

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдин Л. Л., Новикова Г. И. Введение в атомную физику. — М.: Наука, 1988. § 14.
2. Белонучкин В. Е., Заикин Д. А., Ципенюк Ю. М. Основы физики. Т. II. — М.: Физматлит, 2007. Гл. 3, 4.

Работа 2.2.**Изучение спектров атомов водорода и дейтерия**

Исследуются спектральные закономерности в оптических спектрах водорода и дейтерия. По результатам измерений вычисляются постоянные Ридберга для этих двух изотопов водорода, их потенциалы ионизации, изотопические сдвиги линий.

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

Объяснение структуры спектра излучения атомов требует знания схемы атомных энергетических уровней, что, в свою очередь, требует решения задачи о движении электрона в эффективном поле атома. Для атома водорода и водородоподобных (одноэлектронных) атомов определение энергетических уровней значительно упрощается, так как квантово-механическая задача об относительном движении электрона (заряд $-e$, масса m_e) и ядра (заряд Ze , масса M) сводится к задаче о движении частицы с эффективной массой $\mu = m_e M / (m_e + M)$ в кулоновском поле $-Ze^2/r$. Однако даже для водородоподобных атомов это решение не является простым.

Длины волн спектральных линий водородоподобного атома описываются формулой

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

где R — константа, называемая постоянной Ридберга, а m и n — целые числа.

Формула (1) известна в спектроскопии очень давно (1885 г.). Она была найдена эмпирически и получила название обобщенной формулы Бальмера. Эта формула достаточно правильно описывает экспериментальные значения линий водорода при $R = 109\,677,6 \text{ см}^{-1}$. Однако физический смысл формулы в то время был непонятен.

Для объяснения спектра атома водорода Нильс Бор в 1913 г. предложил теорию атома, в основу которой положил три постулата:

1) *из всех возможных с точки зрения классической физики орбит в атоме осуществляются только некоторые стационарные орбиты,*

при движении по которым, вопреки представлениям классической электродинамики, электрон не излучает энергии;

2) из всех возможных орбит в атоме осуществляются только те, для которых момент количества движения равен целому кратному величины постоянной Планка $\hbar = h/(2\pi)$ т. е.

$$L = n\hbar; \quad (2)$$

3) излучение или поглощение энергии происходит при переходе атома из одного стационарного состояния в другое, а частота излучаемого (поглощаемого) света связана с разностью энергий атома в стационарных состояниях соотношением

$$h\nu = E_2 - E_1, \quad (3)$$

где ν — частота излучаемой линии.

Использование этих постулатов с учетом кулоновского взаимодействия между ядром и электроном позволяет легко определить возможные энергетические состояния водородоподобного атома. Если считать ядро неподвижным, то эти энергетические состояния определяются выражением

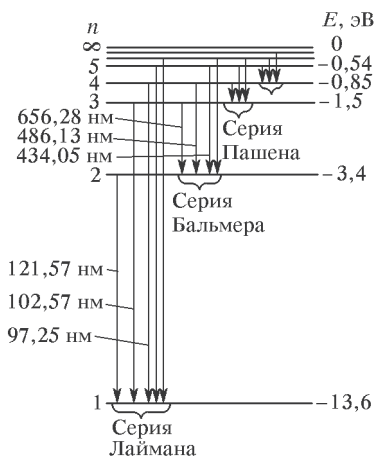
$$E_n = -\frac{2\pi^2 m_e e^4 Z^2}{h^2} \frac{1}{n^2}. \quad (4)$$

В свою очередь, знание энергетических состояний атома позволяет в соответствии с формулой (4) определить возможные частоты его излучения и объяснить наблюдаемые спектральные закономерности (см. рис. 1). Отметим, что квантово-механический расчет дает тот же результат, однако число n в этих двух подходах имеет различный смысл.

Из рис. 1 видно, что линии в спектре водорода можно расположить по сериям; для всех линий серии значение n остается постоянным, а m может принимать любые значения от $n + 1$ до ∞ .

