

5008

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ
ФРАУНГОФЕРА
НА ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКЕ**

Методические указания
к лабораторной работе

Рязань 2016

УДК 539

Изучение дифракции Фраунгофера на дифракционной решетке: методические указания к лабораторной работе / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: Б.С.Бобров, А.П.Соколов.— Рязань, 2016.— 8 с.

Изложены элементы теории и метод определения длины волны света с помощью дифракции Фраунгофера на дифракционной решетке, а также указания по обработке экспериментальных данных.

Предназначены для студентов всех специальностей, изучающих курс физики.

Табл. 2. Ил. 3. Библиогр.: 4 назв.

Дифракция, дифракционная решетка, дисперсия, разрешающая способность

Печатается по решению редакционно-издательского совета Рязанского государственного радиотехнического университета.

Рецензент: кафедра общей и экспериментальной физики РГРТУ
(зав. кафедрой канд. техн. наук, доц. М. В. Дубков)

Изучение дифракции Фраунгофера на дифракционной решетке

Составители: Б о б р о в Борис Сергеевич
С о к о л о в Александр Павлович

Редактор Р.К. Мангутова

Корректор С.В. Макушина

Подписано в печать 28. 04. 12. Формат бумаги 60 x 84 1/16.

Бумага писчая. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 0,5.

Тираж 200 экз. Заказ

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.

Цель работы: изучить явление дифракции Фраунгофера на дифракционной решетке, ознакомиться с принципом действия дифракционной решетки, определить постоянную дифракционной решётки, а также ее угловую дисперсию.

Приборы и принадлежности: дифракционная решетка, ртутная лампа с блоком питания, натриевая лампа с блоком питания, гониометр.

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ И МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТА

Дифракцией света называется совокупность явлений, которые обусловлены волновой природой света и наблюдаются при его распространении в среде с резко выраженной оптической неоднородностью (например, при прохождении через отверстия в экранах, вблизи границ непрозрачных тел). Дифракция приводит к отклонению света от прямолинейного распространения и проникновению его в область геометрической тени.

Дифракционной решеткой называется система параллельных щелей равной ширины, лежащих в одной плоскости и разделённых равными по ширине непрозрачными промежутками. Дифракционная картина на решётке определяется как результат взаимной интерференции волн, идущих от всех щелей, т.е. в дифракционной решетке осуществляется многолучевая интерференция когерентных дифрагированных пучков света, идущих от всех щелей.

Пусть плоская монохроматическая волна падает нормально к плоскости решетки. Определим условия, при которых в данной точке бесконечно удалённого экрана наблюдается максимум интенсивности света. Зададим угол дифракции φ_m (рис. 1), который определяет избранное направление наблюдения.

Пусть a – ширина щели, b – ширина промежутка между щелями, $d=(a+b)$ – постоянная решётки.

Если перпендикулярно к поверхности решётки падает свет с длиной волны λ , то, как следует из рис. 1, лучи, идущие под углом φ_m к первоначальному направлению от соответствующих мест каждой из щелей, обладают разностью хода $d\sin\varphi_m$ (1-й и 2-й лучи), $2d\sin\varphi_m$ (1-

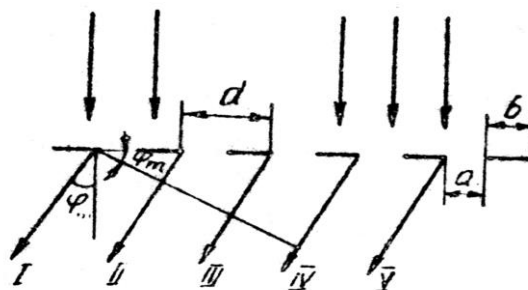


Рис. 1

й и 3-й лучи) и т.д. В тех направлениях, для которых эта разность хода равна целому числу длин волн, т.е. выполняется условие $d\sin\varphi_m = m\lambda$, наблюдаются максимумы интенсивности. Направление на эти максимумы определяется выражением

$$\sin\varphi_m = \frac{m\lambda}{d}, \quad (1)$$

где $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ – порядок спектра главных максимумов дифракционной картины.

Если излучение имеет сложный спектральный состав, то максимумы интенсивности для различных длин волн пространственно разделяются, т.е. образуется дифракционный спектр. Зависимость угла дифракции от длины волны λ определяет возможности решетки разлагать свет в спектр.

