

Работа 4.4.1.

Изучение амплитудной решетки

Корнеев Е.С.

Изучение амплитудной решетки

Оборудование: гониометр, ртутная лампа, амплитудная решетка, призмный угловой отражатель, щель с микрометрическим винтом.

В данной работе мы отъюстируем гониометр, исследуем спектр ртутной лампы в ± 1 порядках и дисперсию решетки в разных порядках, определим период и спектральные характеристики решетки, а также оценим влияние ширины пучка на разрешающую способность.

Предварительно проведем качественные наблюдения спектра: держа решетку в руке и глядя сквозь неё на узкий источник света, найдём спектр нулевого порядка – ахроматическое (белое) изображение источника.

Поворачивая решетку вокруг вертикальной оси, рассмотрим спектры положительных и отрицательных порядков.

Определим, в каких порядках спектры начинают перекрываться, и оценим дисперсионную область решетки.

I. Установка решетки

Необходимость дополнительной настройки столика с решеткой связана с тем, что плоскость решетки может быть не перпендикулярна её основанию, и тогда при повороте зрительной трубы спектры дальних порядков могут уйти из поля зрения.

Настроим зрительную трубу на наблюдение входной щели коллиматора. Начало отсчёта угла примем равным 180° , вертикальный размер изображения щели занимает менее четверти поля зрения трубы.

Установим решетку на столике так, чтобы её плоскость была параллельна одному из винтов 8 и перпендикулярна оси коллиматора. Вращая только верхнюю часть столика (винт 26 закреплён, чтобы не сбилась настройка нуля), найдём ахроматическое (белое) изображение щели коллиматора – спектр нулевого порядка.

Винтом 8, перпендикулярным плоскости решетки, установим изображение щели на центр поля зрения.

Отводя алидаду в сторону от коллиматора, найдём в трубе спектр самого дальнего порядка, и винтом 8, параллельным плоскости решетки, снова приведем изображение щели к центру.

Вернемся к ахроматическому изображению щели и проверим результат. При необходимости снова подстроим столик винтом, перпендикулярным плоскости решетки. Повторяя процедуру, методом последовательных приближений добьемся того, чтобы при повороте трубы изображение щели и спектр уходили не больше, чем на треть радиуса поля зрения.

II. Исследование спектра ртутной лампы

Подберем ширину входной щели так, чтобы ширина жёлтой спектральной линии была чуть больше (1.5-2 раза) промежутка между линиями двойного штриха окуляра зрительной трубы.

Установим высоту щели, удобную для измерений. Перед началом измерений убедимся в справедливости формулы

$$d \sin \varphi_m \sim \lambda$$

Для этого определим углы дифракции для двух ярких линий спектра в одном порядке и убедимся, что формула действительно выполняется.

Измерим угловые координаты спектральных линий ртути в ± 1 порядках.

При выполнении опыта плоскость решётки остаётся перпендикулярной оси коллиматора, а зрительная труба поворачивается так, чтобы двойной отсчётный штрих окуляра гониометра был совмещён с исследуемой спектральной линией.

Приведем измерения углов. Углы отсчитывались от деления 180° , поэтому реальные значения углов φ определяются по формуле $180 - \varphi$

$$m = 1$$

Цвет	$\varphi_0, ^\circ$	$\varphi, ^\circ$	$\sin \varphi$
Фиолетовый	168'20'00	11'40'00	0.20222
Фиолетовый (яркий)	167'20'00	12'40'00	0.21928
Голубой	165'49'23	14'10'37	0.24492
Зеленый	164'10'00	15'50'00	0.27284
Желтый (1)	163'15'57	16'44'03	0.28793
Желтый (2)	163'11'17	16'48'43	0.28923
Красный (1)	162'15'03	17'45'03	0.30488
Красный (2)	161'51'46	18'08'14	0.31129