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

В данной работе изучается серия Бальмера, линии которой лежат в видимой области, и изотопический сдвиг между линиями водорода и дейтерия. Для серии Бальмера $n = 2$. Величина m для первых четырех линий этой серии принимает значение 3, 4, 5, 6. Эти линии обозначаются символами H_α , H_β , H_γ , H_δ .



Рассмотрим, как можно оценить энергии основного и возбужденного состояний водородоподобного атома. Чтобы найти основное состояние квантовой системы, надо минимизировать, с учетом соотношения неопределенностей, полную энергию. Потенциальная энергия электрона равна кулоновской энергии электрона в поле ядра с зарядом Ze . Так как электрон локализован в области размером r (радиус его орбиты), то по соотношению неопределенностей его импульс $p \simeq \hbar/r$, и, следовательно, полная энергия определяется выражением

$$E = -\frac{Ze^2}{r} + \frac{\hbar^2}{2m_e r^2}. \quad (5)$$

Дифференцирование этого выражения по r приводит к следующему условию для минимального значения энергии:

$$\frac{Ze^2}{r^2} - \frac{\hbar^2}{m_e r^3} = 0, \quad (6)$$

или

$$r_b = \frac{\hbar^2}{Zm_e e^2}. \quad (7)$$

Мы получили значение боровского радиуса (радиуса первой орбиты) для электрона в поле ядра с зарядом Z . Энергию основного состояния получим, подставляя (7) в (5):

$$E = -\frac{m_e e^4}{2\hbar^2} Z^2 = -RZ^2. \quad (8)$$

Аналогичным образом могут быть найдены энергии возбужденных состояний. Дискретные значения энергии электрона в атоме получаются из того условия, что на длине орбиты, по которой движется электрон, должно укладываться целое число волн де Бройля. Если радиус орбиты равен r , то n -му состоянию электрона соответствует условие

$$2\pi r = \lambda n \quad (n = 1, 2, 3, \dots), \quad \text{или} \quad m_e v_n = \frac{nh}{2\pi r}. \quad (9)$$

Полученное соотношение полностью совпадает со вторым постулатом Бора.

Высшие квантовые состояния имеют n узлов, так как на длине электронной орбиты укладывается n волн де Бройля. Поэтому характерная длина волны λ такого состояния будет равна $2r/n$. Для оценки энергии этого состояния выполним следующую процедуру. Пододвинем одну из потенциальных стенок так, чтобы в образовавшейся яме укладывалась лишь половина длины волны. Тем самым мы сделали потенциальную

яму, ширина которой r/n такова, что основное состояние в ней соответствует n -му состоянию в яме шириной r . Неопределенность в координате частицы будет равна r/n , что приводит к увеличению кинетических энергий этих состояний. Действительно, импульс

$$p \simeq \frac{\hbar}{\lambda} = \frac{n\hbar}{r}, \quad (10)$$

а кинетическая энергия

$$T \simeq \frac{n^2 \hbar^2}{2m_e r^2}. \quad (11)$$

Аналогично тому, как была выведена формула (7), для боровского радиуса состояния с квантовым числом n мы получаем

$$r_n = \frac{n^2 \hbar^2}{Z m_e e^2}, \quad (12)$$

а энергия

$$E_n = -\frac{m_e Z^2 e^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2} = -R \frac{Z^2}{n^2}. \quad (13)$$

Мы предположили, что радиус орбиты r имеет фиксированное значение. Однако, согласно квантовой механике радиусы орбит «разбросаны» в окрестности классически устойчивой орбиты. Поэтому здесь в качестве оценки радиуса взято вполне определенное значение r , которое соответствует минимуму энергии $E(r)$. В действительности электрон может находиться с разной вероятностью на любом расстоянии от ядра. Поэтому числовой множитель в формуле (13), несмотря на то, что он получился правильным, достаточно условен, а вот зависимость от квантового числа n принципиально верна.

Еще раз подчеркнем, что полученное решение справедливо для любой «водородоподобной» системы — системы из двух частиц с противоположными зарядами, связанных лишь электростатическими силами. Это однократно ионизованный гелий He^+ , двукратно ионизованный литий Li^{++} , трехкратно ионизованный бериллий Be^{+++} и т. д. Сюда же относится и позитроний — система e^+e^- , мюонные атомы — атомы с электроном, замещенным на отрицательный мюон μ^- (масса мюона $\simeq 200m_e$).

