

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №14.

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДА ФОТОУПРУГОСТИ.

Оборудование: полярископ-поляриметр, образцы из плексигласа, зеленый фильтр ($\lambda = 540$ нм), штангенциркуль.

ОПИСАНИЕ ЦЕЛЕЙ РАБОТЫ.

№	Конкретная цель.	Критерий достижения цели.
ИЗУЧЕНИЕ ТЕОРИИ.		
1	Основные понятия кристаллооптики.	Студент без ошибок отвечает на вопросы 1-10.
2	Интерференция поляризованного света.	Студент правильно отвечает на вопросы 11 – 18.
3	Метод фотоупругости.	Студент может объяснить цели метода и их физическое обоснование.

ПРАКТИЧЕСКИЕ УМЕНИЯ.

1. Умение пользоваться "чувствительной" пластинкой для определения разности хода.

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА ФОТОУПРУГОСТИ.

1.1. Двойное лучепреломление в кристалле.

Явление двойного лучепреломления впервые наблюдал Бартолин (1670г.) при прохождении света через кристалл исландского шпата. Оно наблюдается также у многих других кристаллов. Явление двойного лучепреломления заключается в том, что при освещении кристалла узким пучком света в нем возникают два луча, которые со времен Гюйгенса называют обыкновенным и необыкновенным (рис.1,а). Этот эффект наблюдается и при нормальном падении света на естественную грань кристалла. Для необыкновенного луча показатель преломления n_e зависит от направления луча в кристалле, тогда как n_o - показатель преломления обыкновенного луча остается постоянным при любом угле падения световой волны на кристалл. Т.к. показатель преломления вещества определяется скоростью распространения световой волны в веществе ($n = \frac{c}{g}$), то, очевидно, что скорости распространения обыкновенной и необыкновенной волны в кристалле различны.

В любом кристалле имеется направление, в котором отсутствует двойное лучепреломление, т.е. $n_o = n_e$. Это направление называется оптической осью кристалла. Оптическая ось - не линия, а направление, т.е. любая прямая, параллельная этому направлению, является оптической осью. Любая плоскость, проведенная через оптическую ось, называется главным сечением, или главной плоскостью кристалла.

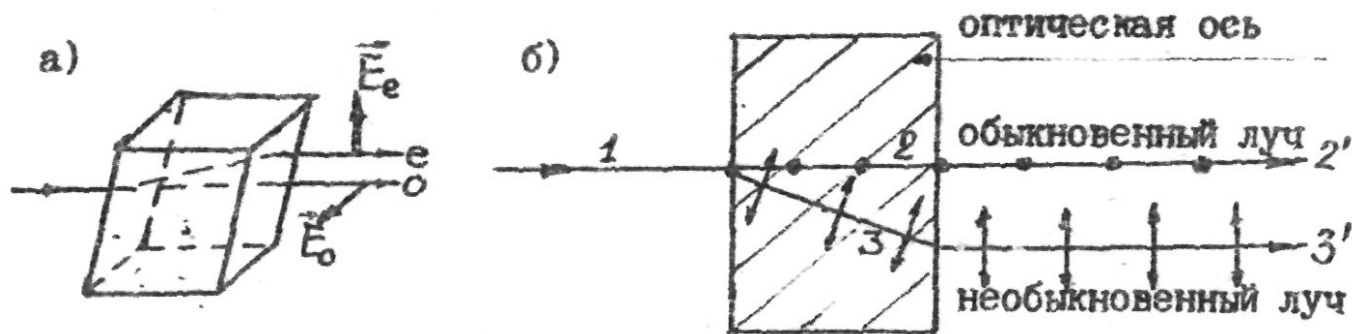


Рис.1.

Обычно выбирают сечение, содержащее рассматриваемый луч. В природе существуют одноосные и двуосные кристаллы. Чаще всего в экспериментах используются одноосные кристаллы, к числу которых откосится исландский шпат.

Оба луча, возникающие в кристалле при двойном лучепреломлении, полностью поляризованы в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Это явление легко продемонстрировать на опыте: пусть свет по выходе из кристалла падает на какой-либо анализатор (поляроид). Повернув его на некоторый угол, мы гасим один луч и пропускаем второй луч, а повернув анализатор еще на 90° , полностью пропускаем первый луч и гасим второй. Анализ таких экспериментов показывает, что колебания вектора \vec{E} в обыкновенном луче перпендикулярны к плоскости главного сечения, а в необыкновенном луче вектор \vec{E} колеблется в плоскости главного сечения, как это и показано на рис.1б.

Чтобы найти направление обыкновенного и необыкновенного лучей внутри кристалла используют построение Гюйгенса (см. любой учебник, например [1,2,3]).

ВОПРОСЫ.

