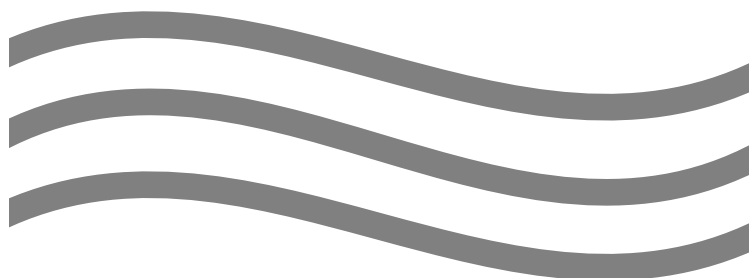


ВОЛНОВАЯ ОПТИКА



◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆

Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

Лабораторные работы по курсу общей физики
для студентов 1–2 курсов
всех специальностей и форм обучения инженерного профиля



Тамбов
Издательство ТГТУ
2008

УДК 535
ББК В343я73-5
Б907

Рецензент

Доктор технических наук,
профессор кафедры «Автоматизированные системы и приборы» ТГТУ
Д.М. Мордасов

Составители:

*Н.А. Булгаков,
О.С. Дмитриев,
А.М. Савельев*

Б907 Волновая оптика : лабораторные работы / сост. : Н.А. Булгаков, О.С. Дмитриев, А.М. Савельев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – 16 с. – 1000 экз.

Представлены методические указания по выполнению трех лабораторных работ раздела «Волновая оптика» курса общей физики. Даны описания лабораторных установок, теоретическое обоснование соответствующих методов экспериментального решения поставленных задач, а также методика обработки полученных результатов. Приведены контрольные вопросы и список рекомендуемой литературы.

Предназначены для выполнения студентами 1–2 курсов всех специальностей и форм обучения инженерного профиля.

УДК 535
ББК В343я73-5

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный
технический университет» (ТГТУ), 2008

Учебное издание

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

Лабораторные работы

С о с т а в и т е л и :

БУЛГАКОВ Николай Александрович,
ДМИТРИЕВ Олег Сергеевич,
САВЕЛЬЕВ Александр Михайлович

Редактор О.М. Ярцева
Инженер по компьютерному макетированию Т.Ю. Зотова

Подписано в печать 02.04.2008
Формат 60 × 84 / 16. 0,93 усл. печ. л. Тираж 1000 экз. Заказ № 152

Издательско-полиграфический центр ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ ЛИНЗЫ И ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ КОЛЕЦ НЬЮТОНА

Цели работы:

1. Ознакомиться с устройством, принципом работы оптического микроскопа, способом получения и наблюдения колец Ньютона.
2. Научиться измерять диаметры колец, определять радиус кривизны линзы, а также среднюю длину волны света, пропускаемого светофильтром.

Приборы и принадлежности: микроскоп с осветителем и блоком питания, линза, стеклянная пластинка, два светофильтра, объект-микрометр.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

При отражении монохроматического света от тонкой пленки в результате интерференции могут наблюдаться полосы равной толщины – участки с одинаковой освещенностью, соответствующие одинаковой толщине пленки. Классическим примером полос равной толщины являются кольца Ньютона. Они наблюдаются при отражении света от соприкасающихся плоскопараллельной пластинки и плосковыпуклой линзы. Роль тонкой пленки, от поверхности которой отражаются когерентные волны, играет воздушный зазор между пластинкой и линзой. Интерференционная картина имеет вид чередующихся светлых и темных колец, расстояния между которыми убывают по мере удаления от центра (рис. 1). В середине должно быть темное пятно – это говорит о плотном прилегании линзы к пластинке. Число наблюдаемых колец зависит, прежде всего, от ширины полосы пропускания светофильтра, определяющей степень монохроматичности света. Радиусы темных колец выражаются формулой:

$$r_m = \sqrt{m\lambda R}, \quad (1)$$

где m – номер кольца, λ – длина волны света, R – радиус кривизны линзы.