Выше мы предполагали, что электрон в атоме движется в кулоновском потенциале неподвижного ядра. На самом деле движение электрона происходит вокруг центра масс системы, а потому энергия состояний атома зависит от приведенной массы μ системы, состоящей из электрона и ядра. Поэтому положения линий спектра водорода и дейтерия слегка различаются. Это различие носит название *изотопического сдвига*. Легко показать, что величина относительного сдвига между линиями

водорода и дейтерия определяется выражением

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{m_e}{m_p} \frac{A_D - A_H}{A_D A_H} \simeq \frac{m_e}{2M_H}, \quad (14)$$

где m_e , m_p , M_H — масса электрона, протона и атома водорода, а $A_H = 1$, $A_D = 2$ — массовые числа водорода и дейтерия.

1. Измерение длин волн спектральных линий водорода

Экспериментальная установка

Для измерения длин волн спектральных линий в работе используется стеклянно-призмный монохроматор-спектрометр УМ-2, предназначенный для спектральных исследований в диапазоне от 0,38 до 1,00 мкм.

Призмный монохроматор УМ-2. В состав прибора УМ-2 входят следующие основные части (рис. 2):

1. Входная щель 1, снабженная микрометрическим винтом 9, который позволяет открывать щель на нужную ширину. Обычная ширина щели равна 0,02–0,03 мм.

2. Коллиматорный объектив 2, снабженный микрометрическим винтом 8. Винт позволяет смещать объектив относительно щели при фокусировке спектральных линий различных цветов.

3. Сложная спектральная призма 3, установленная на поворотном столике 6. Призма 3 состоит из трех склеенных призм Π_1 , Π_2 , и Π_3 .

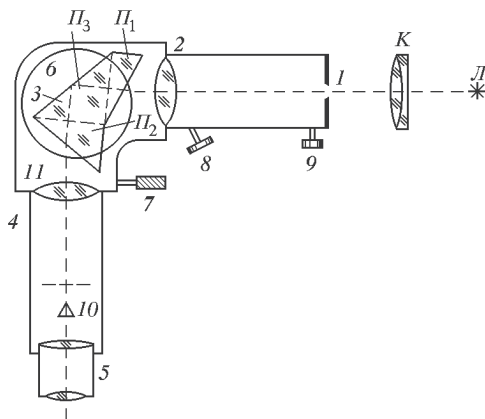


Рис. 2. Устройство монохроматора УМ-2

Первые две призмы с преломляющими углами 30° изготовлены из тяжелого флинта, обладающего большой дисперсией. Промежуточная призма Π_3 сделана из крона. Лучи отражаются от ее гипотенузной грани и

поворачиваются на 90° . Благодаря такому устройству дисперсии призм Π_1 и Π_2 складываются.

4. Поворотный столик 6, вращающийся вокруг вертикальной оси при помощи микрометрического винта 7 с отсчетным барабаном. На барабан нанесена винтовая дорожка с градусными делениями. Вдоль дорожки скользит указатель барабана. При вращении барабана призма поворачивается, и в центре поля зрения появляются различные участки спектра.

5. Зрительная труба, состоящая из объектива 4 и окуляра 5. Объектив создает изображение входной щели 1 различных цветов в своей фокальной плоскости. В этой же плоскости расположен указатель 10. Изображение щели рассматривается через окуляр 5. В случае необходимости окуляр может быть заменен выходной щелью, пропускающей одну из линий спектра. В этом случае прибор служит монохроматором. В данной работе выходная щель не применяется.

6. Массивный корпус 11, предохраняющий прибор от повреждений и загрязнений.

