

Работа 2.2

Изучение спектра атома водорода

Подлесный Артём
группа 827

6 октября 2020 г.

Краткая теория

Атом водорода является простейшей атомной системой, для которого уравнение Шредингера имеет точные решения. Выражение для длин волн спектральных линий имеет вид

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

где R – постоянная Ридберга.

Исходя из модели атома Бора электроны в атоме могут находиться на определенных энергетических уровнях, определяемых формулой:

$$E_n = -\frac{2\pi^2 m_e e^4 Z^2}{h^2} \frac{1}{n^2}. \quad (2)$$

Исходя из экспериментального спектра, показанного на рис.1, и формулы (2) видим, что линии спектра наблюдаются в виде серий с характерным n . В этой работе будет исследоваться серия Бальмера, для которой $n = 2$. То, что наблюдается именно спектр серии Бальмера обеспечивает тот факт, что только эта серия находится в области видимого света, а установка предполагает наблюдение только видимого спектра.

Величины m для первых 4 линий серии H_α , H_β , H_γ , H_δ равны соответственно 3, 4, 5 и 6.



Рис. 1: Уровни энергии атома водорода и образование спектральных линий.

Постоянная Ридберга определяется из соотношения для энергии основного состояния атома:

$$E = -\frac{m_e c^4}{2h^2} Z^2 = -RZ^2. \quad (3)$$

Градуировка спектрометра

Экспериментальная установка

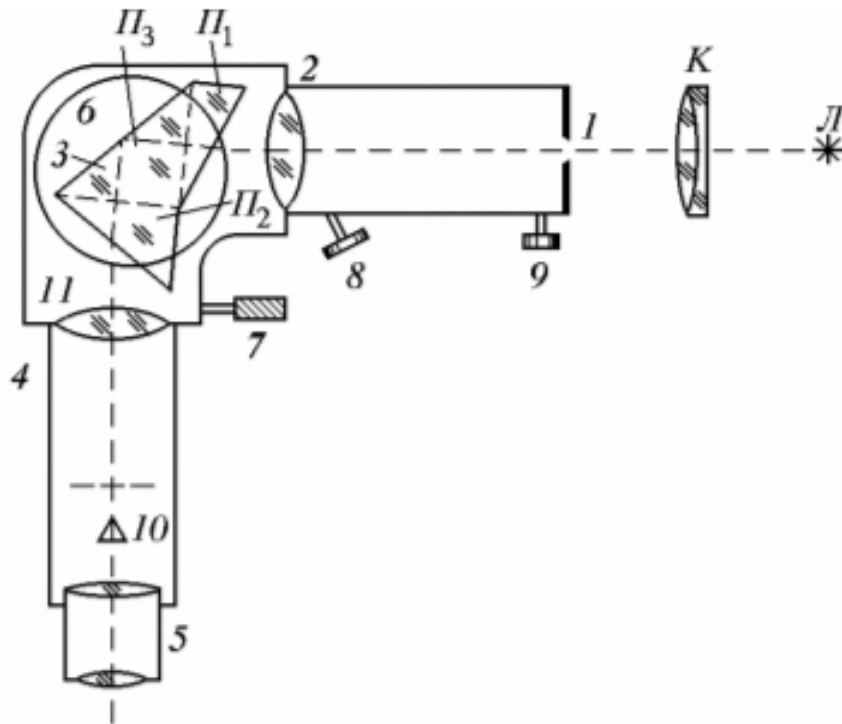


Рис. 2: Схема экспериментальной установки. С помощью линзы можно было фокусировать источник света в щель спектрометра, от чего зависела четкость наблюдаемых спектральных линий. С помощью барабана 7 ставилось соответствие между длиной волны линии и её положением. Эта зависимость не является линейной, поэтому необходима градуировка спектрометра.

Градуировка по неоновой и ртутной лампам

Градуировка спектрометра производилась с помощью известных спектров: неоновой и ртутной ламп. С помощью таблиц цветов спектра, и так же их рисунков, можно было поставить соответствие между известной линией и её положением на барабане. Результаты представлены на таблице 1.

По полученным данным можно построить градуировочный график, изображенный на рис (3).

