

Лабораторная работа №7

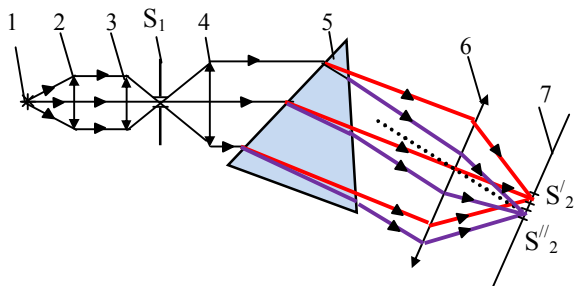
ИЗУЧЕНИЕ ПРИЗМЕННОГО МОНОХРОМАТОРА УМ-2 И ЕГО ГРАДУИРОВКА

Цель работы: изучение устройства и принципа действия призмного монохроматора УМ-2, ознакомление с методикой его градуировки.

Монохроматор УМ-2, общий вид которого показан на рис. 7.1, является точным спектральным прибором и предназначен для разложения в спектр излучения источника света в диапазоне от 380 до 1000 нм. Получение монохроматического излучения в данном приборе основано на явлении дисперсии света – зависимости фазовой скорости света v от длины волны λ : $v = f(\lambda)$ или $\lambda = f(n)$, где n – абсолютный показатель преломления среды.

Принципиальная схема монохроматора представлена на рис 7.2.

Свет от источника 1 фокусируется линзами 2 и 3 на входную щель монохроматора S_1 , находящуюся в фокальной плоскости его объектива 4, и параллельным



пучком падает на диспергирующий элемент монохроматора – призму 5. Призма разлагает свет на монохроматические составляющие. Выходный объектив 6 монохроматора собирает монохроматические пучки в различных точках фокальной плоскости 7, где расположена выходная щель S_2 .

Спектральные линии различных цветов в фокальной плоскости 7 представляют собой монохроматические изображения входной щели S_1 . Совокупность этих изображений представляет спектр излучения источника. Перемещая спектр относительно щели S_2 поворотом призмы 5, можно получить в плоскости выходной щели световые пучки различно-

го спектрального состава.

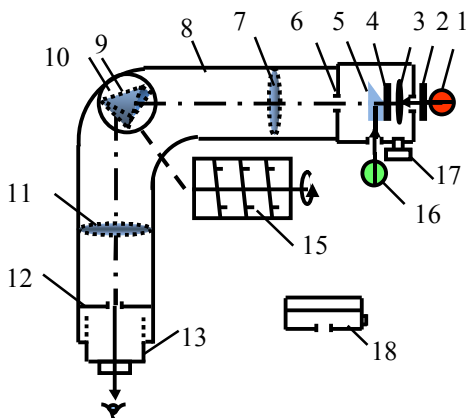


Рис. 7.3. Оптико-механическая схема монохроматора

Обычная рабочая ширина щели равна 0,02 – 0,03 мм. Для наблюдения самых слабых линий в крайней фиолетовой области спектра ее приходится несколько расширять до 0,05-0,06 мм.

Призма сравнения 5 перед щелью служит для сравнения спектров контролируемого источника 16, установленного сбоку монохроматора, и эталонного 1, установленного на оптической скамье перед входной щелью 6. Призма сравнения опускается (поднимается) при помощи вертикального штифта. Ее действие основано на явлении полного внутреннего отражения света, падающего под углом 45° к отражающей грани призмы. Если призма сравнения находится в верхнем положении, излучение контролируемого источника проходит сквозь всю вертикальную щель 6, и через окуляр 13 наблюдают спектр эталонного источника. Когда призма сравнения находится

Оптико-механическая схема монохроматора УМ-2 приведена на рис. 7.3. В состав прибора входят следующие основные части.

Входная щель 6 переменной ширины от 0 до 4 мм освещается источником света 1 через защитное стекло 2, конденсор 3 и защитное стекло щели 4. Она снабжена микрометрическим винтом 17, который позволяет открыть щель на нужную ширину.

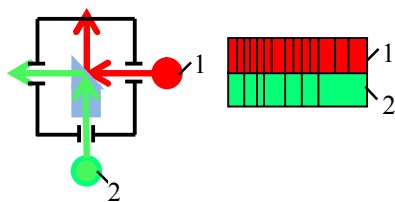


Рис. 7.4. Призма сравнения и спектры эталонного (1) и контролируемого (2) источников

в нижнем положении, она перекрывает половину щели, на которую падает свет, и, в результате, через окуляр 13 можно наблюдать отдельно и одновременно два линейчатых спектра – контролируемого и эталонного источников (рис. 7.4).

Щель 6 установлена в фокусе объектива коллиматора 7, который имеет микрометрический винт (на схеме не показан), позволяющий смещать объектив относительно щели при фокусировке спектральных линий различных цветов.

