

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Отчёт по лабораторной работы 4.4.2
ИЗУЧЕНИЕ ФАЗОВОЙ РЕШЕТКИ (ЭШЕЛЕТ)

Выполнил студент:

Сериков Алексей Романович

группа: Б03-103

Москва, 2023 г.

Аннотация

Цель работы:

Знакомство с работой гониометра и определение спектральных характеристик фазовой решётки (эшелета).

В работе используются:

Ртутная лампа, гониометр, амплитудная и фазовая дифракционные решётки, плоскопараллельная стеклянная пластинка, призмный угловой отражатель, щель с микрометрическим винтом.

Теория:

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.

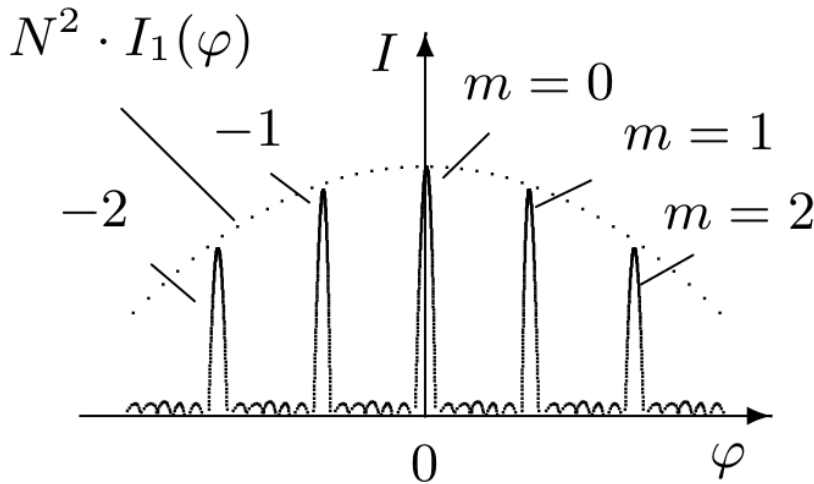


Рис. 1: Распределение интенсивности света при дифракции Фраунгофера на решётке

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

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

где $m \in \mathbb{Z}$ — порядок спектра.

Интенсивность I света, распространяющегося под углом φ к нормали:

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

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

Дисперсия D характеризует угловое расстояние между близкими спектральными линиями:

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{m}{d \cos \varphi} = \frac{m}{\sqrt{d^2 - m^2 \lambda^2}} \quad (3)$$

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

$$\frac{Nkd}{2}(\sin(\varphi + \Delta\varphi) - \sin \varphi) = \pi, \quad (4)$$

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

Разрешающая способность спектрального прибора R вычисляется по формуле:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = m \cdot N \quad (5)$$

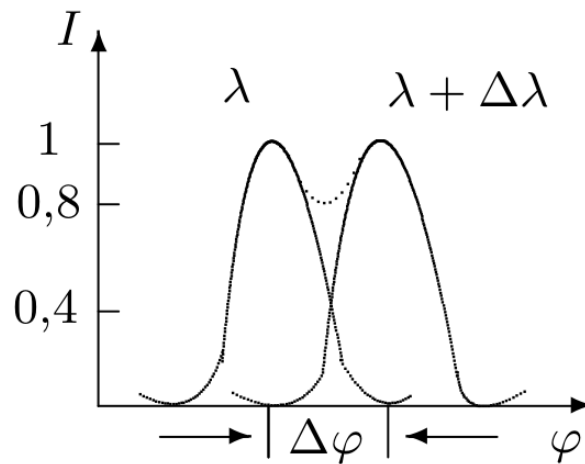


Рис. 2: К определению разрешающей способности дифракционной решётки

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

$$G = d\lambda = \frac{\lambda}{m}. \quad (6)$$

Экспериментальная установка:

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. Опыт выполняется с помощью измерительного микроскопа. На столик микроскопа помещается держатель с полированной пластинкой из чёрного стекла. На пластинке лежит исследуемая линза.

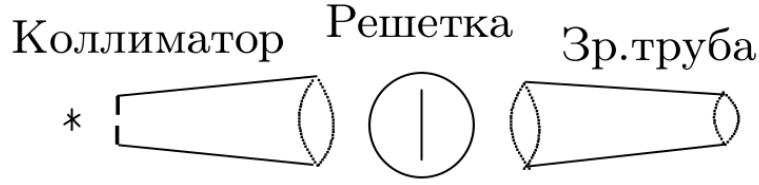


Рис. 3: Схема экспериментальной установки (вид сверху)

при работе с дифракционной решёткой основной задачей является точное измерение углов, при которых наблюдается главные максимум для различных длин волн. Эшелет — отражательная решётка с треугольным профилем штриха, в которой угол Ω между рабочей гранью и плоскостью решётки не превышает 20° . Рабочий порядок $m \leq 10$, число штрихов $n = 1200$ /.

