

**КВАНТОВАЯ ОПТИКА И  
ФИЗИКА АТОМА**

**Издательство ТГТУ**

Министерство образования Российской Федерации  
Тамбовский государственный технический университет

**КВАНТОВАЯ ОПТИКА И  
ФИЗИКА АТОМА**

Лабораторные работы  
для студентов 2 курса дневного и заочного отделений  
технических специальностей

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2003

**ББК В 33  
УДК 535.14:539.18  
К32**

Утверждено редакционно-издательским советом университета

## **Рецензент**

Профессор *Н. Я. Молотков*

**К32 Квантовая оптика и физика атома. Лаб. работы / Сост.:** Ю. М. Головин, В. Б. Вязовов, Ю. П. Ляшенко, О. В. Исаева. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. 20 с.

Представлены три лабораторные работы, предусмотренные учебной программой. Рассматривается краткая теория вопроса и даны методические указания по их выполнению.

Предназначены для студентов 2 курса дневного и заочного отделений технических специальностей.

ББК В 33

УДК 535.14:539.18

© Тамбовский государственный  
технический университет  
(ТГТУ), 2003

## **Учебное издание**

### **КВАНТОВАЯ ОПТИКА И ФИЗИКА АТОМА**

#### **Лабораторные работы**

Составители: **Головин** Юрий Михайлович,  
**Вязовов** Виктор Борисович,  
**Ляшенко** Юрий Петрович,  
**Исаева** Ольга Вячеславовна

Редактор В. Н. Митрофанова  
Компьютерное макетирование Е. В. Кораблевой

Подписано к печати 23.01.2003  
Формат 60 × 84/16. Бумага газетная. Печать офсетная  
Объем: 1,16 усл. печ. л.; 1,02 уч. изд. л.  
Тираж 200 экз. С. 29

Издательско-полиграфический центр ТГТУ  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ В ЗАКОНЕ СТЕФАНА-БОЛЬЦМАНА ПРИ ПОМОЩИ ОПТИЧЕСКОГО ПИРОМЕТРА

**Цель работы:** изучение метода оптической пирометрии и определение постоянной Стефана-Больцмана.

**Приборы и принадлежности:** оптический пирометр типа ОППИР-0,9 кинолампа, амперметр, ЛАТР, выпрямитель.

**Задание:** определить с помощью пирометра температуру накала нити лампы и рассчитать постоянную Стефана-Больцмана.

### Методические указания

Исходя из законов классической физики – термодинамики и электродинамики, энергетическая светимость абсолютно черного тела, т.е. энергия, излучаемая в одну секунду единицей поверхности абсолютно черного тела, определяется законом Стефана-Больцмана

$$R_s = \sigma T^4, \quad (1)$$

где  $T$  – истинная температура излучающей поверхности, К;  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана.

Если излучающее тело не является абсолютно черным и излучение происходит в среде, имеющей температуру  $T_0$ , то

$$R_s = K\sigma(T^4 - T_0^4), \quad (2)$$

где  $K$  – коэффициент нечерноты ( $K < 1$ ), зависящий от материала излучающей поверхности.

В данной работе в качестве излучающей поверхности используют раскаленную вольфрамовую спираль  $N$  кинолампы (здесь и далее см. описание), для нагревания которой ее включают в цепь переменного напряжения. Полагая, что электрическая мощность, которую потребляет спираль кинолампы, расходуется не только на лучеиспускание, но часть ее отводится в виде тепла, вследствие теплопроводности, конвекции в окружающую среду, мощность, расходуемую на излучение можно вычислить как  $P = kIU$ , (где  $k < 1$  коэффициент, учитывающий потери мощности и определяется опытным путем). Приравняв эту мощность, мощности теряемой ежесекундно вольфрамовой спиралью кинолампы, площадью поверхности  $s$ , получим

$$P = kIU = K\sigma s (T^4 - T_0^4). \quad (3)$$

Отсюда постоянная Стефана-Больцмана равна

$$\sigma = \frac{kIU}{K s (T^4 - T_0^4)}. \quad (4)$$

В лабораторной работе можно считать, как показывает опыт,  $k \approx K$  и при расчете  $\sigma$  их не учитывать.

