

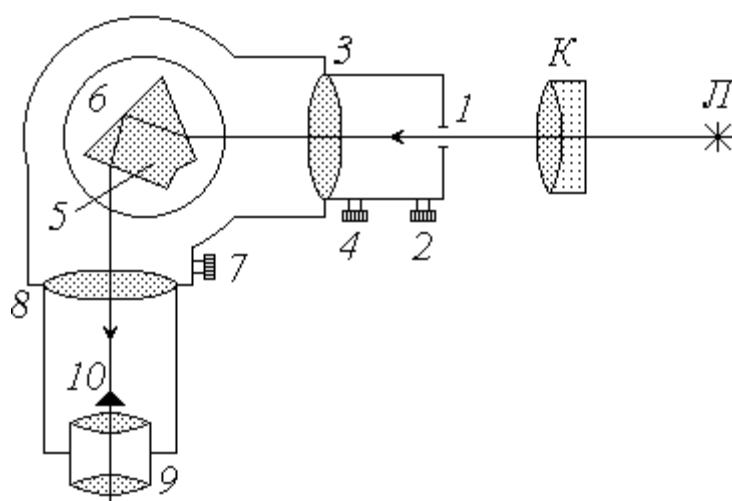
6. ФИЗИКА АТОМА, ТВЕРДОГО ТЕЛА И АТОМНОГО ЯДРА



Работа 6.1 ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ИСПУСКАНИЯ. АТОМ ВОДОРОДА

- Цель работы:
- 1) ознакомление с устройством и принципом работы спектроסקопа;
 - 2) наблюдение линейчатых спектров испускания и градуировка спектроסקопа;
 - 3) анализ спектра излучения атома водорода на основе теории Бора.

Схема экспериментальной установки



- L – источник света;
- K – конденсор;
- 1 – входная щель;
- $2, 4$ – микрометрические винты;
- 3 – коллиматорный объектив;
- 5 – призма;
- 6 – поворотный столик;
- 7 – отсчетный барабан;
- 8 – объектив;
- 9 – окуляр;
- 10 – указатель

Описание установки и методики измерений

Разложить некогерентный свет на спектр можно либо с помощью дифракционной решетки (см. работу 5.2) либо, используя явление дисперсии, с помощью стеклянной призмы. Получаемые спектры называются соответственно *дифракционными* и *дисперсионными*. В данной работе применяется второй способ. Для наблюдения спектров и измерения длин волн спектральных линий (упражнение 1) используется высокоточный оптический прибор – универсальный монохроматор-спектрометр УМ-2, принципиальная схема которого изображена выше.

Расходящийся пучок света от источника (лампы) L собирается конденсором K и попадает на входную щель 1 монохроматора, ширина которой регулируется микрометрическим винтом 2 . Дальнейшая фокусировка пучка осуществляется в объективе 3 с помощью микрометрического винта 4 . При прохождении света через сложную стеклянную призму 5 (склеенную из трех треугольных призм) лучи

различных длин волн преломляются вследствие дисперсии под разными углами. Поворотный столик 6, на котором закреплена призма, может вращаться при помощи микрометрического винта 7 с отсчетным барабаном. При этом в объектив 8 и окуляр 9, а следовательно, и в поле зрения наблюдателя попадают различные участки спектра. Объектив 8 совмещает в своей фокальной плоскости изображение входной щели и указатель 10. Для того, чтобы снять с барабана отсчет, соответствующий определенной линии спектра, ее необходимо совместить с указателем.

Дисперсионные спектры, в отличие от дифракционных, нелинейны: показания прибора (отсчет по шкале N) не связаны с длиной волны λ прямо пропорциональной зависимостью. Поэтому спектроскоп нуждается в предварительной градуировке. Для градуировки используется ртутная лампа (длины волн спектра ртути известны). Наблюдая в спектроскоп спектр ртути, снимают отсчеты, соответствующие отдельным линиям, а затем строят график зависимости отсчета N от длины волны λ . Этот градуировочный график позволяет потом определять неизвестные значения длин волн спектра исследуемого вещества по снимаемым показаниям данного прибора (в упражнении 1 исследуемым источником света является неоновая лампа).

