

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Кафедра оптики и спектроскопии

Оптический спецпрактикум Залача № 1

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ПРИЗМЕННЫЙ СПЕКТРОГРАФ Составители:

д.ф.-м.н. В.В.Лебедева м.н.с. А.В.Мушенков

Содержание

г.Москва

2001 г.

3. Освещение щели. 4. Экспериментальная часть. 5. Обработка спектрограмм.

6. Задание. <u>Литература.</u> 1. Основные характеристики спектрографа.

1. Основные характеристики спектрографа.

2. Качество изображения спектра.

состоящую из одной или нескольких преломляющих призм; и камеру, состоящую из объектива 4 с фокусным расстоянием f_2 и фотопластинки 5, расположенной в фокальной плоскости объектива. Показатель преломления материала призмы не одинаков для различных длин волн: n=n(l). Поэтому неоднородный по спектральному составу параллельный пучок лучей, формируемый коллиматором и падающий на призму, разбивается в ней на монохроматические пучки, идущие по разным направлениям. Камерный объектив 4 собирает эти пучки в своей фокальной плоскости, создавая на фотопластинке 5 последовательность монохроматических изображений щели - спектральные линии. В своей совокупности последние и образуют спектр исследуемого источника света.

линии.

близких линий с провалом интенсивности между ними 20%.

пропорционально ширине входной щели (см.рис.4).

сагиттального сечения лучи падают по нормали, поэтому угловое увеличение отсутствует.

АВО`` - меридиональная плоскость,

3. Освещение шели.

спектральная линия; б) две близких монохроматических линии.

Оптическая схема призменного спектрографа.

 $\underline{\mathbf{J}_{\mathbf{u}\mathbf{c}\mathbf{n}\mathbf{e}\mathbf{p}\mathbf{c}\mathbf{u}\mathbf{s}}}$ Сависимость угла отклонения ј призмой монохроматического луча от угла падения i_1 (рис.1.) такова, что при условии $i_1=i_2$ угол ј принимает наименьшее значение. При постоянном угле падения угол отклонения немонохроматического луча зависит от длины волны: j = j (l). Величина dj /dl = (dj /dn)(dn/dl), соответствующая постоянному углу падения i_l , называется угловой дисперсией призмы. При равенстве угла падения углу преломления ($i_l = i_2$), когда j оказывается минимальным для угловой дисперсии, имеет место соотношение: $\frac{d\mathbf{\phi}}{d\lambda} = \frac{b}{d}\frac{dn}{d\lambda} = \frac{2\sin\alpha/2}{\sqrt{1 - n^2\sin^2\alpha/2}}\frac{dn}{d\lambda}, (1)$ где b и d при полном заполнении призмы светом есть длина ее основания и проекция ее грани на объектив 2,1 - преломляющий угол призмы.

Принципиальная схема призменного спектрографа представлена на рис.1. Спектрограф имеет три основные части: коллиматор, состоящий из объектива 2 с фокусным расстоянием f_I и щели 1, установленной в фокусе объектива; диспергирующую систему 3,

 $n=n_0+c/(l-l_0)$, (2)

Значение dn/dl в (1) определяется дифференцированием (2).

где n_0 , c, l_0 - три константы, которые легко найти, если для трех длин волн l_1 , l_2 , l_3 известны показатели преломления n_1 , n_2 , n_3 .

Дисперсия показателя преломления dn/dl и, следовательно, дисперсия призмы быстро увеличивается с уменьшением длины волны. Вблизи коротковолновой границы рабочего диапазона спектрографа дисперсия наибольшая. Однако, интенсивность спектральных линий здесь уменьшается до нуля вследствие сильного поглощения излучения веществом призмы. С увеличением длины волны дисперсия в видимой области спектра уменьшается. **Линейной дисперсией** спектрографа называется величина dl/dl. Она определяет линейное расстояние в фокальной плоскости прибора, приходящееся на единичный спектральный интервал, и измеряется в mm/A. Линейная дисперсия связана с угловой соотношением: где f_2 - фокусное расстояние камерного объектива 4 для данной длины волны, ϵ - угол наклона его фокальной плоскости к оптической оси объектива (рис.1). При практических расчетах вместо (3) обычно используется обратная линейная дисперсия dl /dl,

выражаемая в Ангстрем/мм. <u>Разрешающая способность спектрографа.</u> Спектральный прибор отображает строго монохроматическое излучение, освещенности. Это распределение называют инструментальным контуром спектральной линии или аппаратной функцией. Её вид определяется совместным действующем отверстии спектрографа (действующим отверстием д называется наименьшее из отверстий (объектива коллиматора, призмы или камерного объектива), которое ограничивает размеры сечения параллельного пучка монохроматических лучей, проходящих через оптическую систему спектрографа (рис. 1)), различные аберрации и другие погрешности оптики прибора, ширина входной щели и зернистая структура фотографической эмульсии. Если какой-либо из этих факторов является преобладающим, форма инструментального контура линии в основном определяется его действием. Отдельные участки инструментального контура какой-либо линии вносят свой вклад в формирование контуров других линий. Таким образом, в образовании каждого элемента реального контура линии в спектре принимают в большей или меньшей степени участие все монохроматические составляющие исходного излучения. В результате спектр на выходе прибора представляет собой свертку двух функций - истинного распределения энергии в источнике и аппаратной функции прибора. Может оказаться, что спектральный