неон		.	ртуть	
$\varphi, ^\circ$	$\lambda, \text{Å}$.	$\varphi, ^\circ$	$\lambda, \text{Å}$
1888	5331	.	2554	6907
2148	5852	.	2314	6234
2160	5882	.	2116	5791
2190	5945	.	2100	5770
2208	5976	.	1920	5461
2234	6030	.	1500	4916
2256	6074	.	834	4358
2264	6096	.	346	4047
2284	6143	.		
2292	6164	.		
2316	6217	.		
2336	6267	.		
2352	6305	.		
2362	6334	.		
2380	6383	.		
2390	6402	.		
2426	6507	.		

Таблица 1: Градуировка спектрометра. Значения барабана определяются в градусах с погрешностью в 2° .

Как видно по графику, все точки хорошо аппроксимируются гладкой кривой. Так как функция этой кривой не может быть определена, то для градуировки лучше использовать метод частичной аппроксимации – брать 3 ближайших точки от той, которую надо определить, и проводить по ним параболу. Так как парабола по 3 точкам единственна, является гладкой кривой, то она может аппроксимировать значения с достаточно высокой точностью. Значения для линий водорода будут получены именно таким способом.

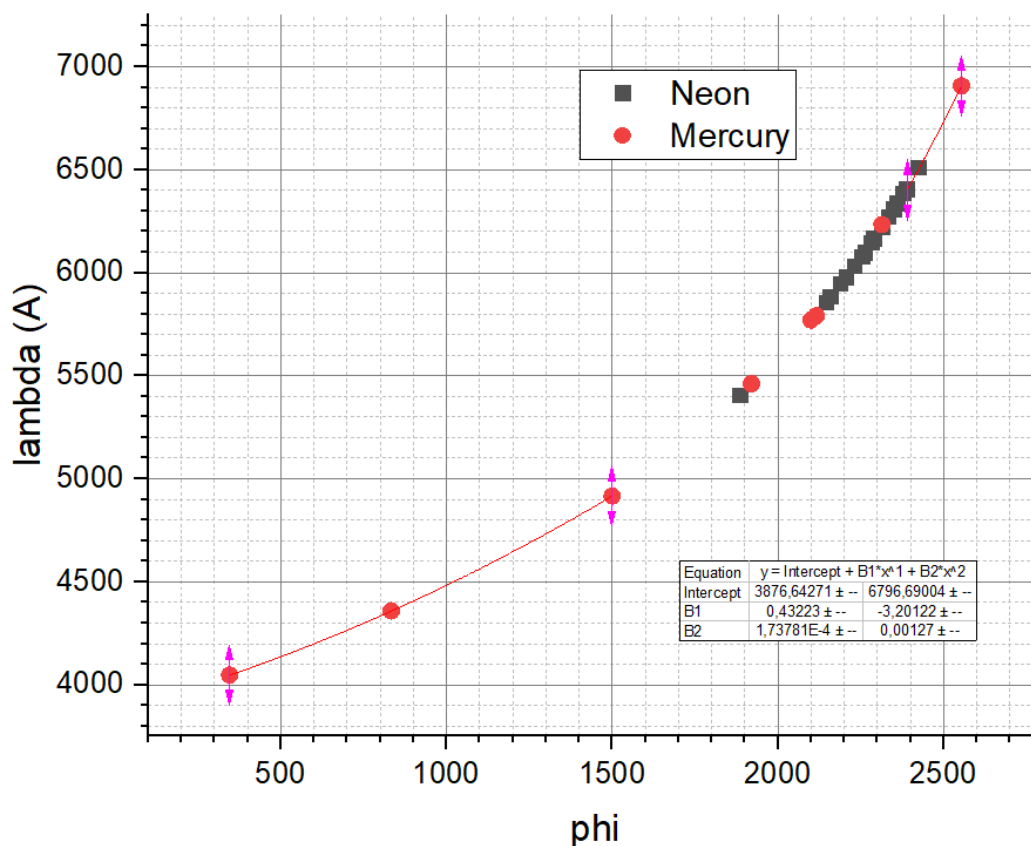


Рис. 3: Градуировочная кривая по значениям спектра неона и ртутной лампы. Как видно, значения получены достаточно достоверно, что связано как с хорошей настройкой установки, так и методом измерения. В этой работе важным фактором является наличие параллакса между глазом, фиксирующей шкалой и линиями на экране. Чтобы его избежать, команда четко разделила обязанности, и градуировку снимал один человек (я) не меняя положения глаз, в то время как остальные фиксировали значения.

Спектр водорода

Измерения спектра водорода проводились тем же методом. Все точки были сняты по кругу дважды, чтобы уменьшить влияние изменения положения глаза в процессе измерения. На таблице 2 сразу представлены и значения длин волн, посчитанных с помощью калибровочной кривой.

