

## Лабораторная работа №3

# Изучение оптического спектра атома водорода

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение длин волн видимой части спектра водорода, определение постоянной Ридберга.

### ОБОРУДОВАНИЕ

Спектрометр-монохроматор МУМ, спектральная водородная трубка, источники питания.

### МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ

В качестве измерительного устройства в установке применен серийно выпускаемый монохроматор типа МУМ.

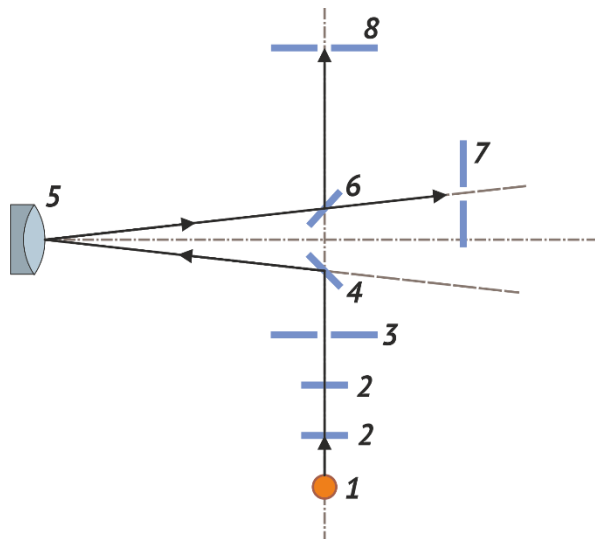
Принцип действия установки основан на разложении монохроматором излучения водородной лампы, входящей в состав излучателя, в *линейчатый* спектр.

В процессе выполнения лабораторных работ производится получение спектра атомарного водорода, наблюдение спектральных линий и измерение длин их волн с помощью монохроматора.

Оптическая схема монохроматора приведена на **рис. 1**.

Излучение от лампы *1* через конденсор *2* попадает на входную щель *3* и посредством зеркала *4* заполняет вогнутую дифракционную решетку *5*, которая выполняет роль фокусирующего и *диспергирующего* элемента.

В изделии применена решетка с переменным шагом нарезки и криволинейными штрихами, что дает возможность значительно скомпенсировать *расфокусировку* и другие аберрации.



**Рис. 1** Схема монохроматора

Дифрагированное решеткой излучение направляется в выходную щель 7 (при выведенном плоском зеркале 6) или в выходную щель 8 (при введенном зеркале 6). Щели сменные постоянной ширины.

Для получения большей спектральной чистоты выделяемого излучения при работе в области спектра от 330 до 660 нм входная и выходные щели устанавливаются в положение I, а при работе в области спектра от 200 до 260 и от 730 до 800 нм. Щели устанавливаются в положение II, в областях от 660 до 730 нм, и от 260 до 330 нм входная — в положение III, и выходная — в положение I.

Номинальные размеры сменных щелей и обозначение положения щели нанесены на поверхностях щели.

Для установки щелей в корпусе монохроматора предусмотрены гнезда.

Переключение зеркала 6 осуществляется перемещением от себя (к себе) рукоятки, расположенной на боковой стенке корпуса монохроматора со стороны выходной щели.

Закон движения решетки обеспечивается синусным механизмом, в котором для перемещения опорной поверхности служит винт.

Системой зубчатых передач синусный механизм связан с решеткой рукояткой, расположенной на торцевой стенке монохроматора, и цифровым механическим счетчиком, вмонтированным в корпус монохроматора, с помощью которого осуществляется непосредственный отсчет длин волн с точностью  $\pm 0,2$  нм.

### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Оптические свойства атомов определяются состоянием валентных электронов. Согласно современным представлениям, электроны в атомах могут находиться лишь в некоторых состояниях, которым соответствуют строго определенные дискретные значения энергии, называемые энергетическими уровнями.



**Рис. 2.** Экспериментальная установка

В простейшем случае, в атоме водорода имеется один единственный электрон, который является валентным электроном. Значения энергии для электрона в атоме водорода определяются формулой:

$$W_n = -\frac{me^4}{32\pi^2 \varepsilon_0^2 \hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2} \quad (1)$$

Здесь первая дробь представляет собой набор констант, а  $n$  – **главное квантовое число**. Обозначим:

$$W_0 = -\frac{me^4}{32\pi^2 \varepsilon_0^2 \hbar^2} \quad (2)$$

Тогда

$$W_n = -W_0 \cdot \frac{1}{n^2} \quad (3)$$

Здесь,  $W_0$  – энергия основного состояния электрона в атоме водорода. Полезно запомнить, что  $W_0 = 13,6 \text{ эВ}$ . Поэтому формулу (3) часто пишут в виде:

$$W_n = -13,6 \cdot \frac{1}{n^2} \text{ эВ} \quad (4)$$

Энергетическая диаграмма атома водорода приведена на **рис. 3а**.