Угол, под которым наблюдается максимум интенсивности функции $I_1(\varphi)$, соответствует зеркальному отражению падающего луча от грани и называется углом блеска φ .

$$\varphi = \psi + 2\Omega, \quad (7)$$

где ψ — угол, под которым падает плоская монохроматическая волна λ .

Разность хода Δ кратна λ :

$$\Delta = d(\sin \varphi_m - \sin \varphi) = m\lambda. \quad (8)$$

Изменяя угол падения, можно добиться того, чтобы угол блеска совпал с углом дифракции спектра одного из порядков; в этом порядке спектр будет наиболее ярким. Этот порядок принято называть рабочим.

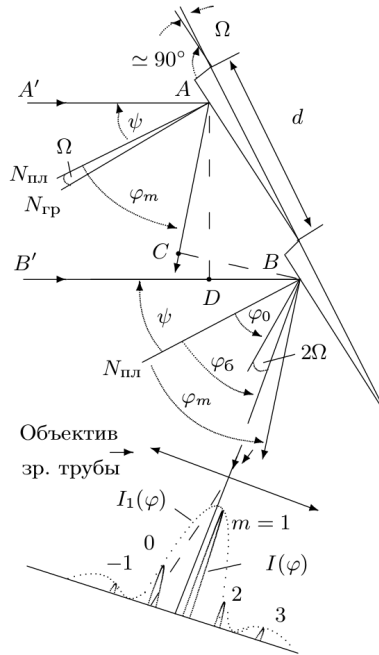


Рис. 4: Распределение интенсивности в спектре эшелета

Чтобы устранить произвол в выборе угла падения, принято считать, что решётка должна работать в автоколлиматорном режиме. В этом случае условие $d(\sin \varphi_m + \sin \varphi) = m\lambda$ принимает вид:

$$2d \sin \Omega = m_p \lambda_p. \quad (9)$$

Для оценки $\Delta\varphi_m$ воспользуемся методом векторных диаграмм:

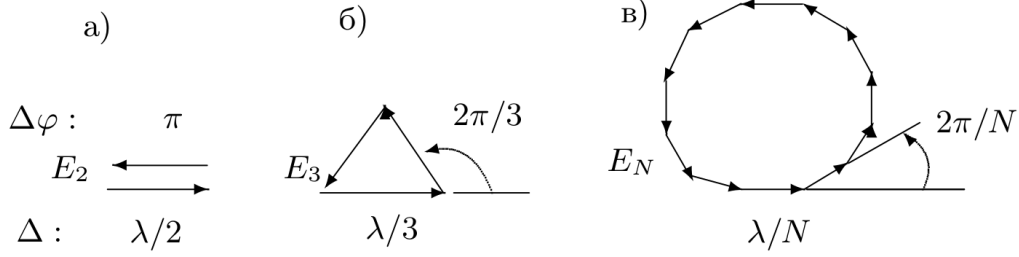


Рис. 5: Векторные диаграммы

Направление на минимум, ближайший к максимуму любого порядка:

$$d(\sin(\varphi_m + \Delta\varphi) + \sin \psi) = m\lambda + \frac{\lambda}{N} \quad (10)$$

Для малой полуширины максимума получим:

$$\Delta\varphi = \frac{\lambda}{Nd \cos \phi_m} \quad (11)$$

Зависимость дисперсии D от параметров эшелета:

$$D = \frac{m}{d \cos \varphi_m} = \frac{m}{\sqrt{d^2 - (m\lambda - d \sin \psi)^2}} \quad (12)$$

Ход работы и обработка результатов.

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

Ахроматический	45°01'00"	
Фиолетовый	287°00'09"	4047 Å
Синий	288°20'09"	4358 Å
Голубой	290°20'09"	4916 Å
Зелёный	292°20'09"	5461 Å
Желтый 2	293°30'09"	5770 Å
Жёлтый 1	293°40'09"	5791 Å
Красный 2	294°40'09"	6234 Å
Красный 1	294°50'09"	6907 Å

Для оценки разрешающей способности измерим ширину одной из линий жёлтого дублета и рассчитаем аппаратную полуширину линии $\Delta\lambda$:

$$\Delta\lambda = 21; \quad R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{5770}{21} = 274.6 \quad (13)$$

Для угла $\psi = 30^\circ$ измерим координаты каждой из жёлтых линий во всех наблюдаемых порядках:

<i>I</i>	1	272°00'07"
	2	272°10'07"
<i>II</i>	1	321°10'09"
	2	321°10'09"

Повторим измерения для $\psi = 45^\circ, 60^\circ$:

<i>I</i>	1	314°00'09"
	2	313°30'09"
<i>II</i>	1	293°40'09"
	2	293°30'09"

Таблица 1: $\psi = 45^\circ$

<i>I</i>	1	268°40'09"
	2	268°30'09"
<i>II</i>	1	289°50'09"
	2	290°00'09"
<i>III</i>	1	309°50'09"
	2	310°00'09"

Таблица 2: $\psi = 60^\circ$

Построим график зависимости $\sin \varphi_m - \sin \psi = f(\lambda)$ и по углу наклона определим период эшелета:

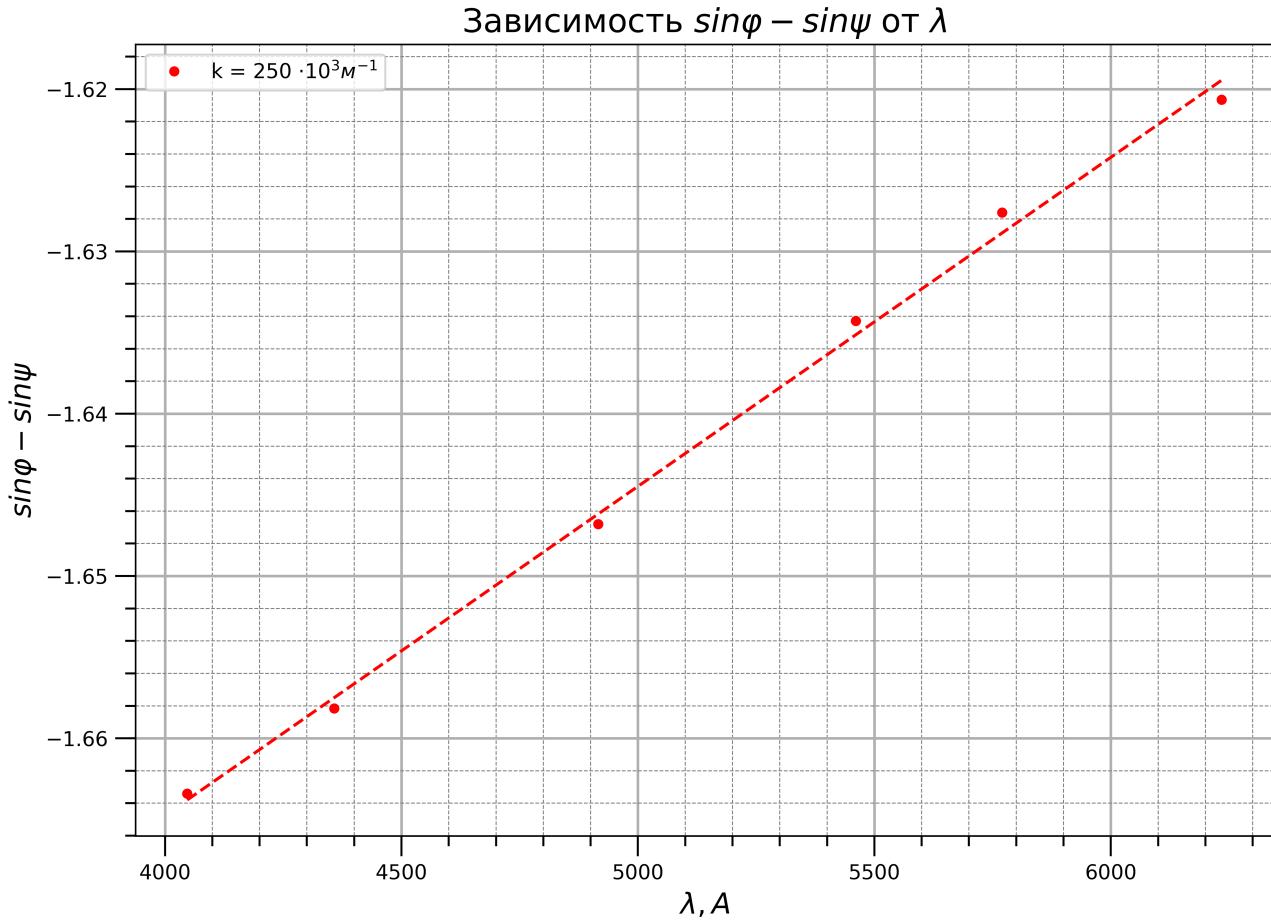


Рис. 6: Зависимость $\sin \varphi_m$ от λ

Угол наклона графика $k = (100 \pm 13) \cdot 10^3$

Период эшелета: $d = \frac{10^{-3}}{100} = (1 \pm 0.2) \cdot 10^{-2} \text{ мм}$.

Угол скоса по формуле (15) и $m_p = 1$, $\lambda = 500 \text{ нм}$, тогда

$$\sin \Omega = \frac{m_p \lambda}{2d} = 0.025 \pm 0.005$$

$$\Omega = 1.64^\circ \pm 0.02^\circ.$$

Угловая дисперсия в рабочем порядке для жёлтого дублета в угловых секундах на Å :

φ	$ \Delta \varphi $	$\Delta \lambda, \text{Å}$	$\left \frac{d\varphi}{d\lambda} \right , (\text{угл. с.}/\text{Å})$
30°	49 ± 1	21	2.5 ± 0.2
45°	21 ± 10	21	1 ± 0.1
60°	21 ± 10	21	1 ± 0.1

Таблица 3: Угловая дисперсия при различных φ

Обсуждение результатов и выводы:

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