

Работа 4.4.1

ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЁТКИ С ПОМОЩЬЮ ГОНИОМЕТРА

Подлесный Артём
группа 827

7 апреля 2020 г.

Цель работы: знакомство с работой гониометра и определение спектральных характеристик амплитудной решетки.

Оборудование: ртутная лампа, гониометр, амплитудная и фазовая дифракционные решётки, плоскопараллельная стеклянная пластинка, призмённый уголкового отражатель, щель с микрометрическим винтом.

Краткая теория

Интенсивность дифрагированного света максимальна для углов φ_m , для которых волны, приходящие в точку наблюдения от всех щелей решётки, оказываются в фазе. Как следует из рис. 1, для этих направлений справедливо соотношение:

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

Рассмотрим основные характеристики дифракционной решётки. Угловая дисперсия. Дисперсия D характеризует угловое расстояние между близкими спектральными линиями:

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda}.$$

Получаем:

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

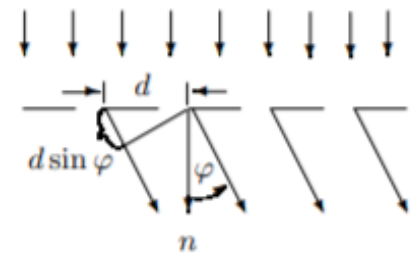
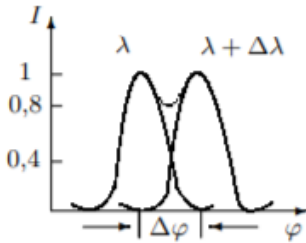


Рис. 1: Дифракция световых волн на дифракционной решетке.

Дисперсия возрастает с увеличением порядка a спектра. На опыте дисперсию решётки определяют путём измерения углового расстояния $\Delta\varphi$ между двумя близкими спектральными линиями с известной разностью длин волн $\Delta\lambda$ (например, между жёлтыми линиями ртути).

Разрешающая способность дифракционной решётки. Возможность разрешения двух близких спектральных линий зависит от их ширины и от расстояния между ними. Пусть в спектре m -го порядка наблюдаются две близкие спектральные линии с длинами волн λ и $(\lambda + \Delta\lambda)$. Угловое расстояние $\Delta\varphi$ между этими линиями равно:



$$\Delta\varphi = \frac{m\Delta\lambda}{d \cos \varphi}. \quad (3)$$

Рис. 2: Определение разрешающей способности дифракционной решетки.

Согласно критерию разрешения Релея линии становятся неразличимыми, когда расстояние между ними меньше, чем расстояние от максимума одной линии до её первого минимума (рис. 2). Угловая полуширина главного максимума равна:

$$\delta\varphi = \frac{\lambda}{Nd \cos \varphi}. \quad (4)$$

По определению разрешающая способность спектрального прибора $R = \lambda/\delta\lambda$ — это отношение длины волны к разности длин волн двух линий, разрешаемых по критерию Релея. Приравнивая $\delta\varphi$ и $\Delta\varphi$ для случая предельного разрешения, найдём для дифракционной решётки:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = mN. \quad (5)$$

Экспериментальная установка.

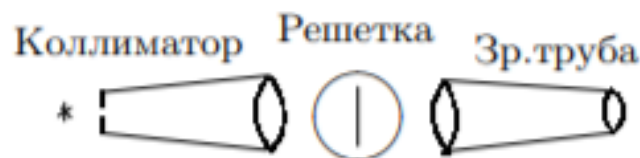


Рис. 3: Схема экспериментальной установки. В работе определялись спектральные характеристики амплитудной решетки. Известно справочное значение периода решетки: $d = 2000$ нм.

Исследование спектра ртутной лампы

Определение периода решетки

После длительной тонкой настройки, а так же качественной проверки того факта, что $d \sin \varphi_m \sim \lambda$, можно приступить к наблюдению спектра.

Для экспериментального определения периода решетки, были сняты угловые координаты полос спектра в ± 1 порядке. результаты представлены на таблице, полосы промаркированы по своим видимым цветам.