1. В чем заключается явление двойного лучепреломления?
2. В каких средах оно наблюдается?
3. Какой луч называется обыкновенным? необыкновенным? Как их различают?
4. Что такое оптическая ось кристалла? Сколько оптических осей можно провести в кристалле?
5. Что называется главным сечением кристалла? Укажите на примере.
6. Укажите разницу между понятиями "главная плоскость" кристалла и "плоскость падения".
7. Как поляризованы обыкновенный и необыкновенный лучи? Покажите на примере.
8. В каком случае скорости распространения обыкновенной и необыкновенной волны будут одинаковы? Будут ли волны различимы в этом случае?
9. Будет ли наблюдаться двойное лучепреломление, если на кристалл вместо естественного света пустить плоско-поляризованный? В чем состоит различие результатов в этих случаях?
10. Какие из лучей, указанных на рис.1, (1, 2, 3, 2', 3') будут когерентны?

1.2. Интерференция поляризованного света.

Возьмем плоско-параллельную пластинку К (рис.2), вырезанную из одноосного кристалла параллельно оптической оси OO' и поместим ее между двумя поляризаторами. Пропустим через систему пучок параллельных лучей.

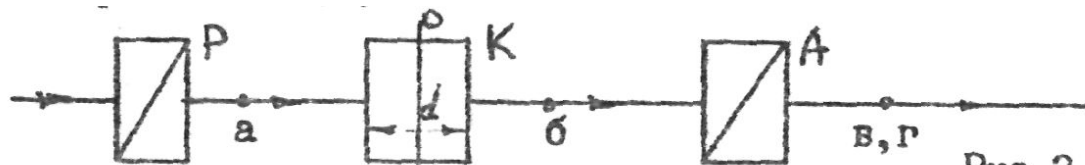


Рис.2

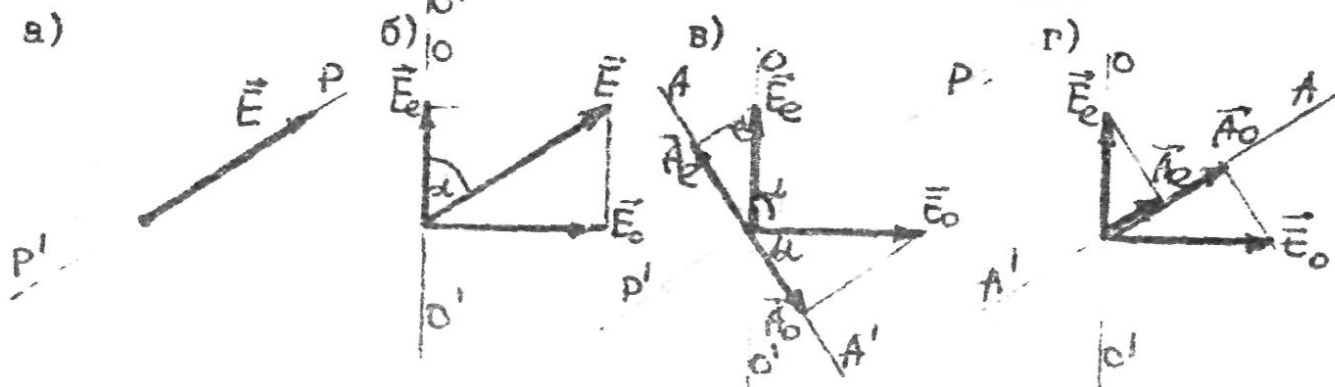


Рис.3.

После поляризатора Р свет станет линейно-поляризованным. Колебания светового вектора будут совершаться вдоль направления PP' (рис.3,а). Амплитуда, колебаний представлена вектором \vec{E} .

Попав в пластинку К, луч разобьется на два - обыкновенный и необыкновенный, которые будут распространяться в пластинке в одном и том же направлении, но с разной скоростью ($n_o \neq n_e$). При этом электрический вектор в необыкновенной волне совершает колебания вдоль направления оптической оси OO' (рис.3,б), в обыкновенной волне - в направлении, перпендикулярном оптической оси. Если направление пропускания поляризатора составляет угол α с направлением оптической оси пластинки, то амплитуды векторов обыкновенной и необыкновенной волны будут равны:

$$E_o = E \sin \alpha; \quad E_e = E \cos \alpha. \quad (*)$$

Т.к. лучи идут с разной скоростью, на выходе из пластинки между ними появится разность хода $\Delta = d(n_o - n_e)$, что соответствует разности фаз колебаний:

$$\delta = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = \frac{2\pi(n_o - n_e)d}{\lambda}. \quad (2)$$

Выйдя из кристалла оба луча пойдут в одном направлении с одинаковой скоростью, сохраняя разность фаз неизменной. В этом случае оба луча можно рассматривать как один, но эллиптически-поляризованный. Интерферировать эти лучи не могут, т.к. они поляризованы во взаимно-перпендикулярных плоскостях.