прибор не в состоянии передать два близких по длинам волн излучения в виде раздельно наблюдаемых спектральные контуры таких линий будут перекрываться. В этом случае говорят, что прибор не разрешает две близкие спектральные

Для оценки возможностей прибора давать раздельно (разрешать) спектральные линии близких длин волн применяется характеристика, называемая разрешающей способностью или разрешающей силой. Количественно она определяется соотношением:

где величина d l называется пределом разрешения прибора и определяется шириной инструментального контура линии. В результате дифракции монохроматического параллельного пучка на действующем отверстии прямоугольной формы (на призме) спектральная линия имеет форму, показанную на рис.2-а. Предел разрешения d 1 можно вычислить, пользуясь критерием Релея, согласно которому две спектральные линии равной интенсивности считаются разрешенными, когда главный дифракционный максимум интенсивности одной линии совпадает с первым минимумом другой (рис.2-б). Угловое расстояние от первого минимума до центра дифракционной картины равно d = 1/d (угол дифракции мал, так как d > l). Записав для $d \mid e$ го выражение через угловую дисперсию $d \mid = (di/dl)dl$, откуда находим теоретическое значение для разрешающей силы призмы:

Вследствие того, что R_{meop} пропорциональна d, её максимальное значение достигается при заполнении действующего отверстия прибора светом.

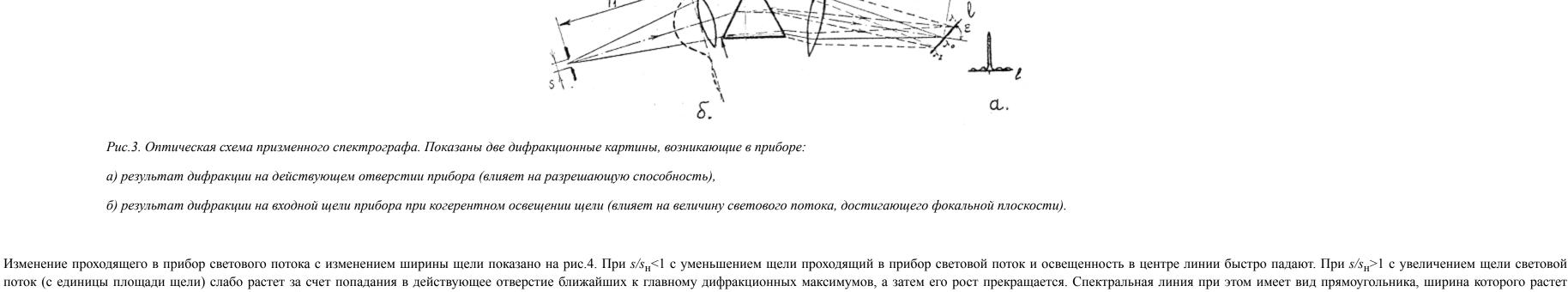
Обычно реальное значение разрешающей способности R_{np} меньше R_{meop} . Оно ограничивается указанными выше факторами и может быть вычислено по формуле (4), где вместо d l используется D l $_{np}$ - практический предел разрешения, т.е. разность длин волн двух

Разрешающая сила уменьшается с увеличением ширины входной щели s_I . Для очень узкой щели, когда ее угловой размер s_I/f_I меньше угла dj = l/d, т.е. $s_I < f_{II}/d$, форма инструментального контура еще мало отличается от изображенной на рис. 2a. С ростом s_I линия уширяется и при $s_1 >> f_{11}/d$ имеем дело практически с геометрическим изображением щели, ширина которого равна $s_2 = s_1 f_2/(f_1 \sin \theta)$. Граничной между этими двумя случаями является нормальная ширина щели s_μ . Определим ее. Найдем такую величину входной щели, когда ее геометрическое изображение в фокальной плоскости прибора как раз равно ширине центральной части главного дифракционного максимума в этой же плоскости. Для этого приравняем линейное расстояние от центра дифракционной картины до ее $\delta l = f_2 \frac{\pi}{d}$ (рис.2a) величине геометрического изображения щели sf_2/f_1 . Отсюда находим

Ширина изображения щели не может стать меньше дифракционного предела. Поэтому, стремясь получить линии как можно тоньше, бесполезно использовать входную щель меньше нормальной.

дифракционной картины до ее первого нуля f_{11}/s_{H} равно величине действующего отверстия d. В этом случае центральная часть главного максимума размещается в действующем отверстии.

Рис.2. Распределение интенсивности света в фокальной плоскости прибора, возникающее в результате дифракции на действующем отверстии прямоугольной формы для бесконечно узкой щели спектрографа: а) одиночная монохроматическая



 $Puc.4.\ 3$ ависимость освещенности в центре линии I/I Ψ , ширины спектральной линии H и разрешающей способности R_{np}/R_{meop} от ширина линии определена в единицах ширины контура линии при нормальной ширине щели. Ширины измеряются на половине высоты линии. 2. Качество изображения спектра.