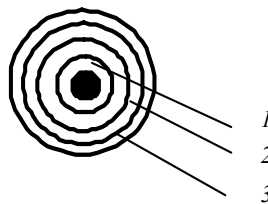


Рис. 1:

1, 2, 3 ... – номера колец

Так как вследствие упругой деформации стекла невозможно добиться соприкосновения линзы и пластинки строго в одной точке, то более правильный результат получится, если вычислять R по разности диаметров двух колец; тогда окончательная формула будет иметь следующий вид:

$$R = \frac{d_{m1}^2 - d_{n1}^2}{4(m-n)\lambda_1}, \quad (2)$$

где m и n – номера колец, d_{m1} и d_{n1} – их диаметры, λ_1 – известная длина волны первого светофильтра. Поставив второй светофильтр с неизвестной длиной волны λ_2 и измерив радиусы соответствующих колец, можно определить неизвестную длину волны по формуле:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \frac{d_{m2}^2 - d_{n2}^2}{d_{m1}^2 - d_{n1}^2}, \quad (3)$$

где d_{m2} и d_{n2} – диаметры колец с теми же номерами, но полученными при измерении со светофильтром с неизвестной длиной волны λ_2 .

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка для наблюдения колец Ньютона состоит из микроскопа с осветителем (в качестве осветителя может использоваться ртутная лампа), на предметном столике микроскопа помещены стеклянная пластинка и линза в одной обойме. Один из окуляров снабжен шкалой с делениями. С помощью светофильтра из сплошного спектра лампы накаливания выделяется свет определенного цвета с некоторой средней длиной волны. Предметный столик может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Вертикальное перемещение объектива (настройка на резкость) производится с помощью винтов грубой и точной настройки. Некоторая сложность в «поиске» колец связана с необходимостью совмещения точки касания линзы с пластинкой и оптической оси объектива. В этом случае можно воспользоваться помощью лаборанта или преподавателя.

Для определения цены деления шкалы окуляра используется объект-микрометр (рис. 2), на зеркальную поверхность которого нанесена шкала длиной 1 мм, разделенная на 100 частей.

Внимание! Во избежание повреждения зеркальной шкалы объект-микрометра не следует касаться ее руками и протирать.

Питание осветителя микроскопа осуществляется через специальный блок или от постоянного напряжения 12 В, подведенного к двум клеммам лабораторного стола.

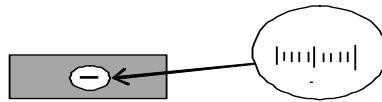


Рис. 2

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получите у лаборанта все необходимые принадлежности для работы на микроскопе.
2. Поместите обойму со стеклянной пластинкой и линзой под объектив микроскопа.
3. Вставьте в микроскоп объектив с соответствующим увеличением и два окуляра ($\times 10$), один из которых должен иметь шкалу с делениями или сетку.
4. Включите осветитель (ртутную лампу). С помощью трех винтов на осветителе добейтесь максимальной освещенности поля зрения окуляра. При этом ручка поворотной призмы должна быть вдвинута до упора в тубусе микроскопа.
5. Поднимая или опуская тубус микроскопа винтом грубой настройки, найдите кольца; перемещая предметный столик, выведите их в центр поля зрения; винтом микрометрической подачи добейтесь максимальной резкости изображения.
6. Поставьте в гнездо трубки осветителя светофильтр с известной длиной волны.
7. Измерьте по одному разу диаметры первых пяти темных колец в делениях шкалы окуляра. Результаты измерений занесите в таблицу.
8. Поставьте светофильтр с неизвестной длиной волны; проделайте операции п. 7. Результаты измерений занесите в таблицу.

Таблица

№ п/п	Номер кольца	Диаметр кольца для $\lambda_1, d_{m1}, d_{n1}, \text{дел.}$	Диаметр кольца для $\lambda_2, d_{m2}, d_{n2}, \text{дел.}$	Диаметр кольца для $\lambda_1, d_{m1}, d_{n1}, \text{м}$	Диаметр кольца для $\lambda_2, d_{m2}, d_{n2}, \text{м}$
1					
...					

$\lambda_1 = \dots\dots\dots$, нм.

