

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ)
ФИЗТЕХ-ШКОЛА ЭЛЕКТРОНИКИ, ФОТОНИКИ
И МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

Лабораторная работа № 4.4.2

Изучение фазовой решетки (эшелет)

выполнил студент 2 курса
группы Б04-006
Белостоцкий Артемий

Долгопрудный, 2022 г.

Цель работы

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

В работе используются

- гониометр
- ртутная лампа
- эшелет
- призмный уголкоый отражатель
- щель с микрометрическим винтом

Теоретическая часть

Дифракционная решётка представляет собой стеклянную или металлическую пластину, на которую через строго одинаковые интервалы нанесены параллельные штрихи. Основные параметры дифракционной решётки — период d (постоянная решётки), число штрихов N . Условие дифракции Фраунгофера — решётка освещается плоской волной, а плоскость наблюдения практически находится в бесконечности.

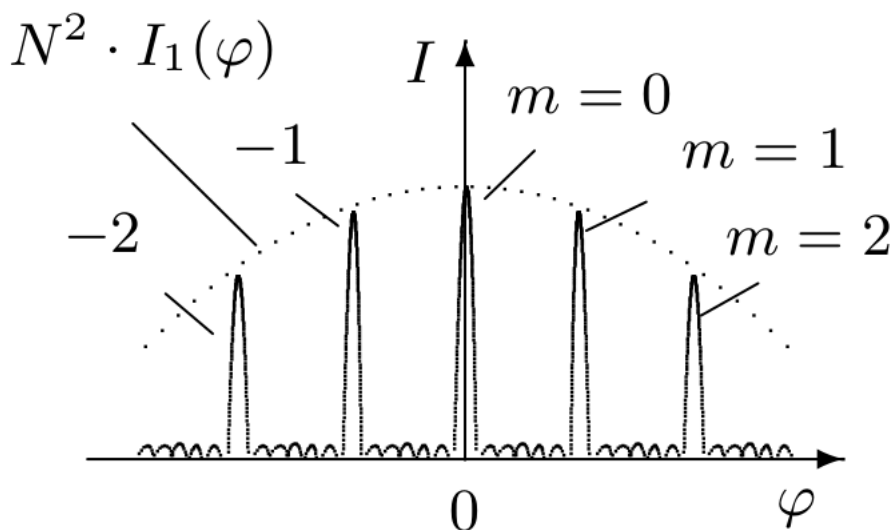


Рис. 1: Распределение интенсивности света при дифракции Фраунгофера на решётке

Согласно принципу Гюйгенса-Френеля распределение интенсивности в дифракционной картине определяется суперпозицией волн; амплитуды всех интерферирующих волн при φ практически одинаковы; фазы составляют арифметическую прогрессию:

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

где $m \in Z$ — порядок спектра.

Интенсивность I света, распространяющегося под углом φ к нормали:

$$I = I_1(\varphi) \frac{\sin^2(N(dk \sin \varphi)/2)}{\sin^2((dk \sin \varphi)2)},$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ — волновое число.

Дисперсия D характеризует угловое расстояние между близкими спектральными линиями:

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{m}{d \cos \varphi} = \frac{m}{\sqrt{d^2 - m^2 \lambda^2}}$$

Согласно критерию разрешения Релея, линии становятся неразличимыми, когда расстояние между ними меньше, чем расстояние от максимума одной линии до её первого минимума:

$$\frac{Nkd}{2}(\sin(\varphi + \Delta\varphi) - \sin \varphi) = \pi,$$

где $\Delta\varphi$ — угловая полуширина главного максимума, $\Delta\varphi = \frac{\lambda}{Nd \cos \varphi}$

Разрешающая способность спектрального прибора R вычисляется по формуле:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = m \cdot N$$

