

Работа 2.2
Изучение спектров атома водорода
Селюгин Михаил, 876

1 Теория вопроса

Атом водорода является простейшей атомной системой и для него уравнение Шредингера может быть решено точно. Поэтому спектр атома водорода является предметом тщательного исследования.

Длина волн спектральных линий водородоподобного атома описывается формулой Бальмера

$$\frac{1}{\lambda_{mn}} = RZ^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

где R — постоянная Ридберга.

Для объяснения спектра атома водорода Нильс Бор предложил следующие постулаты:

- из всех возможных орбит в атоме осуществляются только некоторые стационарные орбиты, при движении по которым электрон не излучает энергии;
- момент количества движения по стационарным орбитам кратен величине постоянной Планка, т. е.

$$L = n\hbar$$

- излучение или поглощение энергии происходит при переходе из одного стационарного состояния в другое, при этом частота излучаемого света удовлетворяет условию:

$$h\nu = E_2 - E_1$$

В таком случае энергетические состояния определяются выражением

$$E_n = -\frac{m_e e^4 Z^2}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2}$$

Рассмотрев энергию как сумму потенциальной и кинетической составляющих, найдем энергию основного и возбужденных состояний, имеем

$$E = -\frac{m_e e^4 Z^2}{2\hbar^2} = -RZ^2$$

$$E_n = -R \frac{Z^2}{n^2}$$

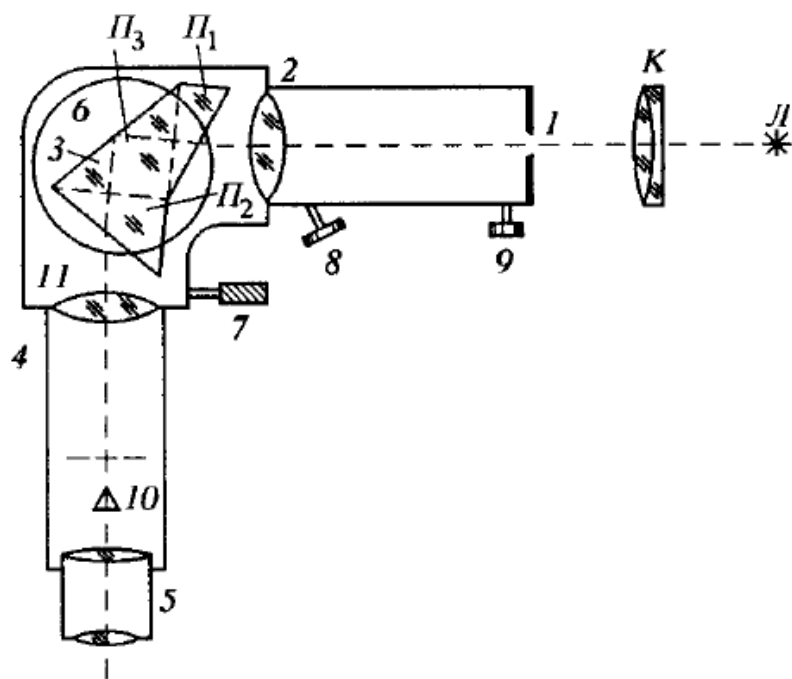
Утверждение о том, что на орбите должно укладываться целое число волн де Бройля соответствует второму постулату Бора.



Рис. 1. Уровни энергии атома водорода и образование спектральных серий

2 Экспериментальная установка

Для измерения длин волн спектральных линий в работе используется стеклянно-призмный монохроматор-спектрометр УМ-2.



Р и с. 2. Устройство монохроматора УМ-2

1. щель

2. колл. объектив

3. спектр. призма

4. объектив

5. окуляр

6. столик

7-9. винты

10. указатель

11. корпус

Л — источник

К — конденсор

3 Ход работы

1. Была произведена градуировка спектрометра УМ-2 по спектрам неона и ртути:

# полосы	λ , А	Угол барабана α , grad
23	5401	1864
22	5852	2140
20	5945	2186
19	5976	2198
18	6030	2230
16	6096	2252
15	6143	2276
13	6217	2310
12	6267	2328
10	6334	2364
8	6402	2381
7	6507	2428
Табл.1. Результаты градуировки спектрометра УМ-2 по спектру неона		

# полосы	λ , А	Угол барабана α , grad
0	6234	2312
1	5791	2108
2	5770	2095
3	5461	1911
4	4916	1480
5	4358	808
Табл.2. Результаты градуировки спектрометра УМ-2 по спектру ртути		

2. Был также снят спектр водорода

# полосы	Угол барабана α , grad
H α	2434
H β	1426
H γ	775
Табл.3. Результаты измерения спектра водорода с помощью спектрометра УМ-2	

3. На основании градуировки был построен график, на котором вертикальными линиями отмечены спектральные линии водорода. Точки пересечения линий с графиком позволяют определить длину волны.

