

**КУЙБЫШЕВСКИЙ** ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
**АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ** имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
ЛИНЕЙЧАТЫХ СПЕКТРОВ**

*3-19; 3-27*

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РСФСР ПО ДЕЛАМ  
НАУКИ И ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

# И С С Л Е Д О В А Н И Е Л И Н Е Й Ч А Т Ы Х С П Е К Т Р О В

Методические указания  
к лабораторным работам 3—19, 3—27

УДК 535.16 (083.96)

Исследование линейчатых спектров: Метод. указания к лабораторным работам 3—19, 3—27 /Куйбышев. авиац. ин-т; Сост. М. А. Левченко, Т. С. Соломина, Н. А. Соломин, Л. А. Башкирцева. Самара, 1991. 20 с.

Даны рекомендации к двум лабораторным работам: «Определение постоянной Ридберга», «Определение длин световых волн методом спектрального анализа». В методических указаниях дана краткая теория получения линейчатых спектров, описание метода измерений и установки, порядок выполнения лабораторных работ, перечень контрольных вопросов, необходимых для самостоятельной подготовки студентов, и список рекомендуемой литературы.

Лабораторные работы предназначены для студентов дневных и вечерних отделений всех факультетов КуАИ. Выполнены на кафедре физики.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Куйбышевского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика С. П. Королёва

Рецензент доц. Д. Ф. Китаев

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИН СВЕТОВЫХ ВОЛН МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Цель работы: знакомство с работой спектрального прибора УМ-2, с помощью которого можно получить спектр, градуировка его по спектру ртути и определение длин световых волн в спектре излучения неона и натрия.

Приборы и принадлежности: универсальный монохроматор УМ-2, линза  $F = 110$  см, ртутная лампа, блок питания, неоновая лампа, спиртовая горелка.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Если нагреть газ или пар какого-либо вещества до температуры, превышающей  $1000^{\circ}\text{C}$ , то он начинает светиться. Свет имеет сложный спектральный состав, т. е. содержит излучение различных длин волн. Для каждого вещества можно наблюдать спектры излучения трех видов.

1. **Линейчатые спектры.** Появляются в результате электронных переходов внутри атомов и ионов различных элементов. Эти спектры состоят из отдельных линий.

2. **Полосатые спектры.** Испускаются возбужденными молекулами и являются результатом изменения электронной, колебательной и вращательной энергии молекулы. Полосатые спектры имеют вид полос, состоящих из большого числа линий, четких с одного края и размытых с другого.

3. **Сплошные спектры.** Появляются в результате того, что свободные электроны, пролетая мимо ионов, изменяют скорость своего движения. Это приводит к излучению световой энергии. Электроны могут быть захвачены положительными ионами, в результате этого также излучается энергия. Энергия, излучаемая свободными электронами, может иметь всевозможные значения. Поэтому сплошной спектр имеет вид цветной полосы с непрерывным переходом одного спектрального цвета в другой.

Наиболее простой линейчатый спектр имеет атомарный водород, обладающий одним электроном. По мере увеличения числа электронов спектры атомов усложняются. Число электронов в атоме равно порядковому номеру элемента. Но из всех электронов атома только один или несколько являются внешними. Они и определяют химические и спектроскопические свойства элемента.

Если сообщить невозбужденному атому энергию, то атом увеличивает свой запас энергии и переходит в возбужденное состояние, однако атом может принимать не любые количества энергии, а только вполне определенные, соответствующие уровням энергии. Для каждого элемента существуют свои возможные уровни энергии. Эти возможные значения энергии можно представить в виде геометрической схемы, приняв энергию нормального состояния за нуль и изображая другие состояния черточками, расположенными над нулевой на высоте, пропорциональной энергии этих состояний.

Пусть атому сообщили энергию возбуждения  $E_1$ . Возбужденное состояние атомной системы является неустойчивым и атом через время  $\sim 10^{-8}$  с переходит в состояние с энергией  $E_2$  ( $E_2 < E_1$ ). При этом излучается энергия в виде кванта света  $h\nu = E_1 - E_2 = \Delta E$  (рис. 1). Таким образом, излучается спектральная линия определенной частоты  $\nu = (E_1 - E_2)/h$ .

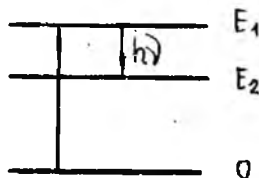


Рис. 1.