Определение температуры раскаленной вольфрамовой спирали  $N$  кинолампы в данной работе производится с помощью оптического пирометра, путем сравнения яркости раскаленной спирали кинолам-

пы в некотором спектральном интервале длин волн  $\Delta\lambda$  (красный светофильтр) ( $\lambda = 650$  нм) с яркостью спирали фотометрической лампы пирометра. Регулируя реостатом величину тока фотометрической лампы пирометра  $L$ , можно добиться исчезновения видимости ее нити на фоне вольфрамовой спирали  $N$  кинолампы, т.е. совпадения их яркостей. Шкала прибора предварительно проградуирована по температуре искусственного абсолютно черного тела. Если бы излучаемая поверхность (вольфрамовая спираль кинолампы) была поверхностью абсолютно черного тела, а не серого, то отсчитываемая по шкале пирометра температура  $T_\lambda$  была бы истинной ее температурой  $T$ . Так как наблюдаемый объект не абсолютно черный, то  $T_\lambda$  представляет собой температуру такого абсолютно черного тела, при которой его испускательная способность равна испускательной способности исследуемого тела в наблюдаемом спектральном участке  $\Delta\lambda$ , температура которого  $T$  истинная ( $r_\lambda^*(T_\lambda) = r_\lambda(T)$ ).  $T_\lambda$  носит название яркостной температуры. Связь между яркостной  $T_\lambda$  и истинной  $T$  температурами дается соотношением

$$T = \frac{aT_\lambda}{\lambda T_\lambda \ln K + 1}, \quad (5)$$

где  $a$  – зависящая от постоянной Планка, скорости света, постоянной Больцмана.

Коэффициент нечерноты  $K$  для вольфрама в области температур от 900 до 2000 °С равен  $0,45 \pm 0,005$  для  $\lambda = 650$  нм средней длины волны спектрального участка, пропускаемого при введении красного светофильтра пирометра. Подставляя в формулу (5) эти постоянные и проводя соответствующие преобразования и вычисления, получаем более удобное выражение для расчета истинной температуры в нашем случае:

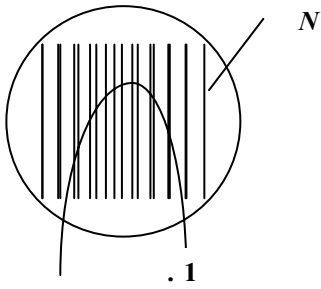
$$T = \frac{T_\lambda}{BT_\lambda + 1},$$

где  $B = -0,36 \cdot 10^{-4}$ . (6)

Порядок выполнения работы

### Внимание!

- 1 Ознакомиться с устройством установки на рабочем месте. (Инструкция прилагается).
- 2 Подготовить оптический пирометр к проведению измерения температуры, для этого:
  - а) Повернуть кольцо реостата  $A$  влево до совмещения белой отметки на нем с такой же отметкой на корпусе. Стрелка приборов при этом должна стоять на нулевой отметке шкалы.
  - б) Включить источник питания фотометрической лампочки пирометра  $L$  и поворотом кольца реостата по часовой стрелке постепенно довести накал ее примерно до 1200 °С по шкале пирометра.
  - в) Взявшись за накатанный конец трубки окуляра  $O_2$ , плавно перемещать его вдоль оси до тех пор, пока нить фотометрической лампы  $L$  будет четко видна на фоне спирали  $N$  кинолампы.
  - г) Поворотом головки КФ ввести в поле зрения красный светофильтр. Вывести из поля зрения ослабляющий фильтр, для чего точку на его головке ДФ повернуть на четверть оборота от индекса 20.
- 3 После проверки схемы лаборантом или преподавателем включить в сеть питающую цепь кинолампы. Установить с помощью ручки ЛАТРа минимальный режим работы кинолампы. Для увеличения длительности работы ее мощность, измеряемая ваттметром, не должна превышать 45 – 50 Вт.
- 4 Установить пирометр на расстоянии 90 – 100 см. от кинолампы. Направить объектив пирометра  $O_1$  на раскаленную спираль кинолампы и, перемещая вдоль оси тубус объектива  $O_1$ , добиться резкого изображения спирали  $N$  кинолампы. Это изображение должно быть в той же плоскости, что и нить фотометрической лампы пирометра. Смещая немного глаз перед окуляром  $O_2$ , можно проверить выполнение этого условия. Если проекция нити не смещается по отношению к изображению спирали, то установка сделана правильно (рис. 1).



5 Поворотом кольца реостата пирометра добиться, чтобы средний участок нити фотометрической лампы сливался с фоном раскаленной спирали кинолампы.