7. Оптическая скамья, на которой могут перемещаться рейтеры с источником света Л и конденсором К, служащим для концентрации света на входной щели. Источник света рекомендуется располагать на расстоянии 40–50 см от щели, а конденсор — на расстоянии 10–13 см от источника. При этом высота, отсчитываемая от оптической скамьи, для источника и конденсора должна быть приблизительно равна высоте, на которой расположена входная щель спектрометра. В этом случае проходящий через входную щель световой пучок хорошо заполняет конденсор и призму. Для яркого освещения входной щели конденсор перемещают вдоль скамьи, стремясь получить на щели изображение источника света. Изображение удобно наблюдать на белом колпачке с крестиком (таким колпачком прикрывают щель при юстировке коллиматора).

8. Пульт управления, служащий для питания источников света и осветительной системы спектрометра. На пульте имеются гнезда для подключения осветителей (3,5 В), неоновой лампы и лампы накаливания. Тумблеры, расположенные на основании спектрометра, позволяют включать лампочки осветителей шкал и указателя спектральных линий. Яркость освещения указателя регулируется реостатом.

При подготовке УМ-2 к наблюдениям особое внимание следует обращать на тщательную фокусировку, чтобы указатель 10 и спектральные линии имели четкие, ясные границы. Фокусировка производится в следующем порядке. Перемещая окуляр, следует получить резкое изображение острия указателя 10. Осветив входную щель прибора ртутной лампой, нужно найти одну из спектральных линий и получить ее резкое изображение при помощи микрометрического винта 8. Подробное описание процедуры фокусировки приведено в пункте в) задания к работе 11.2 на с. 349. При проведении измерений в другой части спектра эта операция по фокусировке должна проводиться вновь.

Для отсчета положения спектральной линии ее центр совмещается с острием указателя. Отсчет проводится по делениям барабана. Для уменьшения ошибки ширину входной щели делают по возможности малой (0,01–0,02 мм по микрометрической шкале). Для наблюдения самых слабых линий в крайней фиолетовой области щель приходится несколько расширять (до 0,03–0,05 мм). Глаз лучше замечает слабые линии в движении, поэтому при наблюдении полезно слегка поворачивать барабан в обе стороны от среднего положения.

Спектрометр УМ-2 нуждается в предварительной градуировке. Для градуировки в коротковолновой части спектра удобно применять ртутную лампу ПРК-4, а в длинноволновой и средней части спектра — неоновую лампу. Таблицы спектральных линий ртути и неона с визуальной оценкой их относительной интенсивности приведены в Приложении V.

Градуировочную кривую следует строить в крупном масштабе на листе миллиметровой бумаги. По оси x откладываются градусные деления барабана, а по оси y — длины волн соответствующих линий. Иногда при построении графика некоторые экспериментальные точки оказываются смещенными от плавной кривой. Чаще всего такие «выбросы» свидетельствуют о неправильной расшифровке наблюдаемой картины спектральных линий (главным образом, для неона). В этом случае необходимо более внимательно сопоставить картину с таблицей и внести в градуировочный график необходимые исправления.

Водородная лампа. В опытах по измерению длин волн балмеровской серии источником света служит водородная трубка Н-образной формы, питаемая от катушки Румкорфа. Наибольшая яркость спектра достигается в том случае, когда источником света служит торец горизонтальной части трубки (капилляра).

Для увеличения яркости интересующих нас линий атомарного водорода в состав газа, которым заполняют трубку при ее изготовлении, добавляют пары воды. Молекулы воды в электрическом разряде разлагаются, образуя атомарный водород. Трубка заполняется газом до давления 5–10 Тор.

Следует отметить, что в спектре водородной лампы наряду с линиями атомного спектра наблюдается также спектр молекулярного водорода. Однако интенсивность молекулярных линий значительно слабее, и отождествление ярких атомных линий на фоне молекулярного спектра не представляет большого труда. Начинать поиск атомных линий нужно с наиболее интенсивной красной линии H_α . Вторая линия, H_β — зелено-голубая. В промежутке между этими линиями располагаются несколько красно-желтых и зеленых сравнительно слабых молекулярных полос. Третья линия, H_γ — фиолетово-синяя. Четвертая линия, H_δ — фиолетовая, и найти ее удастся не всегда.

Задание

1. Проградуируйте спектрометр УМ-2 по спектрам ртути и неона. Постройте градуировочный график.