Наряду с частотой спектральную линию можно характеризовать длиной волны  $\lambda = c/\nu$ , где  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с — скорость света в вакууме. Обычно длину

волны в видимой и ультрафиолетовой областях спектра измеряют

в ангстремах:  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м} = 10^{-8} \text{ см}$ ,

в микронах:  $1 \text{ мк} = 10^{-6} \text{ м} = 10^{-4} \text{ см} = 10^4 \text{ \AA}$ ,

в нанометрах:  $1 \text{ н} = 10^{-9} \text{ м} = 10^{-7} \text{ см} = 10 \text{ \AA}$ .

Атомные спектры возникают при переходах между уровнями энергии внешних электронов атома и наблюдаются в ультрафиолетовой области (2000 ... 4000  $\text{\AA}$ ), видимой области (4000 ... 7000  $\text{\AA}$ ) и близкой инфракрасной области (7000 ... 10000  $\text{\AA}$ ). Такими спектрами обладают как нейтральные, так и ионизованные атомы. Все химические элементы характеризуются определенными линейчатыми спектрами, которые отличаются друг от друга как числом линий, так и длинами волн этих линий.

По расположению линий в спектре можно судить о веществе источника излучения. На этом принципе основан один из важнейших методов исследования вещества — спектральный анализ.

Спектральный анализ подразделяется на качественный и количественный. Качественный анализ — это определение состава вещества по его спектрам. Например, если зафиксировать спектр излучения лампы дневного света, то спектральные линии совпадают с линиями ртути. Следовательно, в лампе дневного света есть пары ртути. Количественный анализ — это определение количественного содержания интересующих примесей в исследуемом образце по интенсивности спектральных линий.

Проведение качественного, а также и количественного спектрального анализа связано с двумя необходимыми операциями. Прежде всего необходимо получить спектр анализируемой пробы, затем провести идентификацию ряда спектральных линий, т. е. по длине волны установить принадлежность линий определенным элементам.

В настоящее время измерены и сведены в таблицы и атласы длины волн большого числа спектральных линий. Пользуясь этими уже известными линиями, которые принято называть нормалами, можно определить длину волны любой спектральной линии методом непосредственного сравнения спектров.

Существуют нормали первого порядка, для которых длины волн определены наиболее точно, их не очень много. Нормалей второго порядка, где длины волн определены с не очень высокой точностью, гораздо больше. В практической работе обычно используют нормали второго порядка. Это спектры, прежде всего, железа, меди, ртути, инертных газов.

### ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

В данной работе для изучения спектров и определения длин волн спектральных линий используется спектральный прибор — монохроматор УМ-2.

Принципиальная схема прибора представлена на рис. 2. Свет

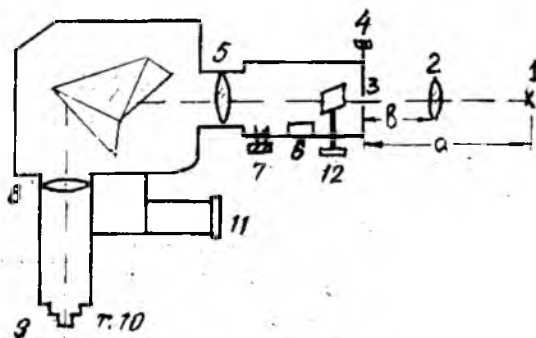


Рис. 2.

от источника 1 фокусируется линзой 2 на входную щель прибора 3, затем на объектив 5, который называется коллиматорным.

Коллиматорный объектив преобразует расходящийся пучок света от щели 3 в параллельный. Поэтому коллиматор от щели должен устанавливаться на расстоянии, равном фокусу объектива. Установка объектива коллиматора относительно щели производится винтом 7. Это положение можно отметить по шкале 6. Далее свет параллельным пучком попадает на дисперсионную призму, которая разлагает свет в спектр.

В данном приборе используется призма Аббе. Призма Аббе представляет собой сложную призму, состоящую из трех призм. Главной особенностью этой призмы является то, что лучи разных длин волн выходят под одним и тем же углом  $90^\circ$  по отношению к падающему лучу. Таким образом, ось коллиматора можно оставить неподвижной и вращением призмы вокруг оси, параллельной преломляющему ребру, выделить разные длины волн. Применение призмы Аббе, состоящей из трех призм, увеличивает разрешающую способность прибора.

Пройдя дисперсионную призму, лучи попадают на объектив 8 выходной трубы монохроматора, который собирает их в фокальной плоскости окуляра 9. В фокальной плоскости объектива зрительной трубы имеется указатель, относительно которого должна устанавливаться изучаемая линия спектра. В монохроматоре можно менять ширину входной щели от 0 до 4 мм вращением барабана 4, на котором имеется шкала с ценой деления равной 0,01 мм.