Произвести отсчет температуры  $t$  °C по соответствующей шкале пирометра и результат записать в табл. 1. Операции, описанные в п. 5 проделать десять раз.

Таблица 1

	№ П/П	$t_i$ , °C	$\bar{t}$ , °C	$\Delta t_i$ , °C	$\Delta t_i^2$ , °C <sup>2</sup>	$S$	$\Delta t$ , °C	$E$ , %
1.								
⋮								
10								

где  $t_i$ , °C – температура, определенная в результате  $n$ -го измерения;  $\bar{t}$ , °C – средняя арифметическая температура, рассчитанная по формуле:

$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}$ ;  $\Delta t_i$  °C =  $(t_i - \bar{t})$  °C – абсолютная ошибка отдельного измерения;  $\Delta t_i^2$ , °C<sup>2</sup> =  $(t_i - \bar{t})^2$  °C<sup>2</sup> – квадрат абсолютной ошибки отдельного измерения.

6 Записать показания ваттметра в табл. 2 и выключить установку.

7 Рассчитать доверительный интервал (среднеквадратичную ошибку) по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n(n-1)}}, \quad (7)$$

при  $n = 10$ .

Найти абсолютную ошибку по методу Стьюдента:  $\Delta t$  °C =  $\alpha S$ , при  $\alpha = 2,4$  с вероятностью  $W = 95\%$  и  $E = \frac{\Delta t}{\bar{t}} \cdot 100\%$  – относительную ошибку и записать в табл. 1.

8 Выразить среднеарифметическую яркостную температуру, К по формуле  $T_\lambda = \bar{t}$  °C + 273. Аналогично, выразить комнатную температуру  $T_0$  и  $\Delta T_0$  и занести в табл. 2.

Таблица 2

$P$ , Вт	$\Delta P$ , Вт	$s$ , м <sup>2</sup>	$\Delta s$ , м <sup>2</sup>	$T_\lambda$ , К	$\Delta T_\lambda$ , К	$T$ , К	$\Delta T$ , К	$T_0$ , К	$\Delta T_0$ , К

Где  $P$  и  $\Delta P$  – мощность, определенная с помощью ваттметра и соответствующая ей приборная ошибка;  $s$  и  $\Delta s$  – площадь поверхности раскаленной спирали кинолампы и соответствующая ей ошибка;  $T_\lambda$  и  $\Delta T_\lambda$  – яркостная температура и абсолютная ошибка соответственно;  $T$  и  $\Delta T$  – истинная температура кинолампы и соответствующая ее абсолютная ошибка.

9 Рассчитать истинную температуру спирали кинолампы по формуле (6). Найти относительную  $E$  и абсолютную  $\Delta T$  ошибки по формуле

$$E = \frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta T_\lambda}{T_\lambda} + \frac{B\Delta T_\lambda}{BT_\lambda + 1} + \frac{T_\lambda \Delta B}{BT_\lambda + 1}. \quad (8)$$

Суммой второго и третьего слагаемых можно пренебречь, так как она на порядок меньше первого.

Тогда

$$\Delta T = ET. \quad (9)$$

Записать найденные значения  $T$  и  $\Delta T$  в табл. 2.

10 Значения  $s$ ,  $\Delta s$ , (даны в описании установки на рабочем месте или данные узнать у лаборанта).

11 Используя данные из табл. 2, вычислить значение постоянной Стефана-Больцмана по формуле (4), подставив в нее истинное значение  $T$ , а  $T_0$  определите по термометру в лаборатории. Найти относительную и абсолютную ошибки:

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\sigma} = \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta s}{s} + \frac{4T^3 \Delta T + 4T_0^3 \Delta T_0}{T^4 - T_0^4}; \quad (10)$$

$$\Delta \sigma = \sigma E. \quad (11)$$

13 Полученный результат записать в виде

$$\sigma = (\sigma \pm \Delta \sigma), \quad \frac{\text{Дж}}{\text{с м}^2 \text{К}^4}.$$

### Контрольные вопросы

- 1 Назвать основные характеристики теплового излучения различных тел и соотношения между ними.
- 2 Какое тело называется абсолютно черным?
- 3 Сформулировать закон Кирхгофа для теплового излучения.
- 4 Как распределяется энергия в спектре абсолютно черного тела.
- 5 Дать формулировку закона Стефана-Больцмана.
- 6 Сформулировать закон Вина.
- 7 Что называют «ультрафиолетовой катастрофой»? Формула Релея-Джинса.
- 8 Написать формулу Планка для лучеиспускательной способности абсолютно черного тела.
- 9 Какие законы теплового излучения вытекают из формулы Планка?
- 10 Принцип действия и устройство яркостного пирометра.

