

## Содержание

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическая часть .....	4
2.1. Теория атома водорода по Бору .....	4
2.2. Спектр водорода .....	6
3. Экспериментальная часть.....	7
3.1. Приборы и принадлежности.....	7
3.2. Описание установки.....	7
3.3. Требования по технике безопасности.....	8
3.4. Порядок выполнения работы.....	9
3.4.1. Градуировка монохроматора .....	9
3.4.2. Определение постоянной Ридберга .....	10
4. Контрольные вопросы .....	11
Список литературы .....	11

# Лабораторная работа № 76

## Изучение спектра атома водорода

### 1. Цель работы

1.1. Определение длин волн серии Бальмера спектра атома водорода.

1.2. Расчет постоянной Ридберга.

### 2. Теоретическая часть

#### 2.1. Теория атома водорода по Бору

В теории Бора сохранены основные черты планетарной модели – электроны в атомах совершают орбитальное движение вокруг ядра под действием кулоновских сил. Однако орбитами электронов могут быть не всевозможные, а только стационарные, определяемые условиями квантования

$$mvr = n\hbar, (n = 1, 2, \dots), \quad (2.1)$$

где  $m$  – масса электрона,  $v$  – его скорость,  $r$  – радиус окружности, по которой движется электрон,  $n$  – целое число,  $\hbar = h/2\pi$ ,  $h$  – постоянная Планка.

Ограничимся рассмотрением круговых стационарных орбит, т.е. примем для атома водорода следующую модель: электрон в атоме водорода равномерно движется по окружности вокруг ядра с зарядом  $Z \cdot e$  (для атома водорода  $Z = 1$ ). В этом случае кулоновская сила притяжения обуславливает центростремительное ускорение

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{Z \cdot e}{4\pi\epsilon r^2}. \quad (2.2)$$

Из всевозможных движений по окружности, определяемых соотношением (2.2), нужно отобрать такие, которые удовлетворяют условию квантования (2.1). Решая совместно уравнения (2.1) и (2.2), находим скорость движения электрона на стационарной орбите

$$v = \frac{Ze^2}{n\hbar 4\pi\epsilon_0} \quad (2.3)$$

и радиус стационарной орбиты

$$r_n = \frac{n^2 \hbar^2 4 \pi \varepsilon_0}{m Z e^2}. \quad (2.4)$$

По теории Бора энергия, излучаемая и поглощаемая атомами, равна разности между энергиями стационарных состояний атома. Энергия стационарного состояния атома водорода  $E$  складывается из  $E_k$  – кинетической энергии электрона, вращающегося вокруг ядра, и  $E_{\pi}$  – взаимной потенциальной энергии электрона и ядра:

$$E_k = \frac{m v^2}{2} = \frac{m Z^2 e^4}{8 \varepsilon_0^2 n^2 \hbar^2}, \quad (2.5)$$

$$E_{\pi} = - \frac{Z e^2}{4 \pi \varepsilon_0 r} = - \frac{m Z^2 e^4}{4 \varepsilon_0^2 n^2 \hbar^2}. \quad (2.6)$$

Тогда энергия стационарного состояния  $E$  выразится как

$$E = E_{\pi} + E_k = - \frac{m Z^2 e^4}{8 \varepsilon_0^2 n^2 \hbar^2}. \quad (2.7)$$

Отрицательный знак величины  $E$  обусловлен тем, что мы приняли величину потенциальной энергии двух зарядов, находящихся на бесконечном расстоянии друг от друга, равной нулю. При сближении зарядов потенциальная энергия уменьшится, правда, при этом увеличивается кинетическая энергия электрона  $E_k$ . Потенциальная энергия уменьшается сильнее, чем возрастает кинетическая энергия, поэтому вычисленное значение  $E$  оказывается отрицательным. Знак «минус» в (2.7) показывает, что при образовании атома водорода его внутренняя энергия уменьшается, следовательно, образование атома водорода сопровождается выделением энергии, т.е. атом водорода является устойчивым. Придавая величине  $n$  в (2.7) различные целочисленные значения ( $n = 1, 2, 3 \dots$ ), получим ряд значений энергии стационарных состояний водорода. Ряд возможных значений энергии атома водорода можно выразить с помощью схемы уровней энергии, изображенной на рис. 2.1. За нулевое значение уровня энергии принимается такое его значение, при котором один из валентных электронов атома отсутствует (находится на бесконечности). Такое определение нулевого уровня соответствует тому, что потенциальная энергия на бесконечности равна нулю. Слева около каждой линии

помещено число, представляющее значение квантового числа для данного стационарного состояния: справа – число, обозначающее энергию состояния в электрон-вольтах.