В призме могут быть выделены два сечения: меридиональное (главное) и сагиттальное (перпендикулярное главному). В меридиональном сечении призма разлагает свет в спектр и одновременно вносит в пучок угловое (меридиональное) увеличение. В плоскости

Рассмотрим прохождение пучка через одну поверхность призмы (рис.5). Будем считать пучок гомоцентрическим. Это соответствует реальному случаю падения на призму слегка сходящегося пучка. Без поверхности Р гомоцентрический пучок сходился бы в точке О. В результате преломления пучок искажается. В сагиттальном сечении СОО пучок лишь изменяет свое направление, угловое увеличение здесь отсутствует. В главном сечении АВО в котором происходит преломление, имеется угловое увеличение Г. В результате угловые размеры гомоцентрического пучка меняются. В случае, изображенном на рис.5, Среда с большим показателем преломления находится справа от поверхности P, поэтому сечение пучка при преломлении увеличивается и Γ < 1. Точка схождения пучка O

разрешение

CDO` - сагиттальная плоскость, Р - преломляющая поверхность. Эффект, наблюдаемый при прохождении пучка света через обе грани призмы, зависит от соотношения угловых увеличений на этих гранях. В частности, при прохождении пучка параллельно основанию призмы произведение угловых увеличений граней равно единице и астигматизм отсутствует. призму, перпендикулярны ее преломляющему ребру. Непараллельность пучков, падающих на призму, возникает вследствие неточной установки щели в фокусе коллиматорного объектива. При наличии в нем хроматической аберрации точная установка невозможна, т.к. фокусное расстояние такого объектива зависит от длины волны. Поэтому коллиматорные объективы обычно исправляют на хроматическую аберрацию. Для этого их склеивают из линз различных сортов стекла или используют в качестве коллиматорного объектива вогнутое зеркало, т.к. оно не обладает хроматической аберрацией.

линии оказываются искривленными, с выпуклостью, обращенной в сторону длинных волн. Кривизна возрастает к фиолетовому концу спектра.

К камерному объективу также предъявляются высокие требования. Он должен давать резкое и достаточно плоское изображение спектра.

В большинстве случаев на практике используют центральную часть щели, для чего устанавливают перед щелью диафрагму (диафрагму Гартмана).

преобразуется в два взаимно перпендикулярных отрезка 11 и 22, разделенных расстоянием О'О'. Это расстояние называют астигматической разностью.

Щель спектрографа освещают источником света, расположенным на некотором расстоянии от нее. Можно также пользоваться вспомогательной оптической системой, состоящей из одной или нескольких линз, называемой конденсорной системой. Освещение щели при помощи конденсорных линз. Если источник имеет небольшие размеры и расположен далеко от щели, коллиматор не заполняется светом. Для его заполнения пользуются конденсорной линзой. Она устанавливается на оси прибора так, чтобы источник был сфокусирован на щель. При этом на

коллиматора; 5 - антивиньетирующая линза.

4. Установка правильного освещения входной щели спектрографа.

5. Фокусировка спектрографа, состоящая из следующего:

а) уменьшение влияния астигматизма призмы,

б) установка оси камеры,

в) визуальная фокусировка камеры,

6. Расшифровка спектрограммы, включающая в себя:

г) фотографирование спектров.

а) отождествление линий ртути,

4. Экспериментальная часть.

а). Устройство установки.

Рис. 5. Преломление наклонного гомоцентрического пучка на грани призмы.

столике находится призма Резерфорда, и 3) камеры, в которой имеется камерный объектив и кассетная часть. Откройте крышку призменной части прибора и посмотрите на призму. Призма склеена из трех призм. Средняя часть сделана из стекла ТФ (тяжелый флинт). Благодаря большой величине дисперсии dn/dl стекла ТФ и большому преломляющему углу (90°) эта призма обеспечивает очень хорошую дисперсию прибора. Однако для того, чтобы пучок света прошел среднюю часть призмы в условиях наименьшего отклонения (т.е. параллельно ее основанию), на обе грани призмы необходимо было наклеить дополнительные призмочки с преломляющими углами с другой стороны. Они сделаны из стекла крон, обладающего малой дисперсией dn/dl, и поэтому лишь немного уменьшают дисперсию всей призмы по сравнению с дисперсией ее средней части. Фокусное расстояние объектива коллиматора $f_1 = 160$ мм, объектива камеры $f_2 = 340$ мм, диаметры объективов равны 40 мм. Действующее отверстие спектрографа ограничивается размерами призмы, которая уменьшает сечение пучка до d = 25 мм. В спектрографе предусмотрено перемещение щели относительно объектива коллиматора, перемещение камерного объектива относительно фотопластинки, поворот кассетной части вокруг вертикальной оси и поворот призмы внутри цилиндрического корпуса. Ширина щели спектрографа устанавливается по шкале на ее барабане, цена деления которой составляет 0,001 мм. Непосредственно перед щелью помещается выдвижная гартмановская диафрагма с фигурными вырезами, позволяющая изменять рабочую высоту щели. Для освещения щели можно использовать однолинзовый конденсор. Он закреплен на рейтере в оправе и может перемещаться вдоль рельса, направление которого совпадает с направлением оси коллиматора. Источником света служит высокочастотная безэлектродная шариковая лампа типа ВСБ-2, разряд в которой возбуждается с помощью ВЧ-генератора. Лампа и ВЧ-генератор находятся в едином цилиндрическом корпусе и укреплены на рейтере, который можно перемещать по рельсу установки. Лампа представляет собой полый кварцевый шарик диаметром 18 мм, наполненный инертным газом с добавлением небольшого количества ртути. Она крепится между витками анодного контура генератора двумя пружинами (лампа и контур изолированы от