## ИЗУЧЕНИЕ ВНЕШНЕГО ФОТОЭФФЕКТА

**Цель работы:** получение вольтамперных и световых характеристик вакуумного фотоэлемента.

**Приборы и принадлежности:** установка, позволяющая перемещать источник света относительно фотоэлемента; источник тока; вольтметр; микроамперметр.

### Краткая теория

Внешним фотоэффектом называется испускание электронов веществом под действием света. Это явление впервые было обнаружено Г. Герцем в 1887 г. и детально исследовано в 1888 г. А. Г. Столетовым, который установил основные законы фотоэффекта:

- 1) максимальная скорость фотоэлектронов определяется частотой света и не зависит от его интенсивности;
- 2) фототок насыщения пропорционален световому потоку;
- 3) для каждой поверхности существует минимальная частота так называемая красная граница фотоэффекта, при которой еще возможен внешний фотоэффект; при  $\nu < \nu_0$  фотоэффект отсутствует.

Эйнштейн в 1905 г. показал, что все закономерности фотоэффекта легко объясняются, если предположить, что свет распространяется такими же квантами  $h\nu$ , какими он, по предположению Планка, испускается и поглощается. Часть энергии  $h\nu$ , которую получает электрон от фотона, затрачивается на то, чтобы электрон мог покинуть облученную поверхность вещества. Эта величина, называемая работой выхода  $A$ , является характерной для каждого металла и зависит от состояния его поверхности. Остальная часть энергии идет на сообщение электрону кинетической энергии. Если пренебречь потерями энергии в результате неупругих столкновений электрона с атомами вещества, то должно выполняться соотношение, называемое формулой Эйнштейна (Закон сохранения энергии)

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}, \quad (12)$$

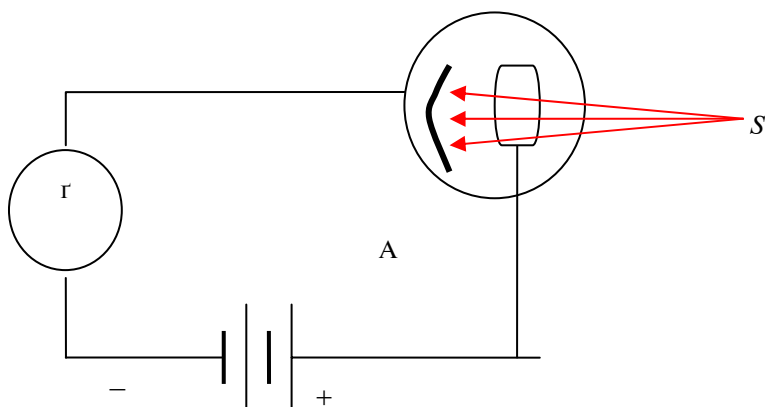
где  $v$  – максимальная скорость электрона, вырванного с поверхности металла.

Из формулы (12) вытекает, что для возникновения фотоэффекта необходимо, чтобы выполнялось условие  $h\nu_0 = A$  (красная граница фотоэффекта).

Приборы, действие которых основано на явление фотоэффекта, называются фотоэлементами. Различают вакуумные и газонаполненные фотоэлементы. Схема, поясняющая действие вакуумного фотоэлемента, приведена на рис. 2.

Свет от источника проникает через кольцеобразный анод и попадает на поверхность катода. Испущенные электроны ускоряются электрическим полем и достигают анода. В результате в цепи возникает постоянный фототок, который может быть измерен микроамперметром.

Зависимость тока  $I$  от напряжения  $U$  между анодом и катодом (вольтамперная характеристика) представлена на рис. 3.