Второй поляризатор А пропустит лишь колебания, представляющие собой проекцию колебаний E_o и E_e на направление AA' , т.е. сведет оба колебания в одну плоскость. Т.к. оба колебания возникли из одного, они когерентны и могут интер-

ферировать. Результат интерференции будет зависеть от разности фаз δ и ориентации направления пропускания анализатора А.

Случай 1.

Пусть поляризаторы А и Р скрещены, т.е. $AA' \perp PP'$. Из рис.3,в и равенства (*) получим:

$$A_0 = E_0 \cos \alpha = E \sin \alpha \cos \alpha; \quad A_e = E_e \sin \alpha = E \sin \alpha \cos \alpha .$$

Т.о, амплитуды новых колебаний равны друг другу. Т.к. векторы A_0 и A_e (рис.3, в) направлены в противоположные стороны, между соответствующими им колебаниями, кроме разности фаз δ , определяемой формулой (2), имеется еще добавочная разность Фаз π . Если $\delta + \pi = 2k\pi$ (где k - целое число), оба колебания максимально усиливают друг друга и поле зрения при рассматривании сквозь скрещенные поляризаторы окажется светлым. Если $\delta + \pi = (2k + 1)\pi$, колебания полностью погасят друг друга и поле зрения окажется темным. При освещении системы не монохроматическим, а белым светом, наблюдаемый кристалл всегда будет окрашенным, т.к. условия минимума для одной длины волны будут соответствовать условиям максимума для другой. Чаще всего условия максимума будут осуществляться для нескольких длин волн, поэтому окраска образца будет сложной, состоящей из смеси цветов. Тон окраски зависит от толщины пластинки d и разности $(n_0 - n_e)$.

Случай 2.

Поляризаторы параллельны, т.е. $AA' // PP'$ (рис.3, г). Оба вектора A_0 и A_e направлены в одну сторону, поэтому разность фаз между ними останется равной δ . Амплитуды колебаний $A_0 = E_0 \sin \alpha = E \sin^2 \alpha$; $A_e = E_e \cos \alpha = E \cos^2 \alpha$ равны друг другу только при $\alpha = \frac{\pi}{4}$. Это значит, что полностью погасить свет анализатором А можно только при $\alpha = 45^0$. При всех остальных значениях α , поле анализатора всегда будет светлым.

Благодаря тому, что двум положениям анализатора соответствует разность фаз π , при параллельных поляризаторах ослабляются те волны, которые усиливались при скрещенных поляризаторах, и наоборот. В результате, при освещении системы белым светом при двух положениях анализатора окраски получаются разные; эти две окраски называются дополнительными. Окраска непрерывно меняется при повороте анализатора (или поляризатора, или пластинки) вокруг луча.

Описанное явление носит название хроматической поляризации или интерференции поляризованного света. Это весьма чувствительный метод для обнаружения двойного лучепреломления. При малом значении разности $(n_0 - n_e)$ двойное лучепреломление трудно обнаружить путем непосредственного наблюдения обыкновенного и необыкновенного лучей. При рассматривании же пластинки из слабо анизотропного вещества между скрещенными поляризаторами поле будет светлым, что и является доказательством наличия двойного лучепреломления.

ВОПРОСЫ.

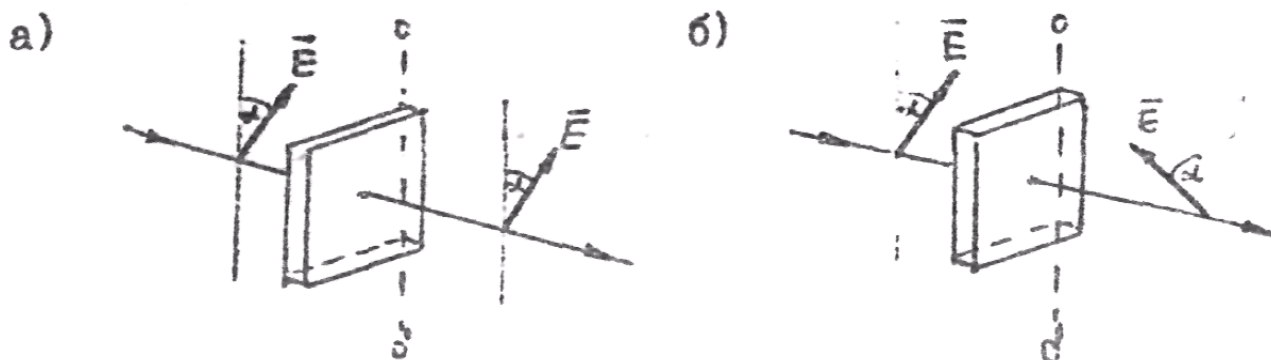
11. Назовите элементы, необходимые для наблюдения интерференции поляризованного света и укажите назначение каждого элемента.
12. Будут ли обыкновенный и необыкновенный лучи когерентны внутри кристалла? вне кристалла?
13. Каково состояние поляризации света на каждом этапе прохождения схемы.
13. Можно ли наблюдать интерференцию без анализатора? Почему?
14. Что мы будем наблюдать в монохроматическом свете, если плоскость пропускания анализатора совпадает с плоскостью колебаний обыкновенного луча? необыкновенного луча? не совпадет ни с одной из указанных плоскостей?
15. Почему в белом свете кристаллическая пластинка будет окрашенной?
16. Что такое дополнительные цвета и в каких случаях цвета пластинок меняются на дополнительные? Как при этом меняется разность фаз?
17. Можно ли наблюдать хроматическую поляризацию без поляризатора P, освещая пластинку естественным цветом?

