



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

Учебно-методическое пособие

Лабораторная работа О-27
«ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА РТУТИ
С ПОМОЩЬЮ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЁТКИ»
по дисциплине
«Физика»

Авторы
Шкиль Т. В.,
Беликова Т. С.,
Мардасова Е. А

Ростов-на-Дону, 2019

Аннотация

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов очной, заочной формы обучения для всех направлений, в учебном плане которых есть дисциплина «Физика».

Авторы

| | | | |
|--|--------|---------|----------|
| к.ф.-м.н., Шкиль Т.В., | доцент | кафедры | «Физика» |
| к.ф.-м.н., Беликова Т.С., Мардасова Е.А. | доцент | кафедры | «Физика» |

Оглавление

| | |
|--|----|
| Краткая теория | 4 |
| Описание экспериментальной установки и методики выполнения работы..... | 6 |
| Порядок выполнения работы..... | 9 |
| Контрольные вопросы..... | 11 |
| Литература..... | 11 |

Цель работы: определение длин волн спектральных линий ртути с помощью дифракционной решётки.

Оборудование: спектральная трубка с ртутью, источник высокого напряжения, отражательная дифракционная решётка, миллиметровая шкала, измерительная лента, держатели для спектральных трубок и дифракционной решётки.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Дифракцией света называется явление отклонения света от прямолинейного распространения, когда свет, огибая края отверстия или препятствия, заходит в область геометрической тени. Дифракция наблюдается, если размеры отверстия или препятствия соизмеримы с длиной волны λ .

Проникновение световых волн в область геометрической тени может быть объяснено с помощью принципа Гюйгенса-Френеля [1].

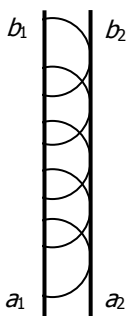


Рис. 1

Принцип Гюйгенса-Френеля: каждая точка фронта волны является источником когерентных вторичных сферических волн, интерференция которых определяет результирующую волну в следующий момент времени (рис. 1). Амплитуда вторичной сферической волны пропорциональна величине площади волновой поверхности, излучающей эту волну. Максимум излучения вторичных волн происходит в направлении

нормали к волновой поверхности.

На рис. 1 линия a_1b_1 соответствует положению фронта волны в момент времени t_1 , a_2b_2 – положение фронта в момент $t_1 + \Delta t$.

Дифракционной решеткой называется совокупность большого числа одинаковых, отстоящих друг от друга на одно и то же расстояние щелей. Общая ширина щели a и непрозрачного промежутка b называется *постоянной (или периодом) решетки* d (рис. 2):

$$d = a + b.$$

Прозрачные дифракционные решетки обычно изготавливаются из стеклянных или кварцевых пластин, на поверхность которых наносится алмазным резцом ряд параллельных штрихов.

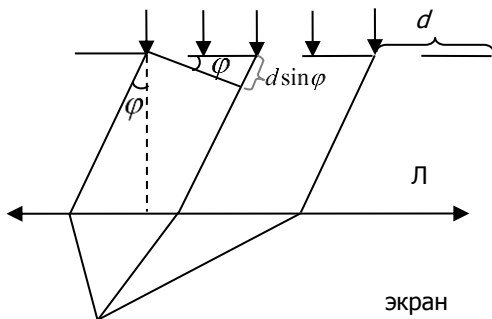


Рис. 2

Если на решетку нормально к её поверхности падает плоская монохроматическая волна с длиной λ , то в центральную точку экрана линзой Л соберутся лучи, для которых угол дифракции $\varphi_0 = 0$, амплитуды их волн сложатся арифметически, и интенсивность центрального

максимума будет наибольшей.

Лучи, идущие под углом φ к первоначальному направлению от соответствующих мест каждой из двух соседних щелей, обладают разностью хода $d \sin \varphi$ (рис. 2). Волны усиливают друг друга, если эта разность хода равна целому числу длин волн.