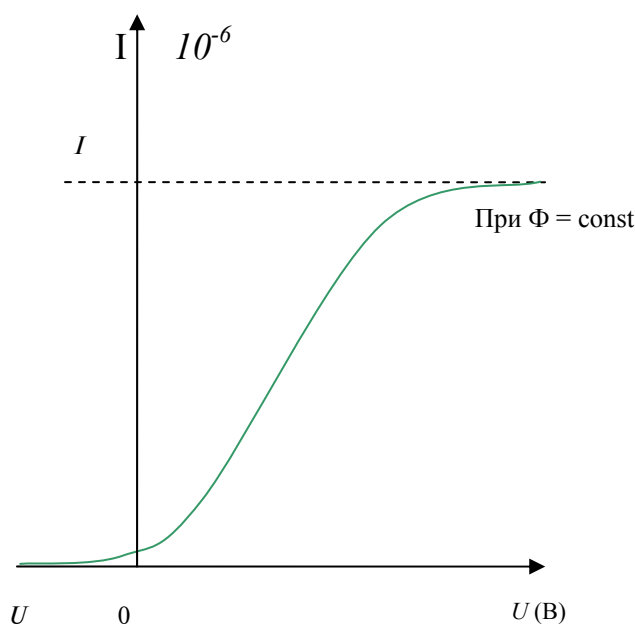


Рис. 3

При некотором напряжении фототок достигает насыщения (горизонтальный участок характеристики). Это означает, что все электроны, испущенные катодом, попадают на анод. При  $U = 0$  фототок не исчезает, так как электроны покидают катод со скоростью, отличной от нуля. Для того, чтобы фототок стал равным нулю, необходимо приложить напряжение  $U_3$  обратной полярности (задерживающий потенциал). Так как световой поток  $\Phi$  определяется количеством квантов света, падающих на поверхность в единицу времени, то при неизменном спектральном составе сила тока насыщения  $I_n$  (т.е. количество испускаемых электронов в секунду) прямо пропорционально световому потоку

$$I_n = \gamma\Phi, \quad (13)$$

где  $\gamma$  – интегральная световая чувствительность материала фотокатода, т.е. для широкого интервала длин волн, например, 370 ... 700 нм видимого спектра, мкА/люмен;  $\Phi$  – световой поток, люмен.

Вакуумные фотоэлементы изготавливаются в виде стеклянного баллона, внутренняя поверхность которого покрыта слоем чувствительного к свету вещества, являющегося эмиттером фотоэлектронов. Для работы в видимой части спектра особенно широко применяются сурьмяно-цезиевые фотокатоды. Вакуумные фотоэлементы практически безинерционны.

Ток в фотоэлементе может быть усилен, если наполнить баллон газом (неон, аргон) и создать между электродами такое напряжение, чтобы фотоэлектроны могли, ускоряясь, производить ионизацию газа. Вновь образовавшиеся электроны и положительные ионы устремляются к аноду и катоду соответственно, усиливая общий ток. Значительное увеличение тока в газонаполненных фотоэлементах обуславли-

вает повышение инерционности фотоэлемента и искажение строгой пропорциональности между током и освещенностью.

Фотоэлементы находят широкое применение в науке и технике: счет и сортировка деталей на конвейере, различные автоматические устройства, использование в военной технике, звуковом кино, фотометрии, спектроскопии и т.д.

### Описание установки

**Внимание!** Ознакомиться с устройством на рабочем столе.

Данная установка позволяет перемещать источник света (лампочку накаливания) относительно фотоэлемента. Для этого подвижный штوك, на конце которого находится лампочка, снабжен сантиметровыми делениями. Отсчет расстояния от лампочки до фотоэлемента производится относительно корпуса установки. Светонепроницаемая камера и корпус защищают внутреннюю часть установки от попадания туда постороннего света. Световой поток, падающий от лампочки на поверхность фотоэлемента, определяется формулой

$$\Phi = I_{\text{св}}\Omega,$$

где  $I_{\text{св}} = (1,0 \mp 0,1)$ , кд – сила света лампочки, а  $\Omega$  – телесный угол, образованный конусом лучей, падающих на фотоэлемент.

Так как

$$\Omega = S/l^2,$$

где  $S = (23 \mp 1)$ , см<sup>2</sup> – площадь катода, то

$$\Phi = I_{\text{св}}S/l^2. \quad (14)$$

### Задание

*1 Снятие вольтамперной характеристики фотоэлемента.*

1.1 Включить питание установки. Как микроамперметр, так и вольтметр могут иметь несколько пределов измерений. Предел измерений тока устанавливается преподавателем, исходя из типа и состояния фотоэлемента. Предел измерений напряжения выбирается студентом так, чтобы ток насыщения достигался при напряжении, составляющем 50 ... 80 % от выбранного предела.