1.3. Чувствительные пластинки.

В практике оптических измерений широко применяются т.н. чувствительные пластинки, создающие конкретную разность хода: $\lambda; \frac{\lambda}{2}; \frac{\lambda}{4}$. Такие пластинки изготавливаются из одноосных кристаллов и рассчитываются для какой-то одной длины волны.

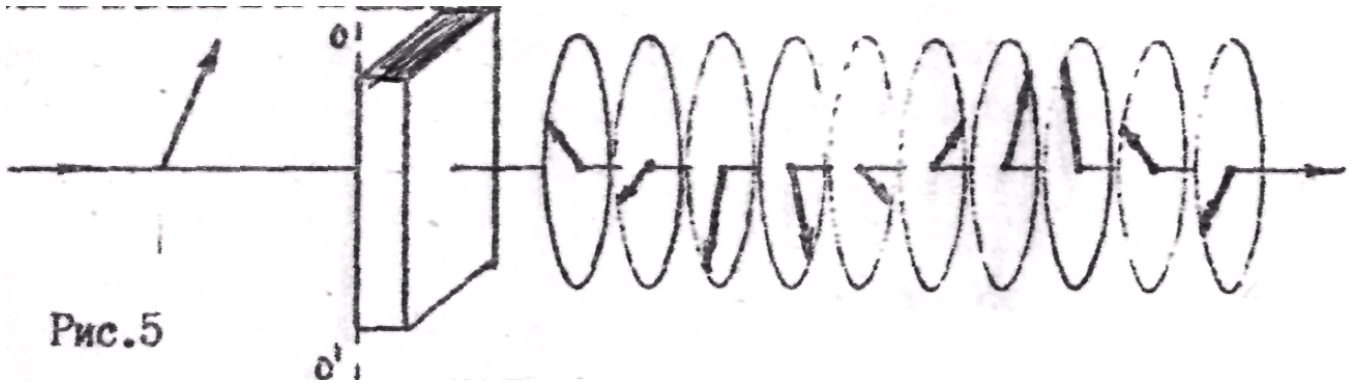
1.3.1. Чувствительная пластинка в целую волну создает разность хода между обыкновенным и необыкновенным лучом $\Delta = k\lambda$. Колебания векторов после пластинки совершаются синхронно. Результирующая волна \vec{E}_0 и \vec{E}_e в этом случае является линейно-поляризованной (рис.4а) и ее можно погасить поляризатором, если свет монохроматический. Если свет белый, то погасится волна данной длины λ , но пройдут волны других длин и дадут окраску поля.

1.3.2. Чувствительная пластинка в половину волны также дает линейно-поляризованный свет, но плоскость колебаний в прошедшей волне будет симметрична плоскости колебаний падающей на пластинку волны относительно оси пластинки (рис.4.б).



Рси.4.

1.3.3. Пластина в четверть волны создает разность хода $\Delta = k\lambda + \frac{\lambda}{4}$ (сдвиг по фазе равен $\frac{\pi}{2}$). В общем случае мы должны получить эллиптически-поляризованный свет. Если же амплитуды колебаний векторов обыкновенной и необыкновенной волны равны, то эллипс превратится в окружность, т.е. мы получим волну, поляризованную по кругу.



ВОПРОСЫ.

19. Что такое пластинка "в четверть волны"?, "в половину волны"?, в целую волну" и каково их действие?
20. Как получить свет, поляризованный по кругу?

МЕТОД ФОТОУПРУГОСТИ.