Параллельный пучок лучей, идущий из объектива, падает на сложную диспергирующую призму 9 (рис. 7.3), установленную на поворотном столике 10. Призма 9 состоит из трех склеенных призм (рис. 7.5). Две призмы с преломляющими углами 30° изготовлены из тяжелого флинта, обладающего большой дисперсией. Промежуточная призма сделана из крона. Лучи отражаются от ее гипотенузной грани и поворачиваются на 90° . Благодаря такому устройству дисперсия первых двух призм складывается.

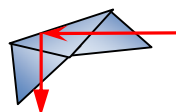


Рис. 7.5. Диспергирующая призма

Поворотный столик 10 вращается вокруг вертикальной оси при помощи микрометрического винта с измерительным барабаном 15. При вращении барабана призма поворачивается, и в центре поля зрения окуляра перемещается свет различной длины волны (цветной спектр), проходящий призму в минимуме отклонения. Каждой длине волны света на шкале измерительного барабана будет соответствовать свой отсчет. На барабан нанесена винтовая дорожка с градусными делениями. Вдоль дорожки скользит указатель поворота барабана. Шкала барабана нанесена в градусных делениях от 0 до 3500° с ценой деления 2° и оцифровкой через 50° .

После прохождения диспергирующей призмы спектральный пучок лучей попадает на объектив 11 зрительной трубы, в фокусе которого помещен сменный окуляр 13 с указателем или окуляр без указателя. Оба окуляра могут быть заменены выходной щелью 18, и тогда зрительная труба становится выходным коллиматором.

Массивный корпус 8 предохраняет прибор от повреждений и за-

грязнений.

Для эксплуатации монохроматора требуется предварительно произвести его градуировку и составить паспорт в виде таблицы или градуировочной кривой $\lambda = f(b)$, где λ - длина световой волны, b – соответствующее ей градусное деление измерительного барабана. При градуировке необходимо пользоваться окуляром с указателем, а входную щель b осветить источником света, имеющим линейчатый спектр с известными длинами волн. Таким источником является ртутная лампа ДРШ-250. Для градуировки прибора в красной области спектра можно пользоваться другим источником – неоновой лампой, спектр которой богат красными линиями различных оттенков. Спектры паров ртути и неона в видимой области спектра приведены на рис. 7.6 и рис. 7.7, соответственно,

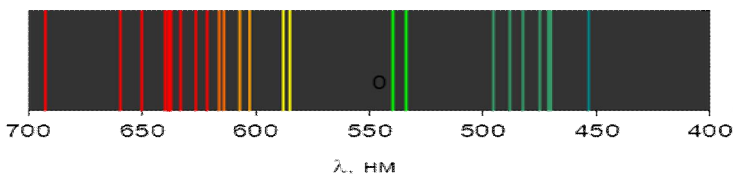


Рис. 7.7. Спектр неона

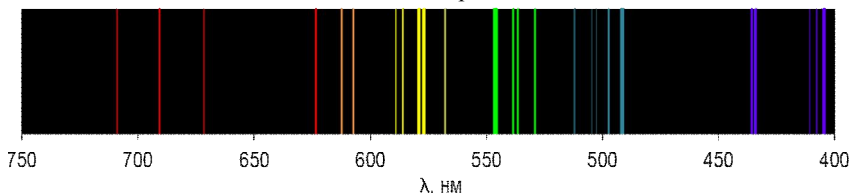


Рис. 7.6. Спектр паров ртути

а длины волн спектральных линий ртути приведены в таблице 7.1.

При градуировке монохроматора фокусировкой окуляра 13 добиваются резкого изображения указателя. Вращая измерительный барабан 15, находят спектральные линии ртути и получают их резкое изображение при помощи микрометрического винта 17.

Для отсчета положения спектральной линии ее центр совмещают с острием указателя. Отсчет производится по делениям барабана. При

измерении следует вращать барабан в направлении от больших делений к меньшим, чтобы избежать влияния на измерения механического люффта.

Необходимо пронаблюдать видимый спектр излучения ртути и сопоставить его со стандартным, представленным в таблице 7.1. После этого в какой-нибудь графической программе, например, Microsoft Excel, построить градуировочную кривую, откладывая по оси ординат длины волн света, взятые из таблицы 7.1, а по оси абсцисс – отсчеты по шкале барабана. По точкам нужно провести плавную кривую, для этого экспериментальную зависимость можно аппроксимировать полиномом 5 степени.