1	г	м	с	-1	г	м	с
фиолет	167	17	53	фиолет	192	37	11
синий	165	36	20	синий	194	13	44
зеленый	163	55	41	зеленый	195	48	22
желтый1	162	58	11	желтый1	196	42	4
желтый2	162	54	26	желтый2	196	46	7
красный1	162	1	35	красный1	197	44	8
красный2	161	31	14	красный2	198	33	41

Таблица 1: Угловые координаты разноцветных полос спектра ртутной лампы. Измерения начинаются со 180 градусов, буквы означают соответственно градусы, минуты и секунды.

По полученным данным построен график зависимости $\lambda(\sin \varphi_n)$ на рис 4, по которому можно определить период решетки d как коэффициент наклона прямой. Зависимость цвета полосы спектра ртутной лампы от длины волны света (справочная), отражена на таблице 2.

цвет	фиолет	синий	зеленый	желтый1	желтый2	красный1	красный2
λ , нм	404.7	435.8	546.1	577	579.1	623.4	690.7

Таблица 2: Сопоставление цвета полосы и длины волны света. В спектре так же планировалось наблюдать голубую полосу, однако её так и не удалось увидеть.

Таким образом получено экспериментальное значение периода решетки:

$$d = 2850 \pm 280 \text{ нм.}$$

Угловая дисперсия

Для оценки угловой дисперсии спектра, были определены угловые координаты желтой пары во всех видимых порядках. Тогда дисперсия рассчитывается по этой формуле:

$$D = \frac{\Delta \varphi}{\Delta \lambda}, \quad (6)$$

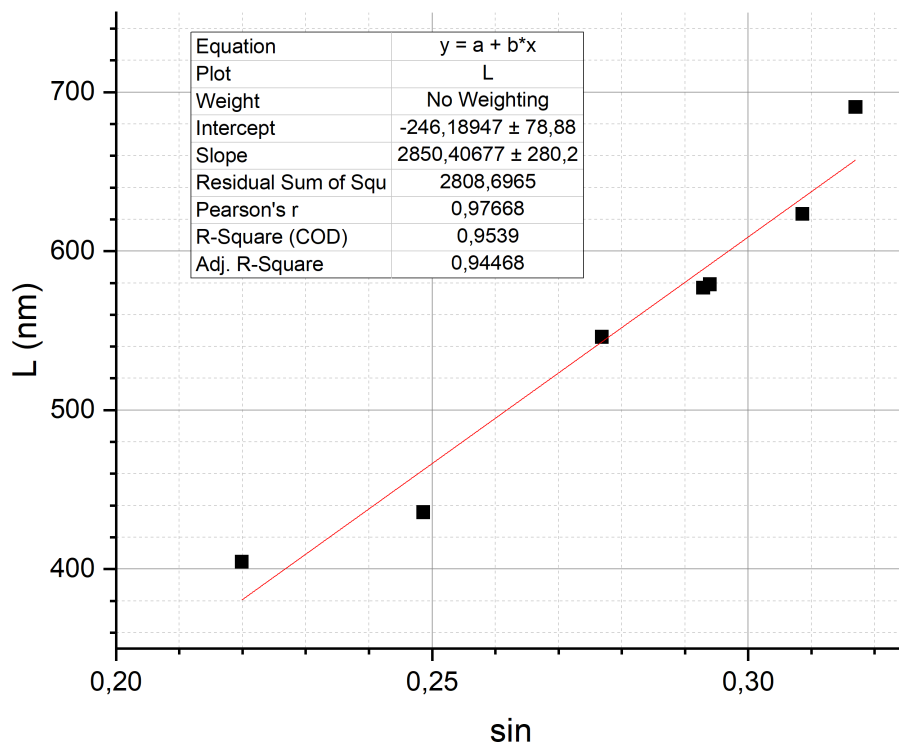


Рис. 4: График зависимости $\lambda(\sin \varphi_n)$. Точки не совсем точно ложатся на прямую, скорее всего из-за того, что начало отсчета немного сбивалось при настройке на следующую полосу спектра.

где $\Delta\lambda = 21$ ангстрем.