Интерференция поляризованных лучей лежит в основе метода фотоупругости, который основан на том, что прозрачное изотропное тело, подвергнутое одностороннему сжатию или растяжению (или другим деформациям) становится в оптическом отношении эквивалентным одноосному кристаллу, оптическая ось которого совпадает с направлением действия внешних сил. При не слишком больших напряжениях σ возникающая разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей $n_0 - n_e$, которая служит мерой анизотропии, пропорциональна приложенному напряжению:

$$n_0 - n_e = c\sigma. \quad (3)$$

Коэффициент пропорциональности C зависит от свойств вещества. В случае неоднородной деформации напряжения в разных точках образца различны и, следовательно, неодинакова будет и разность показателей преломления $n_0 - n_e$ в этих точках. При интерференции поляризованного света на поверхности такого образца возникнет сложная интерференционная картина, распределение цветов в которой, будет соответствовать распределению напряжений внутри образца.

Если из прозрачного изотропного материала (например, плексигласа) изготовить модели различных непрозрачных деталей и подвергнуть их деформациям, то по интерференционной картине можно, по крайней мере, качественно изучать характер напряжений в различных конструкциях. Метод фотоупругости имеет широкое применение.

2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ.

2.1. Описание прибора.

В работе используется полярископ-поляриметр ПКС-56, принципиальная схема которого приведена на рис.6, где:

S - источник света;

M - матовое стекло;

П - поляризатор;

O - образец под нагрузкой \vec{F} ;

П_д - чувствительная пластинка;

A - анализатор;

Ф - светофильтр;

ЗТ - зрительная труба;

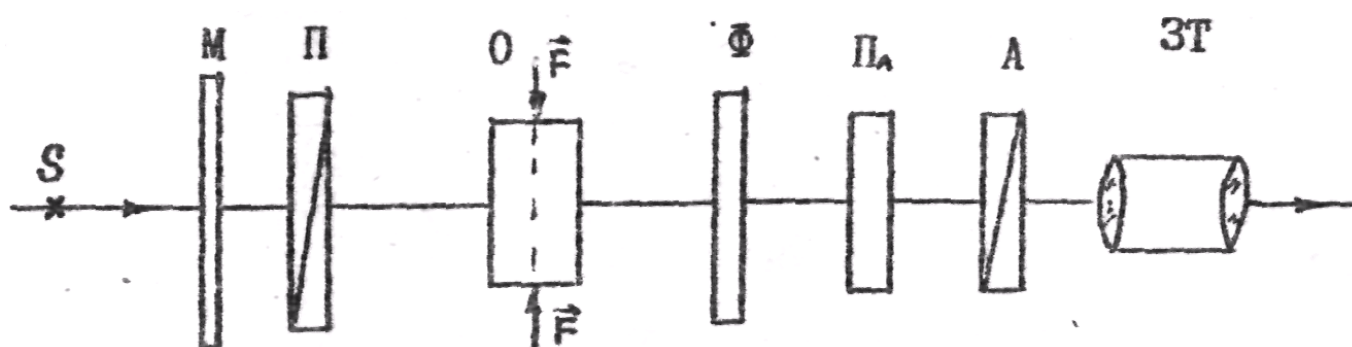


Рис.6.

Корпус прибора укреплен на чугунном основании так, что он может быть наклонен в положение, удобное для наблюдения. К корпусу крепится осветитель с электрической лампой (220 В). Для равномерного освещения поляризатора. П применяется матовое стекло М. Поляризатор П и анализатор А представляют собой пленки поляроида, склеенные между двумя стеклами. К корпусу крепится головка анализатора, состоящая из анализатора и сектора с пластинками "в четверть волны" ($\frac{\lambda}{4}$) и целую волну (λ). Пластинки можно переключать рукояткой. Обе пластинки изготовлены для зеленого света в интервале длины волны близкой к 540 нм.

Деформированный образец устанавливается на столике прибора примерно против центра поляризатора, и рассматривается через анализатор на просвет.

2.2. Определение разности хода с помощью "чувствительной пластинки".

"Чувствительным" фиолетовым цветом называют интерференционный цвет, расположенный на переходе от спектра первого порядка к спектру второго порядка (где происходит наложение красного цвета первого порядка на синий цвет второго). "Чувствительным" он назван потому, что совсем ничтожное изменение соответствующей этому цвету разности хода резко меняет окраску пластинки. "Чувствительный" цвет наблюдают только при скрещенных поляризаторах, при этом чувствительный фиолетовый оттенок отвечает разности хода 575 нм. Увеличение разности хода всего лишь на 14 нм, т.е. $\Delta = 589$ нм, дает индигово-синюю окраску, а умень-

шение на 10 нм, т.е. $\Delta = 565$ нм, - пурпурно-красный цвет.

Если образец деформирован незначительно, то разность хода будет мала (менее 300 нм) и интерференционная картина в образце не возникает. В этом случае между образцом и анализатором вводят чувствительную пластинку, которая так же разлагает луч света на два взаимно-перпендикулярных колебания и задает некоторую дополнительную разность фаз. В приборе имеется чувствительная пластинка в 1λ , которая установлена так, что направления ее главных плоскостей составляют угол 45° с направлением пропускания поляризатора.

