка; 5 — анализатор; 6— конденсорная линза; 7 — входная щель спектрографа.

плоскополяризованных компонент естественного света, не интерферируют. Если эти пучки получены из двух поляризованных по кругу компонент естественного света, имеющих равные направления вращения, они также не интерферируют.

На рис. 1 приведена принципиальная оптическая схема для исследования поляризационных явлений в двоякопреломляющих кристаллах, т. е. прохождения поляризованного света через пластинки анизотропного вещества.

Пусть параллельный пучок белого света проходит через поляризатор 3, кристаллическую пластинку 4 (кварцевую пластинку) и анализатор 5. Плоскопараллельная кварцевая пластинка может быть вырезана двояким образом — параллельно оптической оси, в этом случае перпендикулярный пучок света при прохождении через пластинку кварца разделяется на два пучка лучей: обыкновенные и необыкновенные, т. е. при такой ориентации кварца проявляется двойное лучепреломление; перпендикулярно оптической оси кристалла, в этом случае проявляется свойство вращения плоскости поляризации проходящего плоскополяризованного света. При исследовании вышедшего из анализатора света с помощью спектрографа в обоих случаях наблюдается так называемый «канавчатый спектр», т. е. сплошной спектр, пересеченный вертикальными темными полосами. Причину появления такого спектра нужно искать в первом случае в интерференции плоскополяризованных волн и в зависимости показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей от длины волны (дисперсия двойного лучепреломления), во втором — в зависимости угла поворота плоскости поляризации от длины волны (дисперсия вращения плоскости поляризации). Рассмотрим подробно каждый случай в отдельности.

Дисперсия вращения плоскости поляризации. Если пластинка вырезана перпендикулярно оптической оси и белый свет падает нормально к поверхности, то, поместив ее между скрещенными поляризатором и

анализатором, через спектроскоп можно наблюдать при значительной толщине кристаллической пластинки на фоне сплошного спектра темные полосы. Происхождение этих полос объясняется не интерференцией поляризованных лучей, а вращением плоскости поляризации оптически активным веществом — кристаллом кварца. Угол поворота плоскости поляризации

$$\alpha = [\alpha_0]d \quad (1.1)$$

сильно зависит от длины волны λ падающего света. При значительной толщине кристалла для некоторых длин волн плоскость поляризации повернется на угол $\pi/2$, $3\pi/2$ и т. д. и при скрещенном поляризаторе и анализаторе в спектре пропускания наступает максимальная интенсивность, а промежутки будут темными. При параллельной ориентации поляризатора и анализатора расположение темных и светлых полос в канавчатом спектре меняется местами.

Максимумы интенсивности прошедшего света при параллельной ориентации поляризатора и анализатора определяются соотношением

$$\alpha(\lambda) = m\pi + \alpha_0 \quad (1.2)$$

Минимумы интенсивности наблюдаются для длины волны, при которой

$$\alpha(\lambda) = \frac{2m+1}{2}\pi + \alpha_0 \quad (1.3)$$

Дисперсия двойного лучепреломления. Пусть монохроматический плоскополяризованный свет падает строго нормально на кристаллическую пластинку, вырезанную параллельно оптической оси кристалла (см. рис. 1). Тогда, попадая на пластинку, свет распадается на две волны — обыкновенную и необыкновенную, плоскополяризованные соответственно параллельно и перпендикулярно оптической оси кристалла (т. е. во взаимно перпендикулярных плоскостях). Обе волны распространяются в пластинке по одному и тому же направлению, но с разными фазовыми скоростями. В результате, проходя через пластинку определенной толщины, колебания в этих двух волнах приобретают некоторую разность фаз, а следовательно, соответствующую разность хода, определяемые выражением

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{1}{v_e} - \frac{1}{v_o} \right) cd = \frac{2\pi}{\lambda} (n_e - n_o)d, \quad (1.4)$$

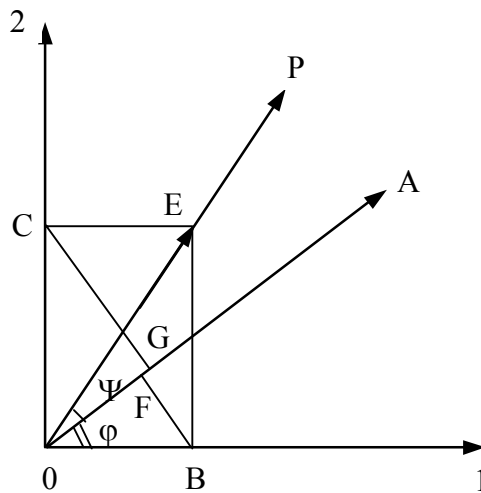
где n_o и n_e — соответственно показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей; v_o и v_e — их фазовые скорости распространения; d — толщина кристалла. В случае наклонных лучей разность фаз зависит также от углов между их направлением и поверхностью пластины.

