



ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЁТКИ С ПОМОЩЬЮ ГОНИОМЕТРА

Лабораторная работа № 5.13

МОСКВА 2005

Цель работы: Знакомство с работой гониометра и определение спектральных характеристик амплитудной или фазовой решётки (эшелета).

В работе используются: ртутная лампа, гониометр, амплитудная и фазовая дифракционные решётки, плоскопараллельная стеклянная пластинка, призмный уголкового отражатель, щель с микрометрическим винтом.

Дифракционная решётка представляет собой стеклянную или металлическую пластинку, на которую с помощью делительной машины через строго одинаковые интервалы нанесены параллельные штрихи. В учебных лабораториях обычно применяются отпечатки таких гравированных решёток — реплики, изготовленные из специальной пластмассы.

Основными параметрами дифракционной решётки являются её период d (постоянная решётки) и число штрихов N .

Обычно дифракционная решётка освещается плоской волной (рис. 1), а плоскость наблюдения практически находится в бесконечности (условия дифракции Фраунгофера). В этом случае направление, в котором производится наблюдение, определяется углом φ между нормалью к решётке и направлением лучей.

В соответствии с принципом Гюйгенса–Френеля распределение интенсивности в дифракционной картине определяется суперпозицией волн, приходящих в точку наблюдения от различных щелей решётки. При этом амплитуды всех интерферирующих волн при заданном угле φ практически одинаковы, а фазы составляют арифметическую прогрессию.

Пусть падающая на решётку волна распространяется перпендикулярно её поверхности. Интенсивность дифрагированного света максимальна для углов φ_m , для которых волны, приходящие в точку наблюдения от всех щелей решётки, оказываются в фазе.

Как следует из рис. 1, для этих направлений справедливо соотношение

$$d \sin \varphi_m = m\lambda \quad (m — \text{целое число}). \quad (1)$$

Точная теория решётки учитывает как интерференцию волн, приходящих от разных щелей, так и дифракцию на каждой щели. Как показывает простой расчёт, интенсивность I света, распространяющегося

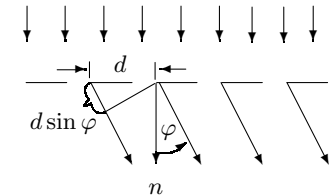


Рис. 1. Дифракция световых волн на решётке

под углом φ к нормали, определяется формулой

$$I = I_1(\varphi) \frac{\sin^2[N(kd \sin \varphi)/2]}{\sin^2[(kd \sin \varphi)/2]}, \quad (2)$$

где $k = 2\pi/\lambda$ — волновое число, а множитель $I_1(\varphi)$ описывает дифракцию волн, испускаемых одним периодом решётки (диаграмма направленности одного периода).

Анализ выражения (2) показывает, что при большом числе щелей свет, прошедший через решётку, распространяется по ряду резко ограниченных направлений, определяемых соотношением (1). Зависимость интенсивности света от угла наблюдения представлена на рис. 2.

Как следует из (1), углы, при которых наблюдаются световые максимумы, зависят от длины волны λ . Дифракционная решётка представляет собой, таким образом, спектральный прибор. Если на дифракционную решётку падает свет сложного спектрального состава, то после решётки образуется спектр, причём фиолетовые лучи отклоняются решёткой меньше, чем красные. Входящая в (1) величина m носит название *порядка спектра*. При $m = 0$ максимумы интенсивности для всех длин волн располагаются при $\varphi = 0$ и накладываются друг на друга. При освещении белым светом нулевой максимум, в отличие от всех прочих, оказывается поэтому неокрашенным. Спектры первого, второго и т. д. порядков располагаются симметрично по обе стороны от нулевого.

Рассмотрим основные характеристики дифракционной решётки.

