

Лабораторная работа 3-15

ДИСПЕРСИОННАЯ И РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПРИЗМЫ И ДИФРАКЦИОННОГО СПЕКТРОСКОПА

Е.К. Наими

Цель работы

Ознакомиться с классификацией, принципом действия и основными характеристиками дифракционных и призмных спектральных приборов. Измерить длину световых волн с помощью дифракционной решетки. Определить дисперсию и разрешающую способность призмного и дифракционного спектрометров.

Теоретическое введение

1. Спектральные приборы и их характеристики

Любой спектральный прибор предназначен для проведения гармонического анализа падающего на него излучения, т.е. физического разложения излучения на монохроматические составляющие. В этой связи выделяют два больших класса спектральных приборов, отличающихся по принципу регистрации спектров – это приборы *дисперсионные* и *интерференционные*.

В *дисперсионном* спектральном приборе устанавливается распределение энергии падающего на него излучения по частотам, т.е. определяются *интенсивности* отдельных монохроматических составляющих, при этом информация об их фазах утрачивается.

В *интерференционном* спектральном приборе (*интерферометре*) основной измеряемой характеристикой является **фаза** электромагнитного колебания, а не амплитуда световой волны и связанная с ней энергия.

Спектральные приборы можно классифицировать также по характеру решаемых с их помощью задач: **спектроскоп** – для визуального наблюдения, **спектрограф** – для фотографической регистрации спектра, **спектрофотометр** – для измерения распределения энергии по спектру, **монохроматор** – для выделения из спектра узкого интервала частот.

Действие спектральных приборов может быть основано на разных физических принципах. Основная часть дисперсионного прибора – *диспергирующий элемент*, который осуществляет пространственное разделение излучения разных длин волн, отклоняя его на различные углы. В **призмных** спектральных приборах используется зависимость показателя преломления оптического стекла от длины волны (*дисперсия*). Диспергирующим элементом **дифракционных** спектральных приборов служит дифракционная решетка, в которой спектр получается за счет *дифракции* лучей на периодических структурах.

В приборах высокой разрешающей силы (интерферометры Фабри–Перо, Майкельсона и др.) используется многолучевая интерференция при очень больших разностях хода.

Интерферометры применяются в основном для решения задач, требующих от приборов предельно высокой точности. Новые типы спектральных приборов (Фурье–спектрометры и СИСАМы – спектрометры с интерференционной селективной модуляцией) основаны на *частотной* и *амплитудной* модуляции исследуемого излучения. В этих приборах разложение в спектр по длинам волн не происходит. Регистрируется непосредственно сигнал на выходе, а затем специальные средства обработки сигнала производят математическое преобразование – *преобразование Фурье*, что позволяет представить зависимость интенсивности от частоты и амплитуды как комбинацию гармонических функций.

Основные характеристики дисперсионных спектральных приборов

Принципиальная схема дисперсионного спектрального прибора приведена на рис.15.1.

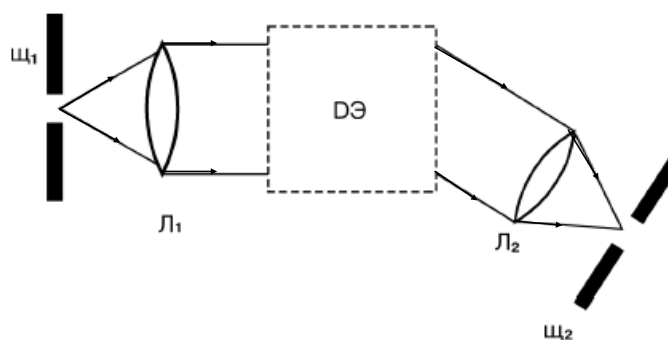


Рис.15.1. Схема дисперсионного спектрального прибора: Щ₁ – входная щель, Л₁, Л₂ – линзы (объективы), Щ₂ – выходная щель или фотопластинка, ДЭ – диспергирующий элемент.

Освещаемая исследуемым излучением входная щель Щ₁ находится в фокальной плоскости коллиматорного объектива (линзы) Л₁, который направляет на диспергирующий элемент ДЭ параллельный пучок лучей. Второй объектив Л₂ фокусирует вышедшие из ДЭ параллельные пучки. Создаваемые параллельными пучками изображения входной щели – спектральные линии – получаются в разных местах фокальной плоскости линзы Л₂ в зависимости от длины волны. Рассмотрим наиболее важные характеристики спектральных приборов.

Светосила спектрального прибора – это характеристика энергии электромагнитного излучения в заданном спектральном интервале, попадающего в прибор и дающего вклад в формирование сигнала на выходном устройстве – фотоприемнике. Светосила определяется характером и размером входной *апертуры* (диафрагмы, щели), а также пропускающей способностью прибора.