Призма постоянного отклонения Аббе установлена в монохроматоре на столике, который соединен с поворотным механизмом. Поворотный механизм связан с измерительным барабаном 11. На измерительном барабане поворотного механизма нанесены относительные деления — градусы поворота самого барабана. Цена каждого деления  $2^\circ$ . Отсчет читается против индекса, скользящего по спиральной канавке барабана.

В монохроматоре также предусмотрено освещение шкалы барабана и указателя включением тумблеров 10.

Наведение на резкость спектра производится простым движением и выдвиганием окуляра 9, а также винтом 7. Заслонка 12 служит для перекрытия светового пучка. В рабочем положении заслонка должна быть открыта.

Источником спектра, в котором определяются неизвестные длины волн, являются:

неоновая лампа, которая подключается к сети, пламя спиртовой горелки, куда добавляются соли NaCl.

Для выполнения задачи спектрального анализа, в частности, определения длин волн необходимо иметь градуировочный график монохроматора. Это график зависимости длины волны от показа-

ний измерительного барабана. Построение градуировочного графика производится по спектру ртути, длины волн которого известны. Источником возбуждения спектра ртути является ртутная лампа, которая зажигается с помощью блока питания.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Зажечь ртутную лампу и направить свет от лампы при помощи линзы на щель монохроматора. Ртутная лампа устанавливается на расстоянии  $a$  от щели, линза — на расстоянии  $b$  (рис. 2).

2. Рассматривая спектр в окуляре зрительной трубы, получить резкий спектр. Для этого необходимо выбрать ширину щели вращением барабана 4 так, чтобы интенсивность спектральных линий была достаточна для их визуального наблюдения и чтобы линии были достаточно узкими. Чем меньше ширина входной щели, тем уже спектральная линия. Резкость спектра можно также улучшить вдвижением и выдвиганием окуляра 9.

3. Произвести градуировку монохроматора. Для этого вращением барабана 11 добиться последовательного совпадения стрелки указателя с линиями спектра ртути, длины волн которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

| Вещество | Цвет линии в спектре ртути | Показания по шкале барабана $\varphi$ , град | Длина волны $\lambda$ , Å |
|----------|----------------------------|--|---------------------------|
| Ртуть    | Темно-красная яркая        |  | 6907                      |
|          | Темно-красная слабая       |  | 6716                      |
|          | Красная яркая              |  | 6123                      |
|          | Интенсивный желтый дублет  |  | 5790<br>5769              |
|          | Зеленая яркая              |  | 5461                      |
|          | Голубая яркая              |  | 4916                      |
|          | Темно-синяя яркая          |  | 4358                      |
|          | Фиолетовая яркая           |  | 4078                      |
|          | Фиолетовая яркая           |  | 4047                      |



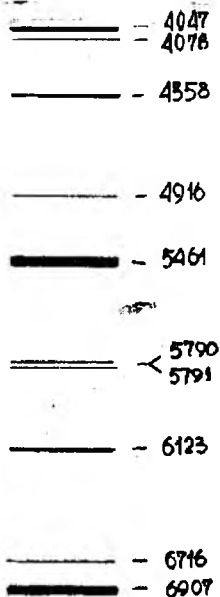


Рис. 3.

Спектр ртути с указанием наиболее ярких длин волн приведен на рис. 3.

Одновременно снять показания угла поворота барабана  $\varphi$  по шкале барабана 10 для каждой линии ртути и занести в табл. 1. Построить градуировочный график зависимости  $\lambda = f(\varphi)$ . По оси абсцисс откладывать деления шкалы барабана, по оси ординат соответствующие им длины волн.

4. Измерить длины волн в спектре неона. Для этого: подключить неоновую лампочку к источнику напряжения (к сети 220 В), получить на щели монохроматора при помощи линзы четкое изображение светящейся части лампочки, просмотреть весь спектр и выбрать произвольно наиболее яркие линии (5—6 линий), а затем, последовательно, помещая над стрелкой указателя выбранные (произвольные) линии, сделать отсчеты по барабану и записать в табл. 2. Определить длины волн в спектре неона по градуировочному графику.

5. Измерить длины волн интенсивного желтого дублета в спектре Na. Для этого зажечь спиртовую горелку и получить спектр Na. Просмотреть весь спектр и стрелку указателя поместить под двумя близко расположенными интенсивными желтыми линиями (дублет Na), сделать отсчет по барабану, записать в табл. 2, определить длины волн желтого дублета Na по градуировочному графику.