Угловая дисперсия. Дисперсия D характеризует угловое расстояние между близкими спектральными линиями:

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda}. \quad (3)$$

Дифференцируя обе части (1), получим

$$d \cos \varphi d\varphi = m \cdot d\lambda. \quad (4)$$

Следовательно,

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{m}{d \cos \varphi} = \frac{m}{\sqrt{d^2 - m^2 \lambda^2}}. \quad (5)$$

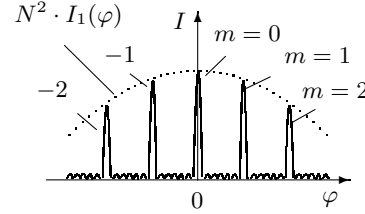


Рис. 2. Распределение интенсивности света при дифракции Фраунгофера на решётке

Дисперсия возрастает с увеличением порядка спектра. На опыте дисперсию решётки определяют путём измерения углового расстояния $\Delta\varphi$ между двумя близкими спектральными линиями с известной разностью длин волн $\Delta\lambda$ (например, между жёлтыми линиями ртути).

Разрешающая способность дифракционной решётки. Возможность разрешения двух близких спектральных линий зависит от их ширины¹ и от расстояния между ними.

Пусть в спектре m -го порядка наблюдаются две близкие спектральные линии с длинами волн λ и $(\lambda + \Delta\lambda)$. Угловое расстояние $\Delta\varphi$ между этими линиями, согласно (4), равно

$$\Delta\varphi = \frac{m \Delta\lambda}{d \cos \varphi}. \quad (6)$$

Согласно критерию разрешения Релея линии становятся неразличимыми, когда расстояние между ними меньше, чем расстояние от максимума одной линии до её первого минимума (рис. 3). Как следует из (2), при переходе из главного максимума ($\varphi = 0$) в минимум величина $N(kd \sin \varphi)/2$ изменяется на π , так что

$$\frac{Nkd}{2} [\sin(\varphi + \delta\varphi) - \sin \varphi] = \pi, \quad (7)$$

где $\delta\varphi$ — угловая полуширина главного максимума. Принимая во внимание малость $\delta\varphi$, получим из (7)

$$\delta\varphi = \frac{\lambda}{Nd \cos \varphi}. \quad (8)$$

Отметим, что угловая полуширина максимума обратно пропорциональна видимому размеру решётки — $Nd \cos \varphi$.

По определению разрешающая способность спектрального прибора $R = \lambda/\delta\lambda$ — это *отношение длины волны к разности длин волн двух линий, разрешаемых по критерию Релея*. Приравняв $\delta\varphi$ и $\Delta\varphi$ для случая предельного разрешения, найдём для дифракционной решётки

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = m \cdot N. \quad (9)$$

¹Здесь и далее речь идёт не о собственной ширине спектральной линии, а о ширине её изображения, определяемой дифракцией.

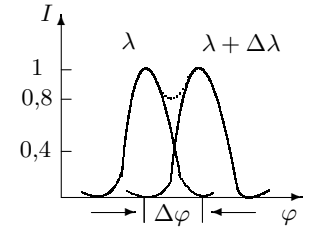


Рис. 3. К определению разрешающей способности дифракционной решётки

Спектральный интервал $\delta\lambda$, входящий в соотношение (9), характеризует минимальное расстояние между двумя спектральными линиями, которые ещё могут быть разрешены при помощи данной дифракционной решётки.

Дисперсионная область. При достаточно широком спектральном интервале падающего света спектры разных порядков могут накладываться друг на друга. Предельная ширина спектрального интервала $\Delta\lambda$, при которой спектры соседних порядков (m и $m+1$) перекрываются только своими границами, называется *дисперсионной областью* G . При этом

$$d \sin \varphi = m(\lambda + \Delta\lambda) = (m+1)\lambda,$$

и дисперсионная область

$$G = \Delta\lambda = \frac{\lambda}{m}. \quad (10)$$

Экспериментальная установка. При работе с дифракционной решёткой основной задачей является точное измерение углов, при которых наблюдаются главные максимумы для различных длин волн. В нашей работе для измерения углов используется гониометр Г5, с устройством которого можно ознакомиться в описании работы 5.4. Принципиальная схема экспериментальной установки приведена на рис. 4.

Измерение длин волн спектральных линий. Дифракционная решётка с известным периодом может быть использована для измерения длин волн, например, в спектре ртути.

Как следует из (1), измерения длины волны сводятся к определению φ_m — угла отклонения лучей от первоначального направления.

Проведя измерения дифракционных углов для спектра с известными длинами волн, можно рассчитать период решётки.