Как видно, данные измерений 2 кругов, не считая 4 линию, почти одинаковы, так что можно считать, что методика измерений дает единственный результат. В качестве результатов взяты данные первого круга.

Для иллюстрации точности данных построен график на рис. 4., на который добавлены длины волн линий, известных теоретически. Линия H_δ Выбирается из калибровочной кривой больше других, что связано с ошибкой эксперимента. Если считать погрешность измерения метода как половину ширины

$\phi, ^\circ$	λ, A	$\lambda_{\text{теор}}, A$
2438	6541	6562.8
1450	4869	4861.3
806	4338	4340.5
364	4057	4101.7
806	4338	4340.5
1446	4865	4861.3
2436	6535	6562.8
394	4074	4101.7
352	4050	4101.7

Таблица 2: Данные за первый круг - первые 4 строки, за второй - следующие 3 строки. Последние 2 строки - линия H_δ , снятая после того, как я отошел от остановки, так что эти данные менее достоверные в условиях эксперимента.

линии, то общая погрешность измерения положения линии определяется как:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{\text{метода}}^2 + \Delta_{\text{ц.д.}}^2} \simeq 4^\circ \text{ (В случае всех измерений кроме } H_\delta \text{).}$$

Измерения проводились при неизменной ширине линий, однако для наблюдения H_δ необходимо было увеличить ширину линии в 5 раз, из-за чего погрешность стала равной 15° .

Постоянная Ридберга

Из формулы (1) для спектра водорода получаем

$$\frac{1}{\lambda_m} = R \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Тогда по этой зависимости можно построить линеаризованный график, изображенный на рис. 5.

Полученное значение постоянной Ридберга:

$$R = 108460 \pm 490 \text{ см}^{-1},$$

что вполне соответствует теоретическому значению:

$$R_{\text{теор}} = 109677,6 \text{ см}^{-1}.$$

Исходя из (1) можем так же проверить сериальную закономерность:

$$n = \sqrt{\frac{-\text{Slope}}{\text{Intercept}}} = 1.99,$$

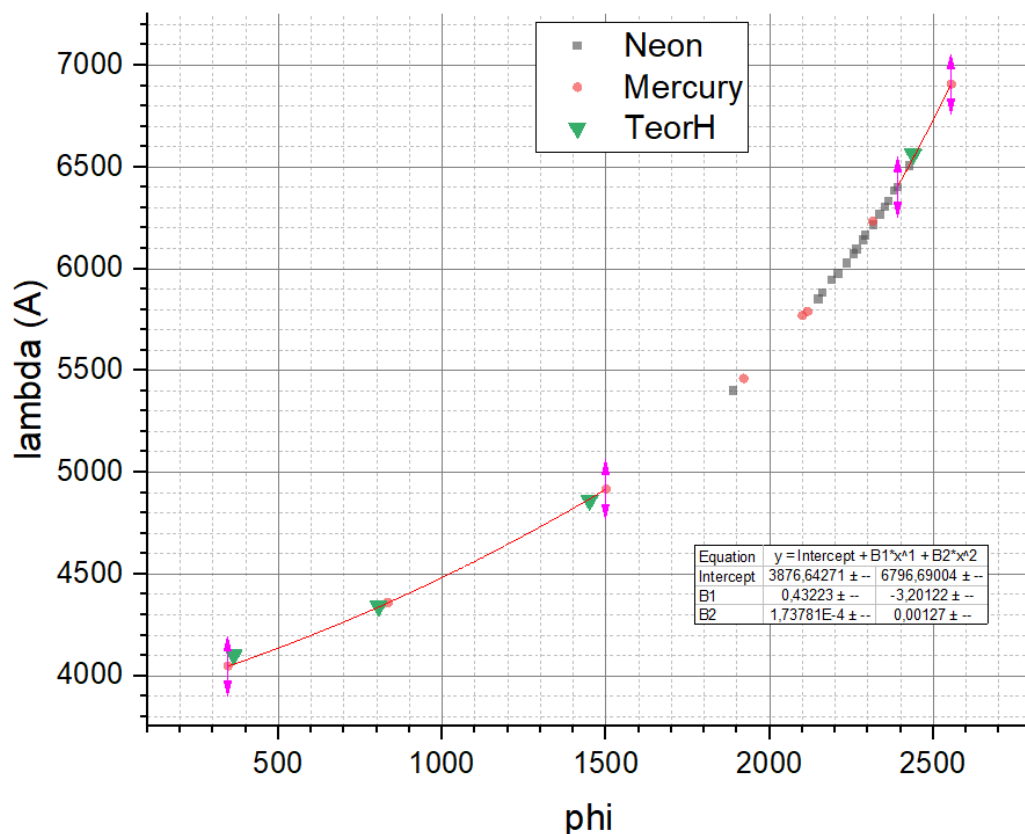


Рис. 4: На графике контрастным точкам соответствуют теоретические значения длин волн линий и измеренными положениями линий на спектрометре. Как видно, теоретические данные близки к данным, полученным с калибровочной кривой.

что должно равняться 2, и, в принципе, равняется. Так что можно утверждать, что производились измерения одной серии.

Вывод

В процессе работы команда познакомилась с принципом работы спектрометра, определив способы наиболее точной градуировки и снятия данных. Было доказано, что в снятые точки принадлежат серии Бальмера, а полученное значение для постоянной Ридберга совпадает с теоретическим в 3 знаке, что свидетельствует о высокой точности эксперимента. Так же наблюдались все 4 спектральные линии серии, что является следствием хорошей настройки спектрометра.

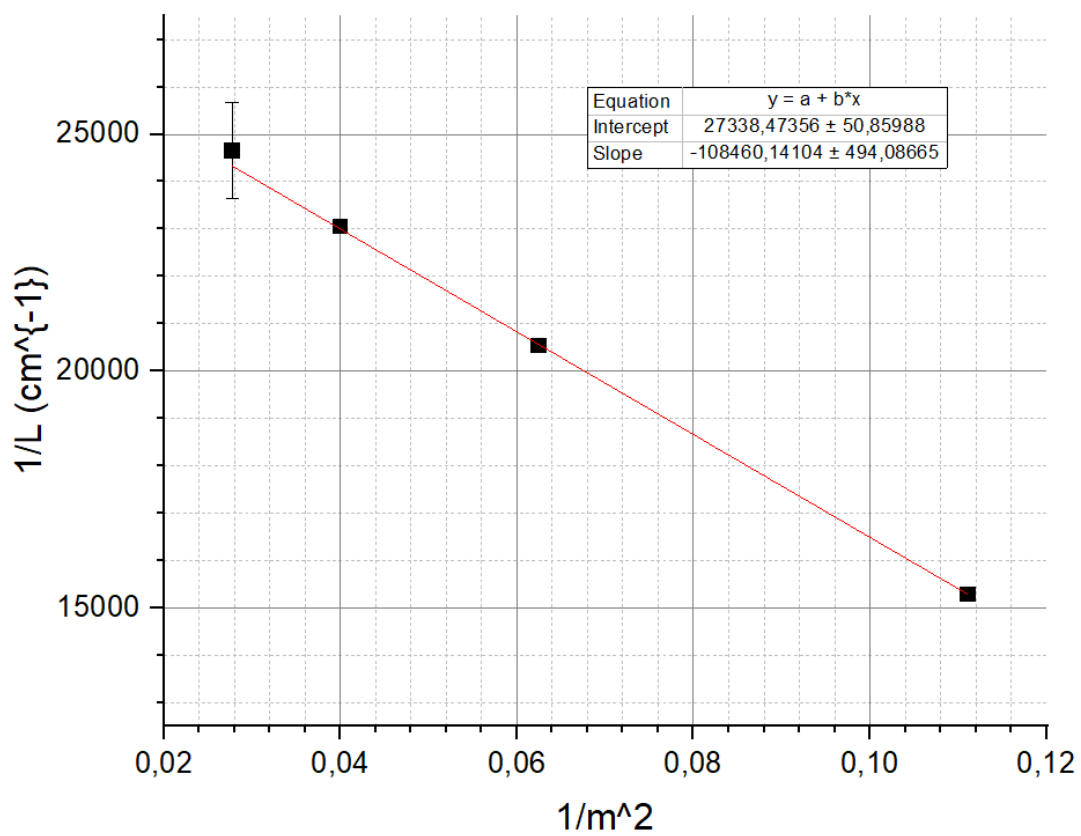


Рис. 5: График зависимости $\frac{1}{\lambda} \left(\frac{1}{m^2} \right)$. Здесь заметно, что точка H_δ посчитана с намного более плохой точностью, чем остальные, однако все равно близка к аппроксимирующей прямой.