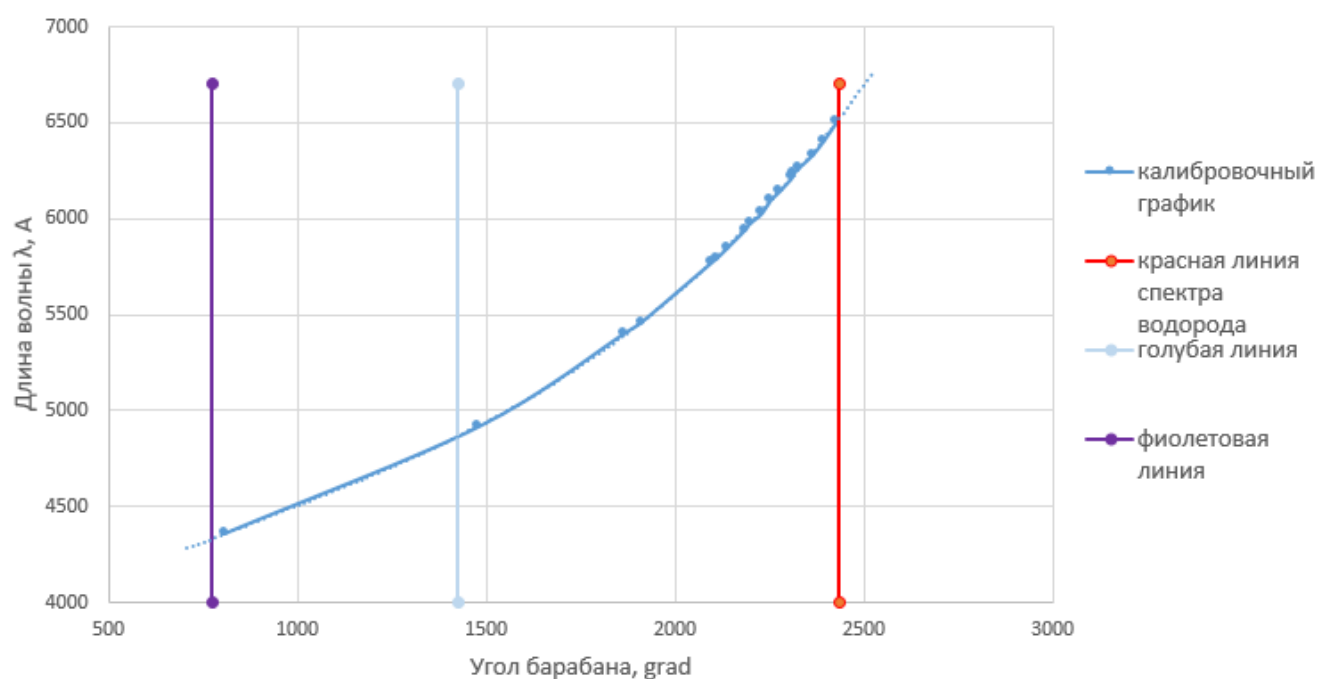


Рис. 3. Градуировочный график, построенный по спектрам ртути и неона, на котором отмечены спектральные линии водорода.

4. Из градуировочного графика для каждой линии была определена длина волны. Принимая во внимание погрешность определения положения спектральной линии и погрешность градуировочного графика (которая однако много меньше первой), была выбрана $\delta\lambda = 10\text{Å}$.

# полосы	длина волны λ , Å
H α	6520 ± 10
H β	4860 ± 10
H γ	4330 ± 10

Табл. 4. Вычисленные по градуировочному графику
длины волн спектральных линий водорода

5. Из формулы Бальмера

$$\frac{1}{\lambda_{mn}} = RZ^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

В данном случае $n = 2$, $m = 3, 4, 5$. Отсюда следуют соотношения между длинами волн, которые с высокой точностью подтверждаются экспериментом:

$$\left(\frac{\lambda_{42}}{\lambda_{32}} \right)_{th} \approx 0,741; \quad \left(\frac{\lambda_{42}}{\lambda_{32}} \right)_{exp} \approx 0,745$$

$$\left(\frac{\lambda_{52}}{\lambda_{32}} \right)_{th} \approx 0,661; \quad \left(\frac{\lambda_{52}}{\lambda_{32}} \right)_{exp} \approx 0,664$$

$$\left(\frac{\lambda_{52}}{\lambda_{42}} \right)_{th} \approx 0,893; \quad \left(\frac{\lambda_{52}}{\lambda_{42}} \right)_{exp} \approx 0,891$$

6. Рассчитаем, наконец, постоянную Ридберга по каждой спектральной линии. Воспользуемся снова формулой Бальмера для водородоподобных атомов.

$$R = \frac{1}{\lambda_{mn}} : \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

$$R_{\alpha} = (1,098 \pm 0,002) \cdot 10^5 cm^{-1}$$

$$R_{\beta} = (1,0969 \pm 0,0013) \cdot 10^5 cm^{-1}$$

$$R_{\gamma} = (1,0971 \pm 0,0012) \cdot 10^5 cm^{-1}$$

Погрешность: $\varepsilon_R = \varepsilon_{\lambda}$

Тогда, усредняя, имеем $R = (1,097 \pm 0,002) \cdot 10^5 cm^{-1}$ ($\varepsilon = 0,18\%$)

4 Вывод

В работе был исследован спектр водорода с помощью градуированных спектров ртути и неона. Были получены длины волн спектральных линий водорода, экспериментально подтверждена формула Бальмера и получено верное, в пределах погрешности, значение постоянной Ридберга.

$$R_{exp} = (1,097 \pm 0,002) \cdot 10^5 cm^{-1}, \quad R_{th} = 1,0968 \cdot 10^5 cm^{-1}$$