Определение угловой дисперсии. Для определения угловой дисперсии дифракционной решётки (см. формулу (3)) нужно измерить угловое расстояние $\Delta\varphi$ между двумя близкими спектральными линиями с длинами волн λ_1 и λ_2 и провести вычисления по формуле $D = \Delta\varphi/(\lambda_1 - \lambda_2)$.

Оценка разрешающей способности решётки. Непосредственное экспериментальное определение разрешающей способности дифракционной

решётки требует специальных источников света, в спектре которых имеются близкие спектральные линии, находящиеся на пределе разрешения. Обозначим через $\delta\lambda$ разность их длин волн. Разрешающая сила определяется отношением $\lambda/\delta\lambda$. При сравнении результатов с теоретической величиной разрешающей силы ($R = mN$) необходимо принимать во внимание два обстоятельства.

1. Формула (9) была получена в предположении, что ширина спектральной линии обусловлена только дифракцией. Нетрудно сообразить, что дифракция определяет ширину спектральной линии лишь в том случае, если ширина щели s коллиматора удовлетворяет соотношению

$$\frac{s}{f} \ll \delta\varphi, \quad (11)$$

где f — фокусное расстояние объектива коллиматора, а $\delta\varphi$ — угловая полуширина дифракционного максимума. С помощью (8) для малых дифракционных углов найдём

$$s \ll \frac{\lambda}{dN} f. \quad (12)$$

При экспериментальной оценке разрешающей способности ширину щели коллиматора нужно выбирать достаточно малой. Полезно производить измерения при разных размерах щели, постепенно её уменьшая. Видимая ширина линии должна при этом сначала уменьшаться вместе с шириной щели, а затем оставаться постоянной.

2. Иногда из-за плохого качества решёток получить чёткие спектральные линии удаётся только с помощью диафрагмы, установленной на коллиматорном объективе. Диафрагма позволяет выбрать достаточно однородный участок решётки, но при этом уменьшает число освещённых штрихов решётки. В теоретической формуле $R = mN$ под N нужно теперь понимать число одновременно работающих щелей, равное отношению ширины диафрагмы к периоду решётки. Однако даже при узких диафрагмах в экспериментах с решётками плохого качества нельзя быть уверенным, что ширина наблюдаемых спектральных линий определяется только дифракцией (а не аберрациями).

Описанный метод позволяет измерить так называемую *аппаратную* или *приборную* разрешающую силу в реальных условиях опыта (т.е. при данных решётках, заданных размерах входной щели коллиматора, данном увеличении зрительной трубы и т.д.). Сравнение полученного результата с теоретическим (предельным) значением разрешающей силы позволяет оценить качество спектральной установки.

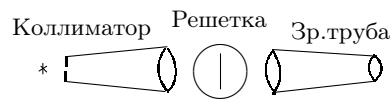


Рис. 4. Схема экспериментальной установки (вид сверху)

Работа выполняется после настройки гониометра. С устройством гониометра познакомьтесь в описании работы 5.4.

А. ИЗУЧЕНИЕ АМПЛИТУДНОЙ РЕШЁТКИ

ЗАДАНИЕ

В работе предлагается отъюстировать гониометр, исследовать спектр ртутной лампы в одном из порядков и дисперсию решётки в разных порядках, определить период и спектральные характеристики решётки, оценить влияние ширины пучка на разрешающую способность.

I. Настройка гониометра

1. Проведите юстировку гониометра и установите начало отсчёта, руководствуясь правилами, изложенными в техническом описании гониометра (ТО), расположенном на установке.

II. Качественные наблюдения спектра

1. Держа решётку² в руке и глядя сквозь неё на узкий источник света (удобно использовать вертикальную щель в окне), найдите спектр нулевого порядка — ахроматическое (белое) изображение источника. Поворачивая круговую оправу решётки вокруг горизонтальной оси, убедитесь, что её штрихи параллельны щели.

Поворачивая решётку вокруг вертикальной оси, рассмотрите спектры положительных и отрицательных порядков.

Посмотрите, в каких порядках спектры начинают перекрываться, и оцените дисперсионную область решётки.

III. Установка решётки

Необходимость дополнительной настройки столика с решёткой связана с тем, что плоскость решётки может быть не перпендикулярна её основанию, и тогда при повороте зрительной трубы спектры дальних порядков могут уйти из поля зрения.

