

535 НБ МИФИ

535

И83

МИФИ

И. Е. Иродов

**Лабораторный
практикум
„Волновая оптика“**

МОСКВА 1983

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

И. Е. Иродов

ЛАБОРАТОРНЫЙ
ПРАКТИКУМ
"ВОЛНОВАЯ ОПТИКА"

Москва 1983

Иродов И.Е. Лабораторный практикум "Волновая оптика".
Учебное пособие. — М.: Изд. МИФИ, 1983, 80 с.

Практикум содержит описания 12 лабораторных работ по основным разделам волновой оптики — интерференции, дифракции и поляризации. Предназначен для студентов изучающих в четвертом семестре курс общей физики.

Дополнением к нему является Лабораторный практикум "Волновые процессы и оптика" (под ред. проф. И.Е. Иродова, Изд. МИФИ, 1983).

Рецензенты:
В.А. Сухов, Б.П. Захаров

СОДЕРЖАНИЕ

Методические указания.....	4
<u>Работа 1.</u> Изучение интерференции с помощью бипризмы..	5
<u>Работа 2.</u> Изучение интерференции с помощью зеркала Ллойда.....	12
<u>Работа 3.</u> Изучение интерференции методом колец Ньютона	16
<u>Работа 4.</u> Изучение интерферометра Рэлея.....	22
<u>Работа 5.</u> Изучение интерференции и дифракции с помощью лазера.....	28
<u>Работа 6.</u> Изучение отражательной дифракционной решетки	34
<u>Работа 7.</u> Изучение дифракции Фраунгофера.....	42
<u>Работа 8.</u> Исследование дифракции света на ультразвуке	47
<u>Работа 9.</u> Изучение явления поляризации света.....	55
<u>Работа 10.</u> Изучение явления фотоупругости.....	62
<u>Работа 11.</u> Изучение естественного вращения плоскости поляризации.....	67
<u>Работа 12.</u> Изучение магнитного вращения плоскости поля- ризации	73

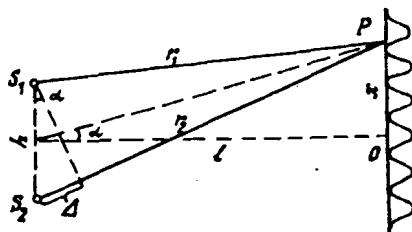


Рис. 1.1

где l — расстояние от источников до плоскости PO , h — расстояние между источниками. Из последней формулы следует, что переход к соседнему максимуму в точке $x + \Delta x$ соответствует приращению разности хода Δ на целую длину волны λ . Отсюда ширина интерференционной полосы

$$\Delta x = \lambda l / h. \quad (1.1)$$

Эта формула служит для определения λ . Входящие в нее Δx и l измеряют непосредственно. Для определения же h (оно обычно недоступно непосредственному измерению) поступают так. За источниками помещают вспомогательный объектив. Пусть при одном положении объектива расстояние между изображениями щелей h_1 , при другом — h_2 (рис. 1.2). Тогда с помощью этого рисунка нетрудно показать, что

$$h = \frac{d}{f} \frac{h_1 h_2}{|h_1 - h_2|}, \quad (1.2)$$

где d — расстояние между обоими положениями объектива, f — фокусное расстояние последнего.

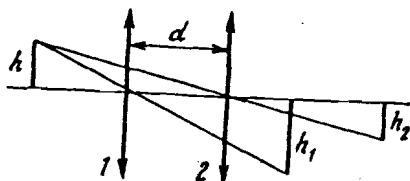


Рис. 1.2

Выше предполагалось, что сам источник монохроматический и имеет вид бесконечно узкой щели.

Конечность ширины щели приводит к уменьшению контрастности интерференционной картины вследствие перекрытия элементарных интерференционных картин, возникающих от разных элементов щели. Картина будет еще достаточно отчетливой, если ширина настолько мала, что сдвиг интерференционных картин от крайних элементов щели не превышает половины ширины интерференционной полосы.

Немонохроматичность света приводит к постепенному размытию полос по мере удаления от центрального максимума. Это связано с тем, что ширина полосы $\Delta x \sim \lambda$, поэтому при наличии спектрального интервала $\Delta \lambda$ максимумы одной длины волны будут постепенно накладываться на минимумы других длин волн. Полосы исчезнут совсем, когда максимум k -го порядка для $\lambda + \Delta \lambda$ совпадет с максимумом $(k+1)$ -го порядка для λ . В этом случае весь провал между максимумами k -го и $(k+1)$ -го порядков для λ будет заполнен максимумами k -го порядка промежуточных длин волн данного спектрального интервала $\Delta \lambda$. Итак, условие исчезновения полос есть $(k+1)\lambda = k(\lambda + \Delta \lambda)$, откуда

$$\Delta \lambda = \lambda / k. \quad (1.3)$$

Таким образом, чем более монохроматичен свет, тем более высокие порядки интерференции k доступны наблюдению.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

В данной работе расщепление исходной световой волны осуществляется бипризмой Френеля. Это симметричная стеклянная призма с очень малыми преломляющими углами (рис. 1.3). Источником света служит узкая щель S , расположенная параллельно ребру тупого угла бипризмы. При прохождении света через верхнюю и нижнюю половины бипризмы каждая элементарная световая волна расщепляется на две когерентных волны, как бы исходящие из точек S_1 и S_2 — мнимых изображений источника S . Расщепленные пучки частично перекрываются, образуя зону интерференции.

Угловая ширина φ зоны интерференции зависит только от свойств бипризмы:

$$\varphi = 2\theta(n-1), \quad (1.4)$$

где θ — преломляющий угол бипризмы; n — показатель преломления стекла.

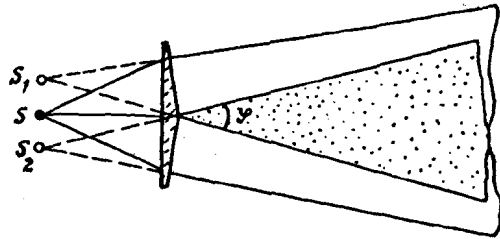


Рис. 1.3

Работу выполняют на оптической скамье — массивной направляющей, на которой установлены рейтеры с необходимыми оптическими элементами (рис. 1.4). Здесь 1 — осветитель (лампа с конденсорной линзой), 2 — сменный светофильтр, 3 — раздвижная щель, 4 — бипризма, 5 — вспомогательный объектив, 6 — окуляр-микрометр.

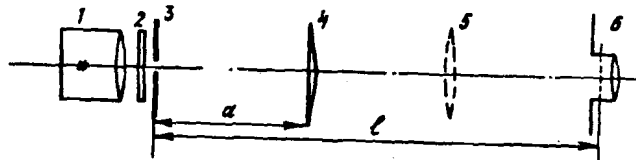


Рис. 1.4

Бипризма находится в специальном держателе, который обеспечивает ее поворот вокруг продольной оси установки (вращением накатанного кольца-оправы) и небольшие перемещения перпендикулярно к этой оси (после раскрепления накатанной головки винта над оправой бипризмы).

Окуляр-микрометр служит для измерения интерференционной картины, наблюдаемой в его передней фокальной плоскости (она показана пунктиром). Цена деления барабана окуляр-микрометра 0,01 мм. Фокусное расстояние вспомогательного объектива указано на его оправе.

Лампа осветителя питается от сети через трансформатор, на котором имеется рукоятка для регулировки ее накала.

К установке прилагаются два светофильтра, зеленый и красный.

ЗАДАНИЕ

Определение длины волны света

Наладка установки. Установить на оптической скамье осветитель, щель (без светофильтра), бипризму и окуляр-микрометр. Включить осветитель и расширить щель. Перемещениями лампы осветителя и рейтера со щелью добиться максимально яркого и равномерного освещения щели (по крайней мере ее середины).

Придвинув бипризму и окуляр-микрометр непосредственно к щели, отцентрировать их по высоте. Затем окуляр-микрометр отодвинуть на конец скамьи, а бипризму — на 30 — 40 см от щели.

Перемещая бипризму перпендикулярно к продольной оси установки, добиться того, чтобы белый экран окуляр-микрометра пересекся по диаметру светлой полосой.

После этого, уменьшая ширину щели и слегка поворачивая оправу бипризмы, получить в поле зрения окуляр-микрометра максимально отчетливую интерференционную картину — систему окрашенных полос с центральной белой полосой.

Ввести один из светофильтров и дополнительной юстировкой положения бипризмы и ширины щели добиться того, чтобы число полос стало как можно больше. Накал лампы при этом должен быть наиболее удобным для наблюдения.

Измерения. Сфокусировав окуляр-микрометр на четкое видение визирного креста, промерить расстояние между максимумами, отстоящими друг от друга на возможно большее число полос. Измерение проделать не менее трех раз для каждого светофильтра, после чего вычислить ширину полосы Δx в обоих случаях.

Одновременно для каждого светофильтра определить максимальный порядок интерференции, т.е. порядок того максимума, который еще можно достаточно уверенно различить ($k_{\text{макс}}$).

Измерить также расстояние l между щелью и плоскостью наблюдения (см. рис. 1.4), а также расстояние a между щелью и бипризмой (по указателям на рейтерах).

Затем, не меняя положения щели и бипризмы, установить между бипризмой и окуляр-микрометром вспомогательный объектив. Придвинув его непосредственно к бипризме, найти такое положение окуляр-микрометра, при котором в его поле зрения получится резкое двойное изображение щели (без параллакса

относительно визирного креста). Измерить не менее трех раз расстояние между серединами этих изображений (h_1) и записать положение объектива.

После этого отодвинуть окуляр-микрометр на конец скамьи и, перемещая объектив, опять получить резкое двойное изображение щели. Снова измерить расстояние между этими изображениями (h_2) и записать новое положение объектива.

Убедиться, что мнимые изображения щели практически лежат в ее плоскости. Для этого достаточно убрать бипризму — в поле зрения окуляр-микрометра должно появиться четкое изображение самой щели.

Вычисления. По результатам измерений вычислить с помощью формулы (1.2) расстояние h между мнимыми изображениями щели. После этого найти:

1) эффективную длину волны света λ и область пропускания $\Delta\lambda$ для каждого светофильтра по формулам (1.1) и (1.3);

2) угловую ширину зоны интерференции (в угл. мин) по формуле $\varphi = h/a$, где h — расстояние между мнимыми источниками, a — расстояние между щелью и бипризмой, а также преломляющий угол θ бипризмы по формуле (1.4), если $n = 1,52$.

Кроме того, сравнить (для каждого светофильтра) полное число видимых полос интерференции с максимально возможным для данной ширины зоны интерференции: $N_{\text{макс}} = b\varphi/\Delta x$, где b — расстояние между бипризмой и плоскостью наблюдения; φ — угловая ширина зоны интерференции; Δx — ширина полосы.

Объяснить причину возможных расхождений.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему бипризму делают с очень малым преломляющим углом?

2. Будет ли наблюдаться интерференционная картина, если одну половину бипризмы закрыть красным светофильтром, а другую — зеленым?

3. Что произойдет с интерференционной картиной, если одну половину бипризмы перекрыть тонкой прозрачной пластинкой (толщиной порядка нескольких длин волн)?

4. Объяснить, как влияет на интерференционную картину ширина щели источника и немонохроматичность света.

5. Каким образом можно получить наиболее отчетливую интерференционную картину в данной работе?

РАБОТА 2

ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ С ПОМОЩЬЮ ЗЕРКАЛА ЛЛЮЙДА

Ц е л ь – определить длину волны света.

Предварительно необходимо ознакомиться с введением к работе 1.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

В работе используется интерференционная схема, предложенная Ллойдом (рис. 2.1). Здесь световая волна 1, исходящая непосредственно от источника S , интерферирует с волной 2, отраженной от поверхности зеркала АВ (зеркала Ллойда). При этом отраженную волну можно рассматривать как бы исходящей из мнимого источника S' , когерентного с S . Источником S обычно служит узкая щель, параллельная плоскости зеркала.

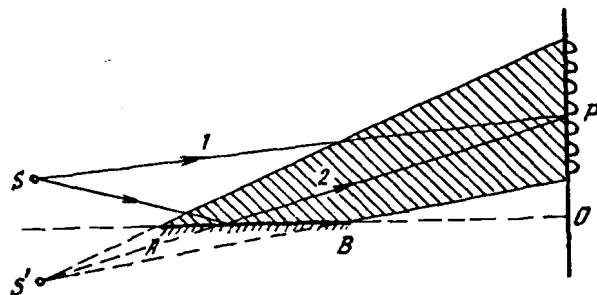


Рис. 2.1

В плоскости наблюдения PO возникает система чередующихся светлых и темных полос, параллельных щели S .

Работа выполняется на оптической скамье – массивной направляющей, на которой установлены рейтеры с необходимыми оптическими элементами (рис. 2.2). Здесь 1 – ртутная лампа, 2 – конденсорная линза, 3 – светофильтр, 4 – раздвижная

щель, 5 – стеклянная пластинка (зеркало Ллойда), 6 – вспомогательный объектив, 7 – окуляр-микрометр, служащий для измерения интерференционной картины в плоскости, совпадающей с его измерительной шкалой (она показана пунктиром).

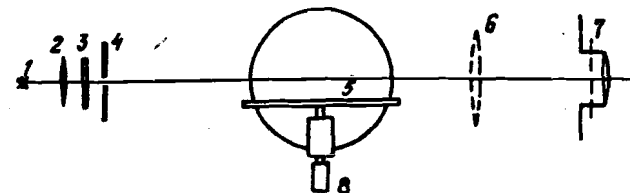


Рис. 2.2

Щель вместе с ее оправой можно поворачивать вокруг оптической оси установки (после раскрепления винта с накатанной головкой – он расположен сверху держателя-втулки).

Зеркало Ллойда установлено на специальном столике, поворачивающемся вокруг оси рейтера. Поступательное перемещение зеркала осуществляется вращением винта 8.

Цена деления барабана окуляр-микрометра 0,01 мм.

ЗАДАНИЕ

Определение длины волны света

Наладка установки. Включить ртутную лампу. Раскрепить винт, фиксирующий наклон щели по отношению к вертикальной оси (при этом щель должна свободно поворачиваться вокруг оптической оси установки). Установить ось рейтера с зеркалом на расстояние около 10 см от щели. В этом положении рейтеры со щелью и зеркалом закрепить на скамье. Проследить, чтобы щель была достаточно узкой, а ее освещение – максимально ярким и равномерным (это зависит от положения конденсорной линзы).

Глядя непосредственно на щель, повернуть зеркало так, чтобы в нем появилось ее изображение. Оно должно быть на глаз параллельным самой щели, в противном случае следует немного изменить наклон щели.