В случае внешних воздействий атом, т.е. фактически его электрон, может получить дополнительную энергию и перейти в одно из возбужденных состояний, энергия которых больше, чем энергия основного состояния.

Такие переходы называют **переходами** на более высокие энергетические уровни.

Из возбужденных состояний атом спонтанно, т.е. самопроизвольно, переходит в основное состояние или на один из более низких энергетических

уровней, **рис. 3б**. При этом атом излучает в окружающее пространство энергию:

$$\Delta W = W_k - W_n \quad (5)$$

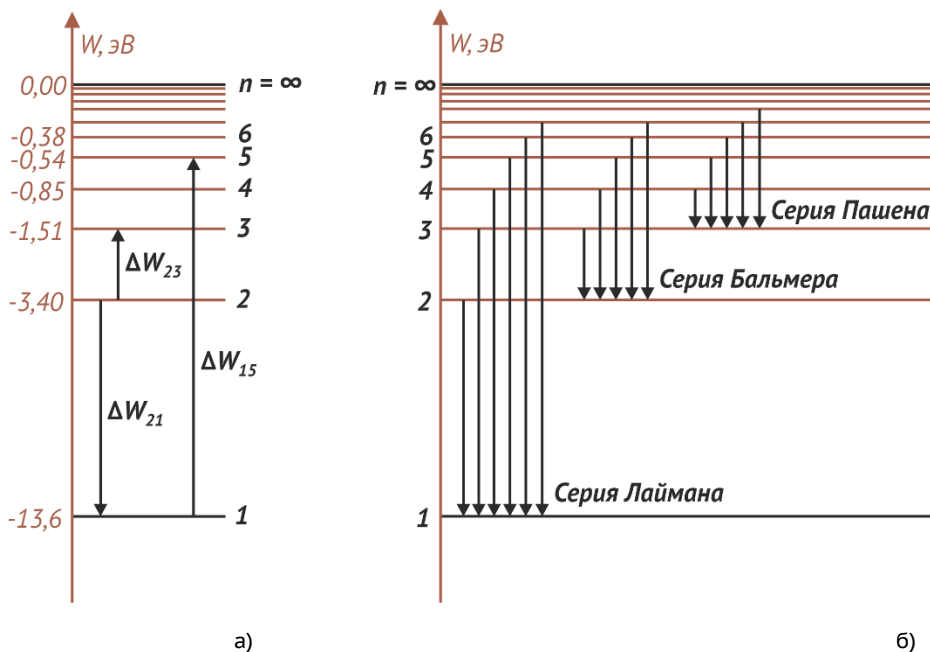
где  $W_k$  - энергия атома в исходном состоянии;

$W_n$  - энергия атома в конечном состоянии.

Энергия  $W_{kn}$  излучается в виде кванта электромагнитного излучения, так что

$$\hbar\omega_{kn} = W_k - W_n \quad (6)$$

Соотношение (6) часто называют правилом частот Бора.



**Рис. 3.** Энергетическая диаграмма атома водорода

Из соотношений (1) и (6) следует, что частота излучения равна:

$$\omega_{kn} = \frac{me^4}{32\pi^2 \varepsilon_0^2 \hbar^2} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right) \quad (7)$$

Выразив циклическую частоту  $\omega$  через длину волны  $\lambda$ , можно записать:

$$\frac{1}{\lambda_{kn}} = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right), \quad (8)$$

где  $R = 1,0967758 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$  – **постоянная Ридберга**.

$$R = \frac{me^4}{64\pi^2 \varepsilon_0^2 \hbar^2 c} \quad (9)$$

Совокупность длин волн (или частот), излучаемых телом, называют **спектром излучения** этого тела.

Как мы видим, вследствие квантования энергетических уровней электронов в атомах, атомарные спектры излучения состоят из дискретного набора длин волн (частот). Такие спектры называются **линейчатыми**.