2. Настроив гониометр, установите решётку на столике так, чтобы её плоскость была перпендикулярна оси коллиматора, перпендикулярна одному из винтов 8 и параллельна другому.
3. Установив начальное положение трубы (против коллиматора) на 180° и вращая только верхнюю часть столика (винт 26 закреплён, чтобы не сбился настройка нуля), найдите ахроматическое (белое) изображение щели коллиматора.

²Речь идет о линейной решётке (100 штр/мм). Растровые решётки, выполненные в виде отдельных квадратов, для качественных наблюдений неудобны.

4. Винтом 8, перпендикулярным плоскости решётки, установите короткое изображение щели на центр поля зрения.

Отводя алидаду в сторону от коллиматора, найдите в трубе спектр самого дальнего порядка и вторым винтом 8 (параллельным плоскости решётки) снова приведите изображение щели к центру.

Вернитесь к ахроматическому изображению щели и проверьте результат. При необходимости снова подстройте столик винтом, перпендикулярным плоскости решётки. Повторяя процедуру, методом последовательных приближений добейтесь того, чтобы при повороте трубы изображение щели и спектр уходили не больше, чем на треть радиуса поля зрения.

5. Закончив настройку, выберите ширину входной щели так, чтобы хорошо разрешались линии жёлтого дублета (ширина изображения щели чуть больше промежутка между линиями двойного штриха окуляра).

Установите высоту щели, удобную для измерений (при короткой щели плохо виден двойной штрих, при слишком высокой — мешает кривизна изображения).

IV. Исследование спектра ртутной лампы

6. Измерьте угловые координаты спектральных линий ртути в одном из порядков. Картина и характеристики интенсивности спектра ртутной лампы приведены в работе 5.4 и в ТО (рис. 4 и табл. 1).

При выполнении опыта плоскость решётки остаётся перпендикулярной оси коллиматора, а зрительная труба поворачивается так, чтобы отсчётный крест окуляра гониометра был совмещён с исследуемой спектральной линией.

Перед началом измерений следует убедиться в справедливости формулы (1). Для этого определите углы дифракции для одной из ярких линий спектра в разных порядках и убедитесь, что $\sin \varphi_m \sim m$. Если формула (1) на опыте не подтверждается, следует выяснить причину.

При измерениях отмечайте угловую координату каждой из линий, описанных в ТО, не усредняя результаты для дублетов и триплетов. Если при перемещении по спектру заметно нарушается резкость изображения, подстройте объектив зрительной трубы винтом 11.

Зарисуйте расположение элементов оптической схемы гониометра.

7. Для оценки дисперсии решётки определите угловые координаты линий жёлтого дублета во всех видимых порядках.
8. Для оценки разрешающей способности измерьте угловую ширину одной из линий жёлтого дублета, предварительно установив минимально возможную ширину входной щели. Если точное измерение ширины отдельной линии затруднено, оцените на глаз, во сколько раз расстояние

между линиями дублета больше полуширины одной линии, и рассчитайте аппаратную полуширину линии $\delta\lambda$.

V. Зависимость разрешающей силы от ширины пучка

9. Настройте зрительную трубу на жёлтый дублет.
10. Держа в руке дополнительную щель с микрометрическим винтом и рассматривая сквозь неё любой светящийся объект, определите начало отсчёта — момент открытия щели. Повторите процедуру определения нуля, каждый раз открывая щель всё медленнее.
11. Откройте щель пошире и укрепите её на коллиматорном объективе. Уменьшая ширину щели, добейтесь предельного разрешения жёлтого дублета и запишите показания микрометрического винта щели.
12. Зная разность длин волн для жёлтого дублета, на месте рассчитайте разрешающую способность в этом эксперименте, оцените число эффективно работающих штрихов по формуле (9) и число штрихов на мм.

VI. Обработка результатов

1. Для выбранного порядка m рассчитайте углы дифракции φ_m и постройте график зависимости $\sin \varphi_m$ от длины волны. Определите по углу наклона графика период решётки d , используя формулу (1). Оцените погрешность результата.
2. Рассчитайте угловую дисперсию по формуле (3) для жёлтого дублета в спектрах разных порядков (в угловых секундах на ангстрем). Сравните результаты между собой и с теоретическим значением, рассчитанным по формуле (5).
3. Оцените экспериментальную разрешающую способность. Пользуясь формулой (9), оцените размер освещённой части решётки.