1.2 Определить цену деления микроамперметра и вольтметра. Рассчитать шаг  $\Delta U$  изменения напряжения при условии, что для качественного построения графика необходимо иметь в данном случае не менее 15 – 20 точек.

1.3 Расстояние  $l_1$  источника света до фотоэлемента выбирается так, чтобы ток насыщения составлял 90 ... 95 % от  $I_{\text{max}}$  (максимального значения шкалы). Изменяя напряжение  $U$  с шагом  $\Delta U$ , измерить соответствующие значения тока. Результаты измерений занести в рабочую тетрадь.

1.4 Повторить измерения при двух других значениях расстояния  $l - l_2$  и  $l_3$ . Рекомендуется выбирать их так, чтобы  $I_n$  составлял в этих случаях около 60 % и 30 % от  $I_{\text{max}}$  соответственно.

1.5 Построить семейство вольтамперных характеристик  $I = f(U)$  на одном листе миллиметровой бумаги с учетом требований, предъявляемых к построению графиков.

*2 Снятие световой характеристики и определение интегральной чувствительности фотоэлемента.*

Световой характеристикой фотоэлемента называется зависимость фототока от величины светового потока, падающего на элемент при постоянном напряжении на аноде. Знание световой характеристики необходимо для выбора типа и правильного использования фотоэлемента на практике.

Отношение величины фототока к величине светового потока, падающего на катод, называется чувствительностью фотоэлемента.

**ИНТЕГРАЛЬНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ОБОЗНАЧАЕТСЯ СИМВОЛОМ  $\gamma$  И ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ПО ФОРМУЛЕ**

$$\gamma = \frac{I}{\Phi}. \quad (15)$$

2.1 Установить напряжение  $U$ , при котором ток достигает насыщения при малых 5 ... 10 см расстояниях между лампочкой и фотокатодах. Изменяя расстояние  $l$ , снять зависимость фототока  $I_n$  от величины светового потока  $\Phi$ . Так как убывание тока с увеличением расстояния  $l$  происходит нелинейно, то изменять  $l$  следует с нарастающим шагом. Диапазон варьирования  $l$  выбрать так, чтобы фототок изменялся от максимального до минимального значения, а число измерений составляло не менее 10 – 15. Полученные результаты занести в табл. 3.

Таблица 1

$l$ , см																				
$I_n$ , мкА																				
$\Phi$ , лм																				
$\gamma$ , мкА/лм																				

2.2 По формуле (14) рассчитать значения  $\Phi$  для каждого  $l$ . Построить график зависимости  $I_n(\Phi)$  (световая характеристика).

2.3 Для каждой точки характеристики по формуле (15) рассчитать значения  $\gamma_i$ . После этого найти среднее значение  $\gamma_{cp}$  и абсолютную ошибку  $\Delta\gamma$ , используя соотношение

$$\Delta\gamma = \frac{\sum \Delta\gamma_i}{n},$$

где  $n$  – число точек,  $\Delta\gamma_i = \gamma_i - \gamma_{cp}$ .

**Контрольные вопросы**

- 1 Объяснить явление насыщения фототока.
- 2 Законы внешнего фотоэффекта.
- 3 Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.
- 4 Что такое задерживающий потенциал?
- 5 Что такое красная граница фотоэффекта?
- 6 Типы фотоэлементов. Типы фотоэффектов.
- 7 Практическое использование фотоэффекта.
- 8 Принцип работы фотоумножителя.
- 9 Интегральная и дифференциальная чувствительности фотоэлемента.
- 10 Почему не наблюдается прямолинейная зависимость фототока от светового потока в газонаполненных фотоэлементах?
- 11 Объяснить поведение построенных графиков.

*Лабораторная работа 3*

**НАБЛЮДЕНИЕ СПЕКТРА АТОМАРНОГО ВОДОРОДА  
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ РИДБЕРГА**

**Цель работы:** наблюдение спектров ртути и водорода с помощью спектрального аппарата; определение постоянной Ридберга.

**Приборы:** монохроматор УМ-2, ртутная лампа ДРШ с блоком питания, водородная трубка с блоком питания, оптическая скамья.