Задание 1. Ознакомление с пластинкой в целую волну (" 1λ ").

1. Ознакомьтесь с устройством прибора. Укажите все его элементы (см. рис.6.).
Стеклянные фильтры выдаются студенту при выполнении работы.
2. Рукоятку с пластинками установите на "0". Включите прибор в сеть (220 В).
3. Установите анализатор на темноту, что должно соответствовать отсчету на лимбе анализатора – 0° .
4. Введите пластинку " 1λ ". Запишите наблюдаемый цвет (пурпурно-фиолетовый).
5. Укрепите на столике фильтр зеленого цвета, потом желтого, синего и т.д. Опишите наблюдения и дайте им объяснения.
6. Поверните анализатор на угол $\frac{\pi}{2}$ и повторите п.п. 4-5. Укажите разницу в наблюдениях и дайте объяснение.
7. Установите зеленый фильтр и медленно поворачивайте анализатор. Запишите наблюдения и объясните их.
7. Установите фильтр другого цвета и вновь наблюдайте изменение цвета при повороте анализатора. Объясните.
8. Уберите все фильтры и рассмотрите изменения цветов при повороте анализатора в белом свете. Укажите дополнительные цвета.

Задание 2. Определение разности хода в образце с помощью чувствительной пластинки.

1. Ручку с пластинками установите на "0". Включите прибор.
2. Установите анализатор на "темноту".
3. Слабо деформированный образец установите на столике прибора. Рассмотрите его окраску.
4. Поверните анализатор на 90° . Окраска образца должна измениться на дополнительную. При повороте на 45° окраска исчезнет.
5. Верните анализатор в исходное положение ("0") и введите пластинку " 1λ ". Разность хода, создаваемая образцом теперь будет суммироваться с разностью хода в пластинке " 1λ " или вычитаться. Разность хода в образце будет характеризоваться отступлением от пурпурно-фиолетового цвета по следующей таблице интерференционных цветов.

Таблица 1.

Цвета.	Разность хода Δ , нм.
Желтый.	325
Желто-зеленый.	275
Зеленый.	200
Голубовато-зеленый.	145
Голубой.	115
Пурпурно-фиолетовый.	0
Красный.	25
Оранжевый.	130
Светло-желтый.	200
Желтый.	260
Белый.	310

6. Поворачивают образец до получения максимальной яркости интерференционной картины. По наблюдаемой окраске и таблице 1 находят разность хода Δ в нм.
7. Из формулы $n_o - n_e = \frac{\Delta}{d}$ можно найти разность показателей преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей. (Не забывайте, что Δ и d должны быть выражены в одинаковых единицах).
8. Уберите образец и поверните анализатор на 90° . Теперь его плоскость пропускания параллельна плоскости пропускания поляризатора. Пластинка в "1л" теперь окрашена желтым цветом. Введите вновь образец и убедитесь, что в этом случае пластинка теряет свои "чувствительные" свойства.
9. Вновь скрестите анализатор с поляризатором и повторите опыты 3-8 с кусочками целлофана или слюды.

2.3. Задание 3. Определение силы, деформирующей образец.

При выполнении задания используется пластинка в четверть волны. Рассмотрим подробнее прохождение света в приборе.

Из поляризатора выходит линейно-поляризованный свет, электрический вектор которого составляет с вертикалью угол 45° (рис.7,а). Тогда на исследуемый образец падает волна, электрический вектор которой изменяется по закону $e = E \sin \omega t$. Образец деформируется в вертикальном направлении, соответственно, вертикально будет направлена его оптическая ось OO' (рис.7,б). Из образца выйдут две волны, обыкновенная и необыкновенная, плоскости колебаний которых будут направлены вдоль горизонтальной оси x и вертикальной оси y (рис.7б). Колебания электрических векторов этих волн после выхода из образца будут сдвинуты по фазе на

$\delta = \frac{2\pi d(n_o - n_e)}{\lambda}$ и их можно представить уравнениями:

$$e_x = E_o \sin \omega t = \frac{\sqrt{2}}{2} E \sin \omega t.$$

$$e_y = E_e \sin (\omega t + \delta) = \frac{\sqrt{2}}{2} E \sin (\omega t + \delta).$$