Совокупность спектральных линий, т.е. длин волн или частот, соответствующих переходам на один и тот же энергетический уровень образует **серию линий**:

- Совокупность переходов в *основное* состояние ( $n = 1$ ) образует **серию Лаймана**;
- Переходы в состояние с ( $n = 2$ ) образуют **серию Бальмера**;
- Переходы в состояние с ( $n = 3$ ) образуют **серию Пашена**.

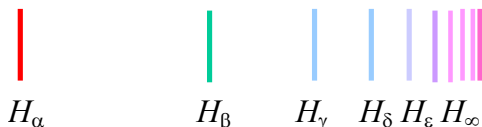
и так далее.

Видимый участок в спектре водорода целиком сосредоточен в серии Бальмера и представлен четырьмя первыми линиями в этой серии (**рис. 4**). Частоты и длины волн этих линий могут быть рассчитаны по формулам (7)–(9).

Линии **серии Бальмера**:

- $H_{\alpha}$  Красная линия с наибольшей длиной волны (наименьшей частотой)
- $H_{\beta}$  Голубовато-зеленая
- $H_{\gamma}$  Фиолетовая 1-ая
- $H_{\delta}$  Фиолетовая 2-ая

и т. д.



**Рис. 4.** Схема линий серии Бальмера для водорода

## ПОРЯДОК РАБОТЫ

Перед включением установки в сеть сетевой выключатель излучателя должен находиться в положение «Выкл».

1. Подключите сетевой шнур излучателя к сети и включите установку выключателем «СЕТЬ» на задней панели излучателя (при этом должна светиться подсветка клавиши выключателя «СЕТЬ»).
2. Убедитесь, что лампа излучателя работает, для чего ослабьте винт крепления рейтера излучателя к скамье и отодвиньте излучатель от монохроматора. Убедитесь в наличии свечения в окне излучателя. Установите излучатель на место и закрепите винтом крепления рейтера.
3. **Дать прогреться** излучателю в течение 3-5 мин.
4. Через окуляр монохроматора, вращая ручку измерения длин волн наблюдайте линии спектра.
5. Для измерения длины волны установите соответствующую линию в центре поля наблюдения монохроматора и по шкале монохроматора **определите длину волны  $\lambda_{\text{экспер}}$** .

Для наблюдения спектра рекомендуется использовать сменные щели монохроматора максимальной ширины, а для измерения длины волны – минимальной (при этом повышается точность измерений).

6. Полученные данные занести в **Таблицу**.
7. По окончании работы необходимо отключить питание установки выключателем «СЕТЬ» (на задней панели излучателя) и отключить сетевую вилку излучателя от питающей сети.



## ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. Построить **график** зависимости  $y = y(x)$  (см. **Таблицу**).
2. **Постоянную Ридберга** можно найти как *тангенс угла наклона* графика  $y = Rx$  :
3. Выберите на графике **две произвольные точки A и B**

Выбранные точки **не должны совпадать** с экспериментальными. Они должны располагаться как можно **дальше** друг от друга, но не выходить в рамки экспериментальных значений.

4. Определить **постоянную Ридберга** по формуле:

$$R = \operatorname{tg} \varphi = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_A - y_B}{x_A - x_B}$$

5. Сравнить результаты опыта с табличным значением  $R$  .
6. Рассчитать  $\lambda_{\text{теор}}$  по формуле (8).
7. Сравнить  $\lambda_{\text{теор}}$  и  $\lambda_{\text{экспер}}$  .
8. Рассчитать относительную погрешность:

$$\gamma = \frac{\lambda_{\text{теор}} - \lambda_{\text{экспер}}}{\lambda_{\text{теор}}} \cdot 100\%$$

9. Сделать выводы

**Таблица**

$k$	$\lambda_{\text{экспер}}$ , мкм	$y = \frac{1}{\lambda_{\text{экспер}}}$ , мкм <sup>-1</sup>	$x = \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{k^2} \right)$	$\lambda_{\text{теор}}$ , мкм	$\gamma$ , %
3					
4					
5					
6					

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте постулаты Бора.
2. Механизм излучения и поглощения электромагнитных волн атомами.  
Типы спектров.
3. Формула Бальмера для спектров легких атомов.
4. Спектральные серии (Пашена, Бальмера и др.).
5. Чем отличается линия *Бальмера* от остальных.
6. Квантовые числа. Физический смысл квантовых чисел.
7. Волновая функция.
8. Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний. Собственные значения и собственные функции.
9. Нестационарное уравнение Шрёдингера.