Угловая дисперсия – величина, характеризующая изменение угла отклонения параллельного пучка света диспергирующим элементом при изменении длины волны. Она определяется отношением углового расстояния $\delta\varphi_{\max}$ между двумя близкими спектральными линиями к разности $\delta\lambda$ соответствующих им длин волн:

$$D = \frac{\delta\varphi_{\max}}{\delta\lambda}, \quad (15.1)$$

т.е. угловая дисперсия численно равна угловому расстоянию между двумя спектральными линиями, длины волн которых отличаются на единицу. Она выражается обычно в радианах на ангстрем.

Линейная дисперсия – величина, численно равная расстоянию между двумя спектральными линиями, длины волн которых отличаются на единицу:

$$D_{\lambda} = \frac{\delta x_{\max}}{\delta\lambda}, \quad (15.2)$$

где δx_{\max} – линейное расстояние между максимумами на экране.

Линейная дисперсия зависит не только от свойств диспергирующего элемента ДЭ, но и от свойств объектива L_2 , используемого для наблюдения спектра (рис.15.1). Чаще всего спектральные приборы характеризуют обратной линейной дисперсией:

$$\frac{1}{D_{\lambda}} = \frac{\delta\lambda}{\delta x}. \quad (15.3)$$

Разрешающая способность или **разрешающая сила** R спектрального прибора определяет возможность прибора наблюдать отдельно две близкие спектральные линии λ_1 и λ_2 . Если две спектральные линии видны как отдельные, то говорят, что они разрешаются данным спектральным прибором. По определению:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}, \quad (15.4)$$

где $\delta\lambda$ – минимальная разница длин волн, разрешаемая спектральным прибором в данном порядке спектра.

Если линии имеют одинаковую интенсивность, то в соответствии с *критерием Рэлея* минимально разрешенными считают две монохроматические линии, для которых провал между максимумами составляет не менее 0,8 от интенсивности каждого из максимумов. Угловое

расстояние между максимумами $\delta\varphi_{\max} = \lambda/\Delta l$, где Δl – линейный размер диафрагмы, ограничивающий ширину пучка света. С учетом этого из (15.1) и (15.4) получаем:

$$R = \Delta l \cdot D. \quad (15.5)$$

Таким образом, теоретический предел разрешающей способности прибора равен произведению ширины параллельного пучка, выходящего из ДЭ, и угловой дисперсии D .

Ширина области дисперсии (*дисперсионная область*) G – предельная ширина спектрального интервала, при которой еще возможно получение не перекрывающихся максимумов. Пусть решетка освещается светом с длинами волн в интервале от λ до $\lambda + \Delta\lambda$. В каком-то порядке m максимум для длины волны $\lambda + \Delta\lambda$ наложится на максимум $(m + 1)$ -го порядка длины волны λ , т.е. интерференционная картина становится неясной. Для дифракционной решетки:

$$G = \Delta\lambda = \frac{\lambda}{m}. \quad (15.6)$$

2. Дифракционные спектральные приборы

В основе действия дифракционных спектральных приборов лежит явление дифракции на многих щелях (решетках) и многолучевая интерференция. Дифракционной решеткой называется периодическая структура, представляющая собой чередование параллельных щелей и непрозрачных промежутков. Число щелей N может быть очень большим (до 2400 на 1мм). Такая решетка периодически меняет (модулирует) *амплитуду* проходящих через нее световых волн и поэтому называется *амплитудной**.

Если ширина непрозрачного промежутка – a , а щели – b , то величина $d = a + b$ носит название *периода* дифракционной решетки. При освещении решетки параллельным пучком

* Существуют также решетки, периодически изменяющие *фазу* проходящих через решетку волн. Такие решетки называются *фазовыми* (эшелон Майкельсона, эшелет Вуда).

световых лучей (плоская волна) каждая ее щель, в соответствии с *принципом Гюйгенса-Френеля*, становится самостоятельным источником когерентных световых волн (лучей), расходящихся по всевозможным направлениям: происходит дифракция света на щелях решетки. Если за решеткой поставить собирающую линзу, то она отсортирует дифрагированные лучи по направлениям: лучи одного направления соберутся в одной точке фокальной плоскости линзы и будут интерферировать друг с другом (рис.15.2).

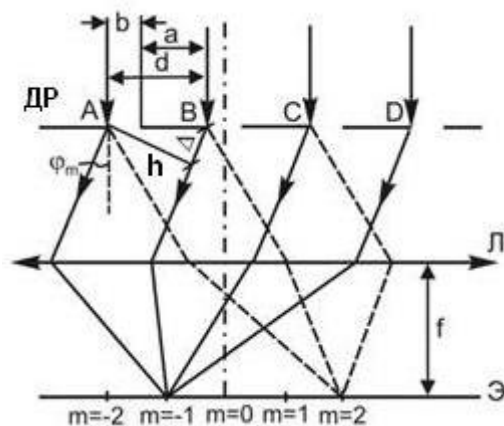


Рис. 15.2. Картина формирования дифракционных максимумов: ДР – амплитудная дифракционная решетка; a – ширина непрозрачного промежутка; b – ширина щели; $d = a + b$ – период решетки; φ_{\max} – угол дифракции; Δ – разность хода световых волн; h – ширина дифрагировавшего пучка; f – фокусное расстояние линзы Л; Э – экран; m – порядок спектра.