Б. ИЗУЧЕНИЕ ФАЗОВОЙ РЕШЁТКИ (ЭШЕЛЕТ)

В современных спектральных приборах широко используются отражательные решётки с треугольным профилем штриха, т. к. они способны концентрировать дифрагированное излучение (до 70–80 % мощности падающего излучения) в определённом (не нулевом) порядке.

Отражательная решётка с треугольным профилем штриха (рис. 5), в которой угол Ω между рабочей гранью и плоскостью решётки (угол скоса) не превышает 20° , называется *эшелетом* (от фр. *echelle* — лестница). Рабочий порядок спектра, в котором концентрируется излучение, зависит от угла скоса и периода решётки и обычно невелик: $m \lesssim 10$. Число штрихов на миллиметр $n = 1200\text{--}0,3$ штр./мм.

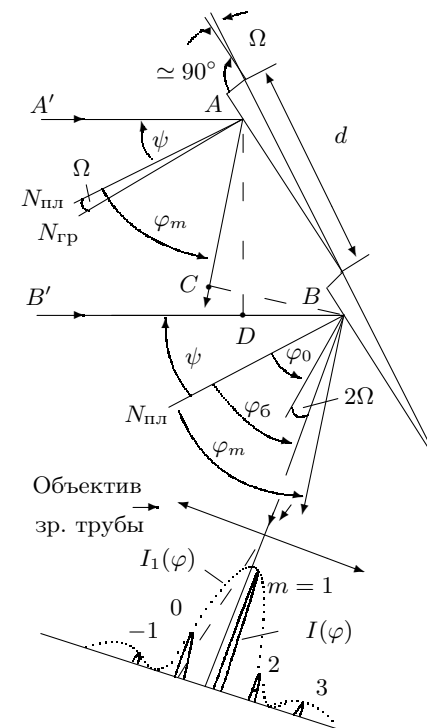


Рис. 5. Распределение интенсивности в спектре эшелета

Если угол скоса Ω лежит в пределах $20-60^\circ$, решётка носит название эшелле. Рабочий порядок в такой решётке $m = 5-500$, а число штрихов $n = 10-100$ штр/мм.

Теория отражательной решётки во многом сходна с теорией прозрачной (амплитудной) решётки.

Пусть на решётку падает плоская монохроматическая волна (λ) под углом ψ , который отсчитывается от нормали $N_{\text{пл}}$ к плоскости решётки (рис. 5). Нас интересует распределение интенсивности волны, отражённой от решётки, в точке наблюдения, удалённой на бесконечность (в фокальной плоскости объектива зрительной трубы). На рис. 5 пунктирная кривая показывает распределение интенсивности $I_1(\varphi)$ света, дифрагировавшего на одной грани решётки, в зависимости от угла наблюдения φ . Все минимумы этой функции эквидистантны, боковые максимумы существенно меньше центрального. Угол, под которым наблюдается максимум интенсивности функции $I_1(\varphi)$, соответствует зеркальному отраже-

нию падающего луча от грани и называется *углом блеска* φ_6 . Поскольку угол между нормалью к плоскости решётки $N_{\text{пл}}$ и нормалью к грани $N_{\text{гр}}$ равен углу скоса Ω , ясно, что угол блеска

$$\varphi_6 = \psi + 2\Omega. \quad (13)$$

Суммарная амплитуда поля в бесконечно удалённой точке определяется, согласно принципу Гюйгенса–Френеля, суперпозицией волн, приходящих от различных граней решётки. На рис. 5 сплошная кривая показывает зависимость суммарной интенсивности света $I(\varphi)$ от угла наблюдения. Распределение $I(\varphi)$ имеет ряд резких максимумов.

Амплитуда поля в точке наблюдения максимальна, когда волны, приходящие от всех граней, оказываются в фазе. При этом разность хода Δ двух лучей $A'A$ и $B'B$, отражённых от соседних граней, кратна λ . Как видно из рис. 5, эта разность хода

$$\Delta = AC - BD = d(\sin \varphi_m - \sin \psi) = m\lambda,$$

где d — период решётки, φ_m — угол, под которым наблюдается максимум, m — порядок спектра.

