

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.5.

ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРОВ ИСПУСКАНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ

Цель работы: наблюдение и отождествление Фраунгоферовых линий; исследование спектра испускания водорода и вычисление постоянной Ридберга; наблюдение спектров испускания инертных газов и спектров поглощения растворов.

Приборы и принадлежности: монохроматор УМ-2; поворотная призма на оптическом столике; индукционная катушка; эталонные лампы Fe и H с блоками питания; спектроскоп трехтрубный; набор спектральных трубок; высоковольтный генератор “Спектр -1”; выпрямитель ВС-4-12; лампа накаливания; пробирки с растворами поглощающих веществ.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение атомных спектров явилось ключом к познанию внутренней структуры атомов. Эксперимент показал, что отдельные линии спектров излучения и поглощения газообразных веществ расположены не беспорядочно, а образуют так называемые серии, то есть группы линий, частоты которых подчиняются определенной закономерности. Наиболее простой эта закономерность оказывается у спектра водорода. Благодаря работам Бальмера (1885г.), а затем Ридберга и Ритца было установлено, что для всех частот спектра водорода справедливо следующее выражение:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = cR \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (1)$$

Здесь c – скорость света; $n = 1, 2, 3, \dots$ – числа, определяющие спектральную серию (для наблюдаемой в работе серии Бальмера, соответствующей видимой области спектра, $n=2$); $m = n+1, n+2, \dots$ – числа, определяющие отдельные линии в каждой серии; λ – длина волны. Постоянная R , получившая название постоянной Ридберга, определена с высокой точностью благодаря тщательным измерениям длин волн в спектре излучения атома водорода.

По теории Бора энергия атома водорода в стационарном состоянии равна:

$$E_n = -\frac{e^4 m_e}{8\epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2},$$

при этом частота излучения при переходе из состояния m в состояние n определяется выражением:

$$\nu_{nm} = \frac{e^4 m_e}{8\epsilon_0^2 h^3} \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (2)$$

Здесь e и m_e – заряд и масса электрона.

Сопоставление (2) с формулой Бальмера–Ритца (1) дает возможность выразить постоянную Ридберга через универсальные константы – заряд и массу электрона (e и m_e), скорость света c и постоянную Планка h :

$$R = \frac{e^4 m_e}{8\epsilon_0^2 c h^3} \quad (3)$$

Для наблюдения спектров поглощения необходимо наличие источника излучения и поглощающей среды. Примером спектров поглощения являются Фраунгоферовы линии – линии поглощения в спектре Солнца. Фраунгоферовы линии впервые наблюдал в 1802 году английский физик У. Волластон, а в 1814 году они были обнаружены и подробно описаны немецким физиком Й. Фраунгофером, однако правильное объяснение природы этих линий дал другой немецкий физик Р. Кирхгоф. Известно более 20 тысяч фраунгоферовых линий в инфракрасной, ультрафиолетовой и видимой областях

солнечного спектра. Некоторые наиболее интенсивные фраунгоферовы линии видимой области спектра приведены в Таблице спектральных линий (см. Справочные таблицы).

Лабораторная работа состоит из двух частей. В первой части работы проводится наблюдение и отождествление фраунгоферовых линий с помощью эталонных источников излучения, а также определение постоянной Ридберга R по результатам измерения длин волн линий излучения в спектре водорода.

Вторая часть работы посвящается ознакомлению со спектрами излучения инертных газов, а также наблюдению спектров поглощения растворов красителей.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Для наблюдения Фраунгоферовых линий и измерения длины волны используется монохроматор УМ-2 (фото 1) и расположенная на оптическом столике перед входной щелью монохроматора поворотная призма ПП-1 (фото 2), которая может вращаться в произвольном направлении. Свет от источника I_1 (рис. 4.5.1), сфокусированный линзой L на входную щель $Щ$ монохроматора, проходит через объектив $Об_1$ и превращается в параллельный пучок. Далее свет разлагается призмой $Пр$ в спектр и фокусируется объективом $Об_2$ в плоскости указателя $У$. Картину наблюдают при помощи окуляра $Ок$, на который для защиты глаз надет поляризатор $П$.