Максимум интерференции наблюдается, когда оптическая разность хода волн, приходящих от двух соседних щелей решетки равна либо нулю, либо целому числу длин волн монохроматического света, падающего на решетку:

$$\Delta = d \sin \varphi_{\max} = m\lambda, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (15.7)$$

где Δ – разность хода лучей, распространяющихся в данном направлении от двух соседних щелей решетки, λ – длина волны монохроматического света, φ_{\max} – угол, соответствующий максимуму интерференции (дифракционному максимуму).

Формула (15.7) называется *формулой дифракционной решетки*, или *условием главных максимумов*.

Линза не вносит дополнительной разности хода. Число, равное числу длин волн, укладывающихся в разности хода волн, образующих данный максимум, называется *порядком интерференции* или *порядком спектра*. Максимумам интерференции разного порядка в фокальной плоскости линзы соответствуют ярко освещенные линии определенного цвета на темном фоне. Угловое положение максимума φ_{\max} зависит от λ .

Пример схематического изображения дифракционного спектра, даваемого немонахроматическим источником света, приведен на рис.15.3 а. Здесь каждый порядок m (кроме нулевого) содержит 3 спектральные линии, с длинами волн $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$, окрашенные в разные цвета. Максимум нулевого порядка для всех λ_i , входящих в состав немонахроматического света, наблюдается в одном и том же месте ($\varphi_{\max} = 0$), следовательно, его цвет совпадает с цветом света, падающего на решетку. По этому признаку максимум нулевого порядка легко отличить от всех других.

Идеальная дифракционная картина представляет собой систему дифракционных максимумов различной интенсивности и ничтожно малой ширины. Однако реально переход от максимума интенсивности к минимуму для данной длины волны происходит более или менее постепенно, поэтому распределение освещенности на экране или фотопластинке имеет вид, представленный на рис.15.3б. Наблюдаемая ширина дифракционного максимума зависит как от спектральной ширины дифрагирующей световой волны, так и от устройства прибора.

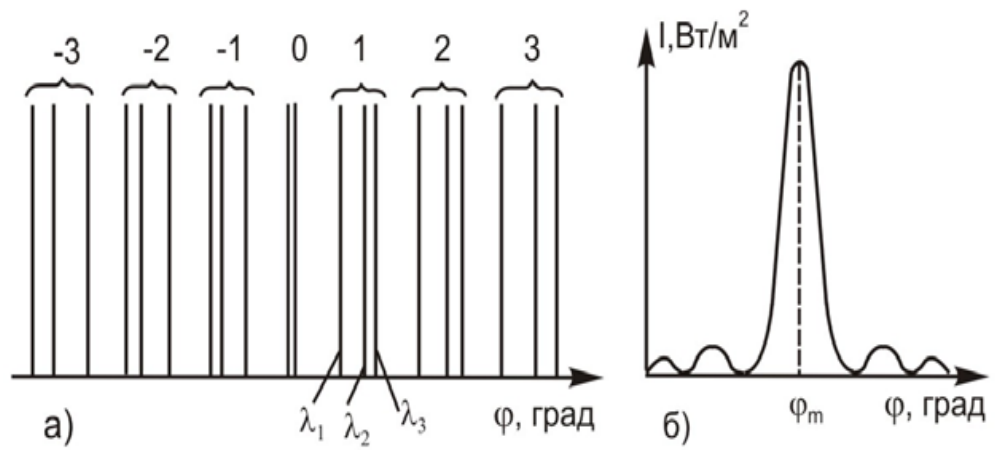


Рис. 15.3. Схематическое изображение дифракционного спектра источника, излучение которого содержит 3 монохроматические составляющие в области видимого света (а) и распределение интенсивности в одной из спектральных составляющих (б).

Рассмотрим *косое падение* лучей на решетку. Пусть световые лучи падают на решетку под углом i (рис.15.4).

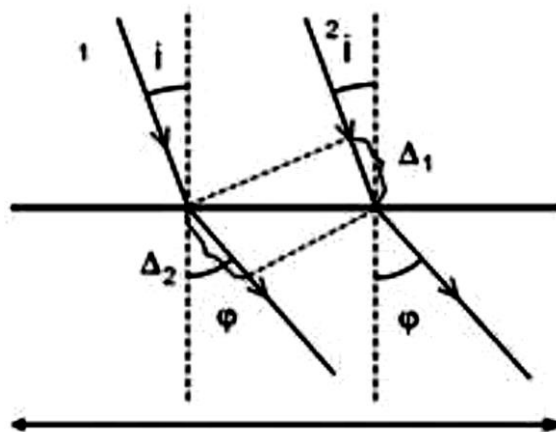


Рис.15.4. Косое падение лучей на решетку.