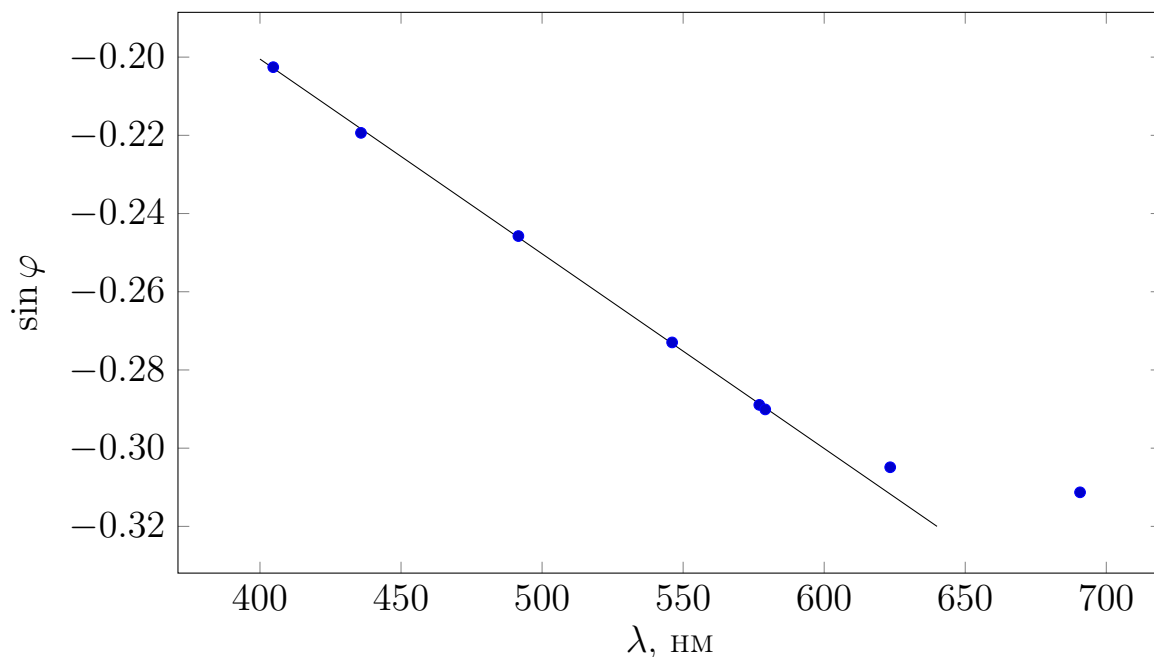
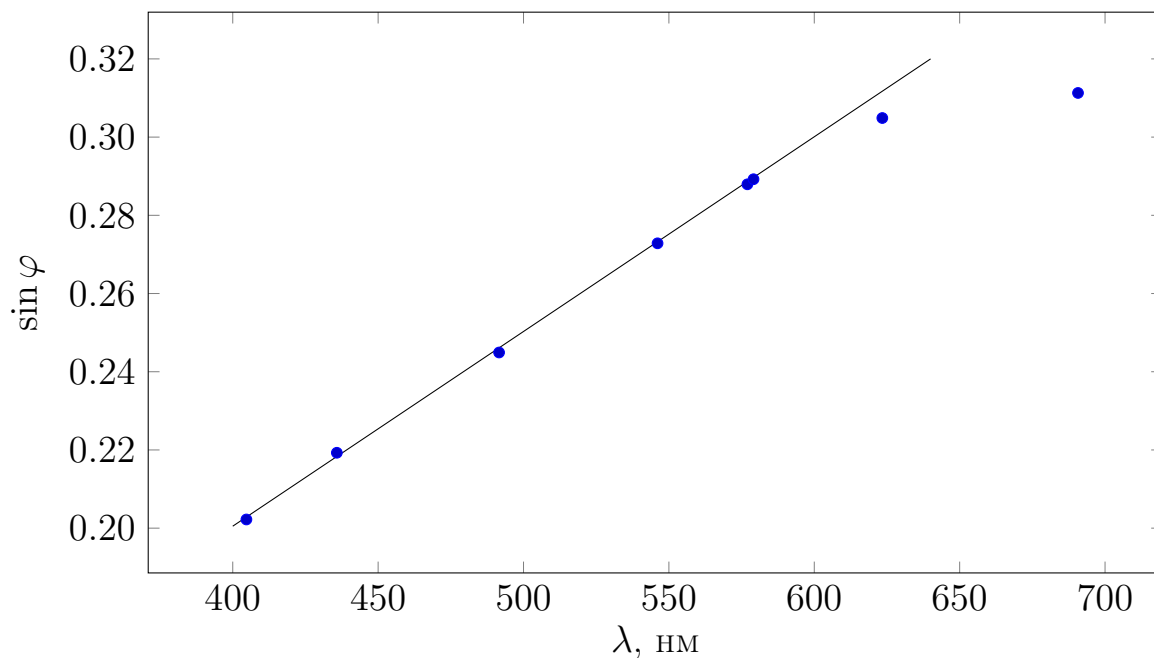
$$m = -1$$