В работе используется разборный призменный спектрограф, состоящий из трех частей: 1) коллиматора, содержащего входную щель и коллиматорный объектив, 2) призменной части - цилиндрического корпуса со съемной крышкой, внутри которого на подвижном

Рис. б. Фокусировка источника света на щель спектрографа (а) и устранение виньетирования с помощью линзы, расположенной перед щелью (б): 1 - источник света; 2 - конденсорная линза; 3 - щель спектрографа (по высоте); 4 - объектив

б) измерение координат всех линий спектра, ртутных и неизвестных, и оценка интенсивностей линий в 10-балльной шкале, в) расчет на ЭВМ длин волн неизвестных линий в спектре по интерполяционной формуле Гартмана. 7. Сравнение рассчитанного спектра со спектрами инертных газов и определение, какой инертный газ содержится в колбе лампы. 8. Построение кривой дисперсии и нахождение характеристик прибора - дисперсии в красной и синей областях спектра, теоретической и практической разрешающей силы.

2. Установка источника света на оптической оси коллиматора.

4. Спустя 5 минут включите тумблер "анод".

5. Ручкой потенциометра установите ток не выше 50 мА.

1. Сборка спектрографа.

Упражнения: 1. Установите источник света на оси коллиматора с помощью конденсорной линзы. 2. Уберите линзу и проверьте установку источника света на оси, наблюдая световое пятно на действующем отверстии коллиматора. 3. Определение нулевой отметки барабана раскрытия щели и нормальной ширины щели.

Показания барабана щели обычно сбиты, поэтому полное закрытие щели не соответствует нулевому делению на барабане.

4. Установите такое освещение щели, при котором световой поток наибольший, т.е. спектральные линии наиболее яркие.

4. Снимите с источника света крышку диаметром 5 мм - дальше она не понадобится.

может потребоваться выдержка в десятки минут или вообще спектр не получится.

4. Установка правильного освещения входной щели спектрографа.

1. Широко раскройте щель.

5. Фокусировка спектрографа.

в) Визуальная фокусировка камеры спектрографа

фотопластинки, а ось вращения кассетной части камеры находится в центре матового стекла.

Перед фотографированием нужно продумать план съемки и составить его в виде такой таблицы:

д) Фотографическая фокусировка камеры спектрографа (выполняется в случае необходимости)

десятибалльной шкале

выдержка

lg2=0,3), что глазом мало заметно. При подборе выдержки следует изменять ее в 3-5 раз, например: 1 сек, 5 сек, 20 сек, 1 мин, 3 мин.

ширина щели

поверхностью прибора.

№ спектра Высота щели

с разными выдержками.

Далее все эти этапы описаны подробно. По мере изложения их приводятся упражнения, которые должен выполнить студент.

Входная щель служит вторичным источником света. Однако световой поток от него идет внутрь прибора только в том телесном угле, который обеспечивает на входе в прибор осветительная система (дифракцию мы здесь не учитываем). В свою очередь, Для освещения щели применяют различные линзовые системы. Однако известно, что оптическая система не может дать изображения, яркость которого была бы больше яркости предмета (напомним, что яркость - это световой поток с единицы поверхности источника света в единицу телесного угла). Яркость может стать только меньше за счет поглощения и отражения в линзах системы. В данной задаче источник света (шариковая лампа) имеет равномерно светящуюся поверхность диаметром 18 мм, и поэтому полное заполнение коллиматора светом будет достигнуто и без линзы, если просто приблизить лампу к щели на достаточно малое расстояние. Упражнения:

Перемещением рельса камеры выведите синюю линию ртути на центр матового стекла. Это будет удобно в дальнейшем при визуальной фокусировке камеры спектрографа.

положение кассеты

Настроившись на наблюдение синей линии, находящейся в центре матовом стекла, находят такое положение объектива камеры, при котором резкость линии на матовом стекле наилучшая. Практика показывает, что удобнее всего установить рамку с матовым стеклом так, чтобы одна половина линии попадала на матовую часть стекла, а другая - на прозрачную. При этом лупу надо сфокусировать так, чтобы резко было видно зерно матового стекла, и после этого лупу не перемещать. Ширину щели следует уменьшить так, чтобы было удобно наблюдать линии в лупу. Сфокусировав синюю линию, сместите лупу в зеленую область спектра и настройтесь на зеленую линию. Поворотом кассеты добейтесь наилучшей фокусировки зеленой линии. Запишите отсчеты поворота камеры и положения объектива. Затем проконтролируйте фокусировку синей линии - настройтесь на нее и движением объектива снова найдите наилучшее положение. Сравните полученный отсчет с записанным предыдущим. Если они различаются, повторите весь цикл снова. Таким методом последовательных приближений при аккуратной работе можно достаточно хорошо сфокусировать данный спектрограф во всей рабочей области спектра (более точная фокусировка проводится фотографически). г) Фотографирование спектров Сфокусировав визуально камеру спектрографа, установите ширину щели в 2 раза больше нормальной. Зарядите кассету и приступите к фотографированию спектра. Прежде всего нужно подобрать выдержку. Для этого на одну фотопластинку фотографируют

диафрагма перед щелью имеет высоту 1,5 мм, а увеличение объективов $f_2/f_1 = 2$, то спектр займет на фотопластинке по высоте 3 мм. Следовательно, кассету надо смещать каждый раз на 4 мм. На одну фотопластинку можно сфотографировать много спектров.