Условие наблюдения главных максимумов:

$$d \sin \varphi = \pm m \lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots - \text{порядок максимума.}$$

При $m = 0$ имеем центральный максимум, при $m = \pm 1$ – имеем два максимума 1-го порядка, симметрично расположенные относительно центрального, и т. д. (рис. 3).

Очевидно, что в тех направлениях, в которых ни одна из щелей не распространяет свет, он не будет распространяться и при N щелях, т. е. главные минимумы интенсивности определяются условием:

$$a \sin \varphi = \pm 2m \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \text{или} \quad a \sin \varphi = \pm m \lambda \quad (m = 1, 2, 3, \dots).$$

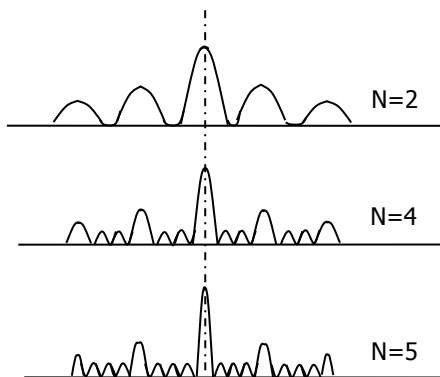


Рис. 3

Кроме того, вследствие взаимной интерференции световых лучей, посылаемых щелями, в некоторых направлениях они будут гасить друг друга, т. е. возникнут дополнительные минимумы.

Условие дополнительных минимумов:

$$d \sin \varphi = \pm m' \cdot \frac{\lambda}{N} \quad (m' \neq 0, N, 2N, \dots),$$

где m' может принимать все целочисленные значения, кроме $0, N, 2N, \dots$, т. е. кроме тех, при которых данное условие переходит в условие главных максимумов.

В случае N щелей между соседними главными максимумами располагается $N-1$ дополнительных минимумов, разделенных вторичными максимумами, создающими весьма слабый фон. Чем больше щелей N , тем большее количество световой энергии пройдет через решетку, тем больше минимумов образуется между соседними главными максимумами, тем более интенсивными и более острыми будут максимумы (рис. 3).

При пропускании через решетку белого света все максимумы, кроме центрального ($m=0$), разложатся в спектр, фиолетовая область которого будет обращена к центру дифракционной картины. Это позволяет использовать дифракционную решетку как спектральный прибор для исследования спектрального состава света (определения длин волн и интенсивностей всех монохроматических компонентов).

Дифракционные решётки бывают прозрачные и отражательные. Теория отражательной дифракционной решётки ничем не отличается от теории прозрачной решётки [2,3].

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Экспериментальная установка представлена на рис.4, а принципиальная схема установки (вид сверху) и ход световых лучей при дифракции на отражательной дифракционной решётке представлены на рис. 5.