Качество спектров, получаемых с помощью дифракционных решеток, определяется их основными характеристиками – угловой дисперсией и разрешающей способностью.

Угловая дисперсия D_φ характеризует способность спектрального прибора пространственно разделять световые пучки различных длин волн. Мерой угловой дисперсии является

$$D_\varphi = \frac{d\varphi}{d\lambda}, \quad (2)$$

где $d\varphi$ – угловое расстояние между двумя спектральными линиями, отличающиеся по длине волны на $d\lambda$.

Дифференцируя обе части (1), получаем для дифракционной решетки

$$d\cos\varphi_m d\varphi_m = m d\lambda. \quad (3)$$

Из совместного решения уравнений (1)–(3) следует, что

$$D_\varphi = \frac{d\varphi_m}{d\lambda} = \frac{m}{d\cos\varphi_m} = \frac{m}{\sqrt{d^2 - m^2\lambda^2}}. \quad (4)$$

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

Разрешающая способность дифракционной решетки. Этот параметр характеризует возможность разделять (разрешать) спектральные линии, мало отличающиеся по длинам волн, и зависит от их ширины. За меру разрешающей способности принимают

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}, \quad (5)$$

где λ – длина волны, вблизи которой производят измерения, $\delta\lambda$ – наименьшая разница в длинах волн двух еще разрешаемых спектральных линий.

Разрешающая способность дифракционной решётки определяется соотношением

$$R = mN, \quad (6)$$

где N – число действующих штрихов решетки.

В данной работе постоянная дифракционной решетки определяется из соотношения (1), которое позволяет по измеренным углам дифракции φ_m для порядка спектра m при освещении решетки монохроматическим светом с известной длиной волны λ вычислить эту постоянную d по следующей формуле:

$$d = \frac{m\lambda}{\sin \varphi_m}. \quad (7)$$

Источником света в этой части эксперимента может служить, например, натриевая лампа (*включается лаборантом*), спектр излучения которой содержит две близко расположенные линии («дублет») с $\lambda_1 = 589,0$ нм и $\lambda_2 = 589,6$ нм. Если эти линии не разрешаются, то следует отрегулировать положение центра наблюдаемых линий и при расчетах принять $\lambda = 589,0$ нм. Если «дублет» натрия разрешается, то в каждом порядке дифракционной картины следует произвести измерения положения линии, ближайшей к центру дифракционной картины ($\lambda = 589,0$ нм). При отсутствии натриевой лампы можно воспользоваться неоновой.

Для измерения длин волн спектральных линий используется дифракционная решетка с известным периодом d . Как следует из (1), измерение длины волны в этом случае сводится к измерению угла отклонения φ_m лучей от первоначального направления. Такие измерения позволяют, например, исследовать спектральный состав света, испускаемого ртутной лампой. Ртутная лампа создает интенсивное излучение достаточно монохроматических волн, которым соответствуют фиолетовая, зеленая, две близкие желтые и другие линии спектра в дифракционной картине, получаемой на решётке. В данной работе следует определить длины волн каждой из трех названных спектральных линий. Для этого необходимо и достаточно измерить по угловым положениям спектральных линий

соответствующие углы дифракции φ_m . Для расчёта длин волн в каждом порядке спектра m следует применять формулу

$$\lambda_m = \frac{d \sin \varphi_m}{m}. \quad (8)$$

Для определения угловой дисперсии проводят измерение углового расстояния между двумя близкими спектральными линиями. В данной работе угловую дисперсию следует определять для желто-зеленой области спектра по 1-й жёлтой и зелёной линиям в спектре первого порядка для ртутной лампы. Ее можно вычислить, используя экспериментальные данные, по формуле, нм^{-1} :

$$D_\varphi = \frac{\Delta \varphi}{\Delta \lambda} \quad (9)$$

или рассчитать теоретически, применив другую формулу, нм^{-1} :

$$D_m = \frac{m}{d \cos \varphi_m}, \quad (10)$$

где m – порядок спектра; d – постоянная решетки.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