Для градуировки призменного монохроматора можно также использовать формулу Гартмана [6], которая хорошо описывает экспериментальную зависимость $\lambda(b)$:

$$\lambda = \lambda_0 - \frac{a}{b - b_0}, \quad (7.1)$$

где b – деление барабана монохроматора, λ_0 , a и b_0 – постоянные, определяемые экспериментально из уравнений

$$\lambda_1 = \lambda_0 - \frac{a}{b_1 - b_0}, \quad (7.2)$$

$$\lambda_2 = \lambda_0 - \frac{a}{b_2 - b_0}, \quad (7.3)$$

$$\lambda_3 = \lambda_0 - \frac{a}{b_3 - b_0}. \quad (7.4)$$

В уравнениях (7.2 – 7.4) λ_1 , λ_2 и λ_3 – известные значения длин волн, b_1 , b_2 и b_3 – соответствующие им отсчеты по барабану. Как видно из этих уравнений, для определения постоянных λ_0 , a и b_0 необходимо измерить на монохроматоре три «реперные» длины волны, принадлежащие разным участкам спектра.

Порядок выполнения работы.

1. Получение и измерение спектральных линий ртути

1.1 Ознакомиться с устройством и принципом действия монохроматора УМ-2. Включить подсветку шкалы окуляра, фокусировкой окуляра 13 добиться резкого изображения указателя.

Установить на оптической скамье перед входной щелью ртутную лампу ДРШ-250 и включить ее. **ВНИМАНИЕ!** Ртутная лампа излучает мощный поток ультрафиолетовых лучей, вредных для глаз, поэтому следует убедиться, что окно кожуха закрыто стеклянным фильтром, не пропускающим ультрафиолетовое излучение. Разряд в ртутно-кварцевой лампе сверхвысокого давления ДРШ -250 происходит при давлении 10-15 атмосфер. Лампа заключена в металлический кожух для защиты окружающих от попадания в них горячих осколков колбы лампы в случае ее взрыва. После выключения ртутной лампы ее повторное зажигание следует производить не ранее как через 10 минут.

1.2 Вращая измерительный барабан 15, найти спектральные линии ртути и получить их резкое изображение при помощи микрометрического винта 17 и записать соответствующие показания барабана в таблицу 7.1.

Обработка результатов измерений

- 2.1. В какой-либо графической программе, например, с помощью табличного процессора MS Excel, постройте экспериментальную зависимость $\lambda = f(b)$, откладывая по оси ординат длины волн света, взятые из таблицы 1, а по оси абсцисс – отсчеты по шкале барабана. Полученные точки необходимо соединить плавной кривой, для этого лучше всего аппроксимировать экспериментальную зависимость $\lambda = f(b)$ полиномом 5 степени, записав соответствующее уравнение. На рис. 7.8 приведен пример такой градуировки
- 2.2. Выберите из табл. 7.1 три «реперные» точки – длины волн и значения делений барабана для красной, зеленой и фиолетовой линий. Определите постоянные λ_0 , a и b_0 в интерполяционной формуле Гартмана, решая систему уравнений (7.2 – 7.4). Для спектра ртути реперными точками могут быть длины волн $\lambda_1 = 690,7$ нм,

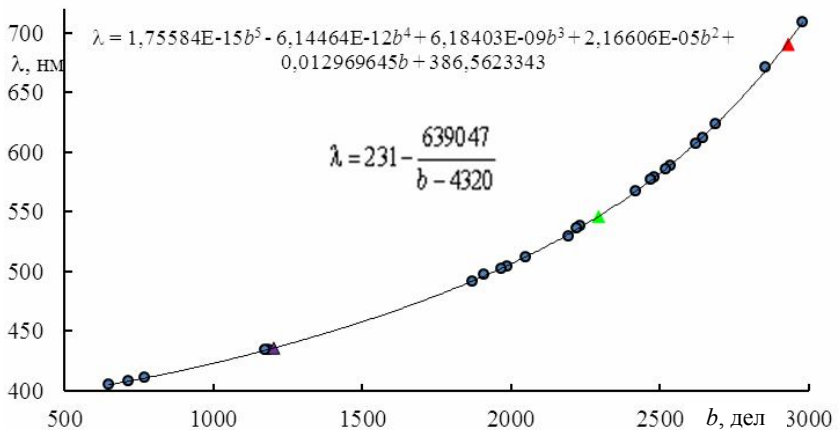


Рис. 7.8. Градуировочная зависимость $\lambda = f(b)$. Точки – экспериментальные данные. Треугольниками обозначены точки, которые использовались для определения постоянных в формуле Гартмана.

Контрольные вопросы.

1. Для чего предназначен монохроматор?
2. На каком физическом явлении основано получение монохроматического излучения в данном монохроматоре?
3. В каком спектральном диапазоне работает прибор?
4. Из какого материала изготовлена призма монохроматора?
5. С какой целью применяется в монохроматоре призма сравнения?
6. Как можно произвести градуировку монохроматора?
7. Какие эталонные источники можно использовать при градуировке?
8. Для чего предназначен стеклянный фильтр, которым закрыто окно металлического кожуха ртутной лампы?
9. Какие реперные точки следует использовать для определения постоянных в формуле Гартмана?
10. Как можно аппроксимировать экспериментальную зависимость $\lambda = f(b)$ полиномом 5 степени?