Таблица 2

| Вещество | Цвет линии в спектре      | Показания по шкале барабана $\varphi$ , град. | Длина волны $\lambda$ , Å |
|----------|---------------------------|---|---------------------------|
| Неон     |                           |   |                           |
| Натрий   | Интенсивный желтый дублет |   |                           |

$$\lambda = f(\varphi)$$

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какой спектр испускают раскаленные пары и газы?
2. Какая разница между сплошным и линейчатым спектром?
3. Объясните природу линейчатых спектров.
4. От чего зависит сложность спектра?
5. Перечислите методы спектрального анализа.
6. Перечислите известные вам методы определения длин волн.
7. Начертите оптическую схему монохроматора УМ-2 и объясните принцип его действия.
8. Почему в монохроматоре применяется призма Аббе?
9. Каково взаимное расположение щели и коллиматорного объектива?

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 3. М.: Наука, 1987. § 28, 29.
2. Яворский Б. М., Пинский А. А. Основы физики. Т. 2. М.: Наука, 1981. § 72.1—72.3.
3. Ландсберг Г. С. Оптика. М.: Наука, 1976. § 204, 205, 207.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ РИДБЕРГА

Цель работы: ознакомление с закономерностями спектра излучения атомарного водорода. Определение постоянной Ридберга.

Приборы и принадлежности: монохроматор УМ-2, высоковольтный генератор «Спектр-1», водородная газоразрядная трубка с источником питания, ртутная лампа с источником питания.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Свет, испускаемый любым источником, имеет сложный спектральный состав, т. е. содержит излучения различных длин волн. Совокупность монохроматических составляющих световых колебаний называется спектром. Спектр излучения является важной характеристикой вещества, позволяющей установить его состав, строение и свойства атомов и молекул.

Различают три вида спектров: сплошные, полосатые и линейчатые. Сплошной спектр получается при разложении света, испускаемого раскаленными твердыми телами, расплавами и жидкостями. Сплошной спектр имеет вид цветной полосы с непрерывным переходом одного спектрального цвета в другой. Полосатые спектры испускаются возбужденными молекулами газа. В таких спектрах большое число отдельных линий образует характерные группы, в каждой из которых линии у одного края располагаются очень тесно. Спектр имеет вид отдельных полос, четких с одного края и размытых с другого. Светящиеся атомарные газы и пары излучают свет, при разложении которого получается спектр, состоящий из отдельных линий. Такие спектры называются линейчатыми.

Наиболее простой линейчатый спектр имеет атомарный водород, обладающий одним электроном. По мере увеличения числа электронов спектры атомов усложняются. При экспериментальном изучении линейчатых спектров оказалось, что расположение линий

в спектрах подчиняется определенным закономерностям. В каждой серии расстояние между линиями закономерно убывает при переходе от длинных волн к более коротким. Закономерность расположения линий в спектре водорода математически можно описать с помощью формул, которые называются сериальными. Обобщенная сериальная формула Бальмера выглядит так:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (1)$$

где  $m = 1, 2, 3, 4, 5$ ;  $n$  — целые числа, причем  $n > m$ ;  $R$  — постоянная Ридберга. Число  $m$  определяет серию,  $n$  — отдельную линию этой серии, которой соответствует длина волны  $\lambda$ . При  $m = 1$  получаем серию Лаймана, при  $m = 2$  — серию Бальмера и т. д. Таким образом, для каждой серии число  $m = \text{const}$ , а число  $n$  меняется. При  $n = m + 1$  длина волны для данной серии имеет наибольшее значение  $\lambda_0$ . Это головная линия данной серии спектра. При  $n \rightarrow \infty$  для данной серии получаем наименьшее значение длины волны  $\lambda_\infty$ . Это граничная линия данной серии спектра. Экспериментально найденное значение постоянной Ридберга согласно современным данным будет

$$R = 1,09767581 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}.$$

В табл. 1 представлены характеристики спектральных серий излучения водорода.

Таблица 1

| Серия    | Область спектра  | $m$ | $n$          | $\lambda_\infty$ , нм | $\lambda_0$ , нм |
|----------|------------------|-----|--------------|-----------------------|------------------|
| Лаймана  | Ультрафиолетовая | 1   | 2, 3, 4, ... | 91,1                  | 121,6            |
| Бальмера | Видимая          | 2   | 3, 4, 5, ... | 364,4                 | 656,3            |
| Пашена   | Инфракрасная     | 3   | 4, 5, 6, ... | 819,9                 | 1875,0           |
| Брэкета  |                  | 4   | 5, 6, 7, ... | 1458                  | 4050,0           |
| Пфунда   | —>—              | 5   | 6, 7, ...    | 2277                  | 7453,3           |

На рис. 1. схематически изображена серия Бальмера спектра атома водорода. Четыре линии этой серии лежат в видимой области спектра и обозначаются следующим образом:  $H_\alpha$  — красная,  $H_\beta$  — зелено-голубая,  $H_\gamma$  — фиолетово-синяя,  $H_\delta$  — фиолетовая. Линия  $H_\alpha$  является головной линией серии Бальмера с длиной волны, равной  $\lambda_0 = 656,28$  нм. Остальные линии серии «сбегают» к граничной линии, которая лежит в ультрафиолетовой области.