Кроме спектроскопов, дающих возможность изучать спектры путем их непосредственного наблюдения, существует еще одна разновидность спектральных приборов – спектрографы, с помощью которых получают фотографии спектров на фоне шкалы прибора. На рис. 43 изображены спектрограммы ртути и водорода. Для ртути даны две фотографии, сделанные с различной выдержкой, чтобы четко определить положение линий различной интенсивности, а также указаны соответствующие значения длин волн (как и в первом упражнении, спектр ртути используется для градуировки шкалы спектрографа). На спектрограмме водорода даны лишь порядковые номера линий. Соответствующие длины волн необходимо определить по градуировочному графику. Так как водород «загрязнен» различными примесями, следует выделить в его спектре линии, принадлежащие чистому водороду. Для этого используется теория: значения этих длин волн должны быть близки к теоретическим, определяемым *формулой Бальмера*.

Как известно, атомы вещества излучают электромагнитные волны в оптическом диапазоне при переходе электронов внешних оболочек с более высоких энергетических уровней на более низкие. Так как при каждом конкретном переходе энергия атома уменьшается на строго определенную величину ΔW , длина волны излучаемого при этом фотона также имеет строго определенное значение $\lambda = \frac{hc}{\varepsilon_\phi} = \frac{hc}{\Delta W}$ (см. формулу (1) на с. 123).