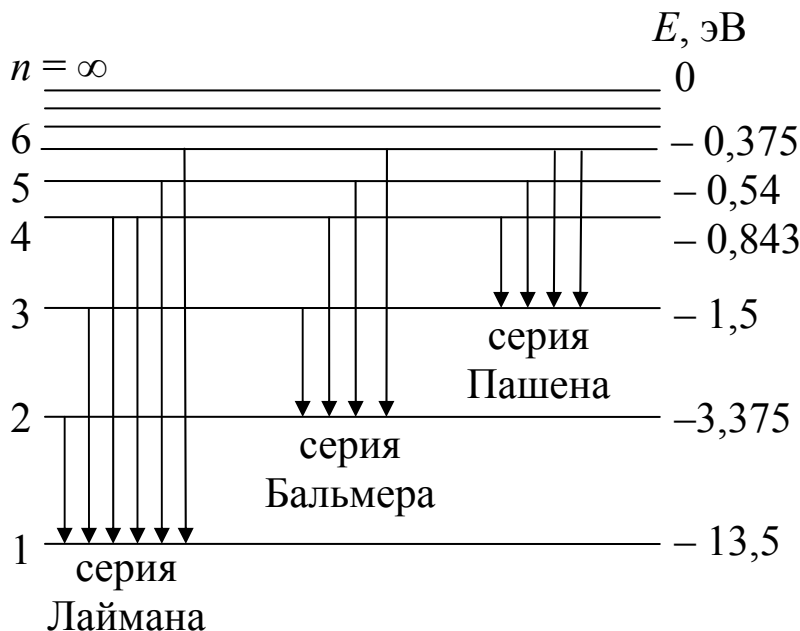


Рис. 2.1

## 2.2. Спектр водорода

В соответствии с постулатами Бора, атомы водорода излучают кванты света, когда переходят из стационарного состояния с большей энергией в стационарное состояние с меньшей энергией. Частота излучения выражается соотношением

$$\nu = \frac{E_i - E_n}{h} = \frac{m Z^2 e^4}{8 \varepsilon_0^2 h^3} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{i^2} \right). \quad (2.8)$$

С учетом того, что  $\nu = c/\lambda$  (2.8) можно записать:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{m Z^2 e^4}{8 \varepsilon_0^2 h^3 c} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{i^2} \right) = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{i^2} \right), \quad (2.9)$$

$$R = \frac{m Z^2 e^4}{8 \varepsilon_0^2 h^3 c} = 1,10 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} \quad (2.10)$$

где  $R$  – постоянная Ридберга.

Значение постоянной Ридберга, вычисленное по формуле (2.10), с большой точностью совпадает с экспериментальным, что указывает на то, что теория Бора с высокой точностью определяет спектр атома

водорода. Из формулы (2.9) следует, что все линии спектра могут быть объединены в серии. Спектральные серии представляют собой излучения, которые возникают в результате перехода атома в данное состояние, определяемое числом  $n$ , из всех возможных возбужденных состояний, определяемых числом  $i$ , расположенных выше данного.

Для атома водорода основными сериями являются:

$n = 1, i = 2, 3, \dots$  – серия Лаймана;

$n = 2, i = 3, 4, \dots$  – серия Бальмера;

$n = 3, i = 4, 5, \dots$  – серия Пашена;

$n = 4, i = 5, 6, \dots$  – серия Брэккета;

$n = 5, i = 6, 7, \dots$  – серия Пфунда.

Серии спектра атома водорода были получены экспериментально до создания теории Бора. Видимая часть линейчатого спектра атома водорода (серия Бальмера) состоит из ряда линий, наиболее яркими из которых являются следующие четыре: красная  $H_\alpha$  ( $i = 3$ ), голубая  $H_\beta$  ( $i = 4$ ), синяя  $H_\gamma$  ( $i = 5$ ) и фиолетовая  $H_\delta$  ( $i = 6$ ).

Несмотря на удачное объяснение спектральных закономерностей водородоподобных атомов, теория Бора обладает рядом недостатков. В частности, она не может объяснить спектры излучения более сложных атомов и различную интенсивность спектральных линий. Эти трудности были преодолены квантовой теорией, показавшей неприменимость классических представлений к микрообъектам.

### **3. Экспериментальная часть**

#### **3.1. Приборы и принадлежности:**

- 1) монохроматор УМ-2;
- 2) ртутная, неоновая и водородная лампы;
- 3) источники питания.

#### **3.2. Описание установки**

Основой установки является монохроматор УМ-2. Оптическая схема монохроматора показана на рис. 3.1.



Свет через входную щель попадает на объектив коллиматора и параллельным пучком проходит диспергирующую призму. Под углом  $90^\circ$  к падающему пучку света помещается выходная труба монохроматора. В качестве входной щели коллиматора применена стандартная симметричная щель, цена деления на барабанчике щели равна  $0,01$  мм. Поворачивая призмный столик на различные углы относительно падающего пучка света, получают в выходной щели свет различной длины волны, проходящей через призму в минимуме отклонения. Ось вращения механизма собрана на шарикоподшипниках, поэтому призмный столик перемещается легко и плавно с помощью барабана длин волн, на котором нанесены относительные деления – градусы. Отсчет начинается против индекса, скользящего по спиральной канавке. В фокальной плоскости окуляра зрительной трубы имеется указатель, который совмещается с наблюдаемой линией.