Вследствие взаимной перпендикулярности колебаний волны не могут интерферировать между собой. При этом получается свет, поляризованный эллиптически. Если далее по выходе этих двух волн из кристаллической пластинки пропустить их через анализатор, то он из каждой волны пропускает лишь те компоненты, которые поляризованы в одной плоскости, т. е. выделяет из обеих когерентных волн колебания одного направления. Волны интерферируют между собой в зависимости от разности хода,

полученной ими в кристаллической пластинке. Следовательно, интенсивность света за анализатором будет зависеть от разности фаз, приобретенных в кристалле обеими волнами.

На рис. 2 плоскость чертежа перпендикулярна падающему пучку света O . Обозначим через 1 и 2 разрешенные направления колебаний, задаваемые кристаллической пластинкой (оси ox и oy); через OP и OA — направления световых колебаний, пропускаемых поляризатором P и анализатором A соответственно; через OE — амплитуду электрического вектора падающей волны, направленную параллельно OP ; через OB и OC — проекции вектора \vec{E} на главные направления 1 и 2 кристалла; через OF и OG — составляющие колебаний, пропускаемые всей системой; через φ — угол между поляризатором и анализатором. Амплитуда компонент световой волны в направлениях 1 и 2 соответственно равна

$$OB = E_0 \cos \varphi; \quad OC = E_0 \sin \varphi. \quad (1.5)$$



Р и с. 2

Графическая интерпретация задачи об интенсивности света, прошедшего через поляризатор, кристаллическую пластинку и анализатор.

Анализатор пропускает лишь составляющие, параллельные OA_t амплитуды которых станут меньше и соответственно будут равны

$$\begin{aligned} E_{01} &= OF = E_0 \cos \varphi \cos(\varphi - \psi); \\ E_{02} &= OG = E_0 \sin \varphi \sin(\varphi - \psi). \end{aligned} \quad (1.6)$$

Две волны, окончательно выходящие из анализатора, имеют одну и ту же плоскость поляризации и получены из одного и того же пучка первоначального плоскополяризованного света и могут интерферировать друг с другом.

Суммарная интенсивность, получаемая в результате интерференции двух монохроматических волн с разностью фаз δ , определяется соотношением $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta$, где $I_1 = E_{01}^2$ и $I_2 = E_{02}^2$ — интенсивности обеих волн. Если амплитуды имеют вид (1.6), то интенсивность прошедшего света дается выражением

$$I = I_0 \left[\cos^2 \psi - \sin 2\varphi \sin 2(\varphi - \psi) \sin^2 \frac{\delta}{2} \right], \quad (1.7)$$

где использовано тождество $\cos \delta = 1 - 2 \sin^2 \delta/2$.

Если удалить кристаллическую пластинку ($\delta = 0$), то интенсивность $I = I_0 \cos^2 \psi$. Отсюда видно, что первый член выражения (1.7) зависит только от взаимного расположения поляризатора и анализатора. Он имеет максимальное значение при параллельных поляризаторе и анализаторе и равен нулю, если они скрещены (закон Малюса).

Второй член $I_0 \sin 2\varphi \sin 2(\varphi - \psi) \sin^2 \delta/2$ формулы (1.7) зависит от углов φ и ψ , а также от разности фаз δ (и следовательно, от длины волны λ падающего света) и отражает влияние кристаллической пластинки. Определим интенсивность прошедшего света для двух ортогональных направлений (поляризатор и анализатор скрещены или параллельны).