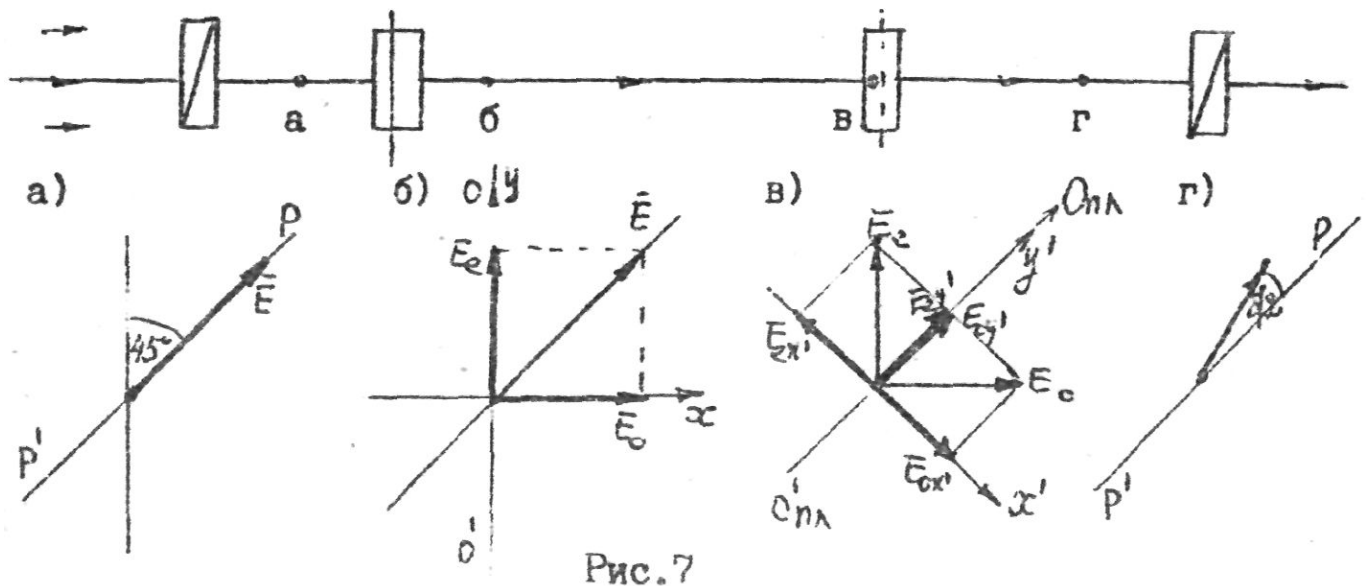


Рис.7

На пути этих волн поставлена пластинка в четверть волны. Оптическая ось пластинки совпадает с направлением пропускания поляризатора (под углом 45° к вертикали). Пластинка также разложит каждую волну на две с колебаниями, направленными вдоль оптической оси пластинки и перпендикулярно ей (рис.7,в). Обозначим новые направления x' и y' . Т.к. каждая новая пара волн имеет на выходе из пластинки дополнительную разность хода $\frac{\lambda}{4}$ (или разность фаз $\frac{\pi}{2}$), уравнения колебаний вдоль направлений x' и y' будут иметь вид:

$$e_{x'} = (e_x)_{x'} - (e_y)_{x'} = \frac{E}{2} [\sin \omega t - \sin(\omega t + \delta)] = \frac{E}{2} \cdot \sin\left(\frac{\delta}{2}\right) \cdot \cos(\omega t + \delta);$$

$$e_{y'} = (e_x)_{y'} + (e_y)_{y'} = \frac{E}{2} [\sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) + \sin(\omega t + \delta + \frac{\pi}{2})] = \frac{E}{2} \cdot \cos\left(\frac{\delta}{2}\right) \cdot \cos(\omega t + \frac{\delta}{2}).$$

Полученный результат означает, что из пластинки в четверть волны выйдет линейно-поляризованный свет, плоскость колебаний которого наклонена к плоскости колебаний поляризатора под углом $\frac{\delta}{2}$ (рис.7,г). Если анализатор поставить так, что его плоскость поляризации составит с плоскостью поляризации поляризатора угол $\frac{\pi}{2} \pm \frac{\delta}{2}$, то вектор амплитуды колебаний электрического поля будет равен нулю и поле зрения будет темным.

Таким образом, если поле зрения в отсутствии образца будет темным, то при помещении деформированного образца поле зрения просветляется, и для его затемнения анализатор следует повернуть на угол $\frac{\delta}{2}$. Угол поворота анализатора можно измерить по лимбу, связанному с головкой анализатора.

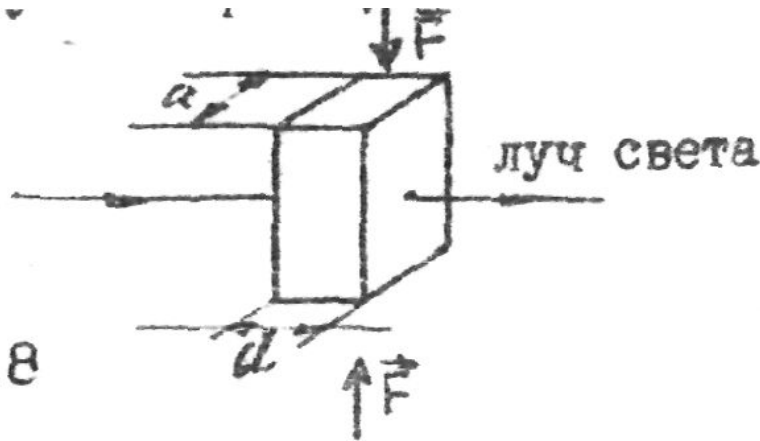


Рис.8

Пусть образец сжат с силой F , тогда $\sigma = \frac{F}{S}$, где $S = a \cdot d$ - поперечное сечение образца, a - ширина образца (рис.8).

