

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
(МИИГ)

Кафедра «Физика-2»

Утверждено
Редакционно-издательским
Советом университета

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Работы 35, 35 а, 38

по дисциплине: «Физика»
для студентов специальностей

УВМ, УПМ, УПО, УАИ, УИС, АТС, АТЭ, АЭЛ, ЭЭС, ЭЭТ,
УПЦ, ТБЖ, ТРК, ВПО, ВОПУ, ВАТС, ВАУТ, ВЭС, ВЭЛТ,
ВЭТ, ВУИ, ВЗИУТС

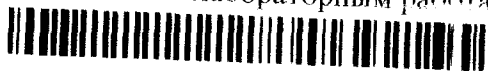
Под редакцией профессора Н. Л. Пахомовой

М.У.

Уч.З

№2262
03-12715

Методические указания к
лабораторным работам 05



УДК 53
М54

Касименко Л. М., Куница Р. И. Методические указания./
Работы 35, 35а, 38/ Под редакцией Н. Л. Пахомовой. - М.: МИИТ,
2005.- 25с.

Методические указания составлены для студентов второго курса специальностей УВМ, УПМ, УПО, УАИ, УИС, АТС, АТЭ, АЭЛ, ЭЭС, ЭЭТ, УПЦ, ТБЖ, ТРК, ВПО, ВОПУ, ВАТС, ВАУТ, ВЭС, ВЭЛТ, ВЭТ, ВУИ, ВИУТС и соответствуют программе и учебным планам по физике.

© Московский государственный
университет путей сообщения
(МИИТ), 2005.

ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРОВ ПАРОВ И ГАЗОВ С ПОМОЩЬЮ МОНОХРОМАТОРА

Цель работы. Приобретение навыков обращения со спектральными приборами и исследование спектров паров и газов.

Введение

Линейчатые спектры испускания возникают, если источником излучения служат атомы в свободном или слабо связанном состояниях. Как правило, эти спектры, хотя и являются простейшими по сравнению со спектрами жидкостей и твердых тел, имеют довольно сложную структуру, которая учитывает взаимодействие спиновых и орбитальных моментов электронов. Линии группируются в сложные мультиплеты. Наиболее простым является спектр атома водорода, который состоит из ряда линий, принадлежащих отдельным сериям.

Известно, что атомная система описывается законами квантовой механики. Из решения уравнения Шредингера следует, что энергия может принимать не любые, а лишь определенные, дозволенные значения E_1, E_2, E_3 и т.д. Если атом переходит из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией, то при этом он излучает квант энергии, при обратном переходе — поглощает. Переходы между любыми квантовыми состояниями, разрешенные правилом отбора, приводят к возникновению линейчатого спектра.

Существует много методов получения линейчатых спектров испускания тел; например, методы окрашенного пламени, электрической дуги и искры, газового разряда.

Окрашенное пламя получают, вводя в бесцветное пламя асбест. Благодаря высокой температуре пламени происходит диссоциация молекул солей металлов.

Электрическая дуга применяется при исследовании металлических сплавов; из них приготавливают порошки, которые вводят в угольные электроды. В электрической искре исследуются спектры солей и минералов, растворенных в воде и кислотах, для чего обычно применяют разряд между платиновым электродом и поверхностью жидкого раствора.

Газовый разряд в трубках, содержащих газ или пар при низ-

ком давлении, также используется при изучении спектра газов.

Приборы, предназначенные для разложения в спектр излучения от различных источников называют, спектральными. Различают три основных типа спектральных приборов:

- 1) призмные, основанные на явлении дисперсии света (дисперсия света – зависимость показателя преломления вещества от длины волны (частоты));
- 2) дифракционные, основанные на явлении дифракции света (дифракция света (в узком смысле слова) – явление огибания светом непрозрачных препятствий, соизмеримых с длиной волны);
- 3) интерференционные, основанные на явлении интерференции