Будем считать углы положительными, если они отсчитываются против часовой стрелки от нормали $N_{\text{пл}}$, и отрицательными, если наоборот. С учётом принятого правила знаков условие дифракционного максимума для отражательной решётки примет вид

$$d(\sin \varphi_m + \sin \psi) = m\lambda. \quad (14)$$

На рис. 5 угол $\psi < 0$, угол $\varphi_m > 0$, порядок спектра положителен для максимумов, лежащих правее нулевого, если смотреть навстречу дифрагировавшим лучам. Как следует из (14), $m = 0$ при $\varphi_0 = -\psi$.

Изменяя угол падения света на эшелет, можно добиться того, чтобы угол блеска (13) совпал с углом дифракции спектра одного из порядков. Ясно, что именно в этом порядке спектр будет наиболее ярким, т.к. он возникает при интерференции лучей, испытавших зеркальное отражение от рабочих граней решётки. Этот порядок спектра m_p принято называть *рабочим*.

Чтобы устранить произвол в выборе угла падения света при определении рабочего порядка, принято считать, что решётка должна работать в автоколлимационном режиме, когда падающий луч параллелен отражённому. Для этого необходимо, чтобы свет падал перпендикулярно рабочей грани решётки, т.е. $\psi = \varphi_m = \varphi_6 = \Omega$. В этом случае условие (14) принимает вид

$$2d \sin \Omega = m_p \lambda_p. \quad (15)$$

Если известна рабочая длина волны λ_p , вблизи которой локализован исследуемый спектр, выбраны шаг решётки d и рабочий порядок спектра m_p , удобные для последующих измерений, то соотношение (15) определяет угол скоса рабочей грани, который нужно реализовать при изготовлении эшелета. В этом случае исследуемый спектр будет наиболее ярким при работе в автоколлимационном режиме; в техническом паспорте эшелета указаны соответствующие значения m_p и λ_p .

На рис. 5 приведена примерная зависимость интенсивности света от угла наблюдения для эшелета, предназначенного для работы в первом порядке. Наш эшелет отражает в спектр первого порядка до 60% мощности падающего излучения. Напомним, что спектр обычной амплитудной решётки наиболее интенсивен в нулевом порядке, где дисперсия $D = 0$. Кроме того, в амплитудной решётке неизбежны значительные потери света, связанные с его поглощением непрозрачными участками решётки, размер которых существенно больше размера прозрачных участков.

Легко проверить, что разрешающая способность R и дисперсионная область G для эшелета вычисляются так же, как для амплитудной решётки. Для оценки угловой полуширины $\delta\varphi_m$ спектрального максимума воспользуемся методом векторных диаграмм. Амплитуду поля, пришедшего в бесконечно удалённую точку от граней решётки, будем изображать векторами E_n , где n изменяется от единицы до N (N — число отражающих граней). Длины векторов одинаковы для каждой грани, а угол θ между двумя соседними векторами зависит от разности хода: $\theta = 2\pi\Delta/\lambda$.

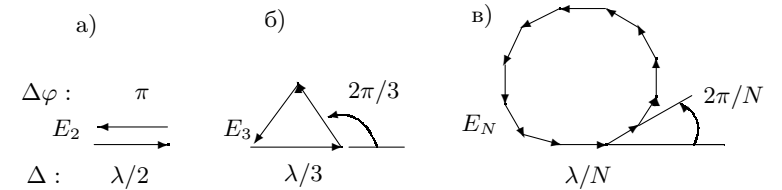


Рис. 6. Векторные диаграммы

Как известно, две волны, пришедшие в точку наблюдения, погасят друг друга при разности хода между ними $\Delta = \lambda/2$ (рис. 6а). Следовательно, минимумы функции $I(\varphi)$ при дифракции на двух щелях лежат посередине между главными максимумами. При сложении трёх волн они погасят друг друга при выполнении условия $\Delta = \lambda/3$ (рис. 6б). При этом минимумы несколько приблизятся к максимумам, а в промежутке между минимумами появится небольшой дополнительный максимум. Очевидно, что при сложении волн, отражённых от N щелей, суммарная

амплитуда будет равна нулю, если разность хода между соседними векторами составляет λ/N (рис. 6в). Таким образом, направление на минимум, ближайший к максимуму любого порядка, определяется условием

$$d[\sin(\varphi_m + \delta\varphi) + \sin\psi] = m\lambda + \frac{\lambda}{N}.$$

Для малой полуширины максимума получим

$$\delta\varphi = \frac{\lambda}{Nd \cos \varphi_m}.$$

Сравните результат с формулой (8), полученной для амплитудной решётки. Продолжая рассуждения, найдём, что разрешающая способность и дисперсионная область эшелета описываются формулами (9) и (10).