Тогда в зависимости от порядка, разницы координат желтой пары представлены на таблице 3. Так же в этой таблице рассчитаны значения угловой дисперсии теоретическим (2) и экспериментальным способом.

m	$\Delta\varphi, \text{ s}$	$D_{\text{exp}}, \frac{\text{s}}{\text{A}^\circ}$	$D_{\text{teor}}, \frac{\text{s}}{\text{A}^\circ}$
-3	997	47.47	47.7
-2	512	24.38	27.62
-1	243	11.57	12.89
1	225	10.71	12.89
2	642	30.57	27.62

Таблица 3: Разность угловых координат желтой пары во всех видимых порядках (в угловых секундах).

Далее на рис 5 представлен график зависимости дисперсии от порядка. На нем изображены оба способа расчета угловой дисперсии.

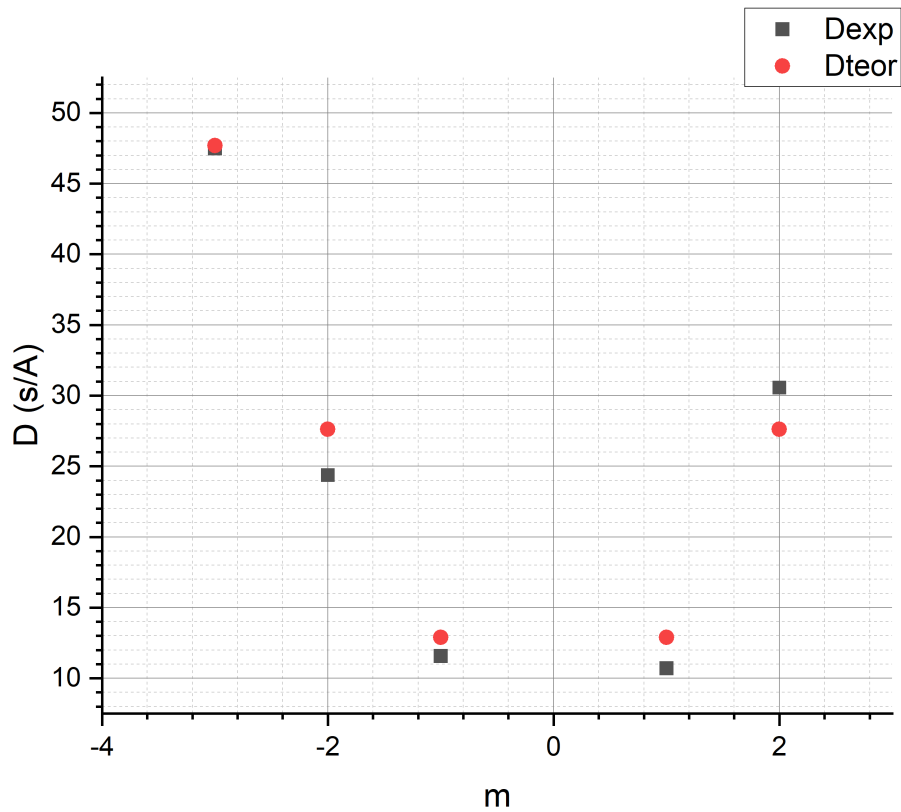


Рис. 5: График зависимости $D(m)$. Экспериментальные точки изображены в форме квадратиков, а теоретические - кружочков.

Разрешающая способность

Чтобы рассчитать экспериментальную разрешающую способность (5), была измерена угловая ширина первой желтой линии 1 порядка спектра в угловых секундах:

$$\delta\varphi = 37''$$

Таким образом, зная её угловую координату получаем разрешающую способность:

$$R = \frac{\varphi}{\delta\varphi} = 1660.$$

Вывод

В процессе работы был исследован спектр ртутной лампы. На основании определения угловых координат полос спектра ртути был экспериментально рассчитан период дифракционной решетки, составивший 2850 ± 280 нм, что является достаточно достоверным результатом с приемлимой точностью.

Далее, используя это значение d была рассчитана угловая дисперсия спектра на основе желтой пары для разных периодов. Как показывает график, теоретические расчеты неплохо согласуются с экспериментом, что так же доказывает достоверность полученного ранее результата.

И, наконец, экспериментально рассчитана разрешающая способность решетки. В результате получаем число эффективно работающих штрихов решетки $N = 1660$. На основании этого получаем, что размер освещенной части решетки равен примерно 5 мм, что согласуется с качественной оценкой.