Установить окуляр-микрометр на 20 – 25 см от зеркала. Наблюдая в окуляр и одновременно поворачивая ось рейтера с зеркалом, ввести в поле зрения наиболее светлый участок – область интерференции. Затем, медленно поворачивая щель, получить интерференционную картину – систему близко расположенных друг к другу эквидистантных полос. Иметь в виду, что может наблюдаться еще дифракция от края зеркала в виде неравномерных полос – ее легко отличить от искомой картины.

Осторожно отодвинуть окуляр-микрометр на конец скамьи, и в этом положении его рейтер закрепить. Дополнительной юстировкой зеркала (путем поворота его и поступательного перемещения) добиться, чтобы интерференционная картина оказалась в середине поля зрения окуляра, а ширина полос была достаточно удобной для измерения. Кроме того, добиться, чтобы картина стала максимально отчетливой – это достигается малым дополнительным поворотом щели и изменением ее ширины. После этого положение щели закрепить винтом.

ВНИМАНИЕ! В дальнейшем – до конца измерений – необходимо проявлять особую осторожность по отношению к положению зеркала и щели. Достаточно их немного сместить, и результаты измерений окажутся ошибочными!

Измерения. Сфокусировав окуляр-микрометр на четкое видение визирного креста, промерить расстояние между максимумами (или минимумами), отстоящими друг от друга на достаточно большое число полос N , например, $N = 10$. Это измерение проделать не менее трех раз, главным образом, во избежание просчета в числе N . Из полученных результатов вычислить среднее значение ширины Δx одной полосы.

Кроме того, измерить расстояние l между щелью и плоскостью наблюдения, совпадающей с измерительной шкалой окуляр-микрометра (метка на основании рейтера).

После этого, не меняя положения щели и зеркала, осторожно установить вспомогательный объектив – между зеркалом и окуляр-микрометром. Перемещая рейтер с этим объективом и сам объектив (перпендикулярно к оптической оси), получить в поле зрения окуляр-микрометра резкое двойное изображение щели (без параллакса относительно измерительной шкалы). Измерить не менее трех раз расстояние (h_1) между серединами этих изображений и записать положение рейтера с объективом.

Затем осторожно передвинуть вспомогательный объектив непосредственно к зеркалу и, перемещая окуляр-микрометр, опять получить резкое двойное изображение щели. Снова измерить расстояние (h_2) между серединами изображений (не менее трех раз) и записать новое положение рейтера с объективом.

Вычисления. По формуле (1.2) из предыдущей работы найти расстояние h между щелью и ее мнимым изображением, после чего по формуле (1.1) рассчитать длину волны света.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. От чего зависит угловая ширина зоны интерференции в данном опыте?
2. Почему угол падения света на зеркало Ллойда берут обычно близким к 90° ?
3. Как надо перемещать зеркало Ллойда, чтобы ширина интерференционных полос стала возрастать?
4. В чем отличие дифракционной системы полос (от края зеркала) и интерференционной картины?
5. Каким путем можно увеличить четкость интерференционной картины в данном опыте?

РАБОТА 3

ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ МЕТОДОМ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

Цель — измерить радиус кривизны линзы и определить длину волны света.

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдение интерференции света возможно лишь в том случае, если складываемые световые волны когерентны, т.е. имеют постоянную во времени разность фаз. В интерференционных схемах получение когерентных световых волн достигается путем расщепления световых волн, исходящих из одного источника, например, на две части. Последние, будучи когерентными волнами, в области перекрытия дают интерференционную картину в виде чередующихся светлых и темных полос.

Один из способов наблюдения интерференции света осуществляется при отражении падающего света от верхней и нижней границ воздушной прослойки, образованной между поверхностью плоской полированной пластинки и соприкасающейся с ней выпуклой сферической поверхностью линзы (рис. 3.1). Отраженные от обеих поверхностей прослойки световые волны являются когерентными и поэтому будут интерферировать. В месте соприкосновения обеих поверхностей наблюдаются так называемые кольца Ньютона.

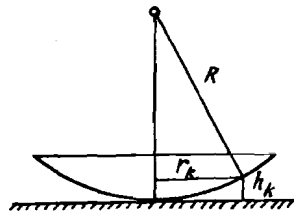


Рис. 3.1

Темные кольца в отраженном свете (при нормальном падении монохроматического света на систему) возникают в тех местах, где оптическая разность хода лучей, отраженных от верхней и нижней поверхностей воздушной прослойки, составляет нечетное число полуволи $\lambda/2$. Для k -го темного кольца эта оптическая разность хода равна $2h_k + \lambda/2$, где h_k — толщина прослойки в месте расположения данного кольца (см. рис. 3.1), а $\lambda/2$ — дополнительная разность хода, возникающая в связи с тем, что одна из интерферирующих волн отражается от оптически более плотной среды, испытывая при этом скачок фазы на π ("потеря полуволи").

Таким образом, условие образования k -го темного кольца:

$$2h_k + \lambda/2 = (k + 1/2)\lambda, \quad (3.1)$$

где k — порядок интерференции ($k = 0, 1, 2, \dots$).

Толщину воздушной прослойки h_k можно выразить через радиус k -го темного кольца r_k и радиус кривизны поверхности линзы R (см. рис. 3.1) по формуле

$$h_k = r_k^2 / 2R. \quad (3.2)$$

Комбинируя (3.1) и (3.2), получим

$$r_k^2 = k\lambda R. \quad (3.3)$$

Отсюда, измерив r_k и зная k и R , можно определить λ .

Однако практически трудно добиться идеального контакта сферической поверхности линзы и пластинки (вследствие упругой деформации стекла и попадания в место соприкосновения пылинок). Поэтому непосредственно использовать формулу (3.3) для вычислений нельзя: k -му темному кольцу в действительности может соответствовать не k -й порядок интерференции, а $k + \rho$, где ρ — неизвестное целое число, одинаковое для всех колец.

Для исключения возможной ошибки вычисление λ производят по разности квадратов радиусов колец. В этом случае неизвестное ρ исключается, и расчетная формула принимает вид

$$\lambda = (r_m^2 - r_n^2) / R(m - n), \quad (3.4)$$

где m и n — номера колец.

ОПИСАНИЕ ПРИБОРОВ

В работе используются два прибора: сферометр (для определения радиуса кривизны поверхности линзы) и микроскоп (для измерения радиусов колец Ньютона).

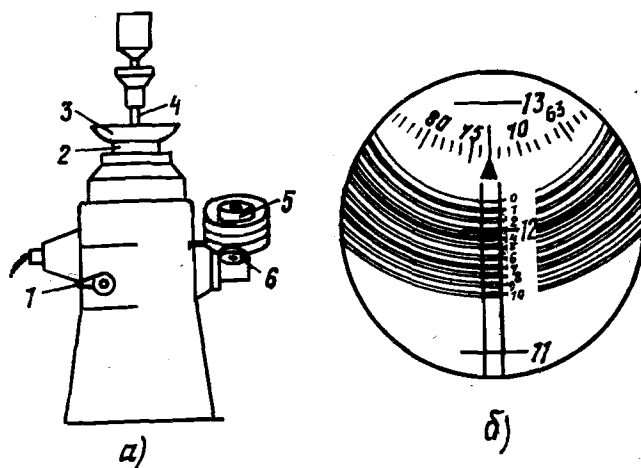


Рис. 3.2

Сферометр (рис. 3.2,а). В верхней части его корпуса имеется измерительное кольцо 2 с тремя опорными шариками, на которые помещают измеряемую линзу 3. Внутри корпуса расположен стержень, который благодаря специальному устройству поднимается вверх до соприкосновения с линзой. Если вес линзы недостаточен, чтобы преодолеть давление со стороны измерительного стержня, то применяется упор 4, которым линзу прижимают к измерительному кольцу. Для отвода измерительного стержня вниз служит рычаг-арретир 1.

Измерительный стержень соединен с миллиметровой шкалой, отсчет по которой делают через окуляр 5. В поле зрения окуляра (рис. 3.2,б) одновременно видны два - три штриха миллиметровой шкалы, обозначенные крупными цифрами (11, 12 и 13), неподвижная вертикальная шкала (0, 1, 2, ..., 10) с ценой деления 0,1 мм, круговая шкала вверху с ценой деления 0,001 мм и двойные витки спирали.

Чтобы произвести отсчет, надо маховичком 6 подвести двойной виток спирали так, чтобы миллиметровый штрих, находящийся в зоне витков, оказался точно посередине между двойными линиями витка. Отсчет (см. рис. 3.2,б): число миллиметров - 12, десятых долей миллиметра - 2 (по числу целых делений неподвижной вертикальной шкалы над штрихом 12), тысячных долей миллиметра - 73 (по делению верхней круговой шкалы над указателем стрелки). В результате - 12,273 мм.

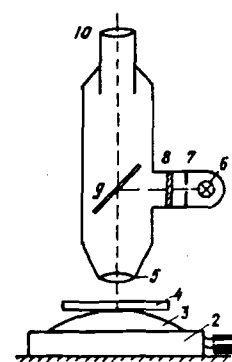


Рис. 3.3

Микроскоп. Его оптическая схема показана на рис. 3.3. Исследуемую линзу 3 и пластинку 4 помещают на подвижном столике 2. Перемещение столика производится в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью микрометрических винтов 1 с отсчетными барабанами. Цена деления барабана 0,01 мм. В поле зрения окуляра 10 имеется визирный крест.

Между окуляром и объективом микроскопа расположено устройство для освещения объекта при работе в отраженном свете. Внутри него находится ирисовая диафрагма 7, светофильтр 8 и полупрозрачная пластинка 9, благодаря которой свет от лампочки 6 частично отражается, проходит через объектив 5 и попадает на исследуемый объект.

ЗАДАНИЯ

1. Измерение радиуса кривизны линзы

Опустив рычагом 1 (см. рис. 3.2,а) измерительный стержень сферометра, осторожно положить на кольцо 2 плоскую стеклянную пластинку, прилагаемую к прибору. Отпустить рычаг 1, после чего измерительный стержень, плавно поднимаясь, придет в соприкосновение с пластинкой. Через окуляр 5 взять соответствующий отсчет. Измерение повторить не менее трех раз, перемещая пластинку по кольцу.

Аналогичные измерения проделать для линзы.

Из разности отсчетов для пластинки и линзы найти стрелу прогиба h . Вычислить радиус кривизны R поверхности линзы по формуле

$$R = r^2/2h + h/2 - \rho, \quad (3.5)$$

где r и ρ — радиусы соответственно измерительного кольца и опорных шариков (они указаны на приборе).

2. Определение длины волны света

Проверка настройки микроскопа. Положив на столик микроскопа лист белой бумаги, включить осветитель и убедиться, что световое пятно имеет круглую форму и равномерную освещенность.

Убрав затем лист бумаги, поднять тубус вверх и положить на столик микроскопа исследуемую линзу. Вращением микрометрических барабанов, перемещающих столик, установить их на серединах соответствующих шкал. Обмахнуть поверхности линзы и стеклянной пластинки специальной кисточкой от пыли и осторожно без скольжения положить пластинку на линзу. В месте контакта должна появиться видимая на глаз интерференционная картина.

Опустить после этого тубус микроскопа почти до соприкосновения с поверхностью пластинки, а линзу передвинуть на столике в такое положение, при котором центр интерференционной картины оказался бы приблизительно в середине светового пучка.

Сфокусировать окуляр микроскопа на четкое видение визирного креста. Затем, медленно поднимая тубус, получить в поле зрения окуляра отчетливую систему колец. Дополнительной регулировкой отверстия ирисовой диафрагмы и накала лампы сделать картину максимально контрастной. И, наконец, перемещением линзы по столику ввести центр системы колец в середину поля зрения.

Измерения. Переместить столик микроскопа одним из микрометрических винтов вправо и совместить середину какого-либо достаточно удаленного от центра (например, 10-го), но еще отчетливо видимого темного кольца, с крестом нитей. Произвести отсчет по шкале и барабану микрометра. Это измерение повторить несколько раз и найти среднее значение. Для устранения ошибок из-за люфта в винте, темное кольцо следует подводить к кресту нитей всегда с одной стороны.

Перемещая затем столик микроскопа влево, последовательно совместить середины всех остальных темных колец с крестом нитей и произвести такие же отсчеты (номер кольца и соответствующие показания микрометрического барабана). Пройдя центральное пятно, продолжить измерения, записывая возрастающие номера колец и соответствующие показания микрометра.

Аналогичные измерения проделать в перпендикулярном направлении с помощью второго микрометрического винта.

Вычисления. По разности показаний микрометра вычислить средние значения диаметра каждого темного кольца (d_m).

Чтобы определить длину волны света, удобно воспользоваться графическим методом. Для этого следует построить график, отложив на оси ординат квадраты диаметров колец, а по оси абсцисс — их номера. График должен иметь вид прямой. Из наклона прямой получим формулу для определения длины волны света:

$$\lambda = (d_m^2 - d_n^2) / 4R(m - n), \quad (3.6)$$

где R — радиус кривизны линзы; m и n — номера колец, диаметры которых d_m и d_n .

При проведении прямой следует иметь в виду, что к точкам, соответствующим малым номерам колец, надо относиться с осторожностью: для них особенно заметно искажение, связанное с деформацией линзы и пластинки в месте их соприкосновения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему расчет длины волны в данной работе нельзя производить по формуле (3.3)?

2. Зазор между линзой и пластинкой заполнили веществом с промежуточным значением показателя преломления ($n_1 > n_2 > n_3$). Светлым или темным будет центральное пятно в отраженном свете при идеальном контакте?

3. Какова причина постепенного исчезновения колец по мере удаления от центрального пятна?

4. Почему при расчете колец Ньютона принимается во внимание интерференция волн, отраженных лишь от поверхностей воздушной прослойки, и не рассматривается волна, отраженная от верхней поверхности линзы (см. рис. 3.1)?

5. Что будет происходить с кольцами Ньютона, если постепенно увеличивать величину воздушного зазора; плотность воздуха?

ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА РЭЛЕЯ

Цель – найти зависимость показателя преломления воздуха от давления.

ВВЕДЕНИЕ

Основным условием наблюдения интерференции света является когерентность интерферирующих волн, т.е. сохранение постоянной во времени их разности фаз. В силу особых свойств излучения атомов обычные источники света оказываются некогерентными между собой. Однако можно осуществить схемы, в которых искусственно создаются когерентные пучки путем расщепления светового пучка от одного источника на две части с последующей встречей их в месте интерференции.

