

Работа 4.4.2

Изучение фазовой решётки (эшелет)

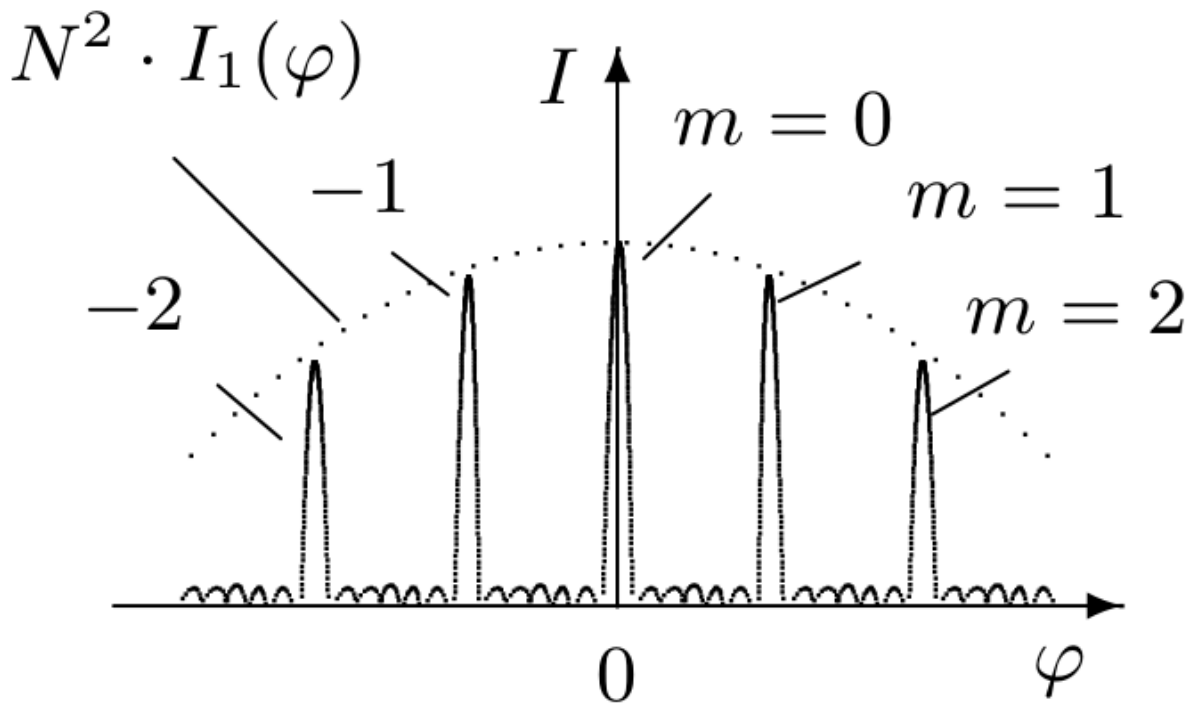
Балдин Виктор

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

В работе используются: Ртутная лампа, гониометр, амплитудная и фазовая дифракционные решетки, плоскопараллельная стеклянная пластинка, 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.



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:

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

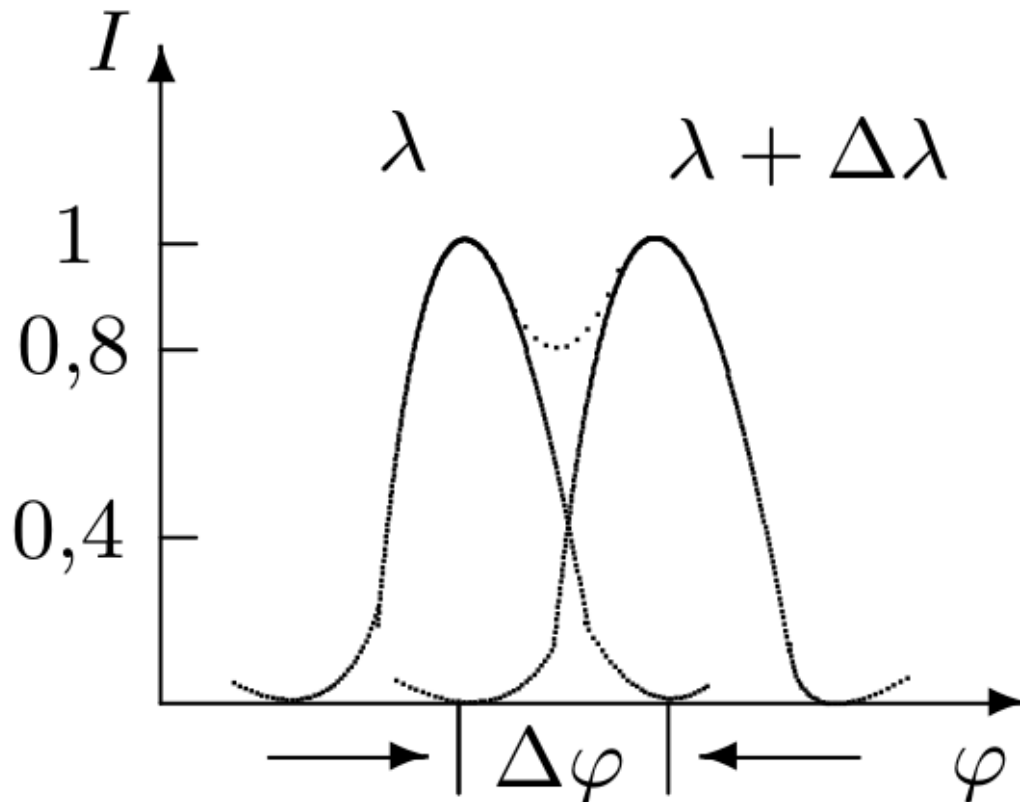
Согласно критерию разрешения Релея, линии становятся неразличимыми, когда расстояние между ними меньше, чем расстояние от максимума одной линии до её первого минимума:

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

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

Разрешающая способность спектрального прибора R вычисляется по формуле:

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



К определению разрешающей способности дифракционной решётки

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

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

Обработка результатов экспериментов

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_6 .

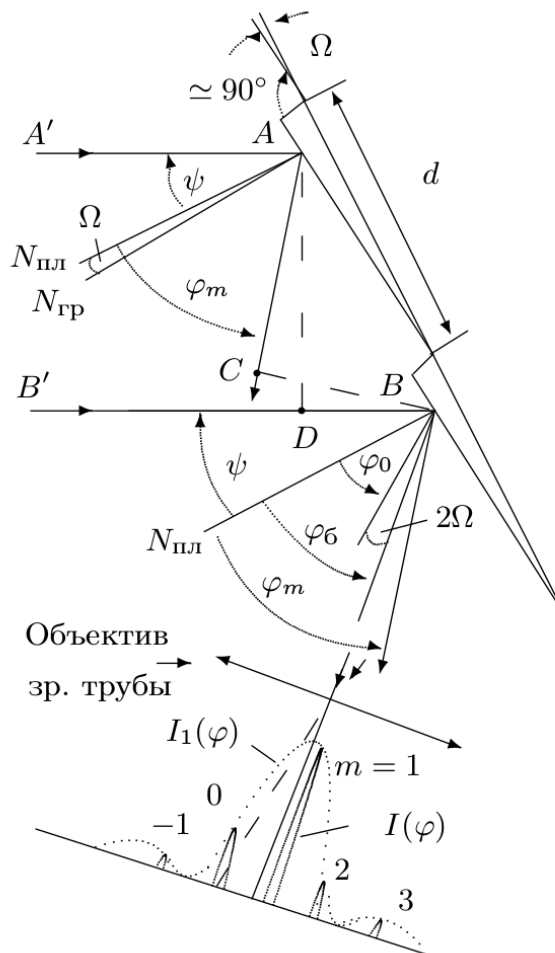
$$\varphi_6 = \psi + 2\Omega,$$

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

Разность хода Δ кратна λ :

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

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.

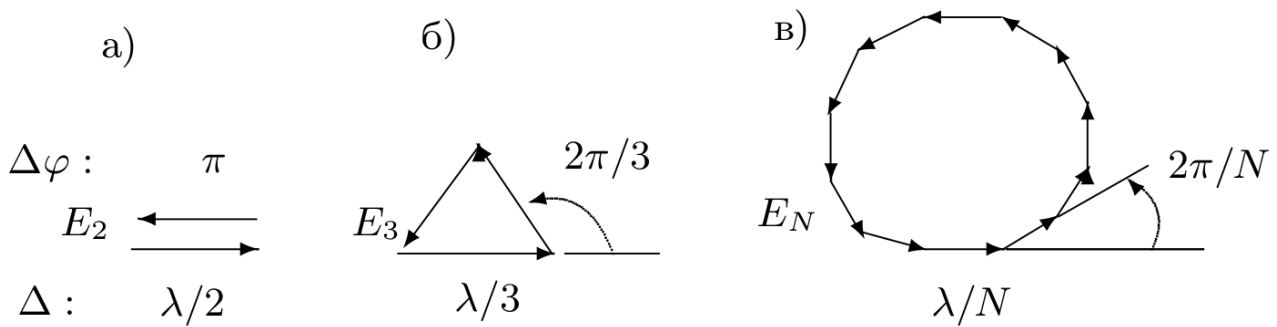


Распределение интенсивности в спектре эшелета

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:

$$2d \sin \Omega = m_p \lambda_p.$$

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



Векторные диаграммы

Направление на минимум, ближайший к максимуму любого порядка:

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

Для малой полуширины максимума получим:

$$\Delta\varphi = \frac{\lambda}{Nd \cos \phi_m}$$

Зависимость дисперсии D от параметров эшелета:

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

Результаты и обработка

0.1 1-17

Произведём юстировку гониометра и установим начало отсчёта, руководствуясь техническим описанием.