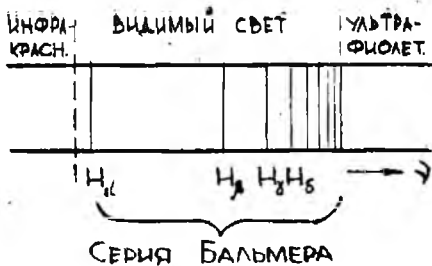


Рис. 1.

Эмпирические закономерности спектроскопии, полученные к 1911 г., не могли быть объяснены макроскопической электродинамикой Максвелла и классической механикой Ньютона в применении к атомным системам. Это был период, который называют «кризис физики». Наступило время ломки старых представлений и создания на их месте новых.

В 1913 году Н. Бор на основе квантовой гипотезы Планка и планетарной модели атома Резерфорда дал (в форме постулатов) теоретическое объяснение происхождению спектров и спектральным закономерностям.

**Первый постулат.** В атоме существует ряд дискретных стационарных состояний, которым соответствуют определенные значения энергии атома  $E_1, E_2, E_3, \dots$ . В стационарном состоянии атом не излучает энергию. В этом состоянии электрон движется вокруг ядра по стационарным орбитам, для которых момент импульса электрона кратен величине  $h/2\pi$ :

$$Mv_n r_n = nh/2\pi, \quad (2)$$

где  $n = 1, 2, \dots, M$  — масса электрона,  $v_n$  — скорость его на стационарной орбите радиуса  $r_n$ ,  $h$  — постоянная Планка. Целое число  $n$  называют главным квантовым числом, а уравнение (2) — условием квантования орбит.

**Второй постулат.** Атом излучает или поглощает энергию порциями (квантами) при переходе электрона из одного стационарного состояния в другое. При этом испускается или поглощается определенная порция — квант энергии  $h\nu$ , равная разности энергий двух стационарных состояний атома:

$$h\nu = E_n - E_m, \quad (3)$$

где  $\nu$  — частота поглощаемых или испускаемых электромагнитных волн.

На рис. 2 схематически изображены переходы электрона из одного стационарного состояния в другое. Переход из состояния с меньшей энергией  $E_m$  в состояние с большей энергией  $E_n$  соответствует процессу



Рис. 2.

поглощения атомом монохроматического излучения, частота которого  $\nu$  определяется соотношением (3). Обратный переход из состояния с большей энергией  $E_n$  в состояние с меньшей энергией  $E_m$  соответствует испусканию монохроматического излучения частоты  $\nu$ .

Рассмотрим атом водорода. Будем считать, что масса ядра велика по сравнению с массой электрона и ядро неподвижно в лабораторной системе отсчета. Полная энергия атома состоит из кинетической энергии электрона и потенциальной энергии взаимодействия электрона с ядром. За начало отсчета потенциальной энергии примем состояние, когда электрон удален от ядра на бесконечность. Тогда

$$E = \frac{Mv^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}, \quad (4)$$

где  $e$  — заряд электрона, а  $r$  — радиус стационарной орбиты. Кулоновская сила притяжения электрона к ядру является центростремительной силой:

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{Mv^2}{r}. \quad (5)$$

Из уравнений (5) и (4) получим выражение для энергии

$$E = - \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}. \quad (6)$$

Знак «минус» означает, что система «электрон — ядро» является связанной. Для удаления электрона из атома необходимо затратить работу. Теперь делается решающий шаг. На классический электрон и классические законы Бор наложил ограничения, которые дают его постулаты. Из первого постулата (2) и уравнения (5) можно найти радиусы стационарных орбит

$$r_n = n^2 \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi e^2 M}, \quad n = 1, 2, 3, \quad (7)$$

Подстановкой (7) в (6) получаем

$$E_n = - \frac{1}{n^2} \frac{Me^4}{8\epsilon_0^2 h^2}. \quad (8)$$

Это выражение для энергии атома в  $n$ -м стационарном состоянии.