Зависимость дисперсии D от параметров эшелета можно найти, дифференцируя обе части выражения (14):

$$D = \frac{m}{d \cos \varphi_m} = \frac{m}{\sqrt{d^2 - (m\lambda - d \sin \psi)^2}}. \quad (16)$$

Дисперсия растёт с увеличением порядка спектра и угла падения.

Работа выполняется после настройки гониометра. С устройством гониометра познакомьтесь в описании работы 5.4.

ЗАДАНИЕ

В работе предлагается отъюстировать гониометр; исследовать спектр ртутной лампы в рабочем порядке и дисперсию эшелета в разных порядках; определить параметры и спектральные характеристики эшелета; оценить влияние ширины пучка на разрешающую способность.

ВО ИЗБЕЖАНИЕ ПОРЧИ ЭШЕЛЕТА НЕ ПРИКАСАЙТЕСЬ К ЕГО РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

I. Настройка гониометра

1. Проведите юстировку гониометра и установите начало отсчёта, руководствуясь правилами, изложенными в техническом описании (ТО), расположенным на установке.

II. Качественные наблюдения

2. Держа эшелет в вытянутой руке, найдите отражение лампы накаливания, расположенной за Вашей спиной. Вращая эшелет вокруг оси, рас-

смотрите спектры положительных и отрицательных порядков. Определите рабочий порядок, в котором спектр наиболее интенсивен. Посмотрите, в каких порядках спектры начинают перекрываться (источник должен быть узким, — это достигается поворотом колпака настольной лампы). Оцените дисперсионную область и сравните её с шириной спектра лампы. Средняя длина волны спектра лампы — 600 нм, полуширина — 200 нм.

3. Запишите параметры эшелета: рабочий порядок m_p и длину волны λ_p для угла блеска.

III. Установка эшелета

Необходимость дополнительной настройки столика с эшелетом связана с тем, что плоскость эшелета может быть не перпендикулярна его основанию

4. Настроив гониометр, поставьте эшелет на столик перпендикулярно одному из винтов 8 и параллельно другому.
5. Установив начальное положение трубы (против коллиматора) на 180° , поверните трубу на 120° (влево, если рабочий порядок эшелета положителен).

Вращая только верхнюю часть столика (винт 26 закреплён, чтобы не сбилась настройка нуля), найдите ахроматическое (белое) изображение щели, отражённое от эшелета. При этом угол падения света на плоскость эшелета ψ составляет $(180^\circ - 120^\circ)/2 = 30^\circ$.

6. Винтом 8, перпендикулярным плоскости эшелета, установите короткое изображение щели на центр поля зрения.

Отводя алидаду в сторону от коллиматора, найдите в трубе спектр самого дальнего порядка и вторым винтом 8 (параллельным плоскости эшелета) снова установите короткое изображение щели на центр.

7. Вернитесь к ахроматическому отражению и проверьте результат. При необходимости снова подстройте столик винтом, перпендикулярным плоскости эшелета. Повторяя процедуру, методом последовательных приближений добейтесь того, чтобы при повороте трубы изображение щели и спектр уходили не больше, чем на треть радиуса поля зрения.
8. Для больших углов падения ($> 45^\circ$) можно отсчитывать углы не от оси коллиматора, а от нормали к поверхности эшелета, если найти автоколлимационный крест, отражённый от эшелета.
9. Закончив настройку, подберите ширину входной щели так, чтобы хорошо разрешались линии жёлтого дублета (ширина изображения щели чуть больше промежутка между линиями двойного штриха).

Откройте щель коллиматора на всю высоту. Если изображение щели не параллельно вертикальному штриху отсчётного креста, устраните это расхождение установочным винтом 8, лежащим в плоскости эшелета.

Установите высоту щели, удобную для измерений (при короткой щели плохо виден двойной штрих, при слишком высокой мешает кривизна изображения).