2. Измерьте положение линий H_α , H_β , H_γ и H_δ (если эта линия видна) и с помощью калибровочного графика определите их длины волн.

3. Убедитесь в том, что отношение длин волн водородных линий соответствует формуле (1).

4. Для каждой из наблюдаемых линий водорода вычислите значение постоянной Ридберга R_H , определите ее среднее значение по всем измерениям и оцените погрешность измерения. Сравните результаты опыта с расчетным значением R_H .

II. Измерение изотопического сдвига между линиями водорода и дейтерия

Экспериментальная установка

Изотопический сдвиг между линиями водорода и дейтерия невелик, поэтому для его обнаружения и измерения нужен спектральный прибор с более высокой разрешающей силой и большей дисперсией, чем УМ-2. В работе используется отражательная дифракционная решетка, а измерения ведутся с помощью гониометра.

Оптическая схема установки показана на рис. 3.

Источником света 1 является водородно-дейтериевая лампа ДВС-25. Лампа представляет собой стеклянный баллон со впаянными электродами — катодом и анодом. Посередине анода проделано небольшое

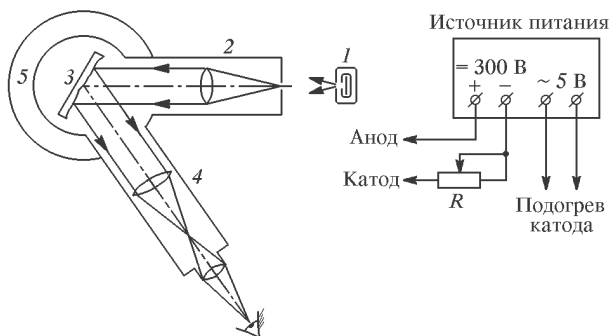


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

круглое отверстие для вывода света из области разряда. Катод лампы подогревается переменным током с напряжением 5 В. На анод подается постоянное напряжение 300 В. Оба напряжения вырабатываются в специальном источнике питания. Величина тока, протекающего через лампу, регулируется реостатом R .

Для снятия дисперсионной кривой $\beta(\lambda)$ отражательной решетки используется неоновая лампа, которая питается от сети переменного тока с напряжением 220 В.

Измерение углов между спектральными линиями производится с помощью гониометра Г-1, 5. Гониометр состоит из следующих основных узлов: зрительной трубы 4, коллиматора 2, основания и столика 5. На столике гониометра установлена дифракционная решетка 3. Зрительная труба и коллиматор имеют одинаковую конструкцию. В фокусе объектива коллиматора установлена раздвижная щель, снабженная микрометрическим винтом. При его вращении ширина щели изменяется в пределах от 0 до 2 мм. Цена деления барабана 0,01 мм. Щель освещается источником — неоновой лампой или лампой ДВС-25. Пройдя коллиматор, световой поток от источника падает на дифракционную решетку. Спектр, полученный с помощью отражательной решетки, наблюдается через зрительную трубу, которая может поворачиваться в горизонтальной плоскости. Отсчет осуществляется с помощью микроскопа.

Для юстировки гониометра необходимо: 1) установить зрительную трубу на бесконечность (для этого крест нитей нужно установить в общей фокальной плоскости окуляра); 2) установить оптическую ось трубы перпендикулярно к оси вращения прибора; 3) установить коллиматор на параллельный пучок лучей.

З а д а н и е

1. Включите неоновую лампу и установите ее вплотную к щели коллиматора. Отпустите винт, закрепляющий зрительную трубу, и, поворачивая ее, установите трубу на нулевой порядок спектра (вблизи крайнего левого положения). Регулируя фокусировку коллиматора, получите резкое изображение входной щели.

2. Просмотрите спектр неоновой лампы и отождествите его линии по таблице спектральных линий неона, приведенной в Приложении V. Проградуируйте спектрометр по спектру неона. Особенно внимательно следует фиксировать линии неона 659,89; 653,29 и 650,65 нм, лежащие в интересующем нас участке спектра. Как следует из сказанного, измерение длины волны сводится к определению угла отклонения лучей от нулевого порядка спектра. При этом необходимо помнить, что спектральные линии представляют собой изображения щели коллиматора в лучах с различными длинами волн. Тонкие спектральные линии получаются лишь в том случае, если входная щель коллиматора достаточно узка.