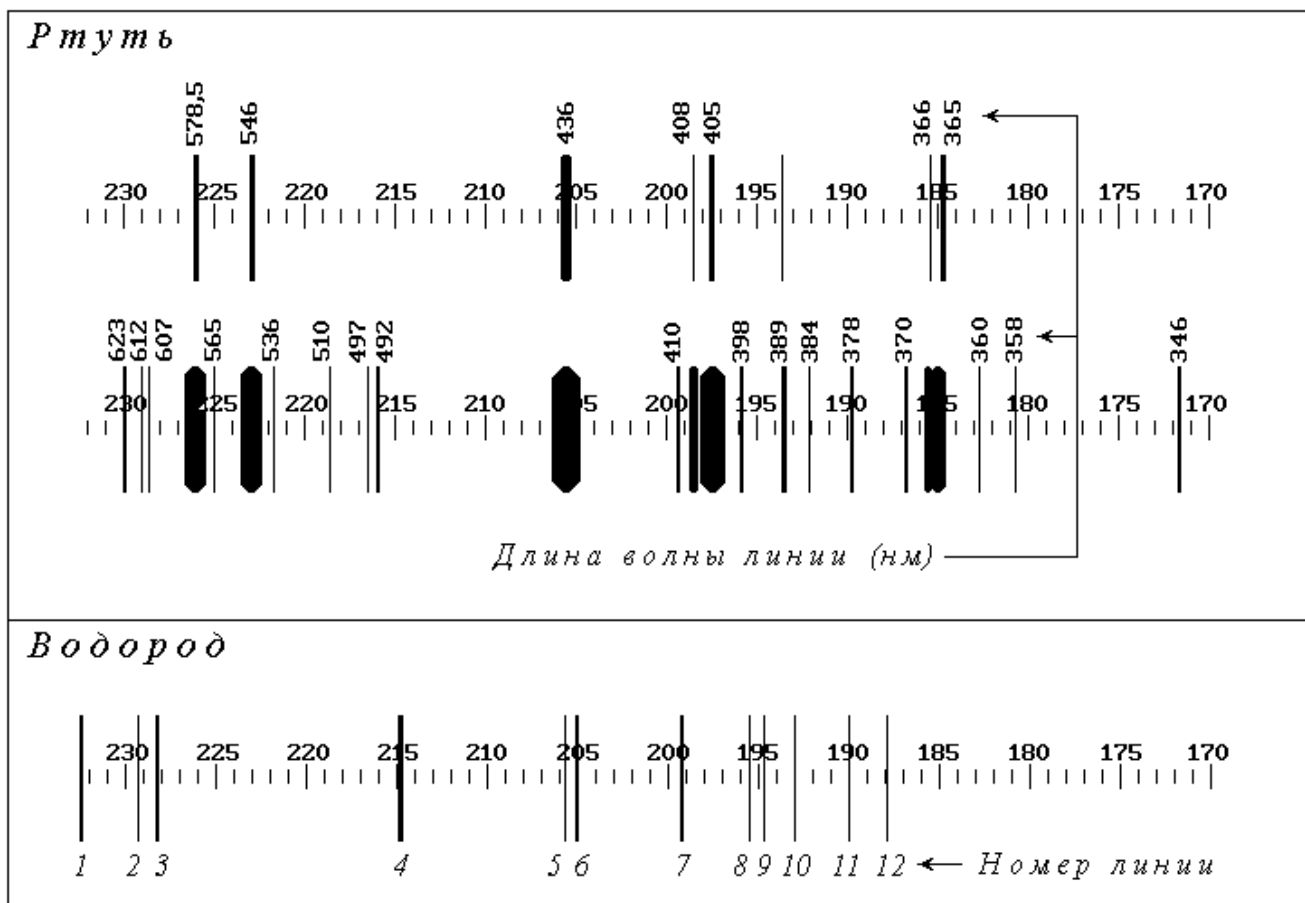


Рис. 43

Поэтому спектр испускания атома имеет *линейчатый* характер, т.е. представляет собой совокупность отдельных цветных полос (в отличие от *сплошного* спектра, в котором цвета постепенно переходят один в другой).

Наиболее детально изучен спектр самого простого атома – водорода. Длина волны фотона, излучаемого при переходе электрона с k -го на n -й энергетический уровень, определяется обобщенной формулой Бальмера

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right), \quad (1)$$

где R – постоянная Ридберга. Расчет показывает, что при $n = 1$ значения длин волн лежат в пределах от 0,091 до 0,122 мкм, т.е. в ультрафиолетовом диапазоне; соответствующие линии спектра образуют невидимую для человеческого глаза *серию Лаймана*. При $n > 2$ длины волн испускаемых фотонов соответствуют инфракрасному излучению ($\lambda > 0,820$ мкм) и образуют *серии Пашена* ($n = 3$), *Брэкета* ($n = 4$), *Пфунда* ($n = 5$) и т.д. Только при переходах электрона на второй энергетический уровень излучаются фотоны видимого света – *серия Бальмера*. Положив в (1) $n = 2$, преобразуем формулу Бальмера к виду

$$\lambda = \frac{\Lambda}{1 - \frac{4}{k^2}}, \quad (2)$$

где

$$\Lambda = \frac{4}{R}. \quad (3)$$

Порядок измерений и обработки результатов

Упражнение 1. ГРАДУИРОВКА СПЕКТРОСКОПА

1. Ознакомьтесь с экспериментальной установкой.
- ☒ 2. Включите *ртутную* лампу. Установите лампу L и конденсор K в такое положение, при котором светлое пятно от источника падает на центр входной щели I (источник света рекомендуется устанавливать на расстоянии 40 – 50 см от щели, а конденсор – примерно в 10 – 15 см от источника). При этом входная щель должна быть закрыта специальным колпачком.
- ☒ 3. С помощью микрометрического винта 2 установите ширину входной щели в пределах от 0,02 до 0,05 мм.
4. Вращая барабан 7, просмотрите в окуляр 9 весь спектр ртути. Научитесь снимать показания отсчетного барабана N по отдельным линиям спектра.
5. Проведите градуировку спектроскопа по наиболее ярким из наблюдаемых в видимой части спектра линиям, перечисленным в табл. 1. Для получения более точных результатов отсчет по каждой линии снимите трижды (сбивая настройку прибора) с последующим осреднением. Значения N_1 , N_2 , N_3 и N (среднее из трех) занесите в таблицу.