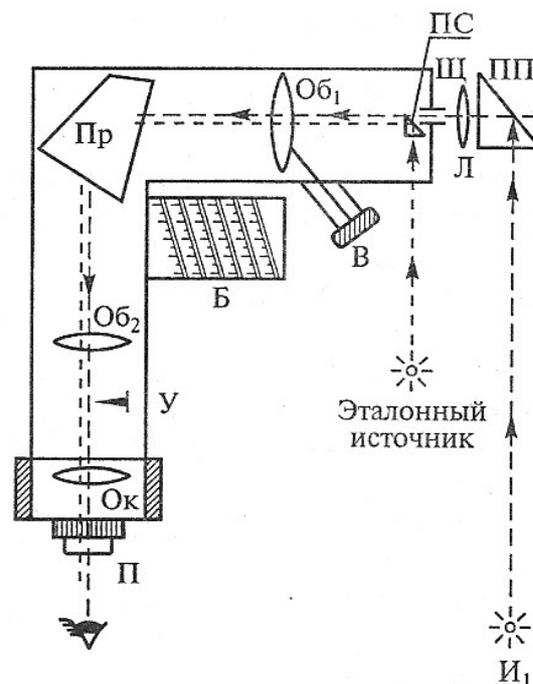


Рис. 4.5.1



Фото 2



Фото 3



Фото 1

При работе с монохроматором перед началом измерений следует навести на резкость окуляр, добившись четкого изображения указателя линий в поле зрения монохроматора (фото 3). Затем вращают винт B , который перемещает объектив $Об_1$, с тем чтобы добиться четкого изображения спектральной линии в плоскости указателя. Для разных длин волн винт B занимает различные положения, поэтому при наблюдении линий в различных участках спектра необходимо периодически проводить настройку на резкость наблюдаемой картины.



Длины волн спектральных линий определяются следующим образом. При помощи барабана B указатель совмещается с определенной линией спектра. Затем считываются показания с барабана и по калибровочной кривой, прилагаемой к монохроматору (см. Приложение 1 к данной работе), определяется искомая длина волны. Призма сравнения дает возможность одновременно наблюдать два спектра.

Для отождествления Фраунгоферовых линий используются эталонные источники излучения водорода, гелия, криптона, неона (фото 4).

Наблюдение спектров излучения инертных газов и спектров поглощения растворов проводится с помощью трехтрубного спектроскопа Бунзена (фото 5). Схема его устройства показана на рис. 4.5.2.

Спектроскоп состоит из трех основных частей: коллиматора K , призмы Π и зрительной трубы T . Исследуемый источник света помещается перед щелью коллиматора. Сформированный линзой L_1 пучок попадает на призму. Благодаря дисперсии пучки света, соответствующие различным частотам спектра излучения источника, после призмы идут по разным направлениям. Каждый такой пучок собирается объективом L_2 зрительной трубы. Спектр рассматривается через окуляр L_3 . В третьей вспомогательной трубе находится шкала Ш , освещенная лампочкой. Шкала расположена в фокальной плоскости линзы L_4 . Изображение получается в фокальной плоскости линзы L_2 . Шкала градуирована в длинах волн.



Фото 5

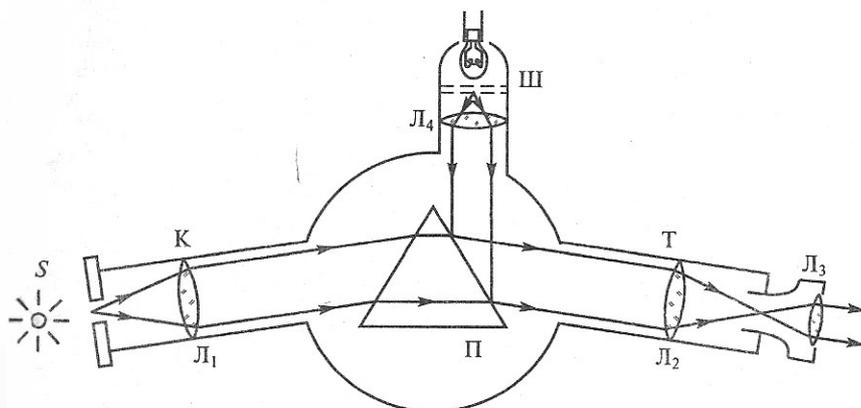


Рис. 4.5.2

Для наблюдения спектров излучения газов используются спектральные трубки, содержащие исследуемый газ при давлении порядка 1 мм рт ст. Разряд происходит между электродами, впаянными по концам трубки. Для наблюдения спектра служит средняя зауженная часть трубки, так как в этой части интенсивность излучения наибольшая (фото 4). Необходимое для возникновения разряда напряжение подводится к электродам трубки от индукционной катушки. Питание для индукционной катушки подается от выпрямителя ВС-4-12 (8 В).

Для наблюдения спектров поглощения растворов используются водные растворы неорганических красителей, а источником света служит лампа накаливания. Пробирки с растворами помещаются между источником света и объективом спектроскопа.

ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

ЧАСТЬ 1

Задание 1. ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ФРАУНГФЕРОВЫХ ЛИНИЙ

Для наблюдения Фраунгоферовых линий направьте солнечный свет с помощью поворотной призмы на входную щель монохроматора. При этом в верхней половине поля зрения монохроматора можно наблюдать размытые слабые черные полосы на фоне сплошного спектра (фото 3). Для получения отчетливой картины Фраунгоферовых линий необходимо уменьшить ширину входной щели и при этом вращением поворотной призмы добиться максимальной освещенности поля зрения.

Расположите эталонный источник излучения (водорода, криптона, неона) напротив призмы сравнения ПС. При этом в нижней половине поля зрения монохроматора будут наблюдаться эталонные спектры.

Убедитесь в том, что в солнечном спектре присутствуют Фраунгоферовы линии, соответствующие атомарному водороду. Выясните, присутствуют ли в солнечном спектре присутствуют Фраунгоферовы линии, соответствующие неону и криптону. Проведите измерение длин волн для всех линий водородного спектра и нескольких других наиболее заметных Фраунгоферовых линий. Результаты занесите в таблицу. Сравните экспериментально полученные значения с табличными данными (Таблица 1)

Таблица 1.

Наиболее интенсивные Фраунгоферовы линии видимой области спектра

Длина волны, мкм	химический элемент
0,761	O
0,687	O
0,656	H _α
0,589	Na
0,527	Fe
0,486	H _β
0,434	H _γ
0,431	Ca
0,397	Ca

Задание 2. РАСЧЕТ ПОСТОЯННОЙ РИДБЕРГА

Пользуясь формулой (1) и измеренными в задании 1 значениями длин волн спектра излучения водорода, рассчитайте постоянную Ридберга R для трех первых линий серии Бальмера. Найдите среднее значение R_{cp} .

Вычислите теоретическое значение R по формуле (3) и сравните с результатом, полученным опытным путем. Результаты измерений и вычислений внесите в таблицу 2.

Таблица 2.

№	Цвет линии	$\lambda_{\text{эксп}}, (\text{Å})$	$\lambda_{\text{теор}}, (\text{Å})$	n	m	$R_{\text{эксп}}, (1/\text{м})$	$R_{\text{эксп.ср}}, (1/\text{м})$	$R_{\text{теор}}, (1/\text{м})$
1								
2								
3								

ЧАСТЬ 2

Задание 1. НАБЛЮДЕНИЕ СПЕКТРОВ ИСПУСКАНИЯ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ

Возбудив разряд в трубке с неоном, получите в поле зрения спектроскопа спектр неона. Отрегулируйте ширину входной щели таким образом, чтобы спектральные линии, наблюдаемые в спектроскоп, были достаточно узкими. Измерьте по шкале спектроскопа длины волн. Пользуясь цветными карандашами, зарисуйте наблюдаемый спектр.

Заменяя трубку с неоном трубкой с криптоном, наблюдайте спектры излучения криптона. Зарисуйте эти спектры. Отметьте разницу в наблюдаемых спектрах.

Задание 2. НАБЛЮДЕНИЕ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ РАСТВОРОВ

Включите лампу накаливания и осветите ею щель спектроскопа. Получите сплошной спектр. Расположите одну из пробирок с раствором напротив входной щели спектроскопа так, чтобы на щель падал узкий (хорошо сфокусированный) пучок света. Наблюдайте в окуляр спектроскопа спектр поглощения исследуемого раствора. При необходимости можно регулировать ширину входной щели и яркость осветителя. Проведите наблюдение спектров всех предложенных растворов. Наблюдаемую картину зарисуйте цветными карандашами в тетради. Ответьте на вопрос: есть ли корреляция между цветом красителя и его спектром поглощения?

ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Какой спектр излучения дают разреженные газы, состоящие из отдельных атомов? молекул?
2. Какими способами можно возбудить атомы (молекулы) газа?
3. Сформулируйте основные положения теории Бора.
4. Каково происхождение спектров поглощения?
5. Какова природа Фраунгоферовых линий?
6. Найдите радиусы первых трех боровских электронных орбит в атоме водорода. Найдите численное значение кинетической, потенциальной и полной энергии электрона на первой и третьей орбитах в боровской модели атома водорода. Какой длине волны будет соответствовать спектральная линия, соответствующая переходу электрона с третьей орбиты на первую?
7. Какую наименьшую энергию должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами этих электронов появились все линии всех серий водорода?
8. Какую наименьшую энергию должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами этих электронов спектр водорода имел только три спектральные линии? Каковы длины волн этих линий? В какой области спектра они находятся?
9. Найдите наименьшую и наибольшую длину волны спектральных линий в видимой области спектра водорода.
10. Получите формулу (3), исходя из правила квантования Бора.