Исходным положением считают найденное при визуальной фокусировке, от него отступают на некоторое расстояние и при фотографировании проходят по шкале в одном направлении так, чтобы исходное положение соответствовало середине серии спектров. По полученным спектрам определяют, в каких областях спектра при каких положениях объектива камеры спектральные линии наиболее тонкие. При этом может оказаться, что нужно изменить поворот кассеты. По полученным спектрам, если план съемок записан аккуратно, нетрудно сообразить, куда надо повернуть кассету. После этого делают новую серию съемок, добиваясь хорошей фокусировки методом последовательных приближений. 5. Обработка спектрограмм. Расшифровка спектрограммы. На спектрограмме, снятой с узкой щелью, видны несколько ярких линий, принадлежащих имеющемуся в лампе инертному газу. Перед студентом стоит задача найти длины волн этих

Расчет длин волн линий в спектре. Вычисление проводят по интерполяционной формуле Гартмана $1 = l_o + (c/d_o - d)$, где 1 - вычисляемая длина волны, d - линейная координата на спектре, 1_o , c_o , d_o - константы. Формула обеспечивает хорошую точность в пределах участка в несколько сот ангетрем в видимой или ультрафиолетовой областях спектра. Для определения констант 1 о, со, до используют три опорные линии 1 1, 1 2, 1 3 причем 1 1 и 1 3 должны быть расположены на концах исследуемого участка спектра, а 1 2 - в его середине. Ошибка расчета по формуле Гартмана вычисляется исходя из ошибки измерения E координат опорных линий следующим образом. Сначала вычисляются "истинные" константы 1_{O} , c_{O} , d_{O} . Затем к значению одной из координат опорных линий (например, d_{I}) добавляется величина E и вычисляются "ошибочные" константы формулы Гартмана. Далее находится разница между "ошибочными" и "истинными" константами D I $_{O}$, D c_{o} , D d_{o} . Такой расчет проводится еще два раза при изменении координат двух других опорных линий d_{2} и d_{3} . По

Используя увеличенное и уменьшенное изображение источника на входной щели спектрографа, установите источник света и конденсорную линзу на оптической оси спектрографа. Упражнение 2. Экспериментальное определение нормальной ширины щели.

2. Уберите конденсорную линзу с рельса и установите источник света возможно дальше от щели (на конец рельса).

1. Наблюдая спектральные линии в фокальной плоскости спектрографа (без матового стекла) в лупу, найдите нулевое положение щели.

4. Рассматривая объектив коллиматора (камеры) через прорезь в кассетной части спектрографа и наблюдая за изменении ширины щели спектрографа, найти положение, соответствующее нормальной ширине. Сравните ее с величиной, вычисленной по формуле (7).

Упражнение 4. Качественный спектральный анализ плазмы в источнике света.

3. Уменьшите размер выходного окна лампы, надев на корпус лампы экран с небольшим отверстием.

Упражнение 3. Фокусировка спектрографа. 1. Установите источник света и конденсорную линзу так, чтобы коллиматор был заполнен светом, а изображение источника света было сфокусировано на входную щель спектрографа 2. Установите призму на минимум отклонения для зеленой линии ртути.

а) зрительной трубы (коллиматор); б) лупы и матового стекла (камеру). 4. Сфотографируйте спектр с различными выдержками, проявите пластинку и определите по ней наилучшую выдержку. Для уточнения фокусировки сфотографируйте спектры с различными положениями камерного объектива (в случае необходимости).

1. По наилучшему из снимков проведите расшифровку спектра (фотография спектра ртути имеется в лаборатории). На измерительном микроскопе МИР-12 произведите измерения координат линий спектра. Оцените точность измерений. 2. Вычислите на ЭВМ длины волн неизвестных линий спектра. С помощью спектров инертных газов, выводимых на экран дисплея, определите, какой инертный газ присутствует в лампе. 3. Сравните значения, вычисленные на ЭВМ, с табличными значениями длин волн линий инертного газа. Упражнение 5. Определение дисперсии и разрешающей способности спектрографа и увеличения призмы.

2. Пользуясь кривой дисперсии, определите линейную дисперсию спектра в длинноволновой и коротковолновой и коротковолновом и коротковолновом и коротковолновом и коротковолновом и коротковолновом и коротковолново 4. По ширине изображения линий на спектре, сфотографированном с широкой щелью, определите увеличение призмы прибора и постройте график зависимости увеличения от длины волны. Отчет составьте по форме, имеющейся в практикуме.