Один из способов, основанных на таком принципе, применяется в интерферометре Рэлея, оптическая схема которого показана на рис. 4.1. От ярко освещенной щели 1 лучи света, пройдя коллиматорный объектив 2 и кюветы K_1 и K_2 , падают на диафрагму 3 с двумя узкими щелями. Последние играют роль двух когерентных источников. Дифрагированные от этих щелей световые волны собираются в фокальной плоскости P объектива 4, образуя систему светлых и темных полос.

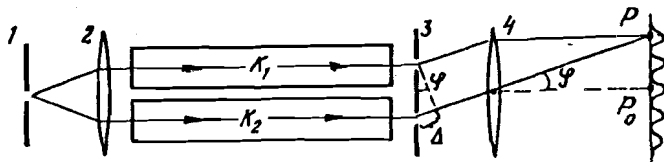


Рис. 4.1

Распределение интенсивности в интерференционной картине определяется оптической разностью хода интерферирующих лучей. Если, например, световые колебания в обеих щелях проис-

ходят синфазно, то центр картины (точка P_0) будет светлым. Здесь возникает нулевой максимум, отвечающий нулевой разности хода. Следующие максимумы возникнут в тех точках плоскости P , для которых оптическая разность хода Δ интерферирующих лучей будет равна целому числу длин волн λ . Из рис. 4.1 видно, что $\Delta = d \sin \varphi$, где d – расстояние между щелями диафрагмы 3, φ – угол дифракции интерферирующих лучей. Таким образом, условие образования максимумов определяется соотношением

$$d \sin \varphi_k = \pm k \lambda, \quad (4.1)$$

где $k = 0, 1, 2, \dots$ – порядок интерференционного максимума.

В тех же точках экрана, для которых Δ равна нечетному числу полуволн $\lambda/2$, возникнут минимумы освещенности.

Предположим теперь, что в кювете K_1 оптическая плотность вещества (показатель преломления n) увеличится. В этом случае появится дополнительная разность хода, зависящая от приращения показателя преломления Δn и длины кюветы l . Если длины обеих кювет одинаковы, то условие образования k -го максимума будет иметь вид

$$d \sin \varphi_k + l \Delta n = k \lambda. \quad (4.2)$$

Из этой формулы видно, что изменение Δn вызовет соответствующее изменение угла φ_k , т.е. смещение k -го максимума, а следовательно, и всей интерференционной картины. Смещение на ширину интерференционной полосы, т.е. на расстояние между соседними максимумами (или минимумами), соответствует появлению дополнительной разности хода в исследуемом веществе на целую длину волны λ . Поэтому, измерив величину смещения η в долях ширины полосы, по формуле

$$l \Delta n = \eta \lambda \quad (4.3)$$

легко найти изменение показателя преломления вещества Δn .

На этом основан весьма чувствительный метод определения очень малых разностей показателей преломления жидкостей и газов.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка состоит из двух основных частей: интерферометра и манометрической системы.

Оптическая схема интерферометра показана на рис. 4.2. Здесь 1 — источник света; 2 — шелловая диафрагма; 3 — коллиматорный объектив; 4 — диафрагма с двумя узкими щелями; K_1 и K_2 — кюветы; 5 — компенсатор; 6 — объектив; 7 — окуляр, через который наблюдают интерференционную картину.

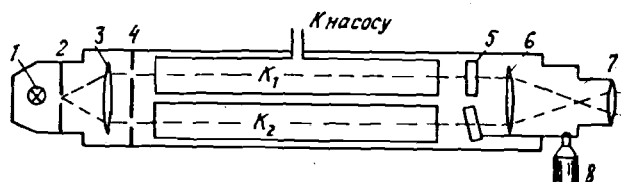


Рис. 4.2

Кюветы K_1 и K_2 расположены в верхней части прибора, наполовину перекрывая щели диафрагмы 4 по высоте. В результате в поле зрения окуляра наблюдают две системы интерференционных полос: пучки лучей, проходящие под кюветами, образуют нижнюю неподвижную систему полос; пучки лучей, проходящие через кюветы, — верхнюю подвижную систему полос.

Если оптическая разность хода в кюветах равна нулю, обе системы полос (верхняя и нижняя) совпадают. Если же в одной из кювет изменять давление газа, а следовательно, и его показатель преломления, то возникающая дополнительная разность хода приводит к смещению верхней системы полос.

Компенсатор 5 состоит из двух одинаковых плоскопараллельных стеклянных пластинок, одна из которых может поворачиваться вокруг горизонтальной оси с помощью барабана 8. Этим самым вводится добавочная разность хода, с помощью которой можно скомпенсировать разность хода в кюветах, показателем чего является совмещение верхней системы полос с нижней. Отсчеты производят по шкале барабана через специальную лупу.

К установке прилагается светофильтр в оправе. Длина волны пропускаемого им света указана на столе.

Интерферометр позволяет измерять малые разности показателей преломления жидкостей и газов с точностью до 10^{-8} .

Прибор тщательно отъюстирован, поэтому никакая самостоятельная регулировка его узлов недопустима!

Манометрическая часть установки служит для создания определенных давлений газа в одной из кювет. Она состоит из ручного насоса, крана и водяного манометра.

ЗАДАНИЕ

Определение зависимости показателя преломления воздуха от давления

Подготовка установки. Прежде всего следует привести давление воздуха в обеих кюветах интерферометра к атмосферному (поворотом ручки манометрического крана в положение "атм"). Затем подключить прибор к внешней сети — в поле зрения его окуляра должны появиться верхняя и нижняя системы интерференционных полос. Отрегулировать накал лампочки осветителя, чтобы яркость интерференционной картины была наиболее удобной для наблюдения. Вращением накатанного кольца окуляра добиться максимальной четкости видимой картины.

Поворотом ручки манометрического крана в положение "вкл" соединить кювету прибора с насосом и манометром. Проверить далее установку на герметичность. Для этого создать насосом избыточное давление в кювете (около 200 мм вод.ст.), поставить ручку крана в положение "откл" и, выждав 1 — 2 мин для установления температуры, наблюдать затем в течение 10 мин за изменением давления по манометру. За это время давление не должно изменяться более чем на 2 мм.

Измерения. Соединить манометрический кран с атмосферой. Наблюдая в окуляр прибора, вращением барабана микрометра добиться совмещения обеих интерференционных картин по центральной темной полосе (эта полоса не имеет цветных каемок). Совмещение произвести несколько раз до получения устойчивого отсчета (в пределах одного деления по барабану).

Полученный нулевой отсчет N_0 записать.

Затем определить ширину интерференционной полосы в делениях шкалы барабана (ΔN). Для этого ввести между окуляром прибора и глазом светофильтр, сместить поворотом барабана верхнюю систему интерференционных полос на несколько полос относительно нижней и отметить одновременно разность

отсчетов по шкале барабана. Измерение повторить не менее трех раз, после чего светофильтр убрать. Из полученных результатов вычислить ширину одной полосы (ΔN) в делениях шкалы барабана.

После этого повернуть ручку крана в положение "вкл" и создать избыточное давление около 50 мм вод.ст. Опять повернуть ручку крана, теперь в положение "откл", и, выждав 1-2 мин для установления температуры, произвести совмещение интерференционных полос (не менее трех раз). По барабану микрометра взять соответствующие отсчеты.

Аналогичную операцию и измерения повторить, увеличивая давление через каждые 50 мм (вплоть до 500 - 600 мм). Значения избыточных давлений и соответствующие отсчеты N (по шкале барабана) записать.

Вычисления. Так как величина смещения полос η в формуле (4.3) равна $(N - N_0)/\Delta N$, где ΔN - ширина одной полосы, то

$$\Delta \eta = \frac{N - N_0}{\Delta N} \frac{\lambda}{l}$$

(значения λ и l указаны на установке). Вычислив $\Delta \eta$ по этой формуле для каждого значения избыточного давления Δp , построить затем график зависимости $\Delta \eta$ от Δp . Он должен иметь вид прямой.

Определить из наклона прямой среднее значение отношения $\Delta \eta / \Delta p$ и по формуле

$$\Delta \eta = (\eta_0 - 1) \Delta p / p_0$$

(где p_0 и η_0 - исходные значения давления газа и его показателя преломления), вычислить $\eta_0 - 1$ (давление p_0 взять по барометру).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему при расчете оптической разности хода двух лучей (см. рис. 4.1) не принимается во внимание объектив 4?
2. Почему темные полосы, наблюдаемые в интерферометре, имеют цветные каемки?

3. На рис. 4.1 диафрагма с двумя щелями расположена перед кюветами, а на рис. 4.2 - за кюветами. Эквивалентны ли обе эти схемы?

4. Какая картина будет наблюдаться на экране (см. рис. 4.1), если щель 1 заменить малым круглым отверстием?

5. Куда сместятся интерференционные полосы (см. рис. 4.2), если увеличить давление воздуха в кювете K_1 ?

РАБОТА 5

ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ И ДИФРАКЦИИ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРА

Цель – найти показатель преломления стекла и толщину нити.

ВВЕДЕНИЕ

В этой работе источником света служит лазер. Его излучение отличается рядом замечательных свойств: помимо большой мощности и малой угловой расходимости, оно обладает высокой степенью монохроматичности – большой длиной когерентности. Длина когерентности есть то наибольшее расстояние вдоль распространения волны, на котором колебания можно считать еще когерентными между собой.

Большая длина когерентности излучения лазера позволяет наблюдать интерференцию световых волн при очень большой разности хода. Пусть на плоскопараллельную стеклянную пластину П (рис. 5.1) падает расходящийся световой пучок, который получен с помощью объектива О (задний фокус этого объектива совпадает с плоскостью экрана Э). Отраженные от передней и задней поверхностей пластины световые волны интерферируют между собой и дают на экране Э систему концентрических светлых и темных колец.

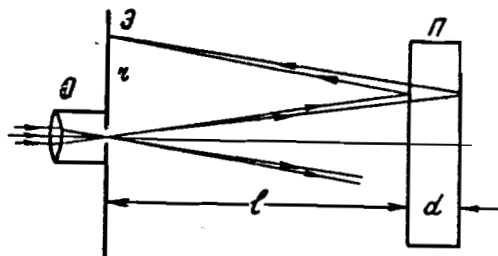


Рис. 5.1

Обозначим r – радиус темного кольца на экране, d – толщину пластины и l – расстояние между экраном и пластиной. В условиях нашего опыта r и $d \ll l$, и расчет показывает, что радиус r_k кольца, соответствующего k -му порядку интерференции, определяется формулой

$$r_k^2/l^2 = 8n^2 - (4n\lambda/d)k, \quad (5.1)$$

где n – показатель преломления стеклянной пластины, λ – длина волны света.

Из этой формулы видно, что r_k^2 линейно зависит от порядка интерференции k . А это в свою очередь означает, что r_k^2 линейно зависит и от номеров колец N . Поэтому, если построить график зависимости r_N^2/l^2 от N , то "тангенс" угла наклона этого графика даст возможность определить коэффициент при k в формуле (5.1):

$$\frac{4n\lambda}{d} = \frac{1}{l^2} \frac{\Delta r_N^2}{\Delta N}. \quad (5.2)$$

На этом основан графический метод определения показателя преломления n стеклянной пластины.

Далее, если на пути лазерного пучка поставить щель, то на экране за щелью будет наблюдаться дифракционная картина в виде центрального (наиболее яркого) максимума и системы симметричных относительно него максимумов различных порядков.

В нашей установке наблюдаемые углы дифракции $\varphi \ll 1$ (рис. 5.2), и минимумы возникают в тех направлениях, для которых угол φ удовлетворяет условию

$$b\varphi_k = \pm k\lambda, \quad k = 1, 2, 3, \dots, \quad (5.3)$$

где b – ширина щели, φ_k – угол, соответствующий минимуму k -го порядка. В данном случае $\varphi_k = x_k/l$, x_k – расстояние от центра дифракционной картины до минимума k -го порядка, l – расстояние между щелью и экраном. Поэтому формулу (5.3) можно преобразовать к виду

$$x_k = k\lambda l/b.$$

Далее, при переходе от k -го минимума к $(k+1)$ -му x_k меняется на Δx , и легко видеть, что

$$\Delta x = \lambda l/b, \quad (5.4)$$

где Δx называют шириной дифракционной полосы.

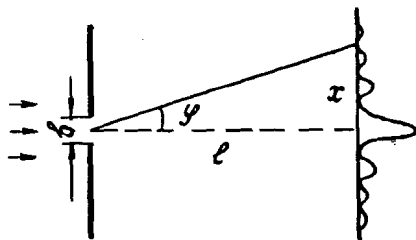


Рис. 5.2

Теперь рассмотрим дифракцию от нити. Воспользуемся теоремой Бабиня: дифракционные картины от препятствия и от равного ему отверстия (дополнительного экрана) должны быть совершенно одинаковы вне области свободного (прямого) пучка. Убедимся, что это действительно так.

Пусть амплитуда волны, дифрагированной от некоторого препятствия в данном направлении, равна $\vec{A}_1$, а для соответствующего ему дополнительного экрана в этом же направлении $\vec{A}_2$. В отсутствие обоих экранов амплитуды волн для всех направлений, кроме направления первоначального пучка, равны нулю. Следовательно, по принципу Гюйгенса – Френеля $\vec{A}_1 + \vec{A}_2 = 0$, отсюда $A_1 = A_2$, а значит равны и интенсивности света.

Таким образом, дифракционная картина от нити (вне области прямого пучка) будет такой же, как и от щели, ширина которой равна толщине нити. Раз так, для расчета дифракции от нити можно воспользоваться той же формулой (5.4), что и для щели.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Работа проводится на установке, схема которой показана на рис. 5.3. Здесь 1 – рейтер с объективом и круглым экраном, 2 – рейтер с дифракционным объектом (раздвижной щелью или нитью), 3 – рейтер со стеклянной пластиной, 4 – прямоугольный экран.

Рейтеры 1 и 3 устроены так, что укрепленные на них оптические элементы можно вводить в лазерный пучок – поворотом вокруг вертикальной оси. Кроме того, рейтер 1 позволяет

производить юстировку по высоте. Для этого следует, придерживая одной рукой кронштейн, другой – поворачивать накатанное кольцо К (см. рис. 5.3). Вращением винта В можно изменять вертикальный наклон стеклянной пластины 3.

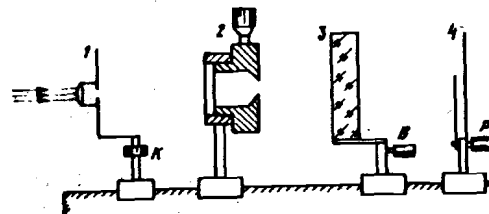


Рис. 5.3

Все рейтеры укреплены на оптической скамье.