1. Анализатор и поляризатор взаимно перпендикулярны, т. е. $\psi = \pi/2$. В этом случае общее выражение для интенсивности прошедшего света имеет вид

$$I_{\perp} = E_0^2 \sin^2 2\varphi \sin^2 \frac{\delta}{2}. \quad (1.8)$$

Интенсивность прошедшего света минимальна ($I = 0$) при двух положениях кристаллической пластинки. Первое условие минимума—

$$\varphi = 0, \pi/2, \pi, \dots, 2m\pi/2 \quad (1.9)$$

где m — целое число, т. е. когда направления колебаний, пропущенных поляризатором и анализатором, совпадают с одним из главных (разрешенных) направлений в кристаллической пластинке. В этом случае в кристаллической пластинке разложения света, на две компоненты не происходит (вторая волна в ней уже не возникает) и темнота будет наблюдаться для всех длин волн, так как состояние поляризации света, вышедшего из поляризатора, не изменится в результате прохождения сквозь пластинку. Интерференция отсутствует, так как свет вообще не пройдет через пластинку, какова бы ни была ее толщина ($I_{\perp \min} = 0$).

Второе условие минимума интенсивности для монохроматического света —

$$\delta = 2\pi, 4\pi, \dots, 2m\pi, \quad (1.10)$$

т. е. $d(n_e - n_o) = m\lambda$, где для данного среза кристалла $(n_e - n_o) \neq 0$. Отсюда видно, что пластинка будет казаться совершенно темной только при применении строго монохроматического света. Однако условие (1.10) не может одновременно выполняться для всех длин волн. Поэтому при использовании белого света в отличие от первого случая темнота наблюдается лишь для ряда длин волн, которые укладываются целым числом волн в данной разности хода. При визуальном наблюдении через полярископ (без разложения света) пластинка всегда будет казаться окрашенной в определенный цвет в зависимости от величины разности хода $\Delta = d(n_e - n_o)$.

Интенсивность прошедшего света максимальна при двух положениях кристаллической пластинки. Первое условие максимума —

$$\varphi = \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \dots, (2m+1)\frac{\pi}{4}, \quad (1.11)$$

т. е. в том случае, когда пластинка ориентирована так, что ее главные разрешенные направления делят углы между главными направлениями поляризатора и анализатора пополам:

$$\sin 2\varphi = \pm 1 \text{ и } (I_{\perp})_{\max} = E_0^2 \sin^2 \frac{\delta}{2}. \quad (1.12)$$

Вторым условием максимума для монохроматического света будет $\delta = \pi, 3\pi, \dots, (2m+1)\pi$, т. е.

$$d(n_e - n_o) = (2m+1)\frac{\lambda}{2}, \quad (I_{\perp})_{\max} = E_0^2 \quad (1.13)$$

При выполнении этих условий направление колебаний света, прошедшего через пластинку, повернется на 90° и будет параллельно анализатору. Таким образом, весь свет, пропущенный поляризатором, пройдя через анализатор, окажется наиболее насыщенным. Отсюда следует, что действие кристаллической пластинки сводится к дополнительному пропуску или задержке некоторого окрашенного света.

2. Анализатор и поляризатор параллельны, т. е. интенсивность прошедшего света определяется выражением

$$I_{\square} = E_0^2 \left(1 - \sin^2 2\varphi \sin^2 \frac{\delta}{2} \right). \quad (1.14)$$

Здесь условия интерференции обратны условиям, выведенным для рассмотренного случая 1. Возникающие интерференционные явления оказываются дополнительными к случаю 1.

Имеются минимумы, направления которых определяются условиями (1.11) и (1.13), причем из условия (1.11) следует, что минимумы интенсивности

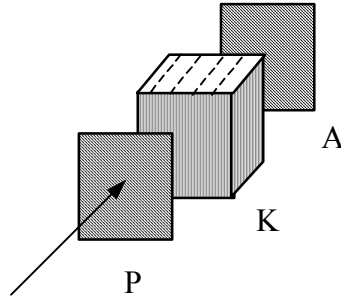
$$(I_{\square})_{\min} = E_0^2 \left(1 - \sin^2 \frac{\delta}{2} \right) = E_0^2 \cos^2 \frac{\delta}{2}, \quad (1.15)$$

и нет полной темноты, если не удовлетворяется условие (1.13). При одновременном выполнении условий (1.11) и (1.13) минимумы интенсивности совершенно темные и равны $I_{\square \min} = 0$. Между минимумами интенсивности располагаются максимумы интенсивности, направления которых определяются условиями (1.9) и (1.10), причем для монохроматического

$I_{\square} = I_0 = E_0^2$; можно считать, что при такой ориентации поляризатора интерференция отсутствует.