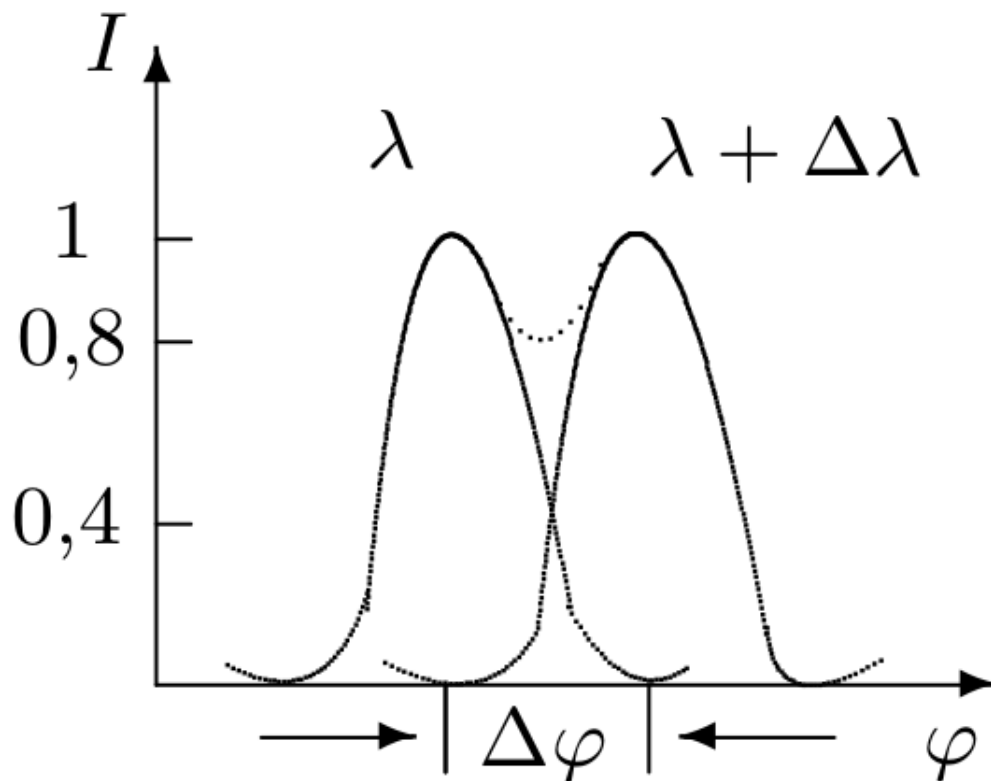


Рис. 2: К определению разрешающей способности дифракционной решётки

Дисперсионная область G — предельная ширина спектрального интервала $d\lambda$, при которой спектры соседних порядков перекрываются только своими границами:

$$G = d\lambda = \frac{\lambda}{m}.$$

Ход работы

Исследование спектра ртутной лампы

Для угла $\psi = 45^\circ$ измерим угловые координаты спектральных линий ртути в рабочем порядке. Отметим главную координату каждой из описанных линий: Для оценки разреша-

Ахроматический	$93^\circ 10' 30''$	
Фиолетовый	$75^\circ 36' 45''$	4047 \AA
Синий	$74^\circ 23' 45''$	4358 \AA
Голубой	$72^\circ 15' 35''$	4916 \AA
Зелёный	$70^\circ 12' 35''$	5461 \AA
Желтый 2	$69^\circ 3' 25''$	5770 \AA
Жёлтый 1	$68^\circ 58' 35''$	5791 \AA

ющей способности измерим гирину одной из линий жёлтого дублета и рассчитаем аппаратную полуширину линии $\Delta\lambda$:

$$\text{Ширина линии: } 68^\circ 2' 10'' - 68^\circ 2' 0'' = 10''$$

$$\Delta\lambda = \frac{1}{3} \text{ \AA}; \quad R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{5770}{20} \cdot 60 = 17810$$

Для угла $\psi = 30^\circ$ измерим координаты каждой из жёлтых линий во всех наблюдаемых порядках: Повторим измерения для $\psi = 45^\circ, 60^\circ$:

$I_{\text{пол}}$	λ_{K_1}	$89^\circ 3' 55''$
	λ_{K_2}	$88^\circ 55' 45''$
$I_{\text{отр}}$	λ_{K_1}	$39^\circ 50' 55''$
	λ_{K_2}	$39^\circ 55' 25''$

$I_{\text{отр}}$	λ_{K_1}	$68^\circ 58' 35''$
	λ_{K_2}	$69^\circ 3' 35''$
$II_{\text{отр}}$	λ_{K_1}	$48^\circ 32' 15''$
	λ_{K_2}	$48^\circ 40' 50''$

Таблица 1: $\psi = 45^\circ$

Зависимость разрешающей силы от ширины пучка:

Натроим зрительную трубу на желтый дублет в рабочем порядке; определим начало отсчёта — момент открытия щели. Крест появляется при $59^\circ 57' 20''$; ширина щели — 3 деления.