Обращаем внимание на то, что попадание в глаза прямого лазерного пучка опасно для зрения! При работе с лазером его свет можно наблюдать только после отражения от рассеивающих поверхностей.

ЗАДАНИЯ

1. Изучение интерференции света при отражении от стеклянной пластины

Подготовка установки. Ознакомившись с элементами и работой всех узлов установки, включить лазер (с помощью лаборанта). Вывести из хода пучка круглый экран 1 (см. рис. 5.3), а также убрать дифракционный объект 2.

Ориентировать пластину 3 перпендикулярно к направлению пучка так, чтобы отраженный от нее пучок падал в центр выходного отверстия лазера. Затем ввести в ход пучка и тщательно отцентрировать объектив с круглым экраном. На экране должна появиться система концентрических светлых и темных колец. Центр этих колец должен совпадать с центром круглого экрана. О правильности расположения колец можно судить по совпадению одного из них с контуром окружности, начерченной на экране. При необходимости провести дополнительную юстировку объектива и стеклянной пластины.

Измерения. Прежде всего следует перенумеровать (в лабораторном журнале) темные кольца, радиусы которых подлежат измерению. Номера $N = 1, 2, 3$ и т.д. приписывают темным кольцам в порядке возрастания их радиусов (номер $N = 1$ приписывают, например, первому темному кольцу вблизи отверстия экрана).

После этого измерить радиусы первых пяти темных колец с помощью двух перпендикулярных шкал на поверхности экрана (для каждого кольца четыре значения радиуса).

Вычисления. Найти среднее значение радиуса каждого темного кольца r_N и его квадрат. Построить график зависимости r_N^2 от номера N кольца. График должен иметь вид прямой. Масштабы следует выбирать так, чтобы эта прямая составляла с осями угол, близкий к 45° (как это обычно делается). Размер графика должен быть не менее 15×15 см.

Из наклона прямой вычислить отношение $\Delta r_N^2 / \Delta N$ и по формуле (5.2) найти показатель преломления n . Длина волны излучения лазера $\lambda = 632,8$ нм, толщина стеклянной пластины $d = 20,0$ мм и расстояние $l = 80,0$ см (при установке пластины, как на рис. 5.3).

Кроме того, вычислить максимальный порядок интерференции, который, как следует из формулы (5.1), определяется формулой

$$k_{\text{макс}} = 2 d n / \lambda.$$

Обратить внимание на полученный результат. Сделать вывод.

2. Изучение дифракции от щели и нити

Вывести из хода пучка круглый экран и стеклянную пластину. Установить держатель с раздвижной щелью — рейтер 2 (см. рис. 5.3), обратив щель к прямоугольному экрану 4. На экране должна появиться дифракционная картина. Меняя ширину щели, наблюдать, как изменяется эта картина. После этого установить ширину щели такой, чтобы ширина полос Δx была наиболее удобной для измерения. Для большей точности измерить интервал, содержащий N полос, а затем вычислить ширину Δx одной полосы. По формуле (5.4) рассчитать ширину щели b , имея в виду, что при данной установке щели расстояние между ней и экраном $l = 100$ см. С помощью получен-

ного результата определить цену деления барабана микрометра щели.

Заменив щель вкладышем с нитью, измерить подобным же образом ширину полосы Δx в дифракционной картине от нити. Чтобы прямой пучок не мешал измерениям, ввести зачерненный "язычок" — поворотом рукоятки Р на экране 4 (см. рис. 5.3). Вычислить по той же формуле (5.4) толщину нити δ (при данной установке нити расстояние между ней и экраном $l = 100$ см).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы характерные особенности лазерного излучения?
2. Что такое длина когерентности? Какова ее роль в интерференции света?
3. Как изменяется порядок интерференции с ростом радиуса колец — при отражении света от стеклянной пластины?
4. Что утверждает теорема Бабиня?
5. Как изменяется дифракционная картина при увеличении ширины щели, толщины нити?

ИЗУЧЕНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

Цель – определить длины волн спектра ртутной лампы.

ВВЕДЕНИЕ

Отражательная дифракционная решетка – это металлическая зеркальная пластинка, на которой через одинаковые интервалы нанесено большое число штрихов. При падении световой волны на решетку каждый элемент ее поверхности становится источником вторичных когерентных волн.

Если на пути дифрагированных волн поставить собирающую линзу, то в ее фокальной плоскости будет наблюдаться дифракционный спектр, состоящий из ряда отдельных максимумов. Эти максимумы возникают в тех направлениях, для которых оптическая разность хода световых волн, отраженных от соответствующих элементов соседних штрихов решетки, равна целому числу длин волн. В этом случае колебания от всех штрихов решетки приходят в определенные точки фокальной плоскости линзы в фазе и, следовательно, максимально усиливают друг друга.

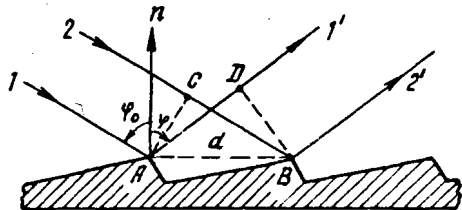


Рис. 6.1

Из рис. 6.1 видно, что оптическая разность хода соответствующих колебаний $\Delta = CB - AD = d (\sin \varphi_0 - \sin \varphi)$, где d – период решетки, φ_0 – угол падения, φ – угол дифракции. Таким образом, угол дифракции φ_k , под которым образуется максимум k -го порядка, определяется условием

$$d (\sin \varphi_0 - \sin \varphi_k) = \pm k \lambda. \quad (6.1)$$

В этой формуле необходимо учесть правило знаков для углов φ_0 и φ_k : оба угла имеют одинаковые знаки, если лежат по разные стороны от нормали n (как на рис. 6.1), и разные знаки, если – по одну и ту же сторону от нормали. При этом угол φ_0 можно считать всегда положительным.

Из формулы (6.1) следует, что если падающий свет содержит ряд различных длин волн, то решетка разложит его в спектр. В направлении зеркального отражения $\varphi_k = \varphi_0$ возникает максимум нулевого порядка $k = 0$ для всех длин волн. Слева и справа от него возникнут линейчатые спектры различных порядков. В каждом из этих спектров максимумы более коротких длин волн располагаются ближе к нулевому максимуму.

На этом основано использование дифракционной решетки как спектрального прибора. Качество спектра зависит от угловой дисперсии и разрешающей способности прибора.

Угловая дисперсия характеризует способность прибора пространственно разделять световые пучки различных длин волн. Ее мерой является отношение $\delta \varphi / \delta \lambda$, где $\delta \varphi$ – угловое расстояние между двумя спектральными линиями, отличающимися по длинам волн на $\delta \lambda$. Для дифракционной решетки

$$\delta \varphi / \delta \lambda = k / d \cos \varphi, \quad (6.2)$$

где k – порядок спектра, d – период решетки, φ – угол дифракции. Эта формула получена дифференцированием (6.1) по λ .

Разрешающая способность характеризует способность прибора разделять (разрешать) спектральные линии, мало отличающиеся по длинам волн. За ее меру принимают отношение $\lambda / \delta \lambda$, где λ – длина волны, около которой производят измерения, $\delta \lambda$ – наименьшая разница в длинах волн двух еще разрешаемых спектральных линий. Величина $\delta \lambda$ обычно определяется условием Рэлея: две близкие спектральные линии считаются разрешенными, если максимум одной из них совпадает с первым минимумом другой. В этом случае, можно показать,

$$\lambda / \delta \lambda = k N, \quad (6.3)$$

где k – порядок спектра, N – число действующих штрихов решетки.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Работа проводится на гониометре — приборе для точных измерений углов. Оптическая схема установки показана на рис. 6.2. Здесь 1 — ртутная лампа; 2 — коллиматор, в передней фокальной плоскости которого расположена узкая раздвижная щель; 3 — дифракционная решетка; 4 — зрительная труба, в фокальной плоскости объектива которой наблюдают линейчатый спектр.

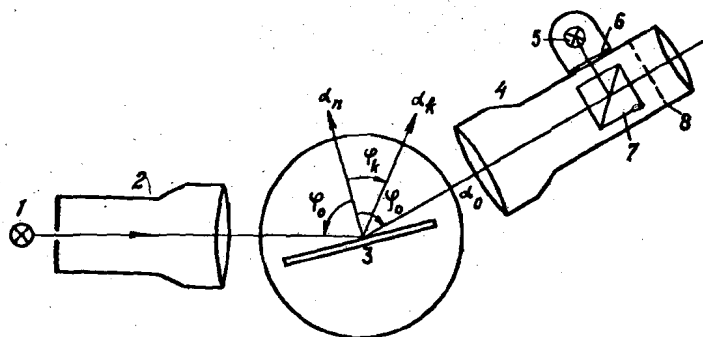


Рис. 6.2

Окуляр зрительной трубы снабжен автоколлимационным устройством, позволяющим устанавливать ось трубы строго перпендикулярно к интересующей нас плоскости, например, к плоскости решетки. Принцип действия этого устройства в следующем. Лампочка 5 освещает прозрачный крест на пластинке 6. Прошедшие через нее лучи отражаются от полупрозрачной диагональной грани стеклянного кубика 7, проходят через объектив трубы и, отразившись от некоторой плоской поверхности, возвращаются в трубу, образуя в фокальной плоскости 8 ее объектива изображение светлого автоколлимационного креста. Если плоская поверхность перпендикулярна к оси трубы, то изображение этого креста совместится с визирным крестом, расположенным в плоскости 8.

Внешний вид гониометра показан на рис. 6.3. Здесь 1 — микрометрический винт, регулирующий ширину входной щели коллиматора; 2 — фокусирующий винт коллиматора; 3 — его юстировочный винт; 4 — винты наклона столика; 5 — юстировочный винт зрительной трубы; 6 — ее фокусирующий винт; 7 —

окуляр трубы; 8 — лупа, через которую производят отсчеты по шкале лимба, находящегося внутри прибора; 9 — маховичок отсчетного микрометра; 10 — рукоятка для самостоятельного вращения лимба.

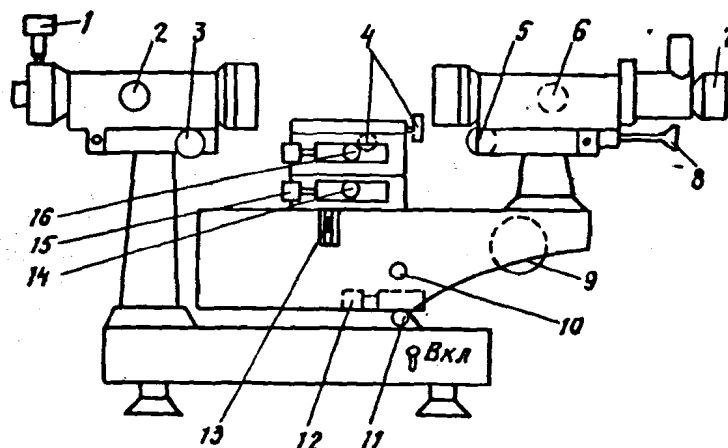


Рис. 6.3

Зрительная труба укреплена на подвижном кронштейне, который можно поворачивать вокруг вертикальной оси, проходящей через центр предметного столика. Поворот трубы осуществляется от руки после освобождения стопорного винта 11. При закреплении винта 11 можно производить тонкое перемещение трубы — винтом 12.

Рычажок 13 позволяет осуществлять совместное или раздельное перемещение трубы и лимба. Для совместного перемещения этот рычажок надо опустить.

Стопорный винт 14 служит для закрепления лимба на оси прибора. При этом винтом 15 можно осуществлять тонкое перемещение лимба. Стопорный винт 16 скрепляет столик с лимбом.

Таким образом, столик может вращаться самостоятельно, совместно с лимбом при неподвижной зрительной трубе и, наконец, совместно с лимбом и трубой.

Лимб гониометра снабжен шкалой с делениями (двойными штрихами). Цена деления $20'$. Оцифровка делений произведена через каждый градус.

6. Устранить возможный перекося спектра. Для этого уменьшить длину входной щели коллиматора (перемещением пластинки с V-образным вырезом, находящейся перед щелью) так, чтобы длина каждой линии стала равной около половины высоты поля зрения. Центры линий-отрезков должны быть на одном уровне - горизонтальный штрих визирного креста при повороте трубы должен пересекать их по середине. Если это не так, отрегулировать наклон столика - главным образом винтом наклона В (см. пункт 1).

Юстировку прибора можно считать законченной, если при повороте зрительной трубы центр светлого автоколлимационного креста и центры всех линий спектра будут расположены приблизительно на одном уровне, совпадающем с горизонтальным штрихом визирного креста. После этого длину входной щели коллиматора максимально увеличить и приступить к измерениям.

2. Определение длин волн спектральных линий

Как следует из формулы (6.1), для определения длины волны каждой спектральной линии необходимо измерить угол падения φ_0 и угол дифракции φ_k . Согласно рис. 6.2, эти углы можно найти по формуле

$$|\varphi_k| = |\alpha_n - \alpha_k|, \quad (6.4)$$

где α_n - отсчет по лимбу, соответствующий нормали к решетке, α_k - отсчет положения линии в k -м порядке, $k=0,1,2,\dots$

Измерения. Установить зрительную трубу перпендикулярно к плоскости решетки так, чтобы в середине ее поля зрения появилось изображение светлого автоколлимационного креста. Закрепив трубу винтом 11 (см. рис. 6.3), тщательно сфокусировать светлый крест винтом 6 и произвести точное совмещение вертикальных штрихов светлого и визирного крестов - винтом 12. Сделать отсчет по шкале лимба (α_n).

После этого повернуть трубу (раскрыв винт 11) в сторону нулевого максимума - в середине ее поля зрения должна появиться белая линия. Тщательно сфокусировать эту линию винтом 6 и уменьшить ширину входной щели коллиматора - линия должна оказаться достаточно узкой. Опять закрепить трубу и винтом тонкой наводки 12 совместить вертикальный штрих визирного креста с серединой линии. Сделать соответствующий отсчет по шкале лимба (α_0).

Аналогичную операцию проделать для всех линий (фиолетовой, зеленой и двух желтых) во всех четырех порядках, отмечая одновременно для каждой линии ее цвет и порядок спектра k . Соответствующие отсчеты по шкале лимба (α_k) записать в таблицу.

Вычисления. Рассчитать по формуле (6.4) углы дифракции φ_k и по формуле (6.1) с учетом правила знаков - длину волны каждой линии во всех порядках спектра. Из полученных результатов найти среднее значение длины волны каждой линии.

