

ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ

В задаче определяется постоянная дифракционной решетки длина световой волны по непосредственному измерению угла дифракции на гониометре-спектрометре ГС-30. Кроме того, определяется угловая дисперсия решетки и дается понятие о ее разрешающей способности.

Введение. Дифракционной решеткой называют всякую периодическую (или близкую к периодической) структуру, влияющую на распространение волн той или иной природы. Простейшая оптическая дифракционная решетка представляет собой стеклянную пластинку, на которой с помощью делительной машины нанесен ряд параллельных штрихов. Места, прочерченные делительной машиной, рассеивают свет, так что в направлении наблюдений попадает лишь его ничтожная часть. Штрихи являются, таким образом практически непрозрачными промежутками между неповрежденными частями пластинки — щ е л я м и.

Кроме стеклянных дифракционных решеток в учебной практике применяются так называемые реплики, полученные путем изготовления желатиновых отпечатков, копий с металлических отражательных решеток. Желатиновые отпечатки помещаются во избежание повреждений между двумя стеклянными плоскопараллельными пластинками. В последнее время для учебных занятий применяются решетки, легко изготавливаемые из засвеченных и обработанных фотопластинок, на которых резцом делительной машины осторожно снимается слой фотоэмульсии.

В простейшем случае нормального падения света на прозрачную дифракционную решетку с шириною прозрачных участков a и непрозрачных b направления на главные дифракционные максимумы определяются равенством

$$\kappa\lambda = (a + b)\sin\varphi = d \sin\varphi \quad (1)$$

откуда

$$\sin\varphi = \frac{\kappa\lambda}{d}$$

где φ — угол дифракции, λ — длина световой волны, κ — порядок спектра ($\kappa = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$), $d = (a + b)$ — так называемая *постоянная решетки*. При $\kappa = 0$ условие максимума удовлетворяется для всех длин волн, т. е. при $\varphi = 0$ наблюдается центральная светлая полоса. Два знака \pm для всех остальных значений κ и соответствуют двум системам спектров, расположенных симметрично справа и слева от центральной светлой полосы (рис. 1).

Предельное число спектров, которое можно получить при помощи решетки, дается соотношением

$$k \leq \frac{d}{\lambda} \quad (2)$$

Основными характеристиками дифракционной решетки являются ее разрешающая способность и дисперсия.

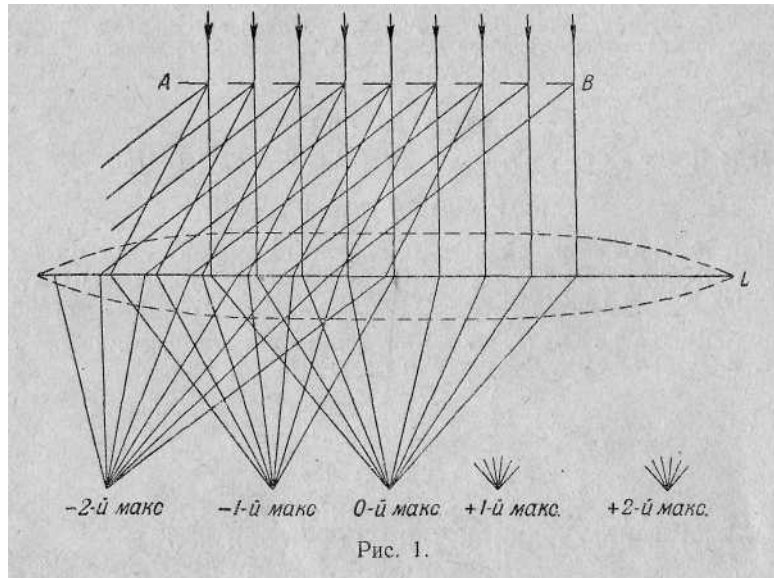


Рис. 1.

Разрешающую способность решетки можно рассчитать, пользуясь условием Релея, по которому две монохроматические спектральные линии еще разрешаются (видны раздельно) в том случае, когда главный максимум одной линии попадает на место минимума второй, ближайшего к главному максимуму (рис.2). Из этого следует, разрешающая способность решетки

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \kappa N, \quad (3)$$

где N - число штрихов решетки. В решетке большая разрешающая способность достигается за счет больших значений N , так как порядок κ не велик.

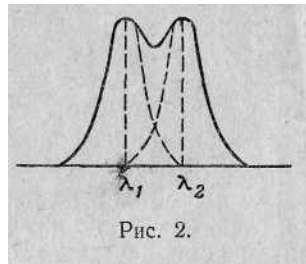


Рис. 2.