Неоновая лампа включается непосредственно в сеть  $220$  В. Ртутная и водородная лампы имеют отдельные блоки питания.

### 3.3. Требования по технике безопасности

При выполнении работы необходимо:

1. Проверить заземление лабораторной установки и изоляцию

токоведущих проводов, о замеченных неисправностях сообщить преподавателю.

2. Не загромождать рабочее место посторонними предметами.

3. Не допускать попадания света от ртутной и водородной ламп в глаза.

4. Не прикасаться к выходным клеммам источников питания.

5. По окончании работы выключить установку, отсоединив токоведущие провода от розеток, и привести в порядок рабочее место.

### **3.4. Порядок выполнения работы**

#### **3.4.1. Градуировка монохроматора**

Для градуировки применяется ртутная лампа. Красная линия в излучении ртутной лампы очень слаба, поэтому для градуировки прибора в красной области спектра используют неоновую лампу. Для идентификации спектральных линий используется табл. 3.1 спектральных линий неона и ртути с указанием их относительной яркости.

Таблица 3.1

Лампа	Окраска линии	Относительная яркость	Длина волны, нм
Неоновая	Ярко-красная	10	640,2
	Красно-оранжевая (левая из двух близких линий)	10	614,3
	Оранжевая (первая заметная влево от желтой)	5	594,3
	Желтая	20	585,2
	Светло-зеленая (первая вправо от желтой)	4	576,0
	Зеленая	6	540,0
Ртутная	Желтая	10	576,9
	Желтая	10	573,1
	Зеленая	10	546,1
	Зелено-голубая	10	491,6
	Синяя	8	435,8
	Фиолетовая	7	404,6

Градуировочную кривую следует строить в крупном масштабе. По оси  $x$  откладываются градусные деления барабана поворотного механизма, а по оси  $y$  – длины волн соответствующих линий.

1. Перед входной щелью коллиматора устанавливают неоновую лампу. Через зрительную трубку монохроматора наблюдают спектр неона и указатель зрительной трубы. Если указатель зрительной трубы монохроматора и края щели коллиматора видны нечетко, т.е. спектральные линии расплывчаты, то следует отрегулировать сначала положение окуляра, добившись резкого изображения указателя. После фокусировки, выбрав какую-либо линию неона с известной длиной волны, поворачивают барабан поворотного механизма монохроматора до совмещения этой линии с указателем зрительной трубы и производят отсчет на барабане в градусах. То же самое проделывают для других наиболее ярких линий спектра неона. Длины волн этих линий и соответствующие значения делений барабана заносят в табл. 3.2.

2. Перед входной щелью коллиматора устанавливают ртутную лампу. Прделав те же операции, что и с неоновой лампой, для ртутной лампы, заносят в табл. 3.2 длины волн линий спектра ртути и соответствующие им градусные деления барабана монохроматора.

3. По данным табл. 3.2 строят градуировочный график.

Таблица 3.2

Длины волн линий спектра неона	Градусные деления барабана	Длины волн линий спектра ртути	Градусные деления барабана

### 3.4.2. Определение постоянной Ридберга

1. Перед входной щелью устанавливают водородную лампу.

2. Определяют градусные деления барабана, соответствующие линиям  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  серии Бальмера спектра атома водорода и по градуировочному графику определяют длины волн этих линий.

3. Для каждого значения  $\lambda_\alpha$ ,  $\lambda_\beta$ ,  $\lambda_\gamma$  вычисляют постоянную Ридберга по формуле

$$R = \frac{1}{\left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{i^2} \right) \lambda}. \quad (2.11)$$



4. Результаты измерений и вычислений заносят в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Линия спектра	Градусные деления барабана	Длина волны	Квантовые числа		Постоянная Ридберга $R$
			$n$	$i$	
Красная, $H_\alpha$			2	3	
Зелено-голубая, $H_\beta$			2	4	
Синяя, $H_\gamma$			2	5	

#### 4. Контрольные вопросы

1. Какова модель атома Бора?
2. Выведите выражения для радиуса и скорости движения электрона по круговой орбите.
3. Объясните физический смысл отрицательного значения энергии электрона в атоме.
4. Выведите выражение для частоты кванта света при переходе атома водорода из одного стационарного состояния в другое.
5. Какая совокупность линий называется серией? Какие серии в спектре атома водорода вы знаете?
6. Как экспериментально находятся длины волн линий спектра атома водорода?

#### Список литературы

1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Academia, 2006.
2. Детлаф А.А., Яворский В.М. Курс физики. – М.: Academia, 2005.