### Краткая теория

В соответствии с теорией Бора энергия электрона на стационарных орбитах может принимать дискретные значения

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{Z^2 m e^4}{8 h \epsilon_0^2}, \quad (16)$$

где знак «минус» означает, что система электрон-ядро является связанной, а  $n = 1, 2, \dots$  до  $\infty$ ;  $n$  – главное квантовое число, определяющее энергию электрона на орбите.

При переходе из состояния с большим значением  $n_i$  с энергией  $E_i$  в состояние с меньшим значением  $n_j$  с энергией  $E_j$  испускается фотон (квант света) с частотой рассчитанный по формуле Бора

$$\nu = \frac{E_i - E_j}{h}. \quad (17)$$

Однако в спектроскопии принято характеризовать спектральные линии не частотой, а обратной длиной волны

$$\nu = \frac{c}{\lambda}.$$

Тогда воспользовавшись уравнением энергии (16), формула (17) примет вид

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_j^2} - \frac{1}{n_i^2} \right). \quad (18)$$

где  $R = \frac{Z^2 m e^4}{8 h^2 \epsilon_0^2 c}$  – постоянная Ридберга, справочное значение которой равно:  $R = 109\,737,309 \pm 0,012 \text{ см}^{-1}$ .

Все линии спектра водорода могут быть объединены в серии (совокупности линий, отвечающих переходу на орбиту с данным значением  $n_j$ ) для видимой области спектра  $n_j = 2$ . В видимой области расположены четыре линии серии Бальмера:  $H_\alpha$  ( $n_i = 3$ ),  $H_\beta$  ( $n_i = 4$ ),  $H_\gamma$  ( $n_i = 5$ ) и  $H_\delta$  ( $n_i = 6$ ). Остальные линии этой серии лежат в ультрафиолетовой области спектра.

Используя формулу Бальмера (18), постоянную Ридберга можно определить как

$$R = \frac{\frac{1}{\lambda}}{\left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)}. \quad (19)$$

Таким образом, зная длину волны хотя бы одной линии и соответствующее ей значение  $n_i$ , можно рассчитать постоянную Ридберга.

### Описание установки

## Внимание!

Схема установки и приложение по данным (длин волн) спектра ртути представлены на рабочем месте.

Наблюдение спектральных линий и измерение их длин волн производится с помощью монохроматора УМ-2 (спектрометра с относительно невысокой дисперсией и разрешающей силой). В качестве источника света  $I$  используются ртутная лампа и водородная трубка, размещаемые поочередно на оптической скамье. Для лучшего освещения входной щели монохроматора между ней и источником нужно поместить конденсор (собирающую линзу). При отсутствии конденсора следует просто придвинуть источник ближе к входной щели.

Схема установки состоит из трех основных частей: коллиматора  $2 - 4$ , служащего для получения параллельного пучка лучей, системы диспергирующих призм  $5$ , разлагающей некогерентный свет в спектр, и зрительной трубы  $6 - 8$  для наблюдения спектра.

Свет от источника  $I$  проходит через конденсор  $2$  и освещает щель  $3$ , которая расположена в фокальной плоскости объектива  $4$  коллиматора. Из объектива параллельный пучок лучей направляется на призму  $5$ .

Если источник испускает некогерентный свет, то поскольку лучи различных длин волн по-разному преломляются в призме (явление дисперсии), произойдет разложение света на некогерентные составляющие, соответствующие волнам определенной длины. Они соберутся в фокальной плоскости объектива  $6$  зрительной трубы в виде спектрального изображения щели  $3$ , т.е. в виде отдельных линий разного цвета. Спектр может наблюдаться через окуляр  $8$ , при этом спектральные линии выводятся (путем поворота призмы) на выходную щель  $7$  зрительной трубы.

Ширина входной щели регулируется микрометрическим винтом так, чтобы были видны даже слабые линии спектра и, в то же время, наиболее яркие линии не резали глаз. В процессе измерений менять ширину входной щели не рекомендуется.

Отсчетным устройством прибора является барабан, проградуированный в относительных единицах, который механически соединен с системой диспергирующих призм. При повороте барабана на одно деление ( $2^\circ$ ) система призм поворачивается на  $20''$  (угловых секунд).

Ртутно-кварцевая лампа сверхвысокого давления типа ДРШ является мощным источником излучения в видимой и ультрафиолетовой частях спектра. В данной работе она предназначена для градуировки монохроматора (длины волн основных линий спектра паров ртути считаются известными).