Уравнение (8) для значений  $n = 1, 2, 3, \dots$  позволяет получить разрешенные значения энергии  $E_1, E_2, E_3, \dots$ . Таким образом, можно сделать вывод о том, что энергия атома квантована. Состояние с минимальной энергией называют основным состоянием. Оно соответствует  $n = 1$ , а численное значение энергии  $E_1 = -13,6 \text{ эВ}$ . Все остальные состояния называются возбужденными.

На рис. 3 приведена схема энергетических уровней, определяемых уравнением (8). На схеме горизонтальными прямыми отмечены разрешенные значения энергий. При  $n \rightarrow \infty$  энергия  $E_n \rightarrow 0$ .

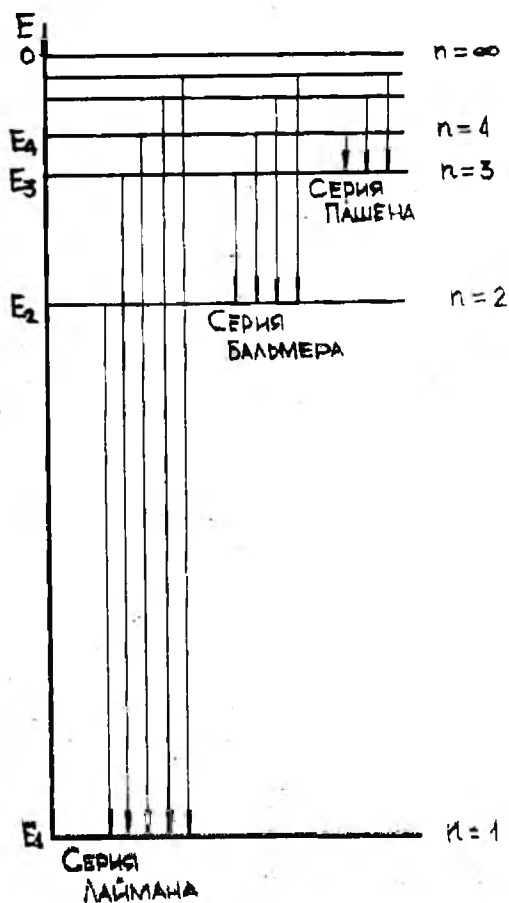


Рис. 3.

От этого уровня на схеме идет вниз отсчет отрицательных энергий, соответствующих стационарным состояниям электрона в атоме. Излучение энергии происходит при переходе электрона с высших энергетических уровней на низшие. Переходы с высших уровней на уровень  $n = 1$  соответствуют излучению линий серии Лаймана. Переходы с высших уровней на уровень  $n = 2$  соответствуют излучению линий серии Бальмера и т. д. В общем случае при переходе электрона с уровня  $n$  на уровень  $m$  излучается, согласно второму

постулату, частота

$$\nu = \frac{1}{h} (E_n - E_m) = \frac{M e^4}{8 h^3 \epsilon_0^2} \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (9)$$

Используя это соотношение, можно получить выражение для длины волны испущенного фотона:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} = \frac{M e^4}{8 h^3 \epsilon_0^2 c} \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \quad (10)$$

Это соотношение аналогично формулам для спектральных серий, приведенных в табл. 1. Сравнивая (10) с соотношением (1) можно записать теоретическое выражение для постоянной Ридберга:

$$R = \frac{M e^4}{8 h^3 \epsilon_0^2 c}. \quad (11)$$

Если подставить численные значения в (11), то для постоянной Ридберга получим значение, хорошо согласующееся с экспериментальным значением, приведенным ранее.

Таким образом, теория Бора позволяет объяснить закономерности излучения атома водорода в спектре, а также вычислить теоретическое значение длин волн излучения и постоянной Ридберга, если измерить экспериментально длины волн спектральных линий какой-либо серии излучения, например, серии Бальмера.

## ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Для измерения длин волн спектральных линий в данной работе используется универсальный монохроматор УМ-2, предназначенный для спектральных исследований в диапазоне длин волн от 380 до 1000 нм. Принцип действия прибора основан на дисперсии света при прохождении через систему призм, то есть в разложении сложного света в спектр при преломлении. Разложение происходит вследствие того, что свет с разными длинами волн по-разному преломляется в призме (преломление тем больше, чем короче длина волны). Спектр в данном приборе наблюдается визуально.

Прибор состоит из следующих основных частей (рис. 4).

1. Входная щель 1, снабженная микрометрическим винтом 8, который дает возможность устанавливать нужную ширину щели. Ширину входной щели можно менять в пределах от 0 до 4 мм. Обычная рабочая ширина щели от 0,02 до 0,03 мм. Щель должна быть расположена в фокальной плоскости объектива коллиматора 2, находящегося внутри прибора.