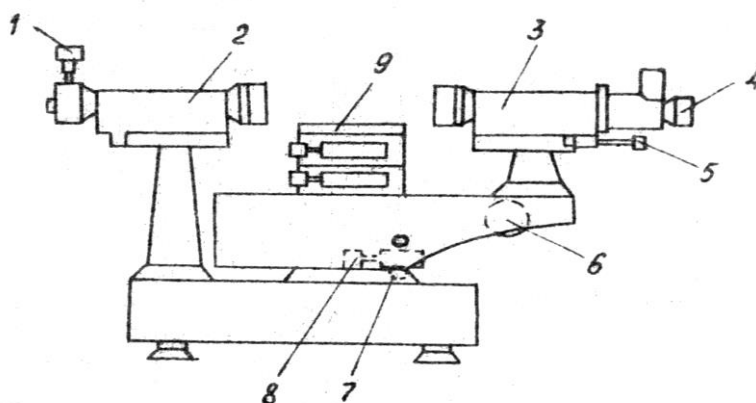


Рис. 2

Работа выполняется на гониометре Г5 – контрольно-измерительном приборе, предназначенном для точного измерения углов.

Гониометр Г5 требует бережного и осторожного обращения. Строго запрещается прилагать усилие к винтам и к алидаде при закреплённом стопорном винте 7 (рис. 2). Это приводит к поломке прибора.

Внешний вид гониометра показан на рис. 2, где цифрами

показаны необходимые для проведения измерений узлы коллиматора 2, в передней фокальной плоскости объектива которого расположены узкая раздвижная щель, регулируемая микрометрическим винтом 1, зрительная труба 3 с окуляром 4, угломерное отсчетное устройство с лупой 5, через которую производится отсчет углов по шкале лимба, находящегося внутри прибора; маховичок 6 отсчётного микрометра, предметный столик 9, который может вращаться вокруг вертикальной оси.

Зрительная труба укреплена на подвижном кронштейне-алидаде, которую можно поворачивать вокруг вертикальной оси, проходящей через центр предметного столика. Поворот алидады с трубой осуществляется без усилий от руки и всегда только **после освобождения стопорного винта 7**. Тонкое перемещение зрительной трубы осуществляется винтом 8.

Оптическая схема установки представлена на рис. 3. Световой

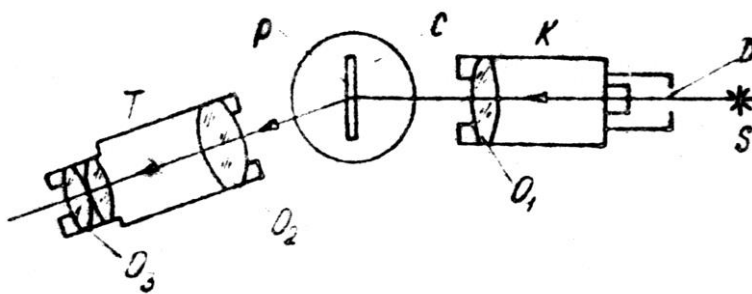


Рис. 3

пучок от источника света S попадает на узкую раздвижную щель D , расположенную в передней фокальной плоскости объектива O_1 коллиматора K ; затем, после объектива O_1 , параллельным пучком падает на дифракционную решетку P , расположенную на предметном столике C . Продифрагировавший на решетке параллельный пучок света направляется на объектив O_2 зрительной трубы T , в фокальной плоскости которого образуется изображение дифракционной картины. Наблюдение ведется через окуляр O_3 зрительной трубы. Линза окуляра имеет диоптрийную наводку на резкость. В качестве источника света используются натриевая и ртутная лампы, которые включаются в сеть 220 В через специальные блоки питания.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Произвести подготовку экспериментальной установки к измерениям. Для этого необходимо:

- 1.1. Убедиться, что все тумблеры выключены.
- 1.2. Включить штепсельную вилку питающего шнура гониометра.
- 1.3. Включить освещение шкалы лимба и сетки зрительной трубы гониометра тумблером «Включено».
- 1.4. Вращением накатанного кольца окуляра 4 (рис. 2) добиться четкого изображения визирного перекрестия зрительной трубы в его поле зрения.

2. Приступить к выполнению заданий.

2.1. Задание 1. Определение постоянной дифракционной решетки.

2.1.1. Установить натриевую лампу перед входной щелью коллиматора гониометра, включить штепсельную вилку в розетку и установить тумблер блока питания в положение «Включено».

2.1.2. Установив зрительную трубу 3 вдоль оси коллиматора 2, наблюдать через окуляр 4 изображение щели. В поле зрения окуляра должна появиться узкая полоска света.

2.1.3. Закрепив зрительную трубу винтом 7 и вращая винт 8 тонкой наводки, совместить вертикальный штрих визирного перекрестия с изображением щели. С помощью отсчетного устройства (отсчет ведется через лупу 5 согласно инструкции, прилагаемой к работе) заметить положение зрительной трубы φ_0 .