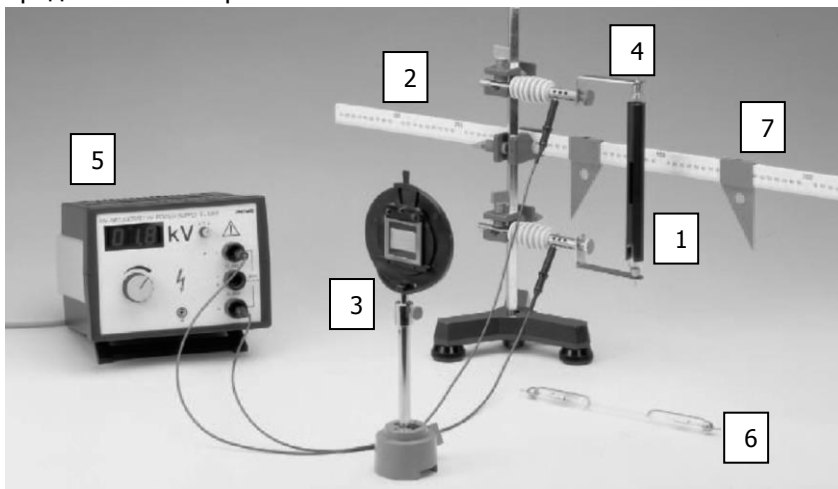


Рис. 4

1 – спектральная трубка в защитном кожухе; 2 – миллиметровая шкала; 3 – дифракционная решётка; 4 – держатели для трубок; 5 – источник высокого напряжения; 6 – спектральная трубка; 7 – пара курсоров для фиксирования положения спектральных линий.

В качестве источника излучения 1 используется спектральная трубка с ртутью. Трубка 1 крепится на установке вертикально с помощью двух держателей 4, по которым к ней подводится высокое напряжение ($2 \div 4 \text{ кВ}$) от источника 5. Шкала 2 располагается горизонтально непосредственно за трубкой и закрепляется на одном с ней штативе. Дифракционная решётка 3 устанавливается параллельно шкале на одной с ней высоте так, чтобы излучение трубки попадало на решётку. Расстояние L между решёткой и трубкой должно быть примерно 40 см. Эксперимент производится в затемнённой комнате.

Чтобы наблюдать дифракционный спектр, необходимо смотреть на шкалу через дифракционную решётку.

На рис. 5 x_1 и x_2 – положение симметричных главных максимумов первого порядка для одной из спектральных линий. Как видно из рисунка 5, расстояние между максимумами $2\ell = x_2 - x_1$, φ – угол дифракции.

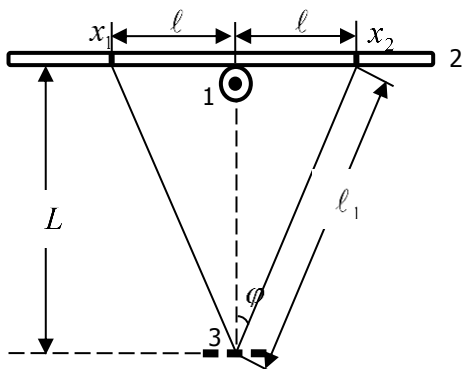


Рис. 5

Условие наблюдения главных максимумов при дифракции на дифракционной решётке:

$$d \sin \varphi = m \lambda,$$

где d – период решётки, φ – угол дифракции, m – порядок максимума.

Как видно из рисунка 5,

$$\sin \varphi = \frac{\ell}{\ell_1},$$

где $\ell_1 = \sqrt{\ell^2 + L^2}$, $\ell = \frac{x_2 - x_1}{2}$.

Следовательно, $\sin \varphi = \frac{\ell}{\sqrt{\ell^2 + L^2}}$.

Таким образом, для данной установки

$$d \cdot \frac{\ell}{\sqrt{\ell^2 + L^2}} = m \lambda. \quad (1)$$

Как следует из формулы (1), при $m = 1$

$$\lambda = \frac{d \cdot \ell}{\sqrt{\ell^2 + L^2}}, \quad (2)$$

где

$$\ell = \frac{x_2 - x_1}{2}. \quad (3)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Задание 1. *Определение длин волн спектральных линий в спектре ртути.*

1. Установить в держателе спектральную трубку с ртутью, включить источник высокого напряжения и, повышая напряжение, добиться стабильного свечения трубки.
2. Установить дифракционную решётку параллельно миллиметровой шкале на одной с ней высоте так, чтобы излучение трубки попадало на решётку. Расстояние L между решёткой и трубкой должно быть примерно 40 см.
3. Наблюдая, глядя через дифракционную решётку, дифракционную картину на миллиметровой шкале, найти положение двух симметрично расположенных максимумов первого порядка. Каждый максимум содержит три спектральные линии: жёлтую, зелёную, фиолетовую.
4. Определить по шкале положения x_1 и x_2 для каждой спектральной линии; данные занести в табл. 1.