Вычислив разность длин волн $\delta\lambda$ двух желтых линий и угловое расстояние $\delta\varphi$ между ними во всех порядках спектра, найти зависимость угловой дисперсии от порядка спектра k . Построить ее график, указав на нем значения периода решетки и угла падения φ_0 . Результат, полученный, например, для четвертого порядка спектра, сравнить с теоретическим - из формулы (6.2).

В заключение оценить разрешающую способность решетки в четвертом порядке спектра - по формуле (6.3).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему в данной работе при расчете оптической разности хода дифрагированных волн не принимается во внимание объектив зрительной трубы?
2. От чего зависят угловая дисперсия и разрешающая способность решетки?
3. Как отразится на характере линейчатого спектра, даваемого решеткой, увеличение ее угловой дисперсии и разрешающей способности?
4. Какова роль автоколлимационного устройства в этой работе?
5. Как производится отсчет по шкале лимба гониометра?

РАБОТА 7

ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ ФРАУНГОФЕРА

Цель — определить длину волны света и параметры двумерной решетки.

ВВЕДЕНИЕ

В этой работе изучают дифракцию света в параллельных лучах, когда дифракционная картина от исследуемых объектов образуется в фокальной плоскости объектива (дифракция Фраунгофера). Исследуемыми объектами здесь являются: круглое отверстие и плоская решетка.

Дифракция от круглого отверстия. Пусть плоская монохроматическая световая волна падает нормально на круглое отверстие. В этом случае в фокальной плоскости объектива O (рис. 7.1) возникает центральное светлое пятно, окруженное системой чередующихся темных и светлых колец.

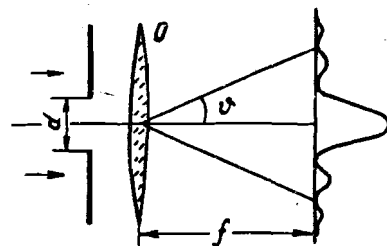


Рис. 7.1

Расчет показывает, что углы дифракции λ , под которыми образуются минимумы и максимумы этих колец, определяются формулой

$$\frac{d}{\lambda} \sin \vartheta = \begin{cases} 1,22, 2,24, 3,24, \dots & (\text{минимумы}); \\ 1,62, 2,66, 3,70, \dots & (\text{максимумы}), \end{cases} \quad (7.1)$$

где d — диаметр отверстия; λ — длина волны света.

Для получения дифракционной картины достаточно больших угловых размеров необходимо использовать малое отверстие. А это приводит к тому, что интенсивность дифракционной картины оказывается недостаточной для визуальных наблюдений.

Указанную трудность можно обойти так. Известно, что перемещение отверстия в его плоскости не сказывается на форме

и размерах дифракционной картины. Поэтому, если вместо одного отверстия сделать много беспорядочно расположенных одинаковых отверстий, то дифракционная картина от них будет такая же, как от одного отверстия, а ее интенсивность будет равна сумме интенсивностей, даваемых каждым отверстием в отдельности. Беспорядочное расположение отверстий позволяет избежать интерференционных эффектов, которые возникли бы в случае их упорядоченного расположения.

Дифракция от двумерной решетки. Рассмотрим сначала дифракцию от одномерной цепочки из рассеивающих центров. Пусть на такую цепочку падает нормально плоская монохроматическая световая волна (рис. 7.2). Под ее влиянием рассеивающие центры станут источниками когерентных сферических волн. Оптическая разность хода колебаний, исходящих из двух соседних центров и распространяющихся под углом α , равна $\Delta = a \cos \alpha$, где a — период цепочки. В тех направлениях, для которых Δ равно целому числу длин волн, в результате интерференции колебаний возникнут максимумы интенсивности. Их можно наблюдать в фокальной плоскости объектива O .

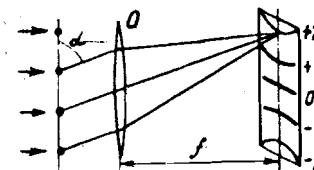


Рис. 7.2

Направления, в которых образуются эти максимумы, лежат на образующей конусов, ось которых совпадает с линейной цепочкой, а их углы полураствора α_k удовлетворяют соотношению

$$a \cos \alpha_k = \pm k \lambda, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (7.2)$$

Вид дифракционной картины от такой цепочки зависит от положения объектива. Если оптическая ось объектива перпендикулярна цепочке, то светлые полосы в его фокальной плоскости имеют вид гипербол (см. рис. 7.2).

Теперь рассмотрим случай, когда плоская световая волна падает нормально на двумерную прямоугольную решетку из рассеивающих центров с периодами a и b . Такую решетку можно представить как наложение двух систем линейных цепочек, параллельных осям x и y (рис. 7.3). Поэтому дифракционные максимумы будут возникать в тех направлениях, для кото-

рых формула (7.2) удовлетворяется для обеих систем линейных цепочек, т.е.

$$a \cos \alpha = \pm k_1 \lambda, \quad b \cos \beta = \pm k_2 \lambda, \quad (7.3)$$

где k_1 и k_2 — целые числа.

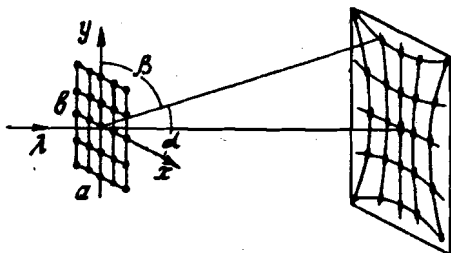


Рис. 7.3

В этом случае в фокальной плоскости объектива возникает система отдельных светлых пятен, которые располагаются в точках пересечения двух систем гипербол. Зная расположения этих пятен и длину волны света, можно с помощью формул (7.3) рассчитать постоянные решетки и определить форму ее элементарной ячейки. Этот метод лежит в основе рентгеноструктурного анализа кристаллов.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Работа проводится на установке, оптическая схема которой показана на рис. 7.4. Здесь 1 — источник света (ртутная лампа); 2 — конденсорная линза; 3 — светофильтр; 4 — коллиматор (в его фокальной плоскости расположен поворотный диск с набором малых круглых отверстий различного диаметра); 5 — дифракционный объект; 6 — объектив зрительной трубы; 7 — окуляр-микрометр, который служит для измерения дифракционной картины, наблюдаемой в фокальной плоскости объектива трубы.

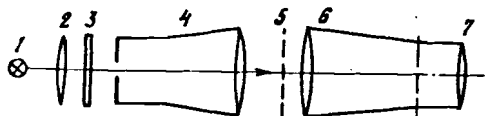


Рис. 7.4

Цена деления барабана окуляр-микрометра равна 0,01 мм. К установке прилагаются: круглая пластинка с множеством беспорядочно расположенных круглых отверстий и фото-пластинка с изображением прямоугольной решетки.

ЗАДАНИЯ

1. Исследование дифракции от круглого отверстия

1. Включить ртутную лампу. Перемещением конденсорной линзы добиться максимально яркого освещения входного отверстия коллиматора.

2. Сфокусировать окуляр-микрометр на четкое видение визирного креста нитей (вращением накатанного кольца). Затем сфокусировать зрительную трубу (перемещением окуляр-микрометра) так, чтобы в центре ее поля зрения появилось яркое и четкое изображение входного отверстия коллиматора — без параллакса относительно визирного креста.

3. Установить перед объективом зрительной трубы круглую пластинку с множеством одинаковых отверстий. В поле зрения трубы появится дифракционная картина — центральное светлое пятно, окруженное системой темных и светлых колец. Поворачивая диск с отверстиями (в передней фокальной плоскости коллиматора), найти такое отверстие, при котором дифракционная картина будет наиболее четкой и удобной для измерений.

4. Измерить с помощью барабана окуляр-микрометра положения максимумов и минимумов по обе стороны от центрального пятна. Эту операцию проделать не менее трех раз.

Вычисления. С учетом малости углов дифракции в данной установке из формулы (7.1) следует, что длина волны

$$\lambda = (d/2f)(D_N/N), \quad (7.4)$$

где f — фокусное расстояние объектива зрительной трубы, D_N — диаметр светлого или темного кольца, N — соответствующее ему число. Числа N приведены в формуле (7.1).

Чтобы воспользоваться формулой (7.4), надо предварительно вычислить среднее значение диаметра D_N для каждого кольца, а затем — среднее значение отношения D_N/N для всех

колец. Фокусное расстояние объектива трубы и диаметр d бес-
порядочно расположенных круглых отверстий указаны на столе.

2. Определение параметров двумерной решетки

1. Заменить пластинку с отверстиями фотопластинкой с
прямоугольной решеткой. В поле зрения появится система диф-
ракционных максимумов – пятен. Измерить положения центров
максимумов, которые лежат на горизонтали, проходящей через
центральный (нулевой) максимум.

Аналогичные измерения проделать, повернув решетку на
 90° вокруг оптической оси установки.

2. Из полученных отсчетов найти расстояния между сим-
метрично расположенными максимумами в обоих направлениях
(Δx_k и Δy_k). Вычислить среднее значение отношений $\Delta x_k/k$
и $\Delta y_k/k$, где k – порядок максимума, а затем – постоянные
решетки a и b по формулам

$$a = \frac{2\lambda f}{\Delta x_k/k}; \quad b = \frac{2\lambda f}{\Delta y_k/k},$$

которые нетрудно получить из выражений (7.3), если учесть,
что углы α и β в нашем случае мало отличаются от 90° .

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем отличается дифракция Фраунгофера от дифракции Френеля?
2. В каком случае дифракционные картины от одного от-
верстия и от множества таких же отверстий будут различать-
ся между собой?
3. Что произойдет с дифракционной картиной, если пла-
стинку с множеством беспорядочно расположенных отверстий
перемещать в ее плоскости?
4. От каких факторов зависит четкость дифракционной кар-
тины в случае пластинки с множеством отверстий?
5. Какой вид будет иметь дифракционная картина от дву-
мерной решетки при освещении ее белым светом?

РАБОТА 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ СВЕТА НА УЛЬТРАЗВУКЕ

Цель – определить скорость ультразвука в воде.

ВВЕДЕНИЕ

При прохождении ультразвуковой волны через жидкость
в ней возникают периодические оптические неоднородности,
обусловленные разницей показателя преломления в области сжа-
тия и разрежения. Эти периодические неоднородности играют
роль своеобразной дифракционной решетки.

Пусть плоская световая волна проходит через кювету с
жидкостью, в которой распространяется ультразвуковая волна в
направлении, перпендикулярном к падающему свету (рис. 8.1).
При этом различные участки фронта световой волны, сохраняя
неизменной амплитуду колебаний, будут перемещаться с раз-
личной скоростью. В результате из жидкости выйдет световая
волна, волновая поверхность которой уже не плоская, а имеет
синусоидальный профиль. Другими словами, при прохождении
света через такую среду происходит пространственное модули-
рование фазы световой волны, и сама среда играет роль фазо-
вой решетки.

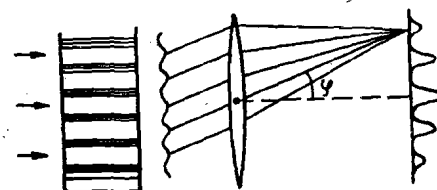


Рис. 8.1

В зависимости от различных условий в жидкости могут устанавливаться или бегущие, или стоячие звуковые волны, или те и другие одновременно. Однако в любом случае возникающая фазовая решетка будет иметь один и тот же период, равный длине ультразвуковой волны Λ .

Если на пути света, прошедшего эту жидкость, поставить объектив, то в фокальной плоскости его можно наблюдать дифракционный спектр, состоящий из ряда максимумов (рис. 8.1).

В простейшем случае, когда длина ультразвуковой волны Λ не очень мала, а амплитуда ее достаточно мала, дифракция света на ультразвуке вполне аналогична дифракции на обычной штриховой решетке с периодом $d = \Lambda$.

Дифракционные максимумы возникают в тех направлениях φ_k , для которых оптическая разность хода колебаний, исходящих из соответствующих точек соседних участков волновой поверхности (рис. 8.2), равна целому числу световых длин λ :

$$\Lambda \sin \varphi_k = \pm k \lambda, \quad (8.1)$$

где Λ — период "решетки" (длина ультразвуковой волны); k — порядок дифракционного максимума ($k = 0, 1, 2, \dots$).

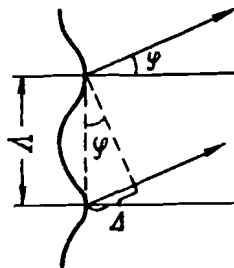


Рис. 8.2

Дифракция света на ультразвуке используется в данной работе для определения скорости распространения ультразвука в воде.

Наблюдение ультразвуковых волн. Это достигается с помощью вспомогательной собирающей линзы L , если ее расположить за фокальной плоскостью объектива O зрительной трубы (рис. 8.3).

В этом случае оптическое изображение дифракционного объекта (ультразвуковых волн, например, точек a и b) является результатом интерференции световых колебаний, исходящих из различных дифракционных максимумов в фокальной плоскости F . Если ультразвук создает неглубокую модуляцию света, то в дифракционной картине наибольшую интенсивность будет иметь максимум нулевого порядка. Этот максимум создает в плоскости изображения P однородный светлый фон, на котором слабое изображение (точки a' и b') данной структуры оказывается почти невидимым. Однако контрастность изображения можно резко увеличить, если исключить светлый фон, например, закрыв в плоскости F центральный дифракционный максимум.

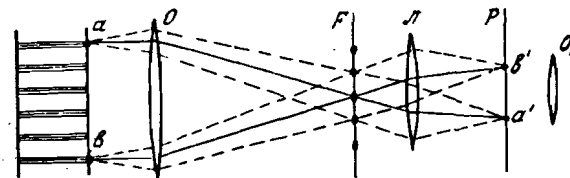


Рис. 8.3

Именно этот способ наблюдения, называемый методом темного поля, и используется в данной работе.

В заключение отметим два важных обстоятельства:

1. При непрерывном освещении и визуальном наблюдении ультразвуковая решетка будет не видна, если она реализована бегущей волной. В этом случае вследствие большой скорости этих волн и инерции зрительного восприятия глаз будет видеть слившийся равномерно освещенный фон.

2. Иначе обстоит дело в случае стоячих волн. Их узловые точки расположены на расстоянии $\Lambda/2$ друг от друга и неподвижны в пространстве (рис. 8.4). Между узлами смещены расположены элементы среды, периодически (с большой частотой) образующие пучности смещений. Поэтому при визуальном наблюдении возможна регистрация лишь усредненной во времени пространственной картины стоячих волн. Пространственный период этой картины, как видно из рис. 8.4, равен не Λ , а $\Lambda/2$.