Сравнение показывает, что при наблюдении в белом свете интерференционные окраски при параллельных P и A дополняют окраски, наблюдаемые при скрещенных P и A . Полученные выражения описывают все возможные случаи при относительном вращении поляризатора, анализатора и кристаллической пластинки. Указанные явления используются для получения строго дополнительных цветов. Оттенок света сильно зависит от наклона и толщины кристаллической пластинки.

При исследовании вышедшего из анализатора света с помощью спектрографа наблюдается канавчатый спектр. Расстояния между темными полосами уменьшаются при увеличении толщины кристаллической пластинки, полосы становятся резче.



Р и с. 3

Схема простого интерференционно-поляризационного светофильтра.

Интерференционно-поляризационные светофильтры. На явлении интерференции поляризованных лучей света основано действие интерференционно-поляризационных фильтров (фильтры Вуда и Лио). Простой интерференционно-поляризационный светофильтр (фильтр Вуда) состоит из пластинки одноосного кристалла K , вырезанной параллельно оптической оси, помещенной между поляризатором P и анализатором A (рис. 3). Оси поляризаторов обычно устанавливаются параллельно, а оптическая ось кристаллической пластинки составляет с ними угол 45° . В этом случае неполяризованный параллельный пучок света после прохождения поляризатора P становится плоскополяризованным, а ориентация пластинки из одноосного кристалла обеспечивает расщепление этого пучка в пластинке на два одинаково направленных, равных по интенсивности $I_0/2$ и поляризованных во взаимно перпендикулярных направлениях пучка света. Согласно формуле (1.15), пропускание системы будет зависеть от длины волны следующим образом:

$$T = \frac{I}{I_0} = \cos^2 \pi \frac{(n_e - n_o)}{\lambda} d. \quad (1.16)$$

Разумеется, эта формула не учитывает потерь на отражение и поглощение света элементами, составляющими фильтр, а также потерь в первом поляризаторе, составляющих для естественного света примерно 50%.

Пропускание интерференционно-поляризационного фильтра согласно условиям (1.10) и (1.13) имеет ряд максимумов ($T=1$) для длин волн

$$m\lambda_{\max} = d(n_e - n_o) \quad (1.17)$$

и минимумов ($T=0$) для длин волн

$$\left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda_{\min} = d(n_e - n_o) \quad (1.18)$$

Поэтому такой фильтр может служить лишь для гашения отдельных спектральных линий и пропускания других. Обычно его исследуют для выделения одной из двух близко расположенных линий. Спектр света,

проходящего через фильтр, состоит из чередующихся светлых и темных полос.

Спектральный интервал между соседними максимумом и минимумом пропускания фильтра обуславливает полуширину полосы пропускания и определяется выражением

$$\delta\lambda = \lambda_{\max} - \lambda_{\min} = \frac{1}{2m+1} \lambda_{\max}. \quad (1.19)$$

Пренебрегая зависимостью $(n_e - n_0)$ от длины волны λ , имеем

$$\delta\lambda \approx \frac{\lambda_{\max}^2}{2d(n_e - n_0)} = \frac{1}{2m} \lambda_{\max}. \quad (1.20)$$

Свободный спектральный интервал, равный расстоянию между соседними максимумами, соответственно в 2 раза больше и равен

$$\Delta\lambda = 2\delta\lambda \approx \frac{\lambda_{\max}^2}{d(n_e - n_0)} = \frac{1}{m} \lambda_{\max}. \quad (1.21)$$

Пользуясь выражением (1.20), можно рассчитать толщину фильтра, необходимого для подавления одной из близких линий, разделенных интервалом $\delta\lambda$. Например, при толщине кварцевой пластинки в 32 мм такой светофильтр используется для подавления одной из компонент резонансного дублета натрия ($\lambda=5889,95$; $\lambda = 5895,92 \text{ \AA}$) [$(n_e - n_0)_D = 0,00911$].

Простой интерференционно-поляризационный фильтр имеет спектр пропускания в виде узких полос, разделенных промежутками такой же ширины.

Наилучшие, но вместе с тем наиболее дорогостоящие узкополосные монохроматические фильтры были изобретены Лио. Сложный интерференционно-поляризационный узкополосный светофильтр (фильтр Лио) представляет собой набор N одинаково ориентированных двоякопреломляющих плоскопараллельных кристаллических пластин соответственно с толщиной $d, 2d, 4d, \dots, 2^{N-1}d$ (возрастающей в геометрической прогрессии с показателем 2), вырезанных параллельно главной оптической оси и разделенных вставленными между ними поляризаторами, т. е. стопу N фильтров Вуда разной толщины. При этом выходной поляризатор первого фильтра служит входным поляризатором второго и т. д. Главные сечения всех поляризаторов параллельны между собой и составляют угол 45° с главными сечениями двоякопреломляющих кристаллических пластин.