Из $n_0 - n_e = c\sigma = \frac{CF}{ad}$ (3) и $n_0 - n_e = \frac{\delta\lambda}{2\pi d}$ (2), получим:

$$F = \frac{a\varphi\lambda}{\pi C}, \quad \text{где } \varphi = \frac{\delta}{2}. \quad (4)$$

ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ.

1. Выведите все пластинки и включите прибор.
2. Установите анализатор на "темноту".
3. Измерьте штангенциркулем ширину образца a и установите его на столике. При наличии двойного лучепреломления в образце поле зрения должно просветлеть.
4. Введите пластинку " $\frac{\lambda}{4}$ ".
5. Поверните анализатор так, чтобы самое светлое место на образце стало наиболее темным. Измерьте по лимбу угол поворота анализатора φ . Если разность хода в образце лежит в пределах от 100 до 540 нм, то максимальное потемнение в середине образца сопровождается появлением окраски видимой картины, что мешает точно определять положение анализатора. В этом случае измерение угла φ проводится через зеленый светофильтр.
6. По формуле (4) подсчитайте силу, деформирующую образец. Коэффициент фотоупругости C для плексигласа равен: $C = 10^{-10} \frac{\text{и}^2}{\text{и}}$.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Ландсберг Г.С.: Оптика. Наука, М., 1976, § 109-112., с.с. 388-393, 396-399.
2. Сивухин Д.В.: Общий курс физики. Оптика. М., 1980, § 78-79, с. 472-486.
3. Савельев И.В.: Курс общей физики, т.2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. Наука, М., 1988, § 137-139, с. 440-447.
4. Лабораторные занятия по физике (под ред. Л.Л. Гольдина). М., Наука, 1983, с. 493-500.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Будет ли скорость распространения необыкновенного луча в кристалле всегда определяться отношением $\frac{C}{n_e}$?
2. Может ли быть поляризованной по кругу звуковая волна в воздухе?
3. На идеальный поляризатор падает поляризованный по кругу свет с интенсивностью I_0 . Какова будет интенсивность света за поляризатором?
4. На пути плоскополяризованного монохроматического света установлена пластинка в четверть волны. Какие изменения будут происходить со светом, вышедшим из пластинки, при вращении пластинки вокруг направления луча?
5. Как определить направление оптической оси у пластинки в четверть волны?
6. Пусть плоско-поляризованный свет падает нормально на пластинку $\frac{\lambda}{4}$ так, что плоскость колебаний составляет с оптической осью пластинки углы:
 - а) $\alpha = 0^0$;
 - б) $\alpha = 90^0$;
 - в) $0^0 < \alpha < 90^0$.Опишите характер прошедшего через пластинку света.
6. Каково будет действие пластинки в полволны:
 - а) на линейно-поляризованный свет, плоскость поляризации которого составляет угол 45^0 с оптической осью пластинки;
 - б) на свет, поляризованный по кругу;
 - в) на естественный свет?
7. Пусть дан диск, который может быть:
 - а) сделан из обыкновенного стекла;
 - б) поляризационной пластинкой;
 - в) пластинкой в четверть волны;
 - г) пластинкой в полволны.Как можно распознать перечисленные свойства диска?
8. Укажите способы, которые позволяли бы отличить:
 - а) естественный свет от поляризованного по кругу;
 - б) эллиптически-поляризованный от частично-поляризованного;
 - в) эллиптически-поляризованный от поляризованного по кругу?
10. Укажите порядок своих действий при определении состояния поляризации светового пучка.
11. Показатели преломления для кварца (SiO_2): $n_0 = 1.544$, $n_e = 1.553$ ($\Delta n = +0.009$), а для известкового шпата ($CaCO_3$): $n_0 = 1.658$, $n_e = 1.486$, ($\Delta n = -0.172$). Будет ли пластинка в четверть волны, изготовленная из известкового шпата толще такой же пластинки из кварца?
12. Для льда в таблицах можно найти следующие данные: $n_0 = 1.309$, $n_e = 1.313$. Но если лед обладает двойным лучепреломлением, то почему мы не видим двойного изображения предметов при разглядывании их через ледяной куб?