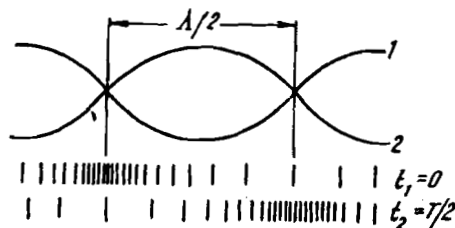


Рис. 8.4

Для дифракции же света на ультразвуке существенно мгновенное распределение показателя преломления в среде, а оно имеет в бегущей и стоячей волне один и тот же период, равный длине волны ультразвука Λ .

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Работа проводится на установке, оптическая схема которой показана на рис. 8.5. Здесь 1 — источник света с конденсорной линзой; 2 — съемный светофильтр; 3 — зеркало; 4 — коллиматор, в передней фокальной плоскости которого расположена узкая щель; 5 — кювета с исследуемой жидкостью; 6 — объектив зрительной трубы; 7 — насадка с зачерненной полоской; 8 — вспомогательная собирающая линза; 9 — окуляр-микрометр.

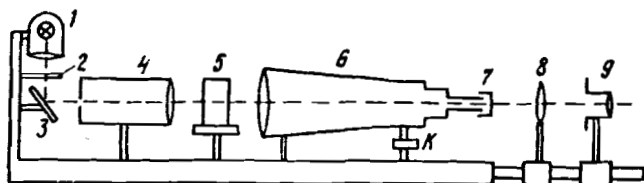


Рис. 8.5

Источником ультразвуковых колебаний служит пластинка, вырезанная определенным образом из кристалла кварца. Эта пластинка вместе с верхним электродом служит дном плоско-параллельной стеклянной кюветы.

Кювету ставят на специальную подставку, являющуюся нижним электродом кварцевой пластинки. К электродам подводят напряжение от высокочастотного генератора. При этом кварц будет испытывать механические деформации, частота которых равна частоте генератора. Колебания кварцевой пластинки будут иметь заметную амплитуду лишь при резонансе, когда частота генератора совпадает с одной из собственных частот самой пластинки.

Частоту генератора можно плавно изменять в широком мегагерцевом диапазоне вращением рукоятки. Рукоятка снабжена круговой шкалой, градуировочная кривая которой дана на установке.

К установке прилагаются: прозрачная дифракционная решетка с известным периодом и насадка с зачерненной полоской.

ЗАДАНИЯ

1. Определение скорости ультразвука

Скорость ультразвука

$$v = \Lambda \nu, \quad (8.2)$$

где Λ — его длина волны; ν — частота. Если частота известна, то задача сводится к определению длины волны Λ .

С этой целью в данной работе используется вспомогательная прозрачная дифракционная решетка, период которой d известен. При нормальном падении света на такую решетку в фокальной плоскости объектива трубы образуется дифракционный спектр, состоящий из ряда максимумов. Из теории решетки следует, что направления на эти максимумы должны удовлетворять условию

$$d \sin \varphi'_k = k \lambda, \quad (8.3)$$

где φ'_k — угол, под которым образуется максимум k -го порядка.

В нашем случае углы дифракции малы, поэтому $\sin \varphi'_k = \varphi'_k$. Из сравнения формул (8.1) и (8.3) следует, что

$$\Lambda / d = \varphi'_k / \varphi_k = \Delta x' / \Delta x, \quad (8.4)$$

где $\Delta x'$ и Δx — расстояния между соседними максимумами в фокальной плоскости объектива трубы соответственно для обычной и ультразвуковой решеток.

Определив $\Delta x'$ и Δx и зная d , можно найти и λ .

Измерения. Включить осветитель. Сфокусировать окуляр-микрометр на четкое видение визирного креста нитей (вращением накатанного кольца). Приблизить окуляр-микрометр к трубе так, чтобы в его поле зрения возникло четкое изображение коллиматорной щели (без параллакса относительно визирного креста).

Установить между коллиматором и зрительной трубой вспомогательную решетку. В поле зрения трубы должна появиться система дифракционных максимумов (нулевой максимум наиболее яркий). Измерить окуляр-микрометром их положения (не менее трех раз), отмечая одновременно порядок k каждого максимума.

После этого дифракционную решетку убрать.

Установить кювету с жидкостью в рабочее положение. Пролететь, чтобы на ее окнах не осталось пузырьков воздуха.

Включить генератор ультразвуковых колебаний и дать ему несколько минут на прогрев. Затем, медленно поворачивая ручку регулятора частоты, отыскать несколько резонансов, при которых в поле зрения окуляра появляется дифракционная картина.

Выбрав из них тот резонанс, при котором дифракционная картина наиболее яркая и содержит наибольшее число максимумов, записать частоту генератора и измерить положение всех дифракционных максимумов. После этого генератор выключить.

Вычисления. По разности полученных отсчетов вычислить расстояния между симметрично расположенными максимумами, отношение этих расстояний к порядку спектра и их среднее значение. Последнее равно двойному среднему расстоянию между соседними максимумами ($\Delta x'$ — для обычной решетки, Δx — для ультразвуковой решетки).

Затем по формулам (8.4) и (8.2) найти λ и скорость v .

2. Непосредственное наблюдение ультразвуковой решетки

Убрать окуляр-микрометр и на его место установить вспомогательную линзу. Перемещением этой линзы получить в поле зрения трубы четкое изображение коллиматорной щели.

Установить в фокальной плоскости объектива зрительной трубы насадку с зачерненной полоской. Наблюдая через вспомогательную линзу, расположить полоску так, чтобы она полностью закрыла изображение коллиматорной щели (это возможно лишь в отсутствие параллакса). Юстировка полоски по высоте осуществляется поворотом накатанного кольца К (см. рис. 8.5).

Включить генератор. В поле зрения вспомогательной линзы должна возникнуть дифракционная картина (без центрального максимума).

Придвинуть вспомогательную линзу к трубе и установить за этой линзой на расстоянии, несколько превышающем ее фокусное расстояние, окуляр-микрометр. Перемещая окуляр-микрометр, отыскать изображение ультразвуковой решетки.

Варируя частоту генератора, убедиться, что в поле зрения наблюдается изображение именно ультразвуковой решетки: при изменении от резонансной частоты оно должно исчезать.

Измерить несколько раз расстояние, например, между соседними максимумами. Помня, что расстояние между соседними максимумами (или минимумами) равно половине длины волны ультразвука ($\lambda/2$), вычислить λ (в делениях шкалы барабана микрометра).

Убедиться в преимуществах метода темного поля. Для этого, не прекращая наблюдения, повернуть полоску, открыв тем самым центральный максимум, — изображение решетки практически должно исчезнуть. После этого генератор выключить.

Определить цену деления барабана микрометра (чтобы найти истинную длину волны ультразвука). Для этого на место кюветы с жидкостью установить вспомогательную дифракционную решетку в положение, при котором в поле зрения окуляр-микрометра будет наблюдаться ее четкое изображение.

Зная период решетки, вычислить цену деления барабана микрометра и затем — длину волны ультразвука λ .

Вычислить скорость ультразвука по формуле (8.2). Сравнить результат с полученным в предыдущем задании.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем отличие фазовой и амплитудной дифракционных решеток?

2. Показать, что период ультразвуковой решетки одинаков как для бегущей, так и для стоячей волны и равен ее длине волны.

3. Одинаковы ли будут дифракционные картины от стоячей и бегущей ультразвуковых волн?

4. В чем заключается метод темного поля? Каковы его преимущества?

5. Почему в данной установке невозможно наблюдать бегущую звуковую волну? Можно ли наблюдать бегущие волны при стробоскопическом освещении?

РАБОТА 9

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА

Цель — определить угол Брюстера и исследовать частично поляризованный свет.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что световая волна поперечна, т.е. электрический вектор $\vec{E}$ волны перпендикулярен к направлению ее распространения.

Свет со всевозможными ориентациями вектора $\vec{E}$ называется естественным, а свет, в котором вектор $\vec{E}$ имеет одно единственное направление, — плоскополяризованным. Промежуточный случай — частично поляризованный свет, когда имеется преимущественное направление колебаний вектора $\vec{E}$. Эти случаи показаны на рис. 9.1 (направление распространения света перпендикулярно к плоскости рисунка).

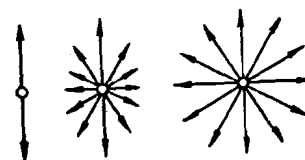


Рис. 9.1

В случае плоскополяризованного света плоскость, в которой колеблется электрический вектор $\vec{E}$, называют плоскостью поляризации.

Получить плоскополяризованный свет из естественного можно следующими способами.

1. При отражении света от поверхности диэлектрика. В этом случае степень поляризации отраженного света зависит от показателя преломления диэлектрика n и угла падения θ . Полная поляризация достигается при падении под углом Брюстера θ_{Br} , определяемом формулой

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{Бр}} = n. \quad (9.1)$$

При этом плоскость поляризации отраженного света оказывается перпендикулярной к плоскости падения.

Поскольку отраженный от поверхности диэлектрика свет полностью или частично поляризован, проходящий свет становится частично поляризованным. Преимущественное направление колебаний вектора E в прошедшем свете совпадает с плоскостью падения. Максимальная степень поляризации его достигается при падении света под углом Брюстера. Для увеличения степени поляризации прошедшего света используют стопу стеклянных пластинок.

2. При прохождении света через поляризатор - прибор, пропускающий световые колебания, параллельные плоскости, которую называют плоскостью поляризатора. Колебания же, перпендикулярные к этой плоскости, полностью задерживаются. Таким свойством, в частности, обладает используемый в работе поляроид.

Закон Малюса: если плоскополяризованный свет интенсивности I_0 падает на поляризатор P так, что плоскость поляризации составляет угол φ с плоскостью поляризатора (рис. 9.2), то интенсивность прошедшего света

$$I = I_0 \cos^2 \varphi. \quad (9.2)$$

В самом деле, пусть A_0 - амплитуда падающего света, тогда через поляризатор пройдет составляющая с амплитудой $A = A_0 \cos \varphi$. Поскольку интенсивность света пропорциональна квадрату амплитуды, то отсюда сразу и следует закон (9.2).

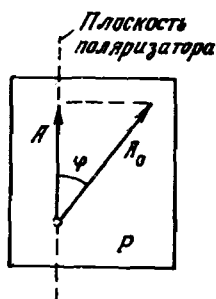


Рис. 9.2

Степень поляризации. Если пропустить частично поляризованный свет через поляризатор, то при вращении последнего вокруг направления пучка интенсивность прошедшего света будет меняться в пределах от $I_{\text{МИН}}$ до $I_{\text{МАКС}}$. Причем переход от одного из этих значений к другому будет наблюдаться при повороте поляризатора на угол в 90° . Величину P , определяемую как

$$P = \frac{I_{\text{МАКС}} - I_{\text{МИН}}}{I_{\text{МАКС}} + I_{\text{МИН}}}, \quad (9.3)$$

называют степенью поляризации. В частности, для естественного света $P = 0$, для плоскополяризованного - $P = 1$.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Работа проводится на гониометре - приборе, предназначенном для точных измерений углов. Оптическая схема установки показана на рис. 9.3. Здесь 1 - источник света; 2 - входная щель коллиматора; 3 - исследуемая пластинка; 4 - зрительная труба. Изображение щели рассматривают через окуляр трубы, в передней фокальной плоскости которого находится вращательный крест.

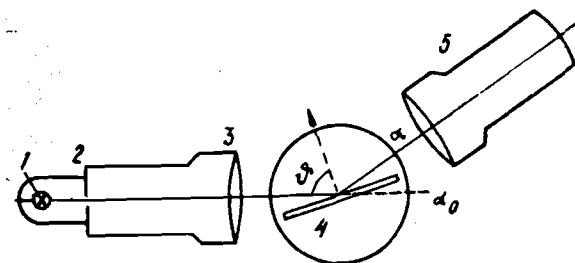


Рис. 9.3

Внешний вид гониометра показан на рис. 9.4. Здесь 1 - осветитель; 2 - винт, регулирующий ширину входной щели коллиматора; 3 - фокусирующий винт коллиматора; 4 - предмет-

ный столик с упругим держателем для пластинок; 5 – фокусировочный винт зрительной трубы; 6 – окуляр трубы; 7 – лупа, через которую производят отсчеты по шкале лимба, находясь внутри прибора.

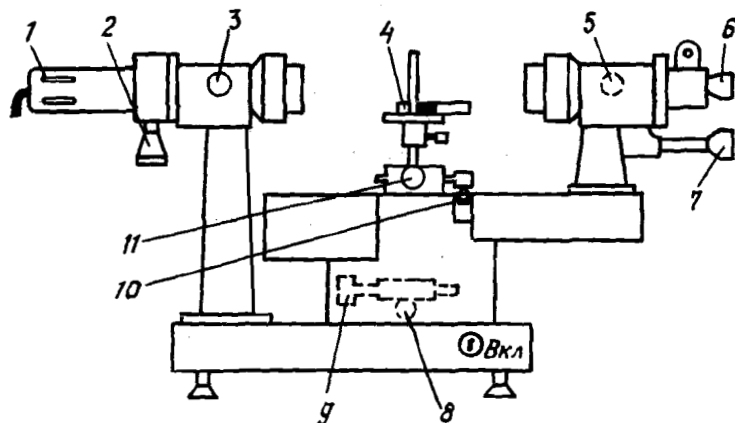


Рис. 9.4

Зрительная труба укреплена на подвижном кронштейне, который можно поворачивать вокруг вертикальной оси, проходящей через центр столика. Поворот трубы осуществляется рукой после освобождения стопорного винта 8. При закрепленном винте 8 можно производить тонкое перемещение трубы – винтом 9.

Рычажок 10 позволяет осуществлять совместное или раздельное перемещение трубы и лимба. Для раздельного вращения этот рычажок достаточно поднять (освободить). Стопорный винт 11 служит для закрепления лимба на оси прибора.

Предметный столик можно вращать самостоятельно (для этого надо раскрепить винт под ним), совместно с лимбом при неподвижной трубе и совместно с лимбом и трубой.

Лимб гониометра имеет шкалу с градусными делениями. Отсчет производят через лупу 7, в поле зрения которой видны изображения оцифрованных штрихов лимба и шкала сетки лупы. Цена деления этой шкалы $1'$. Наличие нижней шкалы, сдвинутой относительно верхней на половину деления, дает возможность производить отсчет с точностью до $0,5'$.

Отсчет градусов берется по цифре, стоящей под тем штрихом шкалы лимба, который попадает в пределы шкалы лупы. Отсчет минут – по верхнему ряду чисел шкалы лупы. К установке прилагаются: фотоэлемент с гальванометром, насадка с поляризатором, темная полированная пластинка и набор стандартных пластинок.