9. Вместо обоймы поместите на столик под объектив микроскопа объект – микрометр, винтами грубой и микрометрической подачи тубуса получите резкое изображения его шкалы.
10. Отсчитайте число делений N окуляра, укладывающихся на *всей* длине (1 мм) шкалы объект-микрометра.
11. Измерения закончены. Выключите осветитель, снимите объект-микрометр, объектив и окуляры и вместе с другими принадлежностями сдайте лаборанту.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Найдите цену деления шкалы окуляра по формуле: $n = \frac{1 \text{ мм}}{N}$.
2. С помощью найденного значения переведите диаметры колец в таблице из делений в метры.
3. Комбинируя попарно данные таблицы для каждого двух колец по формулам (2) и (3), рассчитайте 10 значений R и λ_2 , обозначая диаметр последующего кольца m_2 , а предыдущего n_1 , в случае использования светофильтра с известной длиной волны (λ_1), и соответственно m_2 и n_2 – с неизвестной длиной волны (λ_2).
4. Найдите средние значения R и λ_2 , а также их абсолютные погрешности.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем состоит волновая природа света? Что такое монохроматичность и когерентность волн?
2. Оптическая разность хода, условия максимума и минимума
3. Объясните явление интерференции света на примере интерференции в тонких пленках.
4. Как возникает интерференционная картина в виде колец Ньютона и от чего зависят размеры, число и цвет наблюдаемых колец?
5. Приведите примеры применения интерференции света в науке и технике.

Лабораторная работа 2

ИЗУЧЕНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

Цель работы: ознакомление с отражательной дифракционной решеткой, применение ее для определения длин волн линий спектра ртути, а также определение характеристик решетки.

Приборы и принадлежности: отражательная дифракционная решетка, гониометр, ртутная лампа.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Отражательная дифракционная решетка представляет собой металлическую зеркальную пластинку, на которой через одинаковые интервалы d нанесено большое число штрихов. При попадании плоской световой волны на решетку каждый элемент ее поверхности является источником вторичных когерентных волн.

Если на пути дифрагированных волн поставить собирающую линзу, то в ее фокальной плоскости будет наблюдаться дифракционный спектр, состоящий из отдельных максимумов. Эти максимумы возникают в тех направлениях, для которых оптическая разность хода световых волн, отраженных от соответствующих элементов соседних штрихов решетки

ки, 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.

На рис. 1 видно, что оптическая разность хода Δ лучей 1' и 2' равна:

$$\Delta = BD - AC = d(\sin \varphi_0 - \sin \varphi),$$

где φ_0 – угол падения лучей, φ – угол дифракции.

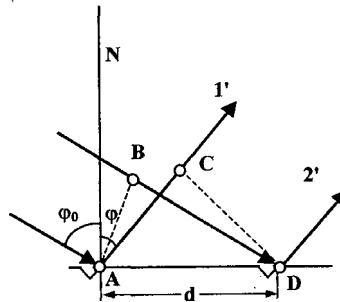


Рис. 1

Условие максимума имеет вид:

$$\Delta = k\lambda,$$

где k – порядок дифракционного максимума ($k = 0, 1, 2, \dots$); λ – длина волны света. Таким образом,

$$d(\sin \varphi_0 - \sin \varphi) = k\lambda, \tag{1}$$

т.е. для монохроматического света максимум интенсивности будет соответствовать углам φ , удовлетворяющим равенству (1).

Если же падающий свет не является монохроматическим, то решетка разложит его в спектр, состоящий из отдельных окрашенных линий. В направлении зеркального отражения ($\varphi = \varphi_0$) возникает максимум нулевого порядка ($k = 0$) для всех длин волн. Слева и справа от него возникнут дифракционные спектры различных порядков ($k = 1, 2, \dots$). 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. Легко заметить также, что при освещении решетки светом с известной длиной волны по формуле (1) можно, измерив углы φ и φ_0 , найти постоянную решетки. Зная постоянную d , можно определить неизвестную длину волны светового излучения.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка для изучения дифракционных явлений состоит из гониометра (прибора для точного измерения углов), отражательной дифракционной решетки и источника света (ртутной лампы высокого давления). Дифракционная решетка расположена на столике *II* гониометра (см. рис. 3).

Если прибор отъюстирован, то трогать винты столика не разрешается.

Прикасаться к поверхности дифракционной решетки СОВЕРШЕННО НЕДОПУСТИМО!