3. Замените неоновую лампу водородно-дейтериевой и включите ее. Для этого включите источник питания и дайте ему прогреться в течение 10 минут. Включив тумблер, зажгите разряд в лампе ДВС-25. Установите зрительную трубу на красные линии водорода и дейтерия; перемещая лампу ДВС-25, добейтесь их максимальной яркости.

4. Измерьте длины волн водородной и дейтериевой линий H_{α} и D_{α} в первом порядке спектра. Определите величину изотопического сдвига и сравните полученный результат с расчетом по формуле (14).

5. Определите постоянную Ридберга для дейтерия R_D и сравните ее величину с величиной постоянной Ридберга для водорода R_H .

Дополнительные задания

I. Измерение длин волн спектральных линий методом интерполирования

В настоящее время определение длин волн спектральных линий является одним из наиболее точных физических измерений. Путем графической интерполяции градуировочной кривой спектрального прибора можно вычислить длину волны лишь с точностью до 1 \AA , т.е. с относительной точностью порядка $0,02\%$. В то же время существует много различных способов, позволяющих на основе тех же данных вычислять длины волн спектральных линий с точностью до $0,001\%$.

В частности, для получения большей точности в определении длины волны прибегают к математической интерполяции. Если исследуемая линия находится между двумя линиями сравнения, расположенными настолько близко друг к другу, что участок дисперсионной кривой между ними можно с большой точностью считать прямой линией, то пользуются линейной интерполяцией.

При линейной интерполяции поступают следующим образом. Пусть имеются две спектральные линии — λ_{x1} и λ_{x2} , длины волн которых надо измерить (см. рис. 4а).

По обе стороны от них в эталонном (калибровочном) спектре находят линии, длины волн которых точно известны. Необходимо по деле-

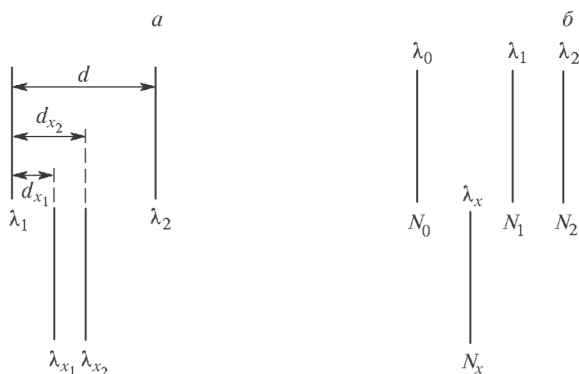


Рис. 4. Расположение калибровочных и измеряемых длин волн в спектре при линейной (а) и квадратичной (б) интерполяции

ниям барабана измерить расстояния d_{x1} и d_{x2} неизвестных линий λ_{x1} и λ_{x2} от линий сравнения и расстояние d между линиями сравнения λ_1 и λ_2 . Определение неизвестной длины волны в случае линейной интерполяции основывается на соотношении

$$\lambda_{x1(x2)} = \lambda_1 - \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{d}(d - d_{x1(x2)}), \quad (15)$$

где коэффициент при $(d - d_{x1(x2)})$ — средняя дисперсия на участке спектральных линий λ_1 и λ_2 . Такой способ вычисления длины волны вполне пригоден для приборов с дифракционными решетками. Для призмных приборов этот способ можно применять, если $(\lambda_1 - \lambda_2)$ не превосходит 50 Å.