2.1.4. В центре предметного столика 9 установить дифракционную решетку и наблюдать через окуляр 4 дифракционную картину.

2.1.5. Освободив стопорный винт 7 и вращая зрительную трубу 3, совместить вертикальный штрих перекрестия с левым максимумом первого порядка ($m=l$) и произвести отсчёт положения трубы. Результаты измерений $\varphi_{1лев}$ занести в табл. 1.

2.1.6. Совместить перекрестие трубы с правым максимумом первого порядка ($m=+l$), сделать отсчёт $\varphi_{1прав}$ положения зрительной трубы и занести результат измерений в табл. 1.

Таблица 1

Порядок спектра	$\varphi_{1лев}$	$\varphi_{1прав}$	φ_m	d , мкм	Δd

2.1.7. Вычислить угол дифракции φ_1 по формуле

$$\varphi_1 = \frac{\varphi_{1\text{лев}} - \varphi_{1\text{прав}}}{2}. \quad (11)$$

2 1.8. Аналогичные измерения произвести для максимумов второго и третьего порядков.

2.1.9. Выключить натриевую лампу.

2.1.10. Для каждого максимума определить постоянную d дифракционной решетки по формуле (7) и оценить систематическую погрешность измерений.

2.2. Задание 2. Определение длин волн спектральных линий паров ртути.

2.2.1. Установить ртутную лампу перед входной щелью коллиматора гониометра, а тумблер блока питания в положение «Включено».

2.2.2. Совместить вертикальный штрих перекрестия сначала с левым, затем с правым максимумами первого порядка для фиолетовой линии. Результаты измерений положения трубы $\varphi_{1\text{лев}}$ и $\varphi_{1\text{прав}}$ занести в табл. 2.

2.2.3. Вычислить φ_1 для фиолетовой линии спектра в первом порядке, используя формулу (11).

2.2.4. Провести аналогичные измерения для фиолетовых линий в спектрах второго и третьего порядков. Вычислить соответствующие углы дифракции φ_2 и φ_3 .

2.2.5. Произвести подобные измерения и вычисления для других линий спектра.

2.2.6. Выключить тумблеры гониометра и блока питания ртутной лампы. Отключить приборы от сети. Отсоединить шнуры от питающих розеток.

2.2.7. Вычислить для каждой из линий в каждом порядке спектра длину волны по формуле (8), найти среднее значение $\langle \lambda \rangle$ в нм.

2.2.8. Оценить систематическую погрешность измерений.

2.3. Задание 3. Определение угловой дисперсии дифракционной решётки.

2.3.1. Определить экспериментально угловую дисперсию по формуле (9). Необходимые для расчёта величины взять из табл. 2.

Таблица 2

Порядок спектра m	Цвет линии	$\varphi_{m\text{лев}}$	$\varphi_{m\text{прав}}$	φ_m	$\lambda_m, \text{нм}$	$\Delta \lambda_m, \text{нм}$

Угловое расстояние $\Delta\varphi = |\varphi_{ж1} - \varphi_3|$ между близкими линиями разного цвета перевести в радианы (1 радиан = $57^\circ 18'$), период решетки d измеряется в нанометрах. В качестве углов $\varphi_{ж1}$ и φ_3 взять соответствующие значения по левому и правому спектрам первого порядка.

2.3.2. Определить угловую дисперсию по теоретической формуле (10). В качестве угла в этом случае следует использовать среднее угловое расстояние обеих линий в градусах: $\varphi_1 = \frac{\varphi_{ж1} - \varphi_3}{2}$.

2.3.3. Сопоставить результаты, полученные экспериментально и теоретически.

2.3.4. Оценить систематическую погрешность измерений.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что называется дифракцией света?
2. Объясните образование максимумов и минимумов дифракционной картины.
3. Что называется дифракционной решеткой?
4. Что называется дисперсией решётки? От чего она зависит?
5. Что называется разрешающей способностью решётки? Чем она определяется?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев И.В. Курс физики. Т. 2. М.: Наука, 1988. С. 398-406.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 1985. С. 271- 272.
3. Ландсберг П.С. Оптика. М.: Наука, 1976. С. 198-219.
4. Соколов А.П. Дифракция света: метод. ук. к самост. раб./ Рязан. гос. радиотехн. ун-т; Рязань, 2010. С.1-16.