Принципиальная схема хода лучей в гониометре с отражательной дифракционной решеткой дана на рис. 2.

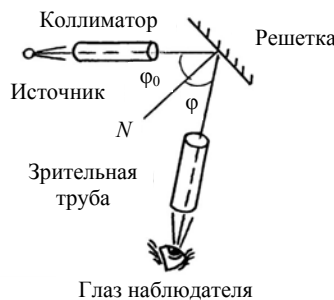


Рис. 2

Внимание! Ртутная лампа является источником мощного ультрафиолетового излучения, поэтому смотреть на свет лампы не рекомендуется.

Свет от источника, проходя через входную щель коллиматора, формируется в параллельный пучок и падает под углом φ_0 на поверхность дифракционной решетки. Дифрагированные под различными углами φ лучи попадают в зрительную трубу, которая фокусирует их на сетчатку глаза.

Вид гониометра сбоку схематично показан на рис. 3. Юстировка (настройка) гониометра осуществляется лаборантом или преподавателем, поэтому студент должен знать лишь основные органы управления прибором, необходимые для работы.

Ширина входной щели коллиматора l регулируется микрометрическим винтом 2. Это позволяет менять ширину наблюдаемых линий и их яркость. Фокусирующий винт 3 коллиматора служит для получения строго параллельного пучка лучей, падающих на дифракционную решетку.

Зрительная труба 4 вместе с угломерной отсчетной системой укреплена на подвижном кронштейне (алидаде) 5, который может вращаться вокруг вертикальной оси, проходящей через центр столика. Фокусировка зрительной трубы осу-

шествяется винтом 6. Вращение алидады производится вручную после освобождения стопорного винта 7. При закрепленном винте 7 можно производить тонкую подстройку в небольших пределах плавным вращением винта 8.

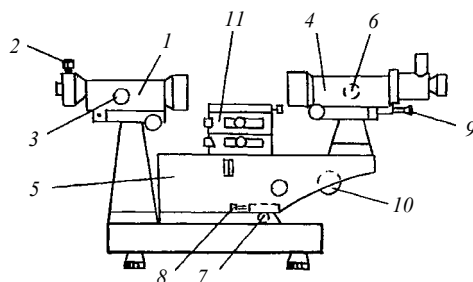


Рис. 3

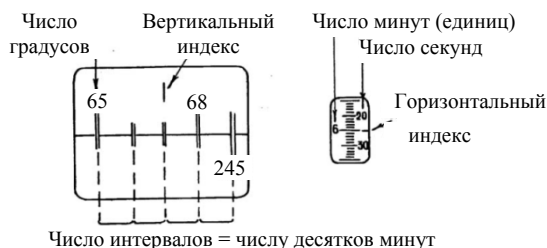


Рис. 4

Совместив перекрестье окуляра (визирный крест) зрительной трубы с серединой измеряемой линии (при затянутом винте 7), следует снять отсчет через окуляр 9 отчетного устройства. Наблюдаемая при этом шкала лимба гониометра изображена на рис. 4. Для снятия отсчета надо повернуть маховичок 10 оптического микрометра настолько, чтобы верхние и нижние двойные штрихи лимба точно совместились, как показано на рис. 4. Тогда число градусов будет равно ближайшему левому от вертикального индекса числу верхней (не перевернутой) шкалы. Число десятков минут соответствует числу интервалов, заключенных между верхним двойным штрихом (число градусов) и нижним (перевернутым) цифрованным двойным штрихом, отличающимся на 180° .

Число единиц минут и секунд отсчитывается по шкале в правом окне поля зрения по левому ряду чисел (минуты) и правому ряду (секунды) с помощью неподвижного горизонтального индекса. Положение лимба, показанное на рис. 4, соответствует $65^\circ 46' 25''$.

Точность однократного измерения угла гониометром согласно паспортным данным составляет $5''$.

Задание

Расчет длин волн спектра ртути. Определение характеристик решетки.

Спектр ртути представляет собой совокупность отдельных линий разной интенсивности. В зависимости от срока службы лампы относительная интенсивность линий может несколько изменяться. В связи с этим, а также в силу индивидуальных особенностей глаза наблюдателя число видимых линий лежит обычно в пределах 10 – 25.