На рис. 4 изображена структура сложного интерференционно-поляризационного светофильтра из шести элементов (а), прозрачность отдельных простых элементов (б) и всего сложного фильтра в целом (в). Спектральный состав света, прошедшего через отдельные простые фильтры Вуда, показан на кривых 1 — 6. Рис. 4, в отражает спектральный состав света, прошедшего через всю комбинацию сложного фильтра. При повороте всей системы поляризаторов на 90° темные полосы в канавчатом спектре сменяются светлыми. Поскольку в видимой области оказывается несколько полос пропускания, для полной монохроматизации используются

дополнительные широкополосные светофильтры (абсорбционные или интерференционные).

Расстояние между максимумами полос пропускания $\Delta\lambda$, сложного светофильтра определяется толщиной d_1 самой тонкой пластинки по формуле (1.21), а ширина полосы пропускания $\delta\lambda$. — толщиной наиболее толстой пластинки $d_N=2^N d_1$ по формуле (1.20)

Р и с. 4.

Схема сложного интерференционно-поляризационного светофильтра:

в — структура фильтра из шести элементов; б — прозрачность отдельных элементов фильтра; в — прозрачность всего фильтра.

С учетом дисперсии разности показателей преломления для области дисперсии и ширины полосы пропускания сложного интерференционно-поляризационного светофильтра имеем соотношения

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_{\max}^2}{d_1(n_e - n_0)}; \quad (1.22)$$

$$\delta\lambda = \frac{\lambda_{\max}^2}{2^{N-1} d_1(n_e - n_0)}. \quad (1.23)$$

После прохождения N двоякопреломляющих пластин пропускание сложного фильтра можно вычислить как произведение пропусканий соответствующих простых фильтров Вуда:

$$T = \prod_{k=1}^N T_k = \prod_{k=1}^N \cos^2 \frac{2^{k-1}(n_e - n_0)d_1\pi}{\lambda}. \quad (1.24)$$

При выводе этой формулы учтено то обстоятельство, что свет, выходящий из поляризатора Π_1 , представляет собой суперпозицию двух волн (обыкновенного и необыкновенного лучей, обладающих некоторой разностью фаз, приобретенной ими при прохождении первой кристаллической пластинки). Пусть фазы этих волн соответственно равны 0 и δ_1 . При прохождении следующей вдвое более толстой пластинки каждая из них, в свою очередь, расщепляется еще на две волны с разностью фаз между ними 0 и $2\delta_1$. Таким образом, свет, проходящий через поляризатор Π_2 , можно рассматривать как четыре линейно-поляризованные волны с фазами 0, δ_1 , $2\delta_1$, $3\delta_1$. Можно легко показать, что свет, проходящий через последний поляризатор Π_N , будет представлен 2^N (конечного числа) световыми волнами с равными амплитудами $\frac{E_0}{2^N}$ и фазами, возрастающими в арифметической прогрессии: 0, δ_1 , $2\delta_1, \dots, (2^N - 1)\delta_1$. Осуществляется многолучевая интерференция, и, как в случае дифракционной решетки, имеющей 2^N щелей, результирующая интенсивность всех этих волн описывается формулой

$$I = I_0 \frac{\sin^2 2^N \delta_1}{2^{2N} \sin^2 \delta_1}. \quad (1.25)$$

Р и с. 5

Кривая пропускания сложного интерференционно-поляризационного фильтра.

Следует иметь в виду, что вследствие ограниченности числа интерферирующих пучков между главными максимумами располагается ряд вторичных максимумов, местоположение которых определяется условием

$$2^N \sin \delta_1 \square [2^N \pi (n_e - n_o)] = \frac{2m+1}{2} \pi. \quad (1.26)$$

Пропускание светофильтра во вторичном максимуме

$$T_m = \left[\frac{2}{(2m+1)\pi} \right]^2 \quad (1.27)$$

Следовательно, интенсивность вторичных максимумов пропускания быстро

$$T_m = \frac{1}{22}; \frac{1}{61}; \frac{1}{121}; \frac{1}{200}; \frac{1}{238}; \dots$$

По своим качествам интерференционно-поляризационные светофильтры занимают промежуточное положение между монохромато-рами и интерференционными светофильтрами. Они позволяют получать монохроматизированные световые пучки сравнительно большого сечения и узкие полосы пропускания, ширина которых доходит до долей ангстрема при практически полном отсутствии фона (рис. 5).