Зависимость n(l) на ограниченном участке спектра можно вычислить по приближенной формуле Гартмана:

Рис.1. Оптическая схема призменного спектрографа: 1 - входная щель, 2 - коллиматорный объектив, 3 - призма, 4 - камерный объектив, 5 - фотопластинка, d - действующее отверстие прибора, b - длина основания призмы, j - угол отклонения луча

 $R_{meop} = d \, \frac{d \, \varphi}{d \lambda}$

Рассмотрим теперь дифракцию на входной щели прибора При когерентном освещении щели в результате углового перераспределения потока в пучке внутри прибора наблюдается диффракционная картина, подобная изображенной пунктиром на рис. 3 на объективе коллиматора. Ее легко увидеть, если при освещении входной щели от удаленного на 50 - 100 см источника света небольших размеров посмотреть со стороны камеры внутрь прибора на его объектив. Как следует из (7), $d=f_{11}/s_{H}$, т.е. расстояние от центра этой

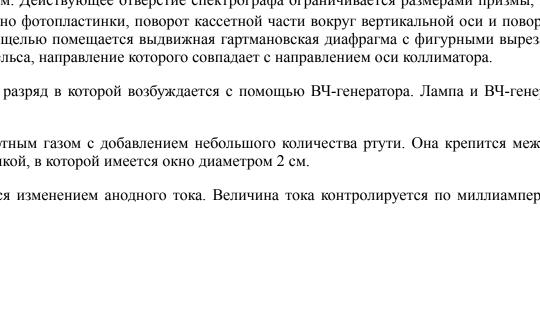
Явление астигматизма не наблюдается, если все лучи пучка падают на преломляющую поверхность под одним и тем же углом, т.е. если пучок является параллельным. Именно по этой причине во всех призменных спектральных приборах используют коллиматорные объективы, исправленные на сферическую и хроматическую аберрации. Однако из-за неполного исправления последней на краях рабочей области спектра может остаться небольшое (0,1÷0,2 мм) размытие изображения щели в направлении, параллельном щели. Таким образом, для получения наилучшего изображения должны выполняться следующие условия: 1) призма установлена на минимум угла отклонения; 2) лучи, выходящие из одной точки щели, падают на призму в виде параллельного пучка; 3) лучи, падающие на Вследствие зависимости показателя преломления от длины волны призма может быть установлена на минимум отклонения только для узкого интервала волн. Обычно это делается для средней части исследуемого спектра.

Щель имеет конечную высоту, и лучи света, идущие от ее различных участков, проходят сквозь призму под различными углами. Для наклонных лучей преломляющий угол призмы оказывается больше, и они преломляются сильнее. Вследствие этого спектральные

Способ освещения щели спектрографа в значительной степени определяется целями и особенностями выполняемой работы. Для количественного спектрального анализа требуется равномерное освещение щели. Если проводится изучение пространственной структуры источника света, щель нужно осветить таким образом, чтобы распределение освещенности в источнике света. Интенсивности спектральных линий могут быть измерены правильно лишь в том случае, если имеет место пропорциональность между освещенностими в сопряженных точках щели и ее изображения на фотопластинке. В частности щели должно отвечать равномерное распределение освещенности по высоте спектральной

размерам w $=d/f_1$ действующего отверстия конденсорной линзы (рис.6). Условие заполнения объектива коллиматора светом выполняется для точки источника, расположенной на оптической оси. Для двух точек источника, например точки A на рис.6а, световые пучки попадают в объектив коллиматора лишь частично. Вследствие этого конец спектральной линии, для которого точка К на щели и точка А в источнике являются сопряженными, освещен слабее центральных участков линии. Этот эффект (виньетирование) устраняется с помощью вспомогательной линзы 5, которая устанавливается непосредственно перед щелью и создает изображение конденсорной линзы 2 на объективе коллиматора 4 (рис. 6б). В этом случае все лучи, выходящие из одной точки источника и проходящие через одну точку щели, попадают в оптическую систему спектрографа и образуют сопряженную точку в изображении спектральной линии, если нет потерь на других диафрагмах прибора. Освещенности в спектральной линии и на щели оказываются пропорциональными. В данной задаче используется однолинзовое освещение щели (рис.6а).

щели получается распределение освещенности, соответствующее распределению яркости в источнике. Условию заполнения коллиматора отвечает расположение линзы, при котором ее угловые размеры $w = d_{\kappa OHO}/l$, если смотреть от центра щели, равны угловым



Приблизьте источник света к входной щели и, перемещая его поперек оси и по высоте, установите выходное окно источника (диаметр окна 2 см) примерно напротив щели спектрографа. Более точно установить источник на оси можно методом последовательных приближений. Для этого отодвиньте источник подальше от щели (на конец рельса). Включите лампу. Последовательность включения лампы: 1. Включите воздушное охлаждение лампы. 2. Включите вилку питающего провода в розетку 220 В. 3. Включите тумблер "сеть".

Поставив рейтер с конденсорной линзой, передвигайте его, получая то уменьшенное изображение источника на щели. При этом каждый раз надо выводить изображение на центр крышки щели - уменьшенное изображение движением линзы поперек

В лабораторной практике часто встречается случай, когда источник света приходится располагать не на рельсе (например, если рельса нет или он короткий), а просто на столе, иногда даже на другом лабораторном столе. Тогда источник света устанавливают на оси коллиматора следующим образом: 1) не пользуются линзой, 2) максимально открывают щель, 3) наблюдают луч света, идущий внутрь прибора со стороны камеры (глаз должен быть почти вплотную к прорези в кассетной

Ширина щели устанавливается с точностью до 1 мкм (0,001 мм). Механизм раскрытия щели довольно сложен. Он обеспечивает плавное симметричное раскрытии лишь приводит ножи в соприкосновение, не допуская их давления друг на друга.