ЗАДАНИЯ

1. Определение угла Брюстера

После сборки установки. Вращением накатанного кольца зрительной трубы добиться четкого изображения визирного креста. Вращением лимба зрительной трубы.

Включить осветитель и подсветку лимба гониометра (тумблер "Лимб"). Установить зрительную трубу навстречу коллиimatorу в середине поля зрения трубы должно появиться изображение визирного креста. Сфокусировать трубу винтом 5 (см. рис. 9.4), чтобы изображение стало четким и без параллакса. Вращением лимба визирного креста. Винтом 2 сделать изображение визирного креста.

Проверить, чтобы в этом положении трубы отсчет по лимбу находился за пределами интервала углов от 90° до 270° . Вращением лимба освободить винт 11 и поворотом насадки с фотоэлементом вокруг вертикальной оси прибора ввести требуемое значение лимба, после чего винт 11 опять закрепить. Данное значение нужно только для того, чтобы при дальнейших измерениях не переходить через нуль шкалы лимба – это исключит некоторые осложнения при определении разности отсчетов.

Измерения. Закрепив трубу винтом 8 и вращая винт 9 толпой насадки, совместить вертикальный штрих визирного креста с серединой изображения шели. Сделать соответствующий отсчет по шкале лимба (α_0).

Затем установить на предметный столик темную пластинку. Освободить стопорный винт столика, повернуть столик и зрительную трубу в положение, показанное на рис. 9.3, чтобы в середине поля зрения окуляра трубы опять появилось изображение шели. На объектив зрительной трубы надеть насадку с поляризатором. Вращая эту насадку вокруг оптической оси трубы, получить наибольшее затемнение изображения.

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ФОТОУПРУГОСТИ

Цель — определить коэффициент фотоупругости плексигласа.

ВВЕДЕНИЕ

Предварительно следует ознакомиться с введением к работе 9). Прозрачное изотропное вещество, подвергнутое одноосному сжатию или растяжению, становится в оптическом отношении эквивалентным одноосному кристаллу, оптическая ось которого совпадает с направлением действия внешних сил. При этом наблюдается явление двойного лучепреломления: свет в деформированной среде разлагается на обыкновенный и необыкновенный лучи, которые линейно поляризованы во взаимно перпендикулярных плоскостях и распространяются с различными скоростями.

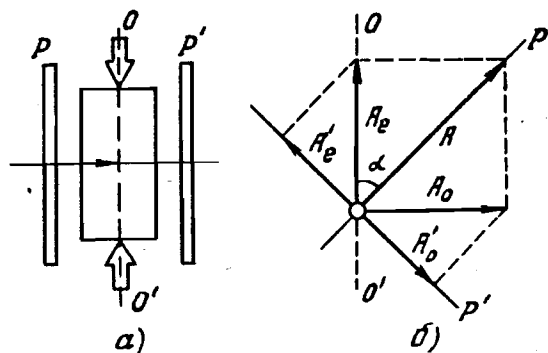


Рис. 10.1

Это явление — его называют фотоупругостью — обычно наблюдают с помощью схемы (рис. 10.1, а). Исследуемый образец помещают между поляризаторами P и P' . Если они скрещены между собой, т.е. их плоскости составляют между со-

бой угол 90° , то при отсутствии деформации в образце свет, прошедший через поляризатор P , полностью задерживается поляризатором P' . Если теперь образец подвергнуть сжатию вдоль оси OO' , составляющей некоторый угол α с направлением плоскости P , то линейно поляризованный свет испытает в образце двойное лучепреломление, в результате чего произойдет просветление поля в поляризаторе P' .

Сказанное поясняет рис. 10.1, б. Здесь A — амплитуда колебаний линейно поляризованного света, прошедшего через поляризатор P ; A_o и A_e — амплитуды колебаний обыкновенного и необыкновенного лучей в образце. Поляризатор P' сводит оба колебания к одной плоскости (A'_o и A'_e), причем всегда $A'_o = A'_e$.

Оба колебания возникают из одного линейно поляризованного колебания A , поэтому они когерентны и могут интерферировать. Результат интерференции отчетливее всего наблюдается при $\alpha = 45^\circ$, ибо в этом случае A'_o и A'_e максимальны.

Так как в образце оба колебания распространяются с различными скоростями, то для них различны и показатели преломления n_o и n_e . Поэтому после прохождения образца между этими колебаниями возникает некоторая разность фаз δ , зависящая линейно от их оптической разности хода $d(n_o - n_e)$, где d — толщина образца.

Амплитуда результирующего колебания, возникшего вследствие интерференции колебаний с амплитудами A'_o и A'_e , а следовательно, и интенсивность света будет зависеть от разности фаз δ , достигая максимума, когда оба колебания находятся в фазе, и минимума, когда колебания — в противофазе.

В области упругих деформаций разность показателей преломления

$$n_o - n_e = k \sigma, \quad (10.1)$$

где σ — напряжение, испытываемое образцом, k — коэффициент фотоупругости, характеризующий оптические свойства деформированного вещества и зависящий от длины волны света. Этот коэффициент обычно измеряют в брюстерах (1 брукстер = 10^{-13} см²/дин).

Определение коэффициента фотоупругости, как видно из формулы (10.1), в основном сводится к измерению оптической разности хода. Для этой цели используют кварцевый клин, оптическая ось которого направлена перпендикулярно к его острому углу и лежит в плоскости самого клина.

Если клин поместить между скрещенными поляризаторами, то можно наблюдать систему интерференционных полос, параллельных его ребру. Полосы образуются потому, что разность хода $d'(n'_o - n'_e)$, возникшая в клине, изменяется вдоль него вместе с толщиной d' , давая последовательно интерференционные максимумы и минимумы. Переход от одного максимума к соседнему соответствует изменению оптической разности хода в клине на целую длину волны λ . Таким образом, ширине полосы, т.е. расстоянию между соседними максимумами (или минимумами), соответствует разность хода, равная λ .

Если кварцевый клин поместить между образцом и анализатором в схеме рис. 10.1, а, и образец подвергнуть сжатию, то обнаруживается смещение всех полос, обусловленное возникновением дополнительной разности хода в самом образце. Смещение полос на долю η от ширины полосы соответствует изменению разности хода на величину $\eta\lambda$. Таким образом, измерив величину относительного смещения полос η и зная длину волны λ , можно определить разность хода в образце и по формуле (10.1) коэффициент фотоупругости

$$k = 2\lambda / \delta d. \quad (10.2)$$

Интерференция поляризованных лучей лежит в основе метода фотоупругости: из прозрачных изотропных материалов (например, плексигласа) изготавливают модели различных непрозрачных деталей и исследуют их описанным способом. Это позволяет решать ряд важных вопросов, связанных с наличием и распределением деформаций и напряжений в моделируемых деталях.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Используемая в данной работе установка состоит из двух основных частей — оптической и нагрузочной.

Оптическая схема установки показана на рис. 10.2. Здесь 1 — лазер, 2 — исследуемый образец, 3 — кварцевый клин

(при необходимости его можно выводить из хода лучей), 4 — поляризатор, 5 — зрительная трубка с окуляр-микрометром.

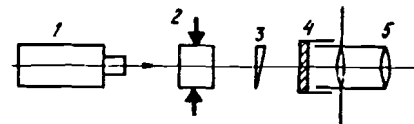


Рис. 10.2

Пучок, выходящий из лазера, немного расширен (с помощью вспомогательного объектива) и, кроме того, плоскополяризован под углом 45° к вертикали.

Нагрузочное устройство (пресс) представляет собой обычный рычаг с отношением плеч 1:10. Нагрузку прикладывают к концу рычага, снабженному подвесом для гирь.

ЗАДАНИЕ

Определение коэффициента фотоупругости

Подготовка установки. Включить лазер (с помощью лаборанта), вывести кварцевый клин из хода лучей. Вращая оправу поляризатора 4 (см. рис. 10.2), добиться полного затемнения поля зрения.

Установить образец под ненагруженный пресс так, чтобы его полированные поверхности были перпендикулярны к падающему свету. Ввести в ход лучей кварцевый клин — в поле зрения окуляра должно появиться не менее двух темных полос.

Сфокусировать окуляр на четкое видение визирного креста. Затем окуляр повернуть так, чтобы один из штрихов визирного креста оказался параллельным темным полосам.

Измерения. Измерить ширину полосы. Для этого совместить штрих креста последовательно с серединами соседних темных полос (не менее трех раз) и сделать отсчеты по шкале и барабану окуляр-микрометра. Разность этих отсчетов равна ширине полосы h (в единицах деления шкалы барабана).

Постепенно нагружая рычаг прессы, измерить смещения Δh_i одной из темных полос при различных нагрузках P_i . Эту операцию повторить не менее трех раз.

5-2400

Вычисления. Вычислить относительные смещения $\eta_i = \Delta k_i / k$ для соответствующих нагрузок P_i .

Построить график зависимости $\eta(P)$. Из наклона графика найти среднее значение отношения η/P и вычислить затем коэффициент фотопругости (в брьюстерах) по формуле

$$k = \frac{1}{10} \lambda b \langle \eta/P \rangle,$$

где λ — длина волны света, b — ширина образца (в направлении, перпендикулярном к ходу лучей).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается явление двойного лучепреломления? Как ориентирована плоскость поляризации в обыкновенном и не-обыкновенном лучах?

2. Какая картина будет наблюдаться через окуляр, если сжатие образца производить в отсутствие кварцевого клина? В чем преимущества использования кварцевого клина?

3. Будет ли наблюдаться интерференционная картина, если плоскость поляризатора 4 (см. рис. 10.2) ориентировать параллельно плоскости поляризации света, выходящего из лазера?

4. Какую роль играет поляризатор P в схеме рис. 10.1, а?

5. От чего зависит ширина наблюдаемой в окуляр интерференционной полосы?

ИЗУЧЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Цель — построить градуировочную кривую и с помощью нее найти концентрацию раствора.

ВВЕДЕНИЕ

В некоторых кристаллах (например, кварце) распространение света вдоль оптической оси сопровождается поворотом плоскости поляризации. Это явление свойственно и некоторым органическим жидкостям (например, раствору сахара). Такие вещества называются оптически активными, а само явление — естественным вращением плоскости поляризации.

Для оптически активных растворов угол поворота плоскости поляризации определяется формулой

$$\varphi = [\alpha] c l, \quad (11.1)$$

где c — концентрация раствора (масса активного вещества в единице объема раствора); l — толщина слоя раствора; $[\alpha]$ — коэффициент, называемый удельным вращением плоскости поляризации и численно равный углу поворота (в град) при $c = 1 \text{ г/см}^3$ и $l = 1 \text{ дм}$. Этот коэффициент зависит от природы вещества, температуры и длины волны света.

Естественное вращение плоскости поляризации можно наблюдать, поместив оптически активное вещество между поляризаторами P и P' . Если их плоскости (плоскости разрешенных колебаний) взаимно перпендикулярны, то плоскополяризованный свет, вышедший из поляризатора P , в отсутствие оптически активного вещества будет целиком задержан поляризатором P' , и поле зрения будет темным. Введение оптически активного вещества приводит к повороту плоскости поляризации, благодаря чему поле зрения просветлеет. Повернув поляризатор P' вокруг светового пучка так, чтобы поле зрения стало опять темным, можно тем самым найти и угол поворота плоскости поляризации в исследуемом веществе.

Однако определение угла поворота таким способом сопряжено со значительными погрешностями, ибо трудно найти достаточно точно положение поляризатора P' , соответствующее максимальному затемнению поля зрения. Поэтому при измерениях обычно применяют полутеневое метод, в котором установка производится не на темноту поля зрения, а на равную яркость полей сравнения.

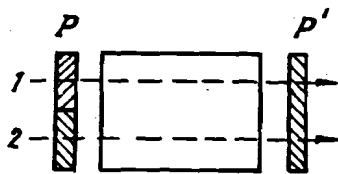


Рис. 11.1

Идея этого метода в следующем. Пусть поляризатор P (рис. 11.1) состоит из двух частей (1 и 2), плоскости которых образуют между собой угол α . Тогда свет, прошедший через такой поляризатор, расщелится на два одинаковых по интенсивности плоскополяризованных пучка, плоскости поляризации которых повернуты относительно друг друга на тот же угол α .

При прохождении через поляризатор P' интенсивности обоих пучков будут зависеть от положения его плоскости относительно направлений колебания светового вектора в обоих пучках. Это поясняет рис. 11.2, где A_1 и A_2 — световые векторы обоих пучков; P' — плотность поляризатора P' . Амплитуды колебаний света в пучках, прошедших через поляризатор P' , равны проекциям векторов A_1 и A_2 на направление P' . В общем случае эти проекции различны, поэтому и интенсивности обоих пучков будут отличаться друг от друга. Для уравнивания интенсивностей пучков, а следовательно, и яркостей полей сравнения, поляризатор P' достаточно повернуть в положение, при котором его плоскость совпадает с биссектрисой угла α .

При введении между поляризаторами P и P' оптически активного вещества плоскости поляризации обоих пучков повернутся на некоторый угол φ , и яркости полей сравнения изменятся. Угол φ легко определить: он равен углу, на который

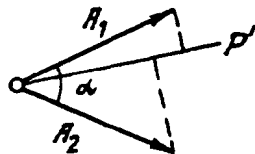


Рис. 11.2

следует повернуть поляризатор P' , чтобы опять уравнять яркости обоих полей.

Чувствительность полутеневого метода. На рис. 11.3, на котором показаны плоскости колебаний светового вектора обоих пучков (A_1 и A_2), видно, что уравнивание интенсивностей пучков (яркости полей) можно осуществить при двух взаимно перпендикулярных положениях плоскости поляризатора P' (P'_I и P'_{II}). Причем, если угол α достаточно мал, то чувствительность установки обоих полей на одинаковую яркость в положении P'_I (светлое поле) будет значительно меньше, чем в положении P'_{II} (полутемное поле). Действительно, поворот анализатора из положений P'_I и P'_{II} на одинаковый малый угол $\delta\varphi$ в случае полутемного поля приводит к значительно большему относительному изменению амплитуд колебаний обоих пучков, чем в случае светлого поля.

Именно поэтому угол α делают небольшим (порядка нескольких градусов), и измерения проводят в полутемном поле (отсюда и название метода полутеневого).