Разность хода лучей, идущих от соседних щелей решетки в направлении φ есть:

$$\Delta = \Delta_2 - \Delta_1 = d \sin \varphi - d \sin i.$$

Для главных максимумов:

$$d (\sin \varphi_{\max} - \sin i) = m\lambda, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

или

$$2d \cos \frac{\varphi_{\max} + i}{2} \sin \frac{\varphi_{\max} - i}{2} = m\lambda. \quad (15.8)$$

Из (15.8) следует, что при $m = 0$ угол $\varphi_{\max} = i$, т.е. главный максимум нулевого порядка будет наблюдаться в направлении падающего пучка.

Будем считать, что углы дифракции $(\varphi_{\max} - i)$ – малы (главные максимумы ненулевых порядков располагаются вблизи максимума нулевого порядка). При выполнении этого условия $\varphi_{\max} \approx i$, и формула (15.8) преобразуется к виду:

$$d \cos i \sin(\varphi_{\max} - i) = m\lambda$$

или

$$d^* \sin(\varphi_{\max} - i) = m\lambda, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \quad (15.9)$$

где через $d^* = d \cos i$ – обозначен *эффективный период* дифракционной решетки.

Соотношение (15.9) дает условие главных максимумов при косом падении лучей на решетку.

Угловую дисперсию дифракционной решетки можно рассчитать, воспользовавшись определением (формула (15.1)). Продифференцируем выражение (15.7) слева по φ , а справа по λ :

$$d \cos \varphi \cdot \delta \varphi = m \delta \lambda,$$

откуда

$$D = \frac{\delta \varphi}{\delta \lambda} = \frac{m}{d \cos \varphi}. \quad (15.10)$$

Если углы, под которыми наблюдаются дифракционные максимумы, невелики (обычно $\varphi_m < 10^\circ$), то $\cos \varphi_m \approx 1$ при всех m , тогда

$$D \cong \frac{m}{d}.$$

Отсюда видно, что величина дисперсии пропорциональна порядку спектра для данной решетки и тем больше в определенном порядке, чем меньше ее период d .

Теоретическую разрешающую способность дифракционной решетки найдем из формулы (15.5), приняв во внимание, что ширина параллельного пучка, дифрагировавшего под углом φ , для решетки из N штрихов, есть: $\Delta l = Nh = Nd \cos \varphi$ (см. рис.15.2). Тогда, с учетом (15.10):

$$R = \Delta l \cdot D = mN. \quad (15.11)$$

Максимальное значение R будет в спектре наибольшего порядка, который возможен при заданных d и λ .

3. Призменные спектральные приборы

В призмных спектральных приборах наибольшая разрешающая сила достигается при симметричной установке призмы (рис.15.5), когда угол отклонения φ параллельного пучка от первоначального направления минимален.

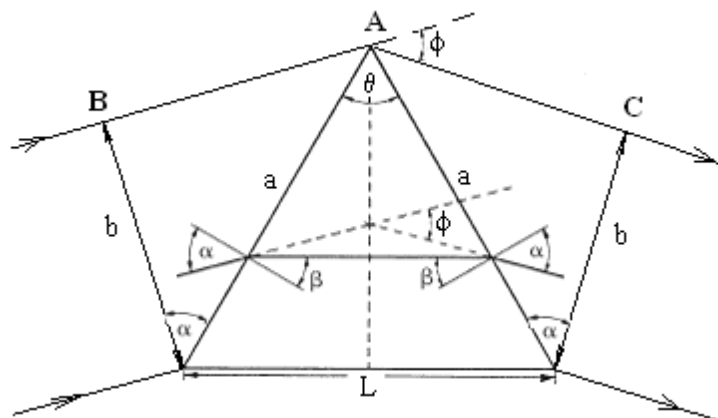


Рис.15.5. Преломление световых лучей в призме при симметричной установке.

По закону преломления

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n, \quad (15.12)$$

где n – абсолютный показатель преломления оптического стекла призмы.

Связь угла преломления и преломляющего угла призмы: $\beta = \theta/2$. Угол отклонения

$$\varphi = 2\alpha - 2\beta = 2\alpha - \theta, \quad (15.13)$$

следовательно $\alpha = (\theta + \varphi)/2$, и

$$n = \frac{\sin \frac{\theta + \varphi}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}}. \quad (15.14)$$

Угловая дисперсия обусловлена зависимостью показателя преломления призмы от длины волны. Воспользовавшись формулой (15.1), имеем:

$$D = \partial\varphi / \partial\lambda = (\partial\varphi/\partial n)(\partial n/\partial\lambda). \quad (15.15)$$

Величина $\partial n/\partial\lambda$ называется *дисперсией материала*.