Более точное определение длины волны можно производить по интерполяционным формулам второго порядка (интерполяция отрезком параболы) по трем нормалям (линиям эталонного спектра): λ_0 , λ_1 и λ_2 , расположенным в небольшом спектральном участке (рис. 46). При этом обычно используют соотношение

$$\lambda = \lambda_0 + Al + Bl^2, \quad (16)$$

где A и B — постоянные величины; l — расстояние между нормалью и измеряемой длиной волны. Для определения λ_x следует измерить положение нормалей и неизвестной линии. Пусть отсчеты положения этих линий будут N_0 , N_1 , N_2 и N_x . Так как длины волн всех трех нормалей известны, то согласно интерполяционной формуле можно составить два уравнения:

$$\lambda_1 = \lambda_0 + A(N_0 - N_1) + B(N_0 - N_1)^2; \quad (17)$$

$$\lambda_2 = \lambda_0 + A(N_0 - N_2) + B(N_0 - N_2)^2. \quad (18)$$

Эти уравнения дают возможность определить входящие в них постоянные A и B . Пользуясь далее этими постоянными, можно вычислить неизвестную длину волны по формуле

$$\lambda_x = \lambda_0 + A(N_0 - N_x) + B(N_0 - N_x)^2. \quad (19)$$

При анализе погрешностей, возникающих в процессе измерений и расчетов, следует иметь в виду, что основная неточность обычно возникает при снятии отсчетов N .

Легко показать, что коэффициент A равен $d\lambda/dn$ и соответствует линейной дисперсии спектрального прибора. Это, в частности, следует из того факта, что формула (19) является разложением функции $\lambda_x = f(N)$ в ряд Тейлора около точки (N_0, λ_0) , т. е.

$$\lambda_x - \lambda_0 = \frac{d\lambda}{dn}(N_x - N_0) + \frac{1}{2!} \frac{d^2\lambda}{dn^2}(N_x - N_0)^2 + \dots$$

С учетом этого можно определить погрешность

$$\Delta\lambda_x = \frac{d\lambda}{dn} \Delta N.$$

Чем больше линейная дисперсия прибора, тем выше точность в определении λ_x .

Если же линии сравнения эталонного спектра расположены на таком расстоянии друг от друга, что необходимо учитывать кривизну дисперсионной кривой, то при математической интерполяции для спектров, полученных с призмными спектрометрами, пользуются формулой Гартмана. Дисперсионная формула Гартмана имеет вид

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{C}{d - d_0}, \quad (20)$$

где λ_0 , C и d_0 — три постоянные, подбираемые по трем известным линиям; λ и d — длина волны и отсчет для неизвестной линии. Эта формула с хорошим приближением описывает кривую дисперсии призменного спектрографа.

Для определения постоянных формулы Гартмана λ_0 , C , d_0 производится измерение трех известных линий — λ_1 , λ_2 и λ_3 (нормалей) — и отсчитываются положения этих линий d_1 , d_2 и d_3 . Составляются три уравнения, из которых и определяются постоянные

$$\lambda_1 = \lambda_0 + \frac{C}{d_1 - d_0}; \quad \lambda_2 = \lambda_0 + \frac{C}{d_2 - d_0}; \quad \lambda_3 = \lambda_0 + \frac{C}{d_3 - d_0}.$$

Исходя из этих уравнений, можно последовательно вычислить значения постоянных по формулам:

$$d_0 = \frac{d_3(\lambda_2 - \lambda_3)(d_2 - d_1) - d_1(\lambda_1 - \lambda_2)(d_3 - d_2)}{(\lambda_2 - \lambda_3)(d_2 - d_1) - (\lambda_1 - \lambda_2)(d_3 - d_2)};$$

$$C = \frac{(\lambda_1 - \lambda_2)(d_1 - d_0)(d_2 - d_0)}{d_2 - d_1}; \quad \lambda_0 = \lambda_1 - \frac{C}{d_1 - d_0}.$$

Получив численные значения этих постоянных, по формуле Гартмана можно определить длину волны неизвестной линии по отсчету для нее.

З а д а н и е

1. С помощью линейной и квадратичной интерполяции эталонных спектров, а также по методу Гартмана вычислите длины волн наблюдаемых линий водорода и дейтерия.

2. На основе найденных значений вычислите постоянную Ридберга. Сравните точность всех трех методов измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдин Л. Л., Новикова Г. И. Введение в атомную физику. — М.: Наука, 1988. § 14.
2. Калитеевский Н. И. Волновая оптика. — СПб.: Лань, 2008. §§ 6.5, 6.7.