Проделаем дополнительную настройку столика с эшелетом; установим $\psi = 30^\circ$; подберём ширину входной щели так, чтобы хорошо разрешались линии жёлтого дублета (ширина изображения щели чуть больше промежутка между линиями двойного штриха); установим высоту щели, удобную для измерений.

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

Полоса	φ	$\lambda, \text{\AA}$
Фиолетовая	$75^\circ 36' 45''$	4047
Синяя	$74^\circ 23' 45''$	4358
Голубая	$72^\circ 15' 35''$	4916
Зелёная	$70^\circ 12' 35''$	5461
Желтая 2	$69^\circ 3' 25''$	5770
Жёлтая 1	$68^\circ 58' 35''$	5791

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

I	1	$89^{\circ}3'55''$
	2	$88^{\circ}55'45''$
I	1	$39^{\circ}50'55''$
	2	$39^{\circ}55'25''$

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

I	1	$68^{\circ}58'35''$
	2	$69^{\circ}3'35''$
II	1	$48^{\circ}32'15''$
	2	$48^{\circ}40'50''$

$\psi = 45^{\circ}$

I	1	$92^{\circ}15'5''$
	2	$92^{\circ}20'15''$
II	1	$70^{\circ}51'45''$
	2	$71^{\circ}0'35''$
III	1	$50^{\circ}51'5''$
	2	$51^{\circ}4'45''$

$\psi = 60^{\circ}$

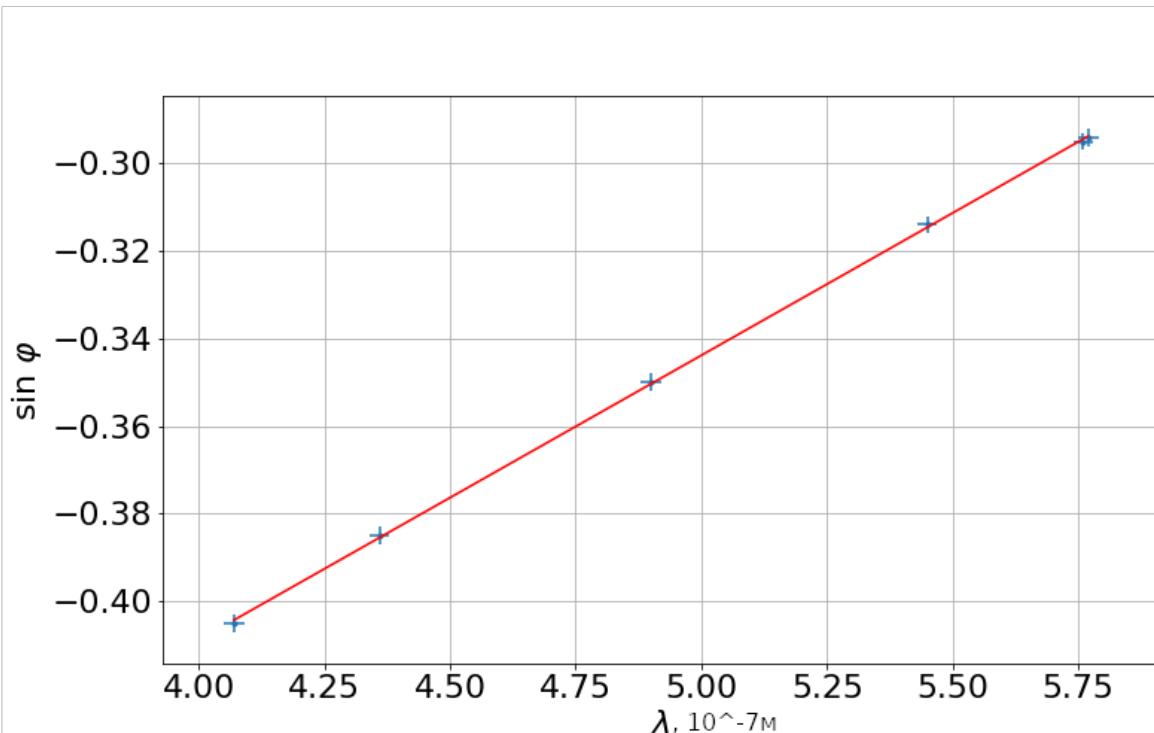
Зависимость разрешающей силы от ширины пучка:

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:



Зависимость $\sin \varphi_m$ от λ

Угол наклона графика $k = (6.5 \pm 0.1) \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$

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

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

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

Мы научились работать с гониометром и измерили на нем количественно значения спектральных полос ртутной лампы с большой точностью.