Продифференцируем (15.13) по n :

$$\partial\varphi/\partial n = 2 (\partial\alpha/\partial n).$$

Учитывая, что оптическая длина пути луча, идущего вдоль основания призмы, есть $nL = AB + BC$ (см. рис.15.5), можно написать $nL = 2a \sin\alpha$. Отсюда

$$\frac{\partial n}{\partial \alpha} = \frac{2}{L} a \cos \alpha. \quad (15.16)$$

Поскольку $a \cos \alpha = b$, где b – ширина пучка, ограниченная размерами призмы, то

из (15.16) следует, что $\partial\alpha/\partial n = L/2b$ и угловая дисперсия призмы (15.15):

$$D = \frac{L}{b} \frac{\partial n}{\partial \lambda}. \quad (15.17)$$

Первый сомножитель в (15.15) можно найти также, продифференцировав формулу (15.14):

$$\frac{\partial n}{\partial \varphi} = \frac{\cos \frac{\theta + \varphi}{2}}{2 \sin \frac{\theta}{2}}.$$

Тогда угловую дисперсию призмы (15.15), с учетом (15.14), можно выразить иначе:

$$D = \frac{2 \sin(\theta/2)}{\cos \frac{\theta + \varphi}{2}} \cdot \frac{\partial n}{\partial \lambda} = \frac{2 \sin(\theta/2)}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2(\theta/2)}} \cdot \frac{\partial n}{\partial \lambda}. \quad (15.18)$$

Как видно из этой формулы, чтобы достичь максимального спектрального разрешения призмы, необходимо использовать материал с максимальными значениями показателя преломления n и дисперсии $\partial n / \partial \lambda$.

Разрешающая способность призмы, в соответствии с (15.6)

$$R = L \frac{\partial n}{\partial \lambda} \quad (15.19)$$

зависит от дисперсии материала, из которого она сделана $\partial n / \partial \lambda$ и длины основания призмы L , но не зависит от преломляющего угла θ . Однако с ростом θ уменьшается b и растет дисперсия (см. формулу (15.17)), что облегчает наблюдение спектра. Поэтому наиболее часто используют призмы с большим преломляющим углом ($\theta \approx 60^\circ$). Один из существенных недостатков призмы состоит в быстром уменьшении характеристик R и D при продвижении в длинноволновую часть спектра.

Описание экспериментальной установки

Общий вид установки представлен на рис.15.6.

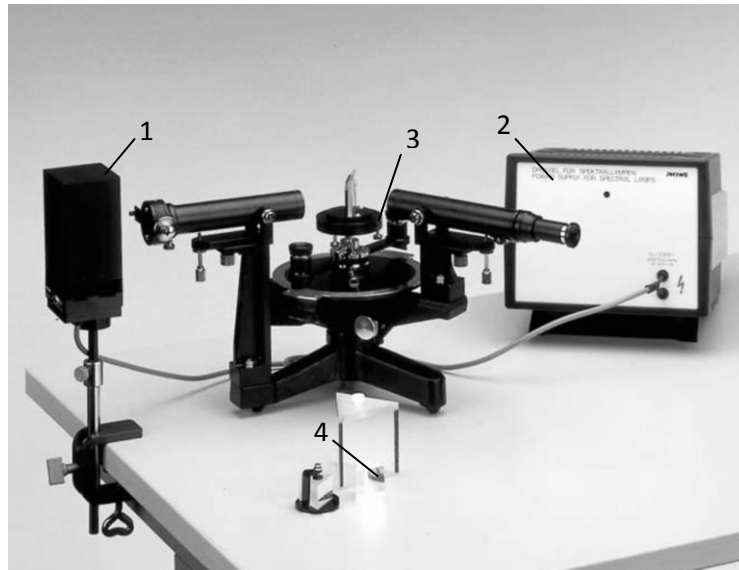


Рис.15.6. Общий вид экспериментальной установки.

В состав установки входят: ртутная лампа 1, блок питания 2, спектрометр-гониометр 3, набор призм и дифракционных решеток 4.

Наблюдение спектров и отсчет углов производится с помощью спектрометра- гониометра, схема которого изображена на рис.15.7, примерный ход лучей – на рис.15.8.