Для определения длин волн линий необходимо измерить углы дифракции, соответствующие этим линиям, и знать период решетки. Последний может быть найден из соотношения (1) для линии в спектре первого порядка ($k = 1$) с известной длиной волны (она задается преподавателем), т.е.

$$d = \frac{\lambda_{\text{изв}}}{\sin \varphi_0 - \sin \varphi}, \quad (2)$$

где φ_0 – угол падения лучей на решетку, φ – угол дифракции световой волны с известной длиной.

Тогда длина волны λ_i любой из неизвестных линий в спектре с $k = 1$ находится по формуле:

$$d (\sin \varphi_0 - \sin \varphi_i) = \lambda_i, \quad (3)$$

здесь φ_i – угол дифракции соответствующей искомой линии спектра.

Основными характеристиками всякого спектрального прибора являются его *дисперсия* и *разрешающая сила*.

Угловой дисперсией называют величину

$$D = \frac{d\varphi_i}{d\lambda_i} \approx \frac{\Delta\varphi_i}{\Delta\lambda_i}, \quad (4)$$

определяющую угловое расстояние $\Delta\varphi$ между двумя спектральными линиями, отличающимися по длине волны на $\Delta\lambda$.

Угловая дисперсия дифракционной решетки может быть также определена и из соотношения

$$D = \frac{1}{d \cos \varphi_i} \quad (5)$$

по одной из двух соседних линий в спектре первого порядка. Правильно вычисленные по формулам (4) и (5) значения D должны быть сравнимы.

Разрешающей силой называют безразмерную величину

$$R = \lambda_1 / \Delta\lambda = \lambda_1 / (\lambda_1 - \lambda_2) = kN, \quad (6)$$

характеризующую возможность разрешения спектральным прибором в виде отдельных спектральных линий, двух мало отличающихся по длине (на $\Delta\lambda$) световых волн. Эта величина численно равна произведению порядка спектра (k) на полное число щелей решетки N .

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включить гониометр. Установить зрительную трубу 4 (рис. 3) в направлении нормали к решетке. Для этого нужно найти изображение светлого автоколлимационного креста, совместить его точно с перекрестием окуляра трубы, с помощью винта 6 добиться его четкого изображения. Пользуясь отсчетным устройством, как показано на рис. 4, измерить угол креста φ_+ , соответствующий нормали. Замер занести в таблицу.

2. Включить ртутную лампу. С помощью микрометрического винта 2 настроить изображение спектра таким, чтобы линии были достаточно узкие и яркие. Они должны быть ограничены по высоте, а их середины лежать на одном уровне по горизонтали. Винтом 3 тщательно сфокусировать эти линии.

3. Отсчетным устройством 9 измерить относительные углы $\varphi_{i \text{ отн}}^*$, соответствующие всем видимым линиям спектра первого порядка, а также угол белой линии φ_0 (нулевой порядок). Результаты всех измерений занести в таблицу.

Примечание. Измерения проводить по возможности быстро, так как через 15 – 20 минут работы ртутная лампа перегревается и автоматически отключается. Повторное ее зажигание возможно только после остывания (20 – 30 минут).

* Так как отсчетное устройство гониометра позволяет измерять лишь относительные углы $\varphi_{i \text{ отн}}$ линий (относительно определенного фиксированного направления, принятого за начало отсчета), то для нахождения истинного значения угла φ_i (относительно нормали к решетке) необходимо вычесть из угла $\varphi_{i \text{ отн}}$ угол φ_+ , соответствующий нормали $\varphi_i = \varphi_{i \text{ отн}} - \varphi_+$.

4. Выключить ртутную лампу и гониометр. Узнать у преподавателя, длина волны какой линии считается известной.

5. По формулам (2) и (3) рассчитать значения периода решетки d и длины волны λ_i всех видимых линий спектра первого порядка. Полученные величины занести в таблицу.

6. Используя соотношения (4) – (6), вычислить основные характеристики дифракционной решетки: угловую дисперсию D и разрешающую способность R . Также внести в таблицу.