Водородная трубка содержит водород в молекулярном виде. При разряде вследствие диссоциации появляются атомы водорода. Поэтому кроме характерных для атомарного водорода линий  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$  и  $H_\gamma$  могут быть видны более слабые по интенсивности и близко расположенные друг от друга линии молекулярного водорода. Вместо водородной трубки может быть использована дейтериевая лампа, обладающая аналогичным спектром.

## Ход работы

### Внимание!

Ознакомьтесь с описанием экспериментальной установки.

#### Задание 1.

1 Установите ртутную лампу на оптической скамье на расстоянии  $20 \dots 30$  см от входной щели коллиматора и включите ее.

2 Отрегулируйте с помощью микрометрического винта ширину входной щели. При этом желтый дублет линий спектра ртути должен быть четко виден.

3 Вращая рифленое регулировочное кольцо окуляра, получите резкое изображение вертикального отсчетного индекса. При этом, в поле зрения окуляра, наряду со спектральными линиями, виден вертикально расположенный индекс в виде стрелки черного цвета, который совмещается при выполнении работы со спектральной линией

4 После этого с помощью винта, расположенного на корпусе монохроматора, добейтесь резкого изображения линий спектра и еще раз проверьте ширину входной щели.

5 Вращая барабан, поочередно совмещайте измеряемые линии с индексом и делайте отсчет для каждой линии. Рекомендуется подводить линии спектра к индексу всегда с одной стороны. Полученные данные внесите в табл. 4.

Таблица 4

№ линии спектра	Цвет	$\lambda_i$	$\varphi_i$ , град
1			
⋮			
16			

В приложении указаны длины волн и приблизительные значения (в %) относительных интенсивностей наиболее ярких линий спектра ртути. Интенсивность зеленой линии (5461 Å) принята за 100 %.

Чтобы не ошибиться в идентификации наблюдаемых линий, обратите внимание на взаимное расположение, цвет и интенсивность линий в приложении.

#### Задание 2.

1 Замените ртутную лампу на водородную трубку (дейтериевую лампу), которую можно приблизить вплотную к входной щели, и включите ее. В процессе замены оба источника, естественно, должны быть выключены.

2 Измерьте углы водородных линий (красной  $H_\alpha$ , зеленой  $H_\beta$  и слабой фиолетовой  $H_\gamma$ ). Четвертая линия  $H_\delta$  в условиях данной работы практически не видна. Так как их интенсивность значительно уступает интенсивности ртутных линий, то измерения п. 2 следует проводить при минимальной внешней освещенности, а лампы дневного света желательно выключить.

3 После окончания измерений выключите блоки питания.

#### Обработка результатов

По данным табл. 4 постройте график зависимости  $\varphi_i$  от  $\lambda_i$  (соблюдая правила построения графиков) и с его помощью найдите длины волн трех измеренных линий водорода. По формуле (19) рассчитайте значения  $R$  для каждой линии, а также среднее значение  $R_{\text{ср}}$ . Попытайтесь оценить абсолютную погрешность  $R_{\text{ср}}$ , исходя из того, что в данной работе точность отсчета угла  $\varphi_i$  для каждой линии реально составляет около  $5^\circ$ . Расчет проводите не менее чем с тремя значащими цифрами.

#### Контрольные вопросы

- 1 Почему движущийся электрон в атоме, согласно электродинамике, должен упасть на ядро?
- 2 Сформулируйте постулаты Бора.
- 3 Что означает слово «спектр»?
- 4 Объясните природу спектральных линий атома водорода с точки зрения электронных энергетических уровней.
- 5 По какому принципу спектральные линии объединяются в серии?
- 6 Почему из бесконечного числа спектральных линий наблюдаются только 4 (или 3)?
- 7 В чем состояла революционность теории Бора и каковы ее недостатки?

## Список литературы

- 1 Лабораторный практикум по физике / Под ред. А. С. Ахматова. М.: Высшая школа, 1980. С. 360.
- 2 Евграфова Н. Н., Каган В. Б. Руководство к лабораторным работам по физике. М.: Высшая школа, 1970. С. 366 – 370.
- 3 Савельев И. В. Курс общей физики. М.: Наука, 1979. Т. 3. С. 34 – 38.
- 4 Ландсберг Г. С. Оптика. М.: Наука, 1976. С. 523 – 540.
- 5 Корсунский М. Н. Оптика. Строение атома. Атомное ядро. М., 1967. С. 227 – 237.