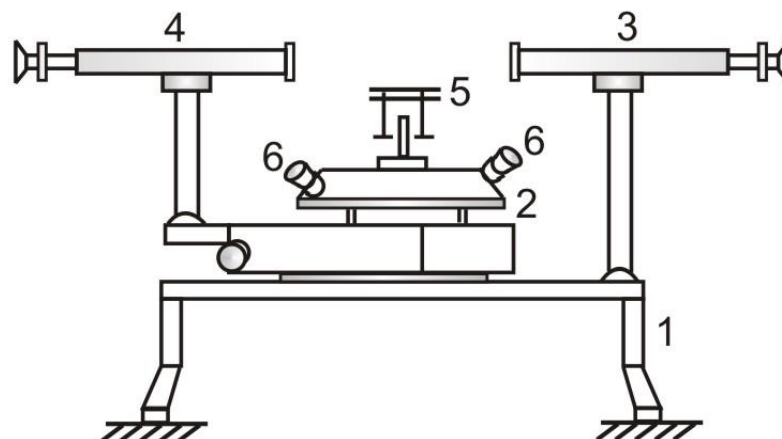


Рис.15.7. Схема спектрометра-гониометра: 1 – штатив, 2 – угломерное устройство, 3 – зрительная труба, 4 – коллиматор, 5 – столик, снабженный установочными винтами, 6 – лупа.

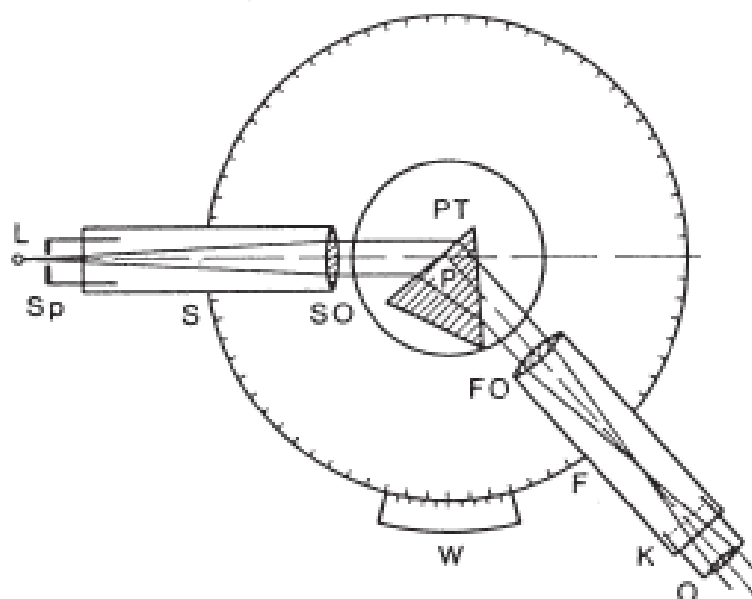


Рис.15.8. Устройство и примерный ход лучей в спектрометре-гонометре:

L – источник света, Sp – щель выдвижного тубуса, S – коллиматор, SO – линза коллиматора, PT – столик для призмы или дифракционной решетки с юстировочными винтами, P – призма, FO – линза зрительной трубы, F – зрительная труба, O – окуляр, K – визирная нить, W – угломерное устройство с нониусом.

В состав коллиматора 4 входит ахроматическая линза SO и щель регулируемой ширины Sp, расположенная в фокальной плоскости линзы. Коллиматор служит для получения параллельных пучков лучей, освещающих решетку или призму. Наблюдение спектра производится с помощью зрительной трубы 3, настроенной на бесконечность. Угломерное устройство 2 представляет собой лимб, снабженный нониусом. Отсчет углов поворота зрительной трубы производится с помощью подвижной лупы 6, установленной над нониусом. В качестве диспергирующих элементов в работе используются две дифракционные решетки (№1 и №2) и призмы из крона и/или флинта, которые

устанавливаются на столик 5. Преломляющий угол призмы $\theta = 60^\circ$, длина основания призмы $L = 30$ мм.

Перед выполнением работы необходимо заполнить табл. 15.1.

Таблица 15.1.

Технические данные приборов

Название прибора	Пределы измерения	Число делений	Цена деления	Класс точности	Абсолютная приборная погрешность
Угломерное устройство с нониусом					

Порядок выполнения работы

При выполнении работы необходимо строго соблюдать правила техники безопасности и охраны труда, установленные на рабочем месте студента в лаборатории. К работе с установкой допускаются лица, ознакомленные с ее устройством и принципом действия.

1. Включите блок питания ртутной лампы.

Внимание! При проведении эксперимента избегайте прямого попадания излучения ртутной лампы в глаза в течение длительного времени. Ртутная лампа достигает максимальной яркости свечения после прогрева в течение 5 минут. При установке лампы проследите, за тем, чтобы окружающий воздух мог свободно циркулировать через вентиляционные отверстия в кожухе лампы. Нельзя часто включать и выключать ртутную лампу.

2. Настройте спектрометр-гониометр. Для этого необходимо установить щель выдвижного тубуса объектива коллиматора против прорези защитного кожуха ртутной лампы (см. раздел «Описание экспериментальной установки»). Регулируя расстояние между ними, надо добиться,

чтобы изображение щели было четко видно в зрительную трубу. Это будет свидетельствовать о том, что щель находится в фокусе объектива коллиматора.

3. Установите на столике дифракционную решетку или призму (в зависимости от выполняемого эксперимента).