Спектральная область применимости интерференционно-поляризационного светофильтра, несмотря на его исключительные качества, ограничивается двумя факторами: прозрачностью образующих его элементов и возможностью использования эффективных поляризаторов.

Температурная зависимость толщины кристаллической пластинки позволяет изменять длину волны полосы пропускания в пределах 10—20 Å.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Оптическая схема установки приведена на рис. 6.

Источник сплошного спектра — лампа накаливания 1 — помещается в фокусе первой конденсорной линзы 2 с ирисовой диафрагмой, которая посылает параллельный пучок света через поляризатор 3, исследуемую первую кристаллическую пластинку 4 и анализатор 7. Вторая конденсорная линза 8 также с ирисовой диафрагмой посылает на щель 11 спектрографа (монохроматора) сходящийся пучок света. Расстояние между объективом 8 и входной щелью 11 спектрографа подбирается так, чтобы щель спектрографа высотой 8—10 мм была равномерно освещена. Поляризатором и анализатором служат поляроидные пластинки. Поляризатор, анализатор и исследуемые кристаллические пластинки укреплены в специальных оправках на револьверном диске, которые могут вращаться ВОКРУГ горизонтальной оси, параллельной оптической оси системы, причем угол поворота вокруг этой оси отсчитывается по лимбу с градусными делениями. На установке предусмотрено последовательное расположение двух (или нескольких) кристаллических

пластинок 4 и 6 разной толщины для составления сложного интерференционно - поляризационного фильтра. В этом случае необходимо использовать дополнительные поляроиды 5 в оправках, имеющиеся в комплекте установки. Источник линейчатого спектра 10 (ртутная лампа с пусковым устройством) и призма сравнения 9 применяются для построения градуировочной (дисперсионной) кривой спектрографа-монохроматора. В качестве спектрографа используется серийный стеклянный трехпризменный спектрограф ИСП-51 (или универсальный монохроматор). Спектрограф ИСП-51 удобен тем, что позволяет вести визуальные наблюдения и при необходимости фотографировать наблюдаемые картины.

Р и с. 6

Оптическая схема установки:

1 — источник сплошного спектра; 2, 8 — конденсорные линзы; 3, 5, 7 — поляроиды; 4, 6 — кристаллические пластинки; 9 — призма сравнения; 10 — источник линейчатого спектра; 11 — входная щель спектрографа; 12 — объектив коллиматора; 13—диспергирующие призмы; 14 — объектив камеры; 15 — фотокассета.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Упражнение 1. Определение параметров простого интерференционно-поляризационного светофильтра. Прежде всего следует отъюстировать данную оптическую систему. Источник света 1 устанавливают в фокусе объектива 2 таким образом, чтобы изображение попадало на нижнюю часть щели, т. е. освещало нижнее отверстие диафрагмы с фигурным вырезом. Положение линз 2 и 8 фиксировано на оптической скамье. Поляризатор 3 и анализатор 7 расположены на общей платформе перпендикулярно оптической оси так, чтобы световой поток проходил через их середину. Поворотом анализатора вокруг горизонтальной оси добиваются, чтобы освещенность входной щели спектрографа была минимальна. Это есть скрещенное положение двух поляроидов. Такому положению соответствует $\psi = \pi/2$. Затем укрепляют на платформе оправу с тонкой кристаллической пластинкой. При этом отмечается некоторая освещенность щели спектрографа. Вращая кристаллическую пластинку вокруг горизонтальной оси, добиваются исчезновения освещенности щели спектрографа. Это положение, соответствующее углу $\varphi = 0$, отсчитывают по лимбу. Далее поворачивают кристаллическую пластинку вокруг горизонтальной оси на 45° . Теперь система отъюстирована. С помощью лупы наблюдают со стороны камеры спектрографа полученный спектр. Он представляет системы максимумов и минимумов.