2. Коллиматорный объектив 2, создающий параллельный пучок лучей. Щель 1 и объектив 2 образуют коллиматор.



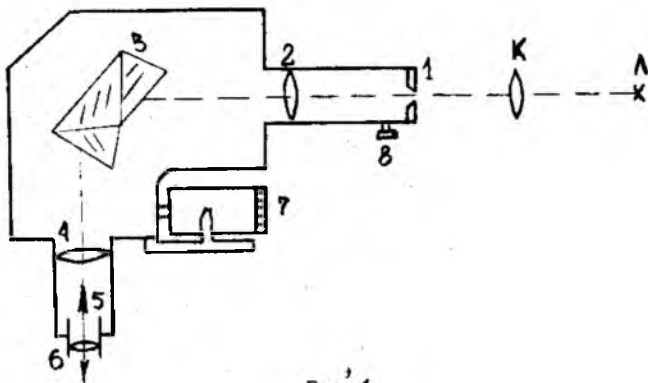


Рис. 4.

3. Система призм 3, состоящая из трех склеенных призм для увеличения дисперсии прибора, установленная на поворотном столике.

4. Отсчетный барабан 7, связанный микрометрическим винтом с поворотным столиком. На отсчетном барабане имеется винтовая дорожка с градусными делениями. По дорожке скользит указатель поворота барабана. Отсчет поворота барабана читается против индекса указателя. При вращении барабана призма поворачивается и в поле зрения появляются различные участки спектра. Цена деления барабана  $2^\circ$ .

5. Объектив выходной трубы монохроматора 4, который собирает лучи, прошедшие через призмы 3, в фокальной плоскости окуляра 6. В этой плоскости расположен указатель 5 в виде острия, который служит для установки выбранной спектральной линии.

6. Окуляр 6, предназначенный для рассматривания спектра.

7. Оптическая скамья, на которой расположен монохроматор УМ-2, источник света Л и конденсор К, предназначенный для концентрации света на входной щели прибора.

### ГРАДУИРОВКА МОНОХРОМАТОРА

Монохроматор УМ-2 нуждается в предварительной градуировке. В данной работе для градуировки используется ртутная лампа.

Градуировка состоит из следующих этапов.

1. Включить ртутную лампу.

2. Перемещая конденсор вдоль оптической скамьи и, если необходимо, вверх или вниз и в направлении, перпендикулярном оптической скамье, при помощи винта в основании линзы добиться того, чтобы сфокусированное изображение источника света попало на входную щель монохроматора.

3. Установить необходимую ширину входной щели. Для этого, рассматривая спектр в окуляр, микрометрическим винтом 8 установить такую ширину щели, чтобы спектральные линии были достаточно узкие.

4. Произвести фокусировку линий. Для упрощения фокусировки объектив коллиматора поставить на деление 10,5. В этом случае щель 1 коллиматора находится в фокусе объектива 2 для желтой линии. Это положение объектива обеспечивает также достаточно точное положение щели в фокусе и для других длин волн. Вращая оправу окуляра, сфокусировать спектральные линии и указатель.

5. Вращая отсчетный барабан, просмотреть весь спектр и найти линии, длина волны которых приведена в табл. 2. Относительное расположение выбираемых для градуировки линий приведено на рис. 5.

6. Вращением отсчетного барабана добиться совпадения указателя поочередно с теми линиями спектра, для которых приведены длины волн. Положение каждой линии  $\varphi$  определить по показаниям на шкале барабана и записать результаты измерений в табл. 2. Выключить лампу.

7. Построить градуировочный график для данного монохроматора, откладывая по оси абсцисс деления шкалы барабана, а по оси ординат соответствующие им длины волн. За начало координат целесообразно принять  $\lambda = 400$  нм. Соединить точки плавной кривой.

Если при построении графика некоторые точки окажутся смещенными от плавной кривой, то это говорит о том, что была неправильно расшифрована наблюдаемая картина спектральных линий. В этом случае необходимо более внимательно

Таблица 2

| Цвет линий           | $\lambda$ , нм | $\varphi$ , град |
|----------------------|----------------|------------------|
| Темно-красная яркая  | 690,7          |                  |
| Темно-красная слабая | 671,6          |                  |
| Красная яркая        | 612,3          |                  |
| Желтый дублет 1      | 579,0          |                  |
| Желтый дублет 2      | 576,9          |                  |
| Зеленая яркая        | 546,1          |                  |
| Голубая яркая        | 491,6          |                  |
| Темно-синяя яркая    | 435,8          |                  |
| Фиолетовая слабая    | 407,8          |                  |
| Фиолетовая яркая     | 404,7          |                  |

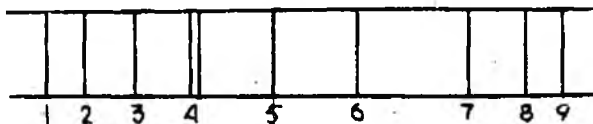


Рис. 5.