4. Выполните по индивидуальному заданию следующие эксперименты.

Эксперимент 1. Определение длины волны спектральных линий ртути.

Длины волн, соответствующие всем видимым линиям спектра ртути, определяются с помощью дифракционной решетки №1, содержащей 600 линий/мм. Для этого необходимо измерить угловые координаты соответствующих дифракционных максимумов первого порядка ($m = \pm 1$), наблюдаемых с помощью данной решетки. Результаты измерений занести в табл. 15.2.

Таблица 15.2

Результаты измерений (решетка №1)

Видимая линия в спектре излучения ртутной лампы	Номер линии	1	2	3	4	...
	Цвет линии					
Угол дифракции φ в спектре 1-го порядка, град	$m = +1$					
	$m = -1$					
$\sin \varphi$	$m = +1$					
	$m = -1$					
Средняя длина волны λ , нм	$\langle \lambda \rangle_{m=\pm 1}$					

Эксперимент 2. Определение периода дифракционной решетки.

Для определения периода дифракционной решетки используется вторая из имеющихся решеток (№2). Измерьте угловые координаты соответствующих дифракционных максимумов первого порядка ($m = \pm 1$), наблюдаемых с помощью этой решетки. Результаты измерений занесите в табл. 15.3.

Таблица 15.3

Результаты измерений (решетка №2)

Видимая линия в спектре излучения ртутной лампы	Номер линии	1	2	3	4	...
	Цвет линии					
Длина волны λ , нм (по табл. 15.2)	$\langle \lambda \rangle_{m=\pm 1}$					
Угол дифракции φ в спектре 1-го порядка, град	$m = +1$					
	$m = -1$					
$\sin \varphi$	$m = +1$					
	$m = -1$					
Средний период решетки d , мкм	$\langle d \rangle_{m=\pm 1}$					

Эксперимент 3. Получение дисперсионной кривой призмы.

1. Установите призму на столике гониометра в положении, соответствующем минимальному углу отклонения параллельного пучка от первоначального направления (симметричная установка призмы). Для этого необходимо развернуть зрительную трубу примерно на $40\text{--}45^\circ$ по отношению к φ_0 – отсчету по угломерному устройству, соответствующему установке зрительной трубы гониометра напротив входной щели коллиматора. Слегка поворачивая столик с призмой и зрительную трубу, добейтесь четкого изображения линий спектра. Далее, аккуратно поворачивая столик с призмой в одном направлении, проследите за движением спектральных линий. При определенном угле падения лучей на призму наблюдаемая спектральная линия останавливается в поле зрения окуляра, а затем начинает двигаться в обратную сторону. Положение призмы в момент остановки наблюдаемой линии соответствует углу наименьшего отклонения луча φ_{\min} .

2. Проведите измерения, необходимые для определения показателей преломления оптического стекла призмы для длин волн различных линий спектра ртути. Результаты измерений занесите в табл. 15.4.

Таблица 15.4

Результаты измерений (призма)

Видимая линия в спектре излучения ртутной лампы	Номер линии	1	2	3	4	...
	Цвет линии					
Длина волны λ , нм (по табл.15.2)	$\langle \lambda \rangle_{m=\pm 1}$					
Угол отклонения	φ , град					
Показатель преломления	n					

Обработка результатов эксперимента

1. Используя данные табл. 15.2, по формуле (15.7) определите средние (из двух измерений) значения длин волн $\langle \lambda \rangle_{m=\pm 1}$, соответствующие всем видимым линиям спектра ртути. Полученные результаты впишите в табл. 15.2. Оцените абсолютную и относительную погрешности косвенного измерения λ . Сравните полученные результаты с табличными значениями длин волн λ_i для спектра ртути.

2. Используя данные табл. 15.3, по формуле (15.7) определите средние (из двух измерений) значения периода дифракционной решетки $\langle d \rangle_{m=\pm 1}$. Полученные результаты впишите в табл. 15.3. Найдите средний период решетки $\langle d \rangle$ по результатам всех измерений при различных длинах волн λ_i видимого спектра ртути. Оцените абсолютную и относительную погрешности косвенного измерения d . Окончательный результат представьте в виде: $d = \langle d \rangle \pm \Delta d$, где $\Delta d = \varepsilon \langle d \rangle$ – абсолютная погрешность определения d , ε – относительная погрешность косвенного измерения.

3. Для всех найденных длин волн (см. табл.15.2) найдите по формуле (15.6) ширину области дисперсии G в спектре 1-го порядка. Сравните полученное значение G с абсолютной погрешностью измерения λ в данной работе. Сделайте выводы.

4. По найденному среднему значению $\langle d \rangle$ (см. п.2 данного раздела) рассчитайте по формуле (15.10) угловую дисперсию D решетки №2 в первом порядке дифракционного спектра, приняв $\cos \varphi_m \approx 1$. Сравните полученное значение с величиной D решетки №1 в том же порядке дифракционного спектра. Для каждой решетки постройте (на одном листе) теоретические графики зависимости $D(m)$, сравните их, сделайте выводы.