Таблица

№	Цвет линии	φ_+	φ_0	$\varphi_{i \text{ отн}}^*$	$\varphi_i = \varphi_{i \text{ отн}} - \varphi_+$	d	λ_i	D	R
0	Белая								
1									
...									

$\lambda_{\text{изв}} = \dots\dots\dots$, нм

7. Исходя из погрешности однократного измерения угла гониометра (~5 сек), оценить точность определения длин волн и параметров решетки.

8. Конечные результаты дать в виде:

$$d = d \pm \Delta d; \quad \lambda_i = \lambda_i \pm \Delta \lambda; \quad D = D \pm \Delta D; \quad R = R \pm \Delta R.$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дифракция, принцип Гюйгенса – Френеля.
2. Дифракционная решетка, ее основные характеристики (постоянная решетки, дисперсия, разрешающая сила).
3. Понятие спектра, порядок следования линий в спектре, цвета линий.
4. Применение дифракции.

Лабораторная работа 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА САХАРА С ПОМОЩЬЮ САХАРИМЕТРА

Цель работы: определить постоянную удельного вращения и неизвестную концентрацию раствора сахара.

Приборы и принадлежности: сахариметр универсальный СУ-3, кювета с раствором сахара известной концентрации, кювета с раствором сахара неизвестной концентрации.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Некоторые вещества, называемые оптически активными, обладают способностью вращать плоскость поляризации проходящего через них плоскополяризованного света. К числу таких веществ принадлежат кристаллические тела (кварц, киноварь), жидкости (скипидар, никотин, нефть) и растворы оптически активных веществ в неактивных растворителях (водные растворы сахара, винной кислоты, белков).

В случае раствора, угол поворота плоскости поляризации пропорционален толщине (L) проходимого светом слоя и концентрации активного вещества в растворе (c):

$$\varphi = [\alpha] c L,$$

где $[\alpha]$ – величина, называемая постоянной удельного вращения или просто удельным вращением. Эта величина сильно зависит от длины волны света, определяется опытным путем и для разных веществ приводится в справочных таблицах.

Для измерения угла поворота плоскости поляризации света при прохождении через вещество применяются специальные приборы – поляриметры.

С их помощью можно весьма точно и быстро определять толщину оптически активного вещества и его концентрацию. Поляриметры, используемые для измерения концентрации сахара, называются сахариметрами.

Рассмотрим оптическую схему и принцип действия полутеневого сахариметра (рис. 1).

Свет от источника 1 (лампа накаливания) делится на два пучка. Один из них (на рис. 1 показан штрихпунктиром) служит для освещения шкалы 2 и нониуса 3 прибора, которые рассматриваются через окуляр 4. Второй пучок света проходит через светофильтр 5, выделяющий красную область спектра. Система линз 6 (конденсор) формирует параллельный пучок света, который поступает на вход поляризатора 7 (призма Николя). Получающийся плоскополяризованный свет проходит последовательно через кювету с раствором сахара 8, компенсатор 9 (клин переменной толщины, изготовленный из праворащающего кварца) и попадает на вход анализатора 10 (призма Николя или поляроидная пленка). Визуальное наблюдение осуществляется через окуляр зрительной трубы 11.

Если главные плоскости пропускания поляризатора и анализатора образуют прямой угол, а оптически активное вещество между ними отсутствует, то свет через такую систему не пройдет и поле зрения трубы будет темным. В присутствии ак-

тивного вещества плоскость поляризации повернется на некоторый угол и, в соответствии с законом Малюса, интенсивность света за анализатором уже не будет равной нулю, при этом поле зрения просветляется.

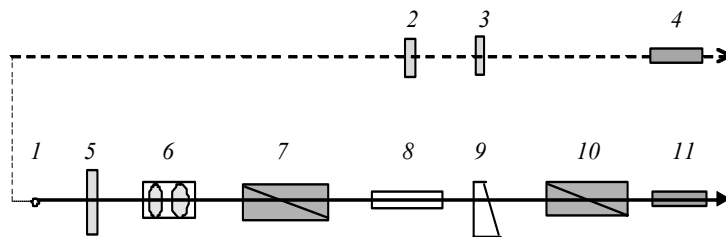


Рис. 1

Чтобы вновь добиться полного затемнения, необходимо повернуть анализатор на угол, равный углу поворота плоскости поляризации света после прохождения через активное вещество. Однако человеческий глаз не может достаточно точно оценить момент наибольшего затемнения. Поэтому на практике применяется так называемый полутеневое метод. Его идея основана на следующем очевидном соображении. Если некоторая величина незначительно меняется вблизи своего максимума или минимума, то для того, чтобы более точно определить положение соответствующего экстремума, надо эту величину (или что-то связанное с ней) заставить изменяться сильнее.