Откроем щель пошире; уменьшая ширину щели, добьемся предельного разрешения желтого дублета, оценим число штрихов:

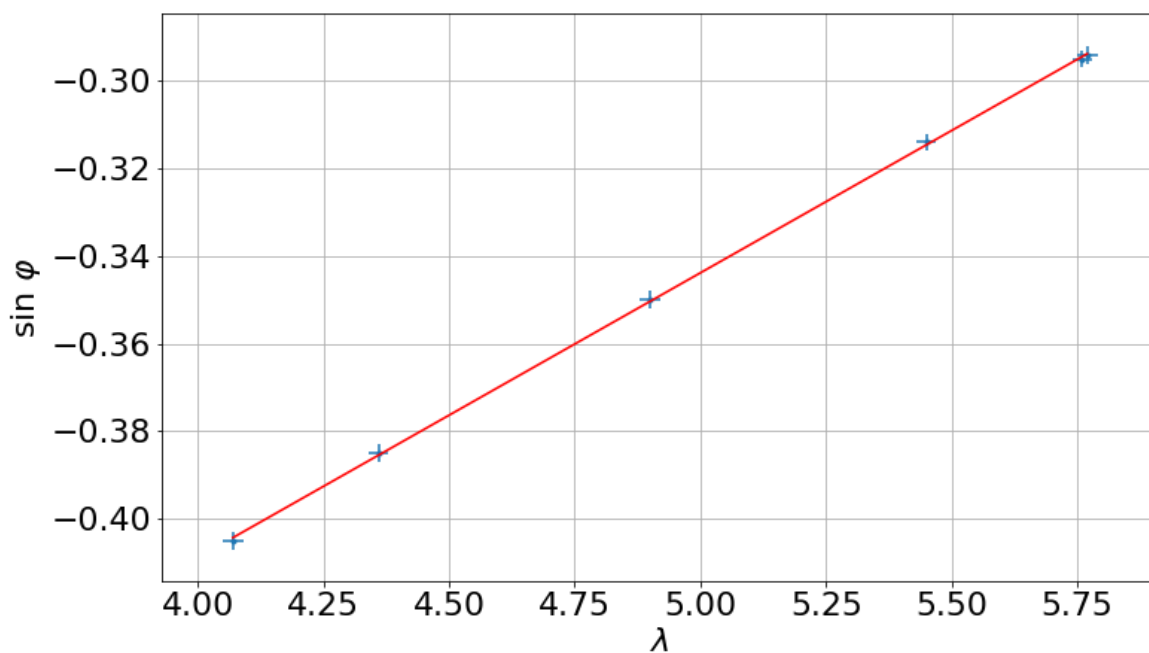
$$n \approx 1600 \text{ штр/мм}; \quad \Delta\lambda = 2 \text{ \AA}.$$

Построим график зависимости $\sin \varphi_m = f(\lambda)$ и по углу наклона определим период эшелета: Угол наклона графика $k = (6.5 \pm 0.1) \cdot 10^6$

Число штрихов $n \approx 650 \pm 10 \text{ штр/мм}$

Период эшелета: $d = \frac{1}{0.65} = 1.53 \pm 0.04 \text{ мм}.$

$I_{\text{отр}}$	λ_{K_1}	$92^{\circ}15'5''$
	λ_{K_2}	$92^{\circ}20'15''$
$II_{\text{отр}}$	λ_{K_1}	$70^{\circ}51'45''$
	λ_{K_2}	$71^{\circ}0'35''$
$III_{\text{отр}}$	λ_{K_1}	$50^{\circ}51'5''$
	λ_{K_2}	$51^{\circ}4'45''$

Таблица 2: $\psi = 60^{\circ}$ Зависимость $\sin \varphi_m$ от λ

Угловая дисперсия в рабочем порядке для жёлтого дублета в угловых секундах на \dot{A} :

$$D = 14.3 \frac{\text{угл} \cdot \text{сек}}{\dot{A}}$$

Экспериментальная разрешающая способность:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = 2890$$

Вывод

В данной лабораторной работе мы исследовали спектральные характеристики дифракционной решётки, научились работать с гониометром, экспериментально определили период решётки и разрешающую способность.