Таблица 1

| $m = 1, \quad d = 1,67 \cdot 10^{-6} \text{ м}, \quad L = \quad \text{м}$ | | | | | | | |
|---|------------|------------------|------------------|-------------------|----------------------|-----------------|----------------------------|
| № | Цвет линии | $x_1 (\text{м})$ | $x_2 (\text{м})$ | $\ell (\text{м})$ | $\lambda (\text{м})$ | $\delta\lambda$ | $\Delta\lambda (\text{м})$ |
| 1 | жёлтая | | | | | | |
| 2 | зелёная | | | | | | |
| 3 | фиолетовая | | | | | | |

5. С помощью измерительной ленты определить расстояние L между решёткой и шкалой; данные занести в табл. 1.
6. Выключить источник высокого напряжения.
7. Рассчитать по формуле (2) длины волн спектра ртути.
8. В соответствии с формулой (2) относительная погрешность измерения длины волны определяется выражением

$$\delta\lambda = \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta \ell}{\ell} + \frac{\ell \cdot \Delta \ell + L \cdot \Delta L}{\ell^2 + L^2}.$$

Поскольку в данной работе период решётки d – известная постоянная величина, членом $\Delta d/d$ можно пренебречь, т.е.

$$\delta\lambda = \frac{\Delta\ell}{\ell} + \frac{\ell \cdot \Delta\ell + L \cdot \Delta L}{\ell^2 + L^2}. \quad (4)$$

В формуле (4) ΔL и $\Delta\ell$ – инструментальные погрешности измерительной ленты и миллиметровой шкалы. Для измерительной ленты $\Delta L = 0,5 \text{ мм}$ (половина цены наименьшего деления). Для миллиметровой шкалы, в соответствии с формулой (3):

$$\Delta\ell = \Delta x_1 + \Delta x_2 = 0,5 \text{ мм} + 0,5 \text{ мм} = 1 \text{ мм}.$$

Так как $\delta\lambda = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$, то

$$\Delta\lambda = \lambda \cdot \delta\lambda. \quad (5)$$

Рассчитать по формулам (4,5) относительные и абсолютные погрешности измерений для всех длин волн.

9. Записать окончательный результат для каждой линии в виде:

$$\lambda_i = \lambda \pm \Delta\lambda.$$

Задание 2. Рассчитать номер последнего максимума для каждой линии в спектре ртути, который можно наблюдать с помощью данной решётки.

Так как максимум наибольшего порядка в дифракционном спектре m_{\max} будет наблюдаться при максимальном значении $\sin\varphi$, а предельное значение $\sin\varphi = 1$, то из условия наблюдения главных максимумов следует:

$$d \approx m_{\max} \cdot \lambda,$$

$$m_{\max} \approx \frac{d}{\lambda}.$$

В качестве m_{\max} берётся целая часть полученного числа.

Задание 3. *Определить общее число максимумов k , которые можно наблюдать для каждой линии в спектре ртути с помощью данной решётки.*

Как видно из рис. 3, полное число максимумов k складывается из нулевого максимума и всех остальных максимумов, расположенных симметрично относительно нулевого ($2m_{\max}$), т. е. определяется формулой:

$$k = 2m_{\max} + 1.$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что представляет собой явление дифракции света?
2. Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля.
3. Что представляет собой дифракционная решетка?
4. Что такое период дифракционной решетки? Как его определить, зная длину решетки ℓ и число щелей N ?
5. Запишите условие наблюдения главных максимумов при дифракции на дифракционной решетке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т.И.Трофимова, А.В. Фролов, «Курс физики», т.2, изд. КноРус, 976 с., 2010г.
2. И.В.Савельев, «Курс общей физики», т.2, изд. КноРус, 1856 с., 2009г.
3. Г.С.Лансберг «Общий курс физики», т.3, изд. Наука, 928 с., 1976г.