С этой целью в полутеневом сахариметре обычная призма Николя, используемая в качестве анализатора (или поляризатора), разрезана вдоль главной плоскости пропускания на две равные части. Полученные грани сошлифованы на клин под небольшим углом $\beta = 2 - 2,5^\circ$, а затем обе половинки вновь склеены. При этом плоскости пропускания Π_1 и Π_2 обеих половинок анализатора образуют между собой малый угол 2β (рис. 2), а круглое поле зрения будет разделено пополам вертикальной линией (рис. 3).

Если плоскость поляризации PP света, выходящего из поляризатора, перпендикулярна биссектрисе угла между главными плоскостями половинок анализатора Π_1 и Π_2 , то обе половинки поля зрения освещены одинаково:

$$I_1 = I_2 = I_0 \sin^2 \beta,$$

где I_1 и I_2 – интенсивности света, пропускаемые соответственно половинками анализатора, т.е. поле зрения уже не будет полностью темным, а полутемным (рис. 3, б), I_0 – интенсивность плоскополяризованного света падающего на анализатор.

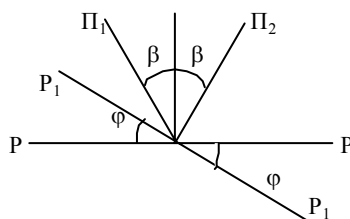


Рис. 2

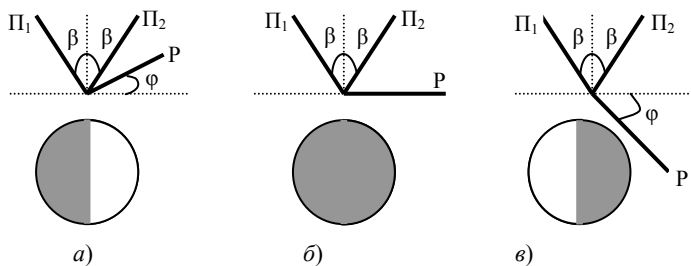


Рис. 3

Если плоскость PP повернется на угол φ в положение P_1P_1 , то интенсивности света, выходящего из обеих половинок анализатора, станут неодинаковыми:

$$I_1 = I_0 \sin^2 (\beta + \varphi), \quad \text{а} \quad I_2 = I_0 \sin^2 (\beta - \varphi).$$

Таким образом, даже небольшой поворот плоскости поляризации света OP после прохождения через активное вещество, приводит к значительному нарушению равенства освещенностей обеих половин поля зрения (рис. 3, а, в).

Если после установки прибора на равенство освещенностей двух половин анализатора поместить между поляризатором и анализатором исследуемое вещество, то обе половины поля зрения будут освещены не одинаково. Для восстановления равенства освещенностей анализатор надо повернуть на угол φ , равный углу поворота плоскости поляризации активным веществом.

В сахариметре анализатор не вращается. Освещенность уравнивают клиновидным кварцевым компенсатором. Кварц является также оптически активным веществом, который вращает плоскость поляризации света, проходящего через него, в противоположном, чем раствор сахара, направлении. Смещая кварцевый клин с помощью микрометрического винта (кремальерная передача) перпендикулярно лучу, т.е. меняя толщину его рабочей части, можно скомпенсировать поворот плоскости поляризации раствором сахара и восстановить равную освещенность полей зрения. Линейное перемещение клина пропорционально углу поворота плоскости поляризации, поэтому прибор проградуирован в так называемых градусах сахарной шкалы.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