спектрального прибора. При этом угловые размеры источника света должны быть малыми (источник должен стоять на конце рельса, на него нужно надеть крышку с отверстием диаметром 5 мм, линзу убрать). Если смотреть внутрь прибора в свете зеленой линии и

От характера освещения щели спектрографа зависит яркость спектра и, следовательно, выдержка при фотографировании спектра. Если при правильном освещении, например, достаточно нескольких секунд выдержки, то при неправильном с тем же источником света

Упражнения: 1. Рассчитайте величину нормальной ширины щели. 2. Определите величину нормальной ширины щели из эксперимента. 3. Сравните результат измерений с вычисленной нормальной шириной щели.

вращать барабан щели, можно видеть, как меняется дифракционная картина. Ширина щели, когда центральный максимум целиком занимает все действующее отверстие, равна удвоенной величине нормальной ширины щели.

2. Располагая источник света на разных расстояниях от щели, наблюдайте качество заполнения коллиматора. Оцените на глаз, при каком положении источника световой поток, проходящий через действующее отверстие, наибольший.

а) Уменьшение влияния астигматизма призмы Прежде всего, следует по возможности уменьшить влияние астигматизма призмы. Это достигается установкой щели спектрографа в фокальной плоскости коллиматорного объектива (объектив должен давать параллельный пучок лучей) и установкой призмы на минимум угла отклонения. Фокусировка коллиматора на бесконечность. Установку щели в фокальной плоскости коллиматорного объектива (говорят: фокусировку коллиматора на бесконечность) производят с помощью зрительной трубы. Для этого предварительно настройте зрительную трубу на бесконечность (наведите ее на очень далекий предмет - например, здание за окном). Далее снимите с рельса камеру и поместите на ее месте зрительную трубу (при этом не сбейте настройку зрительной трубы на бесконечность!). Рассматривая спектральные линии при широкой щели, передвижением щели вдоль оси коллиматора добейтесь максимально резкого изображения спектра (зеленой, синей). Уменьшите щель и проверьте фокусировку при более узкой щели. После этого уберите зрительную трубу и поставьте камеру спектрографа снова на рельс. Установка призмы на минимум угла отклонения. Закрепите в кассетной части рамку с матовым стеклом. Наблюдайте линии на матовом стекле, передвигая столик с призмой за винт, фиксирующий положение столика (он находится под призменной частью). Обратите внимание на то, что для желтой, зеленой и синей линий минимальный угол отклонения получается при разных положениях призмы. Закрепите призму в таком положении, чтобы для синей линии угол отклонения был минимальным. б) Установка оси камеры

3. То же самое проделайте, освещая щель с помощью линзы. Наблюдайте заполнение коллиматора при увеличенном, уменьшенном отображении источника на щель. Найдите положение, когда световой поток, проходящий через действующее отверстие, наибольший.

Для того, чтобы инструментальный контур спектральной линии имел наименьшую, характерную для данного прибора ширину, а практическая разрешающая способность была наибольшей, спектрограф должен быть тщательно сфокусирован. Фокусировка состоит из нескольких операций, в результате выполнения которых отдельные оптические элементы спектрографа должны быть расположены так, чтобы аберрации были минимальными, а светочувствительный слой фотопластинки оказался совмещенным с фокальной

Упражнения: 1. При ширине щели $2s_{H}$ сфотографируйте серию спектров для подбора выдержки. 2.. При ширине щели 0,4 мм сфотографируйте несколько спектров с разными выдержками. 3. Проявите фотопластинку.

4. Рассматривая спектры в лупу или на измерительном микроскопе МИР-12, оцените качество фокусировки спектра. Если оно хорошее, выбирите для измерений спектр, на котором ртутные линии не передержаны и кроме них видны 20-30 слабых линий,

Если нужна более хорошая фокусировка камеры спектрографа, ее следует проводить фотографически. Для этого с наиболее удачной выдержкой (обычно небольшой) при ширине щели 2s_н фотографируют серию спектров при разных положениях объектива камеры.

принадлежащих инертному газу. Если фокусировка недостаточно хорошая, проделайте снова весь цикл визуальной фокусировки. В данной задаче спектрограф может быть достаточно хорошо сфокусирован визуально.

При подборе выдержки следует учитывать, что почернение фотопластинки пропорционально логарифму количества попавшего на нее света (произведения "освещенность ' выдержка"). Поэтому изменение выдержки в 2 раза изменяет почернение всего на 0,3 (т.к.

На эту же фотопластинку для экономии времени можно сфотографировать спектры, по которым можно будет определить увеличение призмы данного спектрального прибора. Для этого нужно максимально расширить щель (до 0,4 мм) и сфотографировать 2-3 спектра

линий и определить, какому газу они принадлежат, т.е. произвести качественный анализ состава светящейся плазмы. Для выполнения этой задачи следует, сравнивая спектрограмму с фотографией спектра ртути, отметить на спектре найденные линии ртути. Желательно надписать чернилами, фломастером или нацарапать на эмульсии их длины волн. Далее нужно воспользоваться измерительным микроскопом МИР-12 для измерения координат линий, ртутных и неизвестных. Положив пластинку со спектрами на предметный столик микроскопа МИР-12, разместите ее так, чтобы крайняя коротковолновая линия спектра в измеряемом диапазоне длин волн соответствовала началу измерительной шкалы. Проследите за тем, чтобы риски окуляра были параллельны спектральным линиям, и при перемещении микроскопа вдоль пластинки спектр не смещался вверх или вниз. В поле зрения видна одиночная риска и напротив нее двойная. Лучшая точность измерений достигается, если пользоваться двойной риской (спектральную линию нужно располагать между штрихами этой риски). При измерениях учтите, что микрометрический винт, перемещающий микроскоп, имеет большой люфт, в результате которого при обратном ходе винта измерения сбиваются. Поэтому все измерения нужно вести при перемещении микроскопа строго в одном направлении. Интенсивности линий оценивайте на глаз по десятибалльной шкале - это поможет при дальнейшей идентификации линий. Результаты измерений записывайте в виде таблиц: №№ линии по Длины волн ртутных линий Отсчет координат Интенсивность

6. Задание. В процессе выполнения задачи должны быть выпонены следующие упражнения (порядок их выполнения изложен в разделе "Работа с установкой"). Упражнение 1. Юстировка осветительной системы спектрографа.