сопоставить картину с табл. 2, повторить необходимые измерения и внести в градуировочный график требуемые изменения.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ РИДБЕРГА

1. Установить на оптическую скамью высоковольтный генератор «Спектр-1» с водородной разрядной трубкой.

2. Подсоединить к нему источник постоянного тока, включить его в сеть и установить рабочее напряжение 8.

3. Произвести те же подготовительные операции, что и при градуировке монохроматора (пп. 2, 3, 4). Поскольку интенсивность света от водородной трубки мала, эти операции производятся при выключенном общем освещении лаборатории. При фокусировке и наведении изображения источника света на щель рекомендуется наложить на нее лист белой бумаги для того, чтобы видеть изображение более отчетливо.

4. Вращая отсчетный барабан, просмотреть весь спектр и найти линии, длины волн которых необходимо определить.

5. Определить отсчеты по барабану для четырех линий излучения водорода ( $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$ ,  $H_\delta$ ) серии Бальмера и занести данные измерений в табл. 3. Выключить разрядную трубку.

Таблица 3

| Спектральное обозначение | Цвет линии      | $\varphi$ , град | $\lambda$ , нм | $n$ | $m$ | $R, \text{м}^{-1}$ | $\langle R \rangle, \text{м}^{-1}$ | $\varepsilon_R$ |
|--------------------------|-----------------|------------------|----------------|-----|-----|--------------------|------------------------------------|-----------------|
| $H_\alpha$               | Красная         |                  |                |     |     |                    |                                    |                 |
| $H_\beta$                | Зелено-голубая  |                  |                |     |     |                    |                                    |                 |
| $H_\gamma$               | Сине-фиолетовая |                  |                |     |     |                    |                                    |                 |
| $H_\delta$               | Фиолетовая      |                  |                |     |     |                    |                                    |                 |

6. По градуировочной кривой найти длины волн спектральных линий водорода серии Бальмера.

7. Для каждого значения длины волны вычислить постоянную Ридберга по формуле  $R = \frac{1}{\lambda \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)}$ .

8. Найти среднее значение, абсолютную и относительные погрешности определения постоянной Ридберга по способу, используемому для прямых измерений. Результаты вычислений занести в табл. 3.

Примечание. В спектре водородной трубки наряду с линиями атомарного водорода наблюдаются спектральные линии молекулярного водорода. Начинать поиск нужных линий удобно с наиболее интенсивной красной линии  $H_\alpha$ . Вторая линия  $H_\beta$  — зелено-голубая. В промежутке между ними располагаются несколько красно-желтых и зеленых сравнительно слабых молекулярных полос. Третья линия  $H_\gamma$  — фиолетово-синяя. Перед этой линией располагаются две слабые полосы молекулярного водорода синего цвета. Четвертая линия  $H_\delta$  — фиолетовая. Ее не всегда удается обнаружить.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Начертить оптическую схему и объяснить принцип действия монохроматора УМ-2.
2. Какие виды спектров существуют.
3. Чем отличаются спектры излучения раскаленных твердых тел, газов, паров металлов?
4. Сформулируйте постулаты Бора.
5. Выведите обобщенную формулу Бальмера.
6. Объясните природу линейчатых спектров.
7. Какие спектральные серии линий существуют в спектре излучения атомов водорода?
8. Каким переходам электрона соответствуют линии серии Бальмера?

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 3. М.: Наука, 1971. § 59, 63.
2. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Курс физики. Т. III. М.: Высшая школа, 1967. § 13.3...13.5.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙЧАТЫХ СПЕКТРОВ**

Составители: *Левченко Маргарита Александровна*  
*Соломеин Иван Андреевич*  
*Соломеина Татьяна Сергеевна*  
*Башкирцева Любовь Александровна*

Редактор Т. К. Кретинина  
Техн. редактор Н. М. Каленюк  
Корректор Н. С. Куприянова

Сдано в набор 25.03.91 г. Подписано в печать 20.06.91 г.  
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная.  
Гарнитура литературная. Печать высокая.  
Усл. п. л. 1,2. Усл. кр.-отт. 1,3. Уч.-изд. л. 1,0.  
Тираж 2000 экз. Заказ 321. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С. П. Королева.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

Тип. ЭОЗ Куйбышевского авиационного института.  
443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.