IV. Исследование спектра ртутной лампы

10. Для угла падения света на эшелет $\psi = 30^\circ$ измерьте угловые координаты спектральных линий ртути в рабочем порядке. Картина и характеристики спектра ртутной лампы приведены в работе 5.4 (рис. 4 и табл. 1) и в ТО.

Отмечайте угловую координату каждой из описанных линий, не усредняя результаты для дублетов и триплетов. Если при перемещении по спектру нарушается резкость изображения, подстройте трубу, перемещая её объектив винтом 11.

Зарисуйте расположение элементов оптической схемы гониометра.

11. Для оценки разрешающей способности измерьте ширину одной из линий жёлтого дублета, предварительно установив минимально возможную ширину входной щели. Если точное измерение ширины отдельной линии затруднено, оцените на глаз, во сколько раз расстояние между линиями дублета больше ширины одной линии. Рассчитайте аппаратную полуширину линии $\delta\lambda$.

V. Зависимость дисперсии от угла падения в разных порядках

12. Для угла падения света на эшелет $\psi = 30^\circ$ измерьте координаты каждой из жёлтых линий дублета во всех наблюдаемых порядках, положительных и отрицательных (их число зависит от угла падения).
13. Повторите измерения п. 12 для углов падения 45° и 60° . Обратите внимание, что при увеличении угла падения появляются спектры дальних отрицательных порядков.

VI. Зависимость разрешающей силы от ширины пучка

14. Настройте зрительную трубу на жёлтый дублет в рабочем порядке.
15. Держа в руке щель с микрометрическим винтом и рассматривая сквозь неё любой светящийся объект, определите начало отсчёта — момент открытия щели. Повторите процедуру определения нуля, каждый раз открывая щель всё медленнее.
16. Откройте щель пошире и укрепите её на коллиматорном объективе. Уменьшая ширину щели, добейтесь предельного разрешения жёлтого дублета и запишите показания микрометрического винта щели.

Если дублет не виден при широкой щели, значит, свет падает на повреждённую часть поверхности эшелета. Попробуйте слегка передвинуть эшелет вдоль плоскости установки.

17. Зная разность длин волн для жёлтого дублета, на месте рассчитайте разрешающую способность в этом эксперименте и оцените число эффективно работающих штрихов по формуле (9) и число штрихов на мм.

VII. Обработка результатов

1. Рассчитайте углы дифракции φ_m и постройте график зависимости $\sin \varphi_m$ от длины волны. Определите по углу наклона графика период эшелета, используя формулу (14), и оцените погрешность результата.
2. Рассчитайте по формуле (3) угловую дисперсию в рабочем порядке для жёлтого дублета в угловых секундах на ангстрем.
3. Оцените экспериментальную разрешающую способность и, сравнив её с теоретической (mN), оцените размер освещённой части эшелета.
4. Рассчитайте угол скоса рабочей грани эшелета по формуле (15).
5. Используя все экспериментальные данные, рассчитайте угловую дисперсию $D = \Delta\varphi/\Delta\lambda$ для жёлтого дублета и косинусы дифракционных углов. При расчёте в качестве дифракционного угла φ_m возьмите среднее арифметическое значение двух углов, под которыми видны линии дублета.

Постройте график зависимости угловой дисперсии D от величины $m/\cos \varphi_m$. Определите по графику период решётки [см. (16)] и рассчитайте число штрихов на мм. Оцените погрешность результата.

Контрольные вопросы

1. Дайте определения спектральных характеристик дифракционной решётки.
2. Сформулируйте критерий разрешения Релея.
3. Как меняются угловые характеристики спектров при изменении периода решётки и её размеров?
4. Чем отличается эшелет от амплитудной дифракционной решётки?
5. Как изменится спектр эшелета, изображённый на рис. 4, если увеличить вдвое сначала период, а затем угол скоса? Нарисуйте все три спектра в одном масштабе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландсберг Г.С. Оптика. — М.: Наука, 1976. Гл. IX.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. — Т. IV. Оптика. — М.: Наука, 1980. Гл. IV, §§ 46,47.
3. Кингсеп А.С., Локшин Г.Р., Ольхов О.А. Основы Физики. — Т. I. Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. Ч. III, Гл. 8, § 8.8–8.9.