Таблица 1

Цвет линии	Длина волны λ , нм	Отсчет по шкале			
		N_1	N_2	N_3	N
Фиолетовая 1	404,7				
Фиолетовая 2	407,8				
Синяя	435,8				
Зелено-голубая	491,6				
Зеленая	546,1				
Желтая 1	577,0				
Желтая 2	579,1				
Оранжевая 1	607,3				
Оранжевая 2	612,3				
Красная	623,4				

6. По данным заполненной табл. 1 постройте в крупном масштабе на миллиметровой бумаге формата А3 градуировочный график – зависимость отсчета по шкале N от длины волны λ .

7. Замените ртутную лампу на новый источник света – неоновую лампу. При необходимости проведите повторную настройку прибора (пп. 2, 3).

8. Выберите до пяти наиболее ярких линий в спектре неона. Для каждой линии трижды снимите отсчет по шкале барабана 7. Результаты измерений N_1 , N_2 , N_3 и N (среднее из трех) занесите в табл. 2.

Таблица 2

Цвет линии	Отсчет по шкале				λ , нм (по графику)	λ , нм (из таблицы)
	N_1	N_2	N_3	N		
...

9. Используя построенный ранее градуировочный график, определите длины волн выбранных линий исследуемого спектра и занесите найденные значения в предпоследний столбец табл. 2.

10. Сравните результаты исследования спектра неона с табличными данными (см. справочные материалы в приложении). Наиболее близкие к полученным значениям табличные длины волн занесите в последний столбец таблицы.

☒ Упражнение 2. ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРА АТОМА ВОДОРОДА

1. Используя спектрограмму ртути (рис. 43), занесите в левую часть табл. 3 длины волн линий и соответствующие отсчеты по шкале прибора.

Таблица 3

С п е к т р р т у т и			С п е к т р в о д о р о д а			
Номер линии	λ , нм	Отсчет N	Номер линии	Отсчет N	λ , нм (по графику)	λ , нм (расчет)
1			1			
...
12			12			
...				
24						

2. По результатам измерений постройте градуировочный график спектрографа (зависимость отсчета N от длины волны λ) в крупном масштабе на миллиметровой бумаге формата А3.

3. Со спектрограммы водорода (рис. 43) снимите отсчеты, соответствующие всем пронумерованным линиям; результаты занесите в правую часть табл. 3.

4. С помощью градуировочного графика определите длины волн спектра «загрязненного» водорода. Значения λ занесите в соответствующий (предпоследний) столбец таблицы.

5. Используя справочные материалы, по формуле (3) вычислите константу Λ .

6. Задаваясь различными значениями k ($k = 3; 4; 5; \dots$), рассчитайте по формуле (2) истинные значения длин волн видимой серии спектра излучения атома водорода. Результаты расчетов занесите в табл. 3 против наиболее близких к ним значений длин волн, найденных по графику. Определите, какие из наблюдаемых на спектрограмме линий являются «лишними» (принадлежат атомам примесей).

Контрольные вопросы

1. Способы разложения некогерентного света на спектр. Отличия дисперсионных спектров от дифракционных. Устройство и принцип действия спектроскопа.
2. Градуировка спектроскопа (спектрографа): ее назначение и порядок проведения.
3. Спектр излучения атома водорода. Формула Бальмера. Серии Лаймана, Бальмера, Пашена и др.
4. Постулаты Бора. Объяснение линейчатого характера спектра с помощью правила квантования орбит. Вывод формулы Бальмера на основе теории Бора. Недостатки теории Бора.