3. По ширине изображения наиболее тонких спектральных линий на спектре, сфотографированном с узкой щелью, определите практический предел разрешения, оцените практическую разрешающую способность и сравните с теоретическими значениями.

электрического монтажа). Камера с анодным контуром и лампой закрывается съемной крышкой, в которой имеется окно диаметром 2 см. ВЧ-генератор питается от выпрямителя, выходная мощность которого плавно регулируется изменением анодного тока. Величина тока контролируется по миллиамперметру, установленному на лицевой панели выпрямителя (она должна быть не более 50 мА). Конструкция ВЧ-генератора предусматривает воздушное охлаждение. б. Работа с установкой. Выполнение задачи проходит в следующем порядке: 1. Сборка спектрографа. 2. Установка источника света на оптической оси прибора. 3. Определение нулевой отметки барабана раскрытия щели и нормальной ширины щели.

Нужно найти отсчет, соответствующий полному закрытию щели. Это делают, вращая барабан щели и одновременно рассматривая в лупу спектральные линии в плоскости спектра. Настроившись на зеленую линию, нужно плавно закрывать щель, пока спектральная линия не пропадет. Щель может полностью не закрываться из-за пылинок и грязи на ножах щели - тогда нужно ее прочистить (обратиться к лаборанту практикума!). Закрыв щель, нужно начать медленно вращать барабан в сторону ее открытия. Момент, когда спектральная линия только-только начнет появляться, соответствует нулевому положению шкалы барабана. Запишите это показание. Величина нормальной ширины щели рассчитывается по формуле (7) $s_H = l f_1/d$. Она может быть найдена и экспериментально (вернее, ее удвоенная величина). Нормальная ширина щели - такая ее ширина, когда линейное расстояние в плоскости объектива коллиматора от центра дифракционной картины, возникающей при дифракции на щели, до ее первого нуля равно величине действующего отверстия д прибора. Эта дифракционная картина хорошо видна на действующем отверстии, если смотреть внутрь

части). Если крышка призменной части открыта, хорошо видно сечение призмы и освещенная часть его. Передвижением источника в поперечном направлении выводят освещенное пятно в центр сечения призмы.

оси коллиматора, увеличенное - перемещением источника поперек оси. Такой метод дает хороший результат, если есть уверенность, что рельс параллелен оптической оси колиматора.

Установите коллиматор и камеру в рабочее положение (на рельсы установки) так, чтобы не было зазоров между ними и призменной частью, иначе при фотографировании посторонний свет засветит фотопластинку.

спектральный прибор может полезно использовать только световой поток, не превышающий по своему раствору угловые размеры объектива коллиматора $\overline{4f_1^2}$. Поэтому главное при выборе освещения щели - позаботиться о том, чтобы коллиматор спектрального прибора был максимально заполнен светом, т.е. чтобы выходящий из щели внутрь прибора световой поток по угловому раствору был бы не меньше $\overline{4f_1^2}$. Это хорошо контролировать глазом. если смотреть внутрь прибора со стороны камеры.

несколько спектров с разными выдержками, сдвигая каждый раз кассету по вертикали так, чтобы спектры не наложились друг на друга. При этом надо учитывать увеличение объективов (рассчитайте увеличение объективов данного спектрографа!). Например, если

Предварительная фокусировка камеры спектрографа проводится визуально при наблюдении спектральных линий в лупу на матовом стекле. При этом предполагают, что плоскость матового стекла совпадает с плоскостью светочувствительной поверхности

 $\Delta \lambda = \frac{1}{\sqrt{12}} \left\{ \sum_{i=1}^{3} \left[\left(\Delta \lambda_{oi} \right)^{2} + \left(\frac{\Delta c_{oi}}{d+d_{o}} \right)^{2} + \left(\frac{c_{o} \Delta d_{oi}}{(d+d_{o})^{2}} \right)^{2} \right] + \left(\frac{3c_{o} E}{(d+d_{o})^{2}} \right)^{2} \right\}^{1/2}$ Такой метод расчета ошибок представляет собой вариацию положения кривой, описываемой формулой Гартмана, при небольших изменениях координат опорных точек. При одной и той же точности измерений эта вариация кривой будет тем меньше, чем дальше друг от друга находятся опорные точки. Расчет длин волн проводится на ЭВМ, имеющейся в практикуме.

3. Сфокусируйте спектрограф с помощью:

найденным разностям между "ошибочными" константами и "истинными" находят выборочную стандартную ошибку расчетов длины волны по формуле:

1. По ртутным линиям и линиям инертного газа постройте кривую дисперсии спектрографа - зависимость координат линий от длины волны l=f(l).