Дисперсия определяется угловым расстоянием между двумя спектральными линиями, отнесенными к разности их длин волн,

$$D = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda}, \quad (4)$$

где $\delta\lambda$ выражено в ангстремах (\AA). Дисперсия может также определяться линейным расстоянием δs между спектральными линиями, выраженным в миллиметрах, если измерение ведется при помощи трубы, снабженной окулярным микрометром. Измеренное расстояние должно быть отнесено к $\delta\lambda$. Так как $\delta s = F \cdot \delta\varphi$, где F – фокусное расстояние объектива трубы, то линейная дисперсия

$$\frac{\delta s}{\delta\lambda} = DF$$

Угловую дисперсию для решетки получаем, дифференцируя формулу (1)

$$D = \frac{\kappa}{d \cos \varphi} \quad (5)$$

Для небольших углов отклонения дисперсия решетки постоянна; $\delta\varphi$ пропорциональна $\delta\lambda$. Поэтому дифракционные спектры иногда называются «нормальными» в отличие от спектров, получаемых с помощью стеклянных призм, у которых угловая дисперсия в красной части спектра меньше, чем в фиолетовой.

Описание и установка прибора. Описание гониометра-спектрометра, способы его установки и ртутной лампы дано в задаче 128.

Установка решетки. Когда установка спектрометра закончена, следует установить дифракционную решетку. Для этого, вращая зрительную трубу относительно прибора, наводят крест окуляра на щель, освещенную ртутной лампой, и закрепляют трубу в этом положении; затем ставят на столик решетку так, что бы штрихи ее были вертикальны, т.е. параллельны оси вращения прибора, а ее плоскость – перпендикулярна к оси коллиматора. Наклоняя и вращая столик, получают в поле зрения изображение окулярного креста, отраженное от плоскости решетки или от стеклянных пластинок, в которых зажата реплика. Совмещает изображение вертикального штриха в окуляре с крестом, а горизонтального штриха – с его изображением, как и в случае установки с плоскопараллельной пластинкой. Наклонять следует *только столик*, а не трубу, т.к. установка спектрометра уже закончена.

Поворачивая столик с решеткой на 180° , проверяют установку решетки. Она считается установленной, если в обоих положениях совмещаются изображения вертикально штриха и щели с центром креста.

В одном из этих двух положений столик с решеткой закрепляют и отсчитывают по лимбу направления на первичный световой пучок. При данной установке решетки это будет также направлением на максимум нулевого порядка.

Упражнение 1

Определение постоянной решетки и ее угловой дисперсии

Измерения. Вращая трубу, например, влево, до тех пор, пока в ней не покажется зеленая линия ртути ($\lambda = 5461\text{Å}$) первого спектра. Наводят на нее трубу и производят отсчет. Продолжая вращать трубу в эту же сторону, находят ту же линию в спектре второго порядка, наводят на нее трубу и производят отсчет. Чем выше порядок спектра, тем обычно меньше становится его яркость.

Те же установки и отсчеты проделывают по правую сторону от нулевого максимума, вращая трубу в обратную сторону.

Подставляя в формулу (1) найденные из наблюдений величины φ для соответствующих значений k , вычисляют постоянную данной решетки. Точно так же определяют углы φ_1 и φ_2 для двух желтых линий ртути и, взяв длины волн этих линий из таблицы 12 (в конце книги), вычисляют угловую дисперсию решетки по формуле (4).

Упражнение 2

Определение неизвестных длин волн спектральных линий и разрешающие способности решетки

Измерения. Установив решетку с неизвестной постоянной на столике спектрометра и поместив перед щелью ртутную лампу, устанавливают крест в трубе спектрометра на нулевой максимум и производят отсчет.

Вращают трубу в какую-нибудь сторону, пока в ней не покажутся нужные линии спектра первого порядка. Устанавливают на них по очереди крест и производят отсчеты. Продолжая вращать трубу, находят линии спектра второго порядка и т.д. Те же измерения проделывают по другую сторону от нулевого максимума.

Подставив в формулу (1) значение постоянной решетки и найденные из наблюдений величины φ для соответствующих k , определяют длины волн исследуемых линий.

Для того, что бы оценить разрешающую способность решетки, надо иметь источник света, спектр которого богат тесно расположенными линиями, и заметить, какая пара линий в этом спектре при работе с данной решеткой представляется как одна линия независимо от геометрического увеличения зрительной трубы. Разность длин волн этих двух линий даст величину $\Delta\lambda$. Очевидно, что в спектрах разных порядков будут казаться слившимися разные пары линий, и величина $\Delta\lambda$ будет меньше для спектров высоких порядков в соответствии с общими соображениями о разрешающей способности дифракционной решетки.

Можно оценить разрешающую способность и иначе. Именно, зная постоянную решетки и измерив линейкой длину решетки можно найти число штрихов в ней N . (Разумеется, такая оценка числа N предполагает, что освещены и работают все штрихи решетки.) Порядок дифракционного спектра k , входящий в выражение для разрешающей способности, надо взять из опыта, определив, какой наивысший их дифракционных спектров имеет еще достаточную для наблюдения интенсивность (в редких случаях у учебных решеток k оказывается больше, 3 или 4).

Технические данные установки. Задача поставлена на гониометре ГС-30; дифракционные решетки могут иметь от 50 до 200 штрихов на мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.С.Ландсберг, Оптика, Гостехиздат, 1957.
2. С.Э.Фриш и А.В.Тимофеева, Курс физики, т.III, Физматгиз, 1962.
3. С.Э.Фриш, Техника спекироскопии, Изд.ЛГУ, 1936.
4. Р.Дитчберн, Физическая оптика, «Наука», 1965, гл.6.