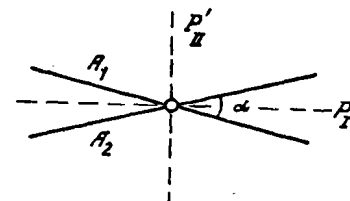


Рис. 11.3

ОПИСАНИЕ ПРИБОРА

Используемый в работе прибор называется круговым поляриметром. Его схема показана на рис. 11.4. Свет от лампы 1 проходит через поляризатор 2. Половина светового пучка проходит затем через кварцевую пластинку 3, которая поворачивает плоскость поляризации на небольшой угол порядка нескольких градусов. Далее свет проходит через оранжевый светофильтр 4, трубку 5 с исследуемым веществом, поляризатор 6 и зрительную трубку. Через окуляр 8 наблюдают световое поле,

разделенное на два участка, угол между плоскостями поляризации которых (до поляризатора 6) равен α .

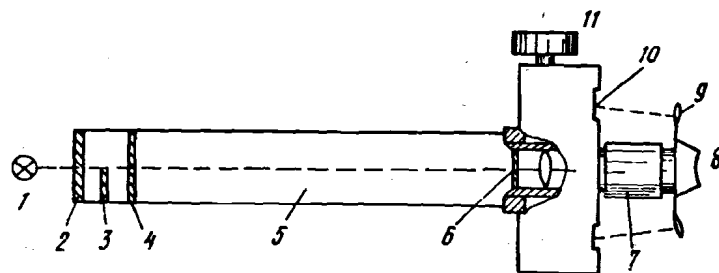


Рис. 11.4

Поворотом муфты 7 зрительную трубку фокусируют на отчетливое видение границ двойного поля. Поворот поляризатора 6 осуществляется вращением маховика 11. При этом яркости обоих участков поля будут изменяться: при уменьшении яркости левого участка яркость правого увеличивается, и наоборот.

Угол поворота поляризатора 6 отсчитывается по шкале лимба 10 через лупы 9. Шкала снабжена двумя нониусами. Цена деления шкалы $0,5^\circ$, точность отсчета по нониусу $0,02^\circ$. Цифры на нониусе означают: "10" — это $0,10^\circ$, "20" — $0,20^\circ$ и т.д. Нуль шкалы соответствует одинаковой яркости всех участков светового поля в отсутствие оптически активного вещества.

Исследуемый раствор наливают в стеклянную трубку, на концы которой навинчивают муфты, прижимающие круглые стеклянные оконца к торцам трубки. Резиновые прокладки предохраняют оконца от образования напряжений, которые мешают наблюдениям (из-за двойного лучепреломления) и снижают точность измерений.

Вырез в трубе прибора (куда вставляется трубка с раствором) закрывается откидной крышкой во избежание проникновения постороннего света при измерениях.

ЗАДАНИЯ

1. Определение точности измерений

Вынуть из прибора трубку для раствора, закрыть крышкой вырез трубы и включить лампу-осветитель. Измерения рекомендуется начинать через 10 мин после включения этой лампы.

Сфокусировать зрительную трубку на отчетливое видение границ двойного поля. Убедиться, что установку полей на одинаковую яркость можно осуществить при двух взаимно перпендикулярных положениях поляризатора 6.

После этого установить поляризатор 6 на равную яркость полей сравнения в светлом поле. Если яркость полей окажется чрезмерной для глаза, то необходимо ввести дополнительный светофильтр, установив его перед поляризатором 6.

Потренировавшись на установку одинаковой яркости полей сравнения, произвести затем эту операцию не менее семи раз и записать соответствующие отсчеты N_i по одному из нониусов^{*}.

Затем повернуть поляризатор 6 на 90° (в полутеневое положение). В этом положении также не менее семи раз произвести установку поляризатора на равенство яркостей полей и записать соответствующие отсчеты по тому же нониусу.

Вычислить для обоих случаев среднеквадратичный разброс отсчетов около среднего значения:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (\Delta N_i)^2}, \quad (11.2)$$

где n — число измерений, $\Delta N_i = N_i - \langle N \rangle$.

В полутеневом методе при правильной настройке прибора разброс должен быть значительно меньше.

* Если нулевой штрих нониуса смещен относительно нуля шкалы лимба по часовой стрелке, то отсчет следует брать со знаком "+", если против часовой стрелки — со знаком "-".

2. Определение угла поворота плоскости поляризации

Прежде всего необходимо определить нулевой отсчет при наличии трубки с растворителем. Для этого налить в трубку растворитель (дистиллированную воду) — до появления выпуклого мениска. Затем на конец трубки надвинуть стеклянное оконце, наложить резиновую прокладку и завинтить муфту (не очень туго!). Удалить загрязнения и следы жидкости с наружных частей оконцев.

Установить трубку в прибор и сфокусировать окуляр на четкое видение границ раздела двойного поля.

Поворотом поляризатора 6 (см. рис. 11.4) — маховичком 11 — тщательно уравнивать яркость полей и записать соответствующий отсчет по нониусу. Это измерение проделать не менее пяти раз. Среднее значение этих отсчетов определяет нулевой отсчет N_0 .

Аналогичную операцию проделать для всех растворов сахара с известными концентрациями и для одного раствора с неизвестной концентрацией.

Вычислив для каждого раствора угол поворота плоскости поляризации φ , построить график зависимости φ от концентрации C (градуировочный график).

Найти по этому графику неизвестную концентрацию раствора.

Зная длину трубки, вычислить по формуле (11.1) для каждого раствора удельное вращение $[\alpha]$ и его среднее значение.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Белый свет проходит через поляризатор, оптически активное вещество и отражается от зеркала в обратном направлении. Будет ли поляризатор задерживать отраженный свет?
2. Каковы преимущества полутеневого метода?
3. Можно ли кварцевую пластинку в данном поляриметре поместить перед поляризатором 2 (см. рис. 11.4)?
4. На какую часть прибора фокусируется зрительная трубка?
5. Почему при работе с поляриметрами необходимо применять светофильтр?

РАБОТА 12

ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Цель — определить постоянную Верде для заданного раствора.

ВВЕДЕНИЕ

(Предварительно следует ознакомиться с введением к работе 11.) Прохождение света через некоторые вещества сопровождается поворотом плоскости поляризации. Такие вещества назвали оптически активными.

В других веществах, таких, например, как вода и стекло, в обычных условиях не происходит поворота плоскости поляризации. Однако в магнитном поле и эти вещества приобретают способность вращать плоскость поляризации. Это явление назвали эффектом Фарадея. Оно наблюдается в любых прозрачных веществах: твердых, жидких и газообразных.

Когда свет распространяется через вещество вдоль направления магнитного поля, угол поворота его плоскости поляризации φ_M обусловленный магнитным эффектом, определяется как

$$\varphi_M = \rho l H, \quad (12.1)$$

где ρ — постоянная Верде, l — длина пути света в веществе, H — напряженность магнитного поля. Постоянная Верде зависит от свойства вещества и в некоторой степени от длины волны света.

Направление магнитного вращения плоскости поляризации зависит только от направления магнитного поля и не зависит от направления распространения света. Так, если плоскополяризованный свет проходит через оптически активное вещество, помещенное в магнитном поле, то изменение направления последнего приведет к тому, что в выражении для результирующего угла поворота φ плоскости поляризации

$$\varphi = \varphi_M + \varphi_e \quad (12.2)$$

изменится лишь знак угла φ_M , знак же угла естественного поворота плоскости поляризации φ_e остается без изменения.

По направлению магнитного вращения плоскости поляризации все вещества делятся на правовращающие (положительные) и левовращающие (отрицательные). Направление вращения плоскости поляризации определяется, если смотреть вдоль направления магнитного поля: правовращающие вещества вращают плоскость поляризации по часовой стрелке, левовращающие — против.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Работа проводится на приборе, называемом сахариметром. Его оптическая схема показана на рис. 12.1. Свет от лампы 1 проходит через поляризатор 2, исследуемое вещество 3, компенсатор 4 и поляризатор 5.

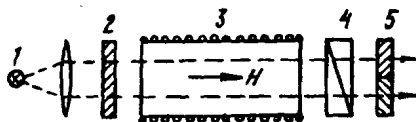


Рис. 12.1

Компенсатор состоит из двух кварцевых клиньев — неподвижного правовращающего и подвижного левовращающего. Перемещая подвижный клин перпендикулярно к оптической оси прибора, можно скомпенсировать любой поворот плоскости поляризации в исследуемом веществе.

Поляризатор 5 состоит из двух частей, плоскости которых P_1 и P_2 (рис. 12.2) образуют между собой небольшой угол α . При прохождении плоскополяризованного света через такой поляризатор в поле зрения окуляра прибора образуется два световых поля сравнения.

В общем случае амплитуды A_1 и A_2 колебаний, пропущенных каждой частью поляризатора 5, будут различны (это видно из рис. 12.2, где $\vec{A}$ — световой вектор падающего плоскополяризованного света). Следовательно, различными будут и яркости обоих полей сравнения. Яркости полей станут равными, если плоскость колебаний светового вектора $\vec{A}$ установить

симметрично относительно направлений P_1 и P_2 . Это осуществляется перемещением клина компенсатора.

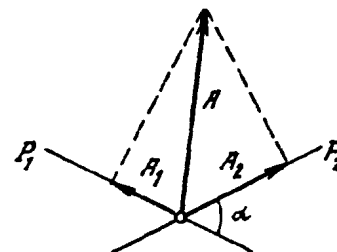


Рис. 12.2

Внешний вид сахариметра показан на рис. 12.3. Здесь 1 — осветительная головка, в которой находится лампочка, линза, светофильтр и поляризатор; 2 — соленоид, в который вставляют трубку с исследуемой жидкостью; 3 — измерительный узел (в нем находятся компенсатор, поляризатор и круговая шкала с нониусом); 4 — отсчетная лупа; 5 — окуляр; 6 — рукоятка для перемещения подвижного клина компенсатора и связанной с ним отсчетной шкалы.

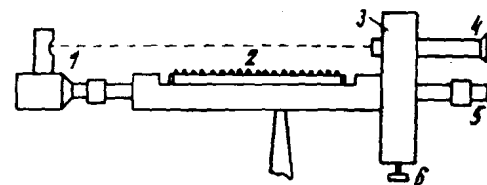


Рис. 12.3

100 делений отсчетной шкалы соответствуют углу $34,62^\circ$.

Соленоид питается от сети через выпрямитель, на передней панели которого расположены: регулятор напряжения (справа), вольтметр, амперметр и кнопка (слева) — для подключения соленоида.

К установке прилагается вспомогательная трубка — для определения "нуля" прибора.

ЗАДАНИЕ

Исследование вращения плоскости поляризации

1. Определить нулевой отсчет при наличии только раствора. Для этого налить во вспомогательную трубку дистиллированную воду (до появления выпуклого мениска). Затем на торец трубки надвинуть стеклянное оконце, наложить резиновую прокладку и закрутить муфту (не очень туго!). Удалить загрязнения и следы жидкости с наружных поверхностей стеклянных оконцев.

Установить трубку с водой в прибор — вместо соленоида с исследуемым раствором. Включив осветитель, сфокусировать окуляр на четкое видение границы раздела двух полей.

Потренировавшись на установку одинаковой яркости полей сравнения, произвести затем эту операцию 5 — 7 раз. Соответствующие отсчеты записать по нониусу. Среднее значение этих отсчетов и определяет нулевой отсчет прибора (N_{00}).

Замечание. При всех измерениях следует использовать правило знаков: отсчеты вправо от нуля шкалы лимба брать со знаком "+", отсчеты влево — со знаком "-". Отсчет показаний при помощи нониуса поясняет рис. 12.4. Здесь положение шкалы и нониуса соответствуют отсчету "-3,25" (нуль нониуса расположен левее нуля шкалы на три полных деления, и в левой части нониуса с одним из делений шкалы совмещается его деление "25").

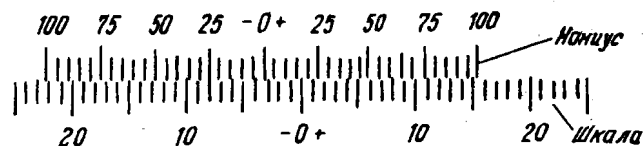


Рис. 12.4

2. Установить на место соленоид с исследуемым раствором. Сфокусировать окуляр, тщательно уравнивать яркости полей сравнения и снять отсчет по нониусу. Измерение проделать не менее трех раз. Среднее значение этих отсчетов обозначим N_0 .

3. Включить выпрямитель и проделать аналогичные измерения для нескольких значений силы тока (рекомендуемые значения силы тока приведены на установке). Сами измерения производить при включении кнопки на выпрямителе, причем интервал между измерениями должен быть не менее двух минут (во избежание перегрева обмотки соленоида).

Среднее значение отсчетов для каждого значения силы тока I обозначим N_i .

4. Поменять местами клеммы обмотки соленоида на выпрямитель, т.е. изменить направление тока и магнитного поля. После этого повторить измерения для тех же значений силы тока.

Вычисления. Найти средний отсчет N_i для каждого значения тока (включая и N_0), вычислить соответствующие углы поворота плоскости поляризации как

$$\varphi_i = N_i - N_{00}.$$

Пересчитать φ_i в угл. мин (напомним, что 100 делениям отсчетной шкалы лимба соответствует угол $34,62^\circ$).

По полученным результатам построить график зависимости φ_i (в угл. мин) от значения тока I (в А). График должен иметь вид прямой. Из наклона прямой ($\Delta\varphi/\Delta I$) вычислить постоянную Верде:

$$\rho = \frac{1}{N} \frac{\Delta\varphi}{\Delta I},$$

где ρ — в угл. мин/А, N — полное число витков соленоида (оно указано на приборе). Эта формула следует из (12.1), где $N = n l$, n — число витков на единицу длины соленоида.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое полутеневого метод? В чем его преимущества?
2. От чего будет зависеть угол поворота плоскости поляризации света, который распространяется в оптически активном веществе вдоль магнитного поля, если, отразившись от зеркала, он возвратится в исходную точку?
3. Почему в сахариметре необходимо использовать световой фильтр?

4. Объяснить принцип работы компенсатора.

5. Пусть в отсутствие магнитного поля поля сравнения сакхариметра установлены на одинаковую яркость. Какая картина будет наблюдаться, если через соленоид пропускать переменный ток достаточно малой частоты?

Иродов Игорь Евгеньевич
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
"ВОЛНОВАЯ ОПТИКА"

Редактор Е. Г. Станкевич
Техн. редактор Н. М. Воронцова
Корректор Е. А. Жадан

Формат 60x84 1/16	Подписано в печать 14/II-1983г.	
Тираж 1500 экз.	Объем 5 п.л.	Уч.-изд. л. 4,5
	Цена 30 коп.	Изд. № 002-1
	Заказ 2400	

Типография МИФИ, Каширское шоссе, 31