Вращая барабан длин волн спектрографа (или монохроматора) по указательной стрелке лупы, фиксируют положение всех максимумов и минимумов по шкале барабана призмного столика. Поворачивают анализатор на 90° (при этом $\psi = 0$) и снова наблюдают систему максимумов и

минимумов. Аналогично записывают их положения по показаниям шкалы барабана. Используя градуировочную кривую спектрографа, находят длины волн всех наблюдаемых максимумов и минимумов для обоих положений анализатора. Убеждаются, что картина во втором положении анализатора дополняет первую.

Аналогичные наблюдения и измерения проводят со всеми кристаллическими пластинками в последовательности возрастания их толщины.

По результатам измерений вычисляют основные параметры простого интерференционно-поляризационного светофильтра Вуда: а) спектральный интервал между максимумом и минимумом $\delta\lambda$; б) область дисперсии — спектральный интервал между соседними максимумами (или минимумами), равный $\Delta\lambda = 2\delta\lambda$; в) среднее значение разности показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей $\Delta n = n_e - n_o$. Для определения Δn необходимо знать величину m . Чтобы ее вычислить, поступают следующим образом.

Обозначив через $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ и т. д. длины волн, соответствующие минимумам

$$\begin{aligned}\lambda_0 m &= d \Delta n; \\ \lambda_1 (m+1) &= d \Delta n; \\ \lambda_2 (m+2) &= d \Delta n; \\ \dots\dots\dots\end{aligned}$$

Так как дисперсия мала, то, пренебрегая ею, легко получить соотношения

$$(\lambda_0 - \lambda_1) m = \lambda_1 \left(\frac{\lambda_0 - \lambda_2}{2} \right) m = \lambda_2 \left(\frac{\lambda_0 - \lambda_3}{3} \right) m = \lambda_3 \dots,$$

по которым определяют среднее значение m_{cp} . Наконец, находят Δn по формуле $\Delta n = \frac{\lambda_0}{d} m_{cp}$. Для обработки результатов измерений

рекомендуется составить таблицу.

Упражнение 2. Определение основных характеристик сложного интерференционно-поляризационного светофильтра. Составляют сложный интерференционно-поляризационный светофильтр из самой тонкой пластинки 4, пластинки 6 удвоенной толщины и дополнительного поляроида 5. После соответствующей ориентации всех элементов визуально наблюдают получаемый спектр. Отмечают положения всех максимумов и минимумов при обоих положениях анализатора, находят их длины волн. Комбинируют попарно остальные пластинки, составляют светофильтр, производят аналогичные измерения и т. д. По результатам измерений для каждого сложного интерференционно-поляризационного светофильтра определяют его основные параметры $\delta\lambda$, $\Delta\lambda$ и $\Delta n = n_e - n_o$ согласно методике, описанной выше. Результаты измерений $\delta\lambda$ для разных светофильтров представляют в виде графика $\delta\lambda = f(d)$.

Упражнение 3. Исследование дисперсии вращения плоскости поляризации. Кристаллическую пластинку, вырезанную перпендикулярно оптической оси, помещают между скрещенными поляризатором и

анализатором и через спектрограф наблюдают получаемый спектр. Находят длины волн всех максимумов и минимумов. Аналогичные измерения рекомендуется производить при параллельной ориентации главных плоскостей поляризатора и анализатора. Результаты измерений следует представить в виде графика, зависимости $\lambda = f(\alpha)$.

Все наблюдаемые спектры рекомендуется фотографировать и по полученному снимку в результате обработки найти вышеупомянутые величины и сопоставить с ранее найденными значениями* при визуальном наблюдении. При получении снимков между двумя последовательными снимками рекомендуется фотографировать спектр ртутной лампы, по которому строят дисперсионную кривую спектрографа. Обработка производится на измерительном микроскопе МИР-12 или ИЗА-2.

Отчет составляется в следующей последовательности: цель работы и краткая теория, оптическая схема спектрографа и его основные характеристики, полученные спектры пропускания фильтров на фотобумаге при различной ориентации поляризаторов, дисперсионная кривая спектрографа, таблицы с результатами измерений, оценка точности измерений.

ЛИТЕРАТУРА

Дитчберн Р. Физическая оптика. М., «Наука», 1965.

Зайдель А. Н., Островская Г. В., Островский Ю. И. Техника и практика спектроскопии. М., «Наука», 1972.

Калптеевский Н. И. Физическая оптика. М., Физматгиз, 1971.

Розенберг Г. В. Оптика тонкослойных покрытий. М., Физматгиз, 1958.