5. Рассчитайте по формуле (15.11) теоретические разрешающие способности R обеих используемых в работе решеток, необходимые для разрешения всех видимых линий спектра ртути во всех порядках дифракционного спектра. Проведя расчеты, объясните, почему через вторую решетку видны не все линии спектра.

Примечание. Число щелей решетки можно рассчитать по формуле $N = \Delta l/d$, где d – период решетки, $\Delta l \approx 0,5$ мм – ширина пучка света, выходящего из коллиматора.

6. Определите эффективный период d^* (см. формулу (15.9)) решетки №2 при косом падении лучей на нее (угол $i = 30 - 45^\circ$). Рассчитайте угловую дисперсию D^* решетки, соответствующую ее эффективному периоду. Сравните D^* и D .

7. Используя данные табл. 15.4, по формуле (15.14) рассчитайте показатель преломления n материала призмы для всех длин волн видимого спектра ртути (преломляющий угол призмы $\theta = 60^\circ$). Результаты расчета внесите в табл. 15.4. Оцените абсолютную и относительную погрешности косвенного измерения n . По полученным данным постройте дисперсионную кривую призмы $n = f(\lambda)$.

8. По дисперсионной кривой рассчитайте дисперсию материала призмы $|\partial n/\partial \lambda|$ вблизи точек на графике $n = f(\lambda)$, соответствующих синей и желтой линиям видимого спектра ртути. Для этого в области коротких (синяя линия) и длинных (желтая линия) волн проводятся касательные к кривой $n = f(\lambda)$ (см. рис.15.9), и определяются тангенсы углов ее наклона α . Тогда дисперсия оптического стекла призмы в различных диапазонах λ будет: $|\partial n/\partial \lambda| = \text{tg } \alpha$.

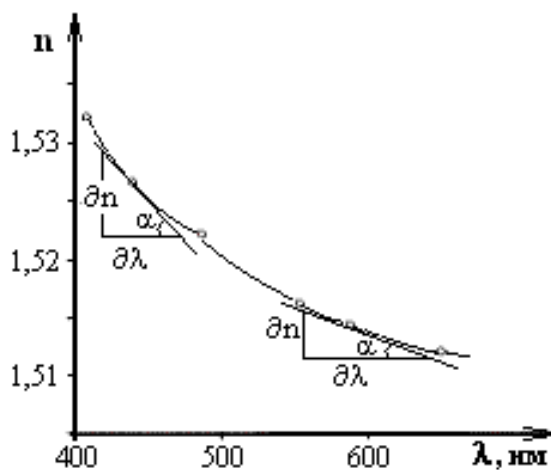


Рис. 15.9. Примерный вид дисперсионной кривой призмы.

9. Рассчитайте по формуле (15.18) угловую дисперсию призмы D для разных длин волн видимого спектра ртути. Постройте график зависимости $D = f(\lambda)$.

10. Рассчитайте по формуле (15.19) разрешающую способность R призмы, необходимую для разрешения всех видимых линий в спектре ртути (длина основания призмы $L = 30$ мм). Полученные данные сравните с теоретическими значениями разрешающей способности призмы для длин волн вблизи синей и желтой линий спектра.

11. Проведите сравнение экспериментальных и теоретических значений полученных спектральных характеристик, а также свойств дифракционной решетки и призмы в качестве диспергирующих элементов.

Библиографический список

а) основной

1. Савельев И.В. Курс общей физики: учебник для вузов. В 3 т. Т 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. / И.В. Савельев. – СПб.: Лань, 2006, 328 с.

2. Капуткин Д.Е., Шустков А.Г. Физика. Обработка результатов измерений при выполнении лабораторных работ. – М.: МИСиС, 2007, 108 с.

б) дополнительный

3. Ландсберг Г.С. Оптика: учеб. пособие для студ. физических спец. вузов. – 99е изд., перераб. и доп. – М.: Физматлит, 2003, 848 с.

Контрольные вопросы

1. Для чего используются спектральные приборы? Как они классифицируются?
2. На каких физических принципах основано действие спектральных приборов?
3. Перечислите наиболее важные характеристики спектральных приборов. Дайте их определение.
4. Объясните принцип действия дифракционной решетки. Что такое «эффективный период» решетки?
5. Как найти угловую дисперсию и разрешающую способность дифракционной решетки? От чего они зависят?
6. Как можно определить показатель преломления материала призмы? От чего он зависит?
7. Что называется дисперсией материала призмы? Как найти угловую дисперсию и разрешающую способность призмы? От чего они зависят?
8. В чем заключаются недостатки призмы как диспергирующего элемента спектральных приборов?
9. Чем отличаются спектры, полученные с помощью дифракционной решетки и призмы?