В работе используется универсальный сахариметр СУ-3 (оптическая схема показана на рис. 1) и входящие в его комплект кюветы с раствором сахара известной и неизвестной концентрации. Длина каждой кюветы равна 2 дм. Поле зрения нижнего окуляра разделено пополам вертикальной линией. Верхний окуляр служит для снятия отсчета угла поворота плоскости поляризации раствором сахара. Оба окуляра позволяют фокусировать наблюдаемые в них изображения. Используя нониус верхнего окуляра, можно измерять угол с точностью до $0,1^\circ$ (аналогичный принцип используется в штангенциркуле).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включите сахариметр в сеть переменного тока с напряжением 220 В.
2. Настройте оба окуляра на резкость, при этом: в нижнем окуляре должна быть четко видна граница полей зрения, а в верхнем – деления основной шкалы и нониуса.
3. Снимите нулевой отсчет. Для этого, не вставляя в прибор кювету с раствором сахара, с помощью ручки кремальной передачи добейтесь равенства освещенностей обеих половин поля зрения нижнего окуляра. Отчет угла φ_{0i} произведите с помощью верхнего окуляра. Опыт выполните 5 раз и результаты занесите в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	φ_{0i}	$\Delta\varphi_{0i}$	$\varphi_{0\text{ср}}$	$\Delta\varphi_{0\text{ср}}$	$E_0, \%$
1					
...					

4. Вставьте в прибор кювету с раствором сахара известной концентрации C_1 . Произведите 5 опытов аналогично п. 3. Полученные значения углов φ_{1i} занесите в табл. 2.

Таблица 2

№ п/п	φ_{1i}	$\Delta\varphi_{1i}$	$\varphi_{1\text{ср}}$	$\Delta\varphi_{1\text{ср}}$	$E_1, \%$
1					
...					

5. Вставьте в прибор кювету с раствором сахара неизвестной концентрации C_x . Произведите 5 опытов аналогично п. 3. Полученные значения углов φ_{2i} занесите в табл. 3

Таблица 3

№ п/п	φ_{2i}	$\Delta\varphi_{2i}$	$\varphi_{2\text{ср}}$	$\Delta\varphi_{2\text{ср}}$	$E_2, \%$
1					
...					

6. Рассчитайте удельную постоянную вращения для сахара по формуле:

$$[\alpha] = \frac{\varphi_1 - \varphi_{0\text{ср}}}{C_1 L},$$

где C_1 – известная концентрация сахара в растворе в %, L – длина кюветы.

7. Найдите неизвестную концентрацию сахара в растворе по формуле:

$$C_2 = C_1 \frac{\varphi_{2\text{ср}} - \varphi_{0\text{ср}}}{\varphi_{1\text{ср}} - \varphi_{0\text{ср}}}.$$

8. Рассчитайте абсолютные и относительные погрешности измерений и C_2 .

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Естественный и поляризованный свет.
2. Поляризатор и анализатор. Закон Малюса. Поляризация света при отражении. Закон Брюстера.
3. Явление двойного лучепреломления. Призма Николя.
4. Вращение плоскости поляризации.
5. Применения поляризованного света.
6. Принцип действия сахариметра.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев, И.В. Курс физики / И.В. Савельев. – М., 1989. – Т. 2.
2. Кортнев, А.В. Практикум по физике / А.В. Кортнев и др. – М., 1963.
3. Длужневский, Г.И. Физический практикум / Г.И. Длужневский. – М., 1960.
4. Ландсберг, Г.С. Элементарный учебник физики / Г.С. Ландсберг. – Т. 3.
5. Савельев, И.В. Курс общей физики / И.В. Савельев. – М. : Наука, 1982. – Т.2.
6. Зисман, Г.А. Курс общей физики / Г.А. Зисман, О.Н. Годес. – 1972. – Т. 3.
7. Майсова, Н.Н. Практикум по курсу общей физики / Н.Н. Майсова. – М., 1970.
8. Иверонова, В.И. Физический практикум. Электричество и оптика / Иверонова В.И. – М., 1968.
9. Лабораторный практикум по физике / под ред. А.С. Ахматовой. – М., 1980.
10. Трофимова, Т.И. Курс физики : учеб. пособие для вузов / Т.И. Трофимова. – М. : Высш. шк., 1999. – 542 с.