Цвет	$\varphi_0, ^\circ$	$\varphi, ^\circ$	$\sin \varphi$
Фиолетовый	191'41'15	-11'41'15	-0.20257
Фиолетовый (яркий)	192'40'20	-12'40'20	-0.21937
Голубой	194'13'37	-14'13'37	-0.24576
Зеленый	195'50'25	-15'50'25	-0.27296
Желтый (1)	196'47'37	-16'47'37	-0.28893
Желтый (2)	196'51'47	-16'51'47	-0.29009
Красный (1)	197'45'00	-17'45'03	-0.30488
Красный (2)	198'08'10	-18'08'14	-0.31129

Приборную погрешность примем равной $0^\circ 00' 05''$ согласно описанию работы гониометра. Учитывая, что толщина светящейся линии равна примерно $0^\circ 01'$, по-

грешность, связанную с методом измерений, будем считать равной $0^{\circ}01'$. Также отметим, что линии, соответствующие "красной" длине волны, выглядели довольно размыто, так что полагаться на эти измерения не стоит. Остальные цвета спектра были хорошо видны, так что эти измерения можно считать точными.

Теперь можем построить графики зависимости $\sin \varphi(\lambda)$:



При измерениях будем отмечать угловую координату каждой из линий, описанных в ТО, не усредняя результаты, для близких линий. В выбранном масштабе погрешность на графике будет незаметна.

Найдем угловые коэффициенты графиков:

$$k_1 = 494 \cdot 10^3 \text{ м}^{-1}$$

$$k_2 = 498 \cdot 10^3 \text{ м}^{-1}$$

Найдем случайную погрешность k_1 и k_2 , используя МНК:

$$\sigma_{k_1 \text{случ}} = 11 \cdot 10^3 \text{ м}^{-1}$$

$$\sigma_{k_2 \text{случ}} = 13 \cdot 10^3 \text{ м}^{-1}$$

Приборная погрешность при этом вычисляется из предположения, что $k = f(\varphi, \lambda)$:

$$\sigma_{\text{приб}} = \frac{\partial f}{\partial \varphi} \sigma_{\varphi} = \frac{\cos \varphi}{\lambda} \sigma_{\varphi}$$

И заметно меньше случайной погрешности, в связи с чем ей можно пренебречь. Таким образом:

$$k_1 = (494 \pm 11) \cdot 10^3 \text{ м}^{-1}$$

$$k_2 = (498 \pm 13) \cdot 10^3 \text{ м}^{-1}$$

Откуда

$$d_1 = (202 \pm 5) \cdot 10^{-8} \text{ м}$$

$$d_2 = (201 \pm 5) \cdot 10^{-8} \text{ м}$$

Таким образом, получим:

$$d = (202 \pm 5) \cdot 10^{-8} \text{ м}$$

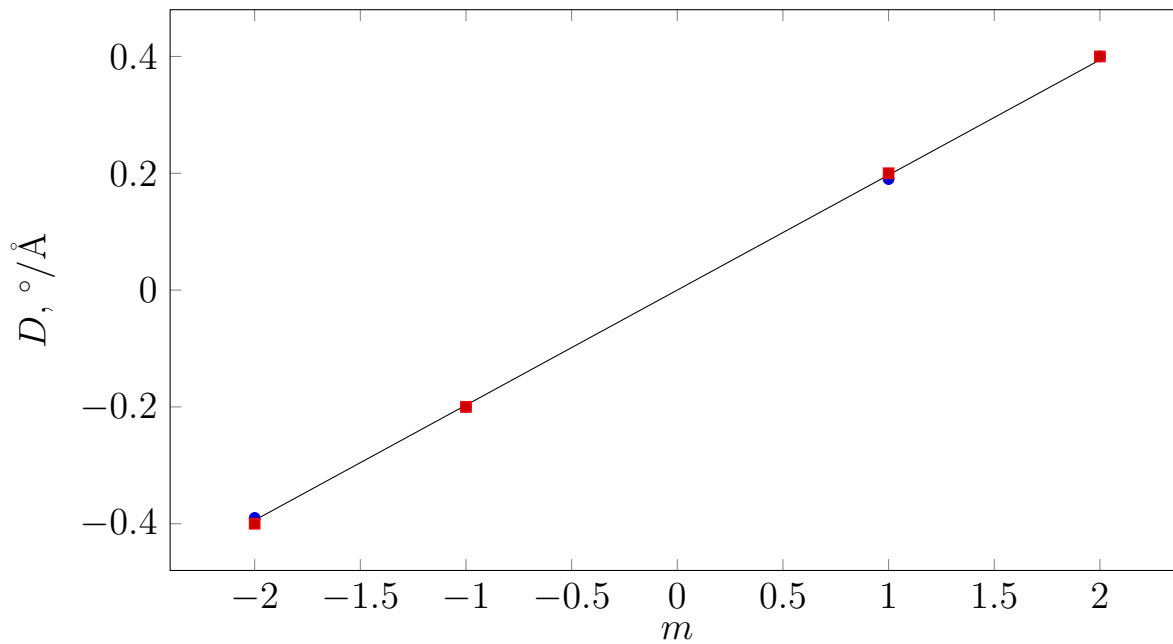
Для оценки угловой дисперсии решётки определим угловые координаты линий жёлтой пары во всех видимых порядках спектра, положительных и отрицательных.

m	φ_1	φ_2	$\Delta\varphi$	$D, ^\circ/\text{\AA}$
-2	215'06'40	215'14'30	0'07'50	0.39
-1	196'51'47	196'47'50	0'03'57	0.20
1	163'16'54	163'13'03	0'03'51	0.19
2	144'53'27	144'45'31	0'07'56	0.40

Погрешности принимаем теми же, какие мы брали в предыдущем пункте. Найдем среднее значение длины волны: $(577.0 + 579.1)/2 = 578.1 \text{ нм}$, откуда, зная, что

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

получим:



Для определения аппаратной разрешающей способности (решётка + гониометр + глаз наблюдателя) измерим угловую ширину одной из линий желтой пары (по нулям интенсивности) в нескольких порядках. Предварительно установим минимальную ширину щели коллиматора, позволяющую вести измерения.

Для качественного определения аппаратной разрешающей способности R оценим, во сколько раз расстояние между центрами жёлтых линий ($\Delta\lambda = 20\text{\AA}$) больше полуширины одной линии и рассчитаем аппаратную полуширину линии $\delta\lambda$:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = \frac{\varphi}{\delta\varphi}$$

Считая погрешность угла равной $\sigma_\varphi = 0^\circ 00' 05''$, получим:

m	φ_1	φ_2	$\Delta\varphi$	R	$\delta\lambda$, нм	N	σ_N
1	163°08'24	163°07'34	0°00'50	1200	0.48	1200	200
2	144°56'14	144°55'17	0°00'57	2200	0.26	1100	200

III. Зависимость разрешающей силы от ширины пучка

Настроим зрительную трубу на жёлтую пару. Держа в руке дополнительную щель с микрометрическим винтом и рассматривая сквозь неё светящийся объект, определим начало отсчёта – момент открытия щели. Трижды повторим процедуру определения нуля, каждый раз открывая щель все медленнее.

Откроем щель пошире и укрепим её на коллиматорном объективе. Уменьшая ширину щели, добьемся предельного разрешения жёлтой пары и запишем показания микрометрического винта щели. Зная разность длин волн для жёлтой пары, оценим разрешающую способность R в этом эксперименте, число эффективно работающих штрихов N по формуле $R = mN$ и число штрихов на мм.

Предельная ширина щели равна 1.2 ± 0.1 мм. Погрешность оценим, немного меняя толщину щели и наблюдая за картинкой - в эти пределах она менялась несильно. Измерим углы, соответствующие минимумам левой и правой линии:

m	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4
1	163°19'35	163°16'57	163°15'35	163°13'46

Или же, найдя реальные значения углов:

m	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4
1	16°40'25	16°43'03	16°44'25	16°46'14

Из полученных значений оценим R по формуле:

$$R = \frac{\varphi}{\delta\varphi} = \frac{(\varphi_1 + \varphi_4)/2}{(\varphi_4 + \varphi_3)/2 - (\varphi_2 + \varphi_1)/2} = \frac{\varphi_1 + \varphi_4}{\varphi_4 + \varphi_3 - \varphi_1 - \varphi_2}$$

Откуда:

$$R = 300 \pm 30$$

Теперь по формуле $R = mN$ можно найти N и оценить число штрихов на миллиметр.

$$N = 300 \pm 30,$$

$$n = N/l = 250 \pm 50$$

где l - толщина щели. Погрешность n определим, считая $n = f(N, l)$. Величина n не совпадает с номинальной в силу того, что на него влияет качество реплики, толщина источника и прочие факторы.

Таким образом, в данной лабораторной работе мы исследовали дифракционную решетку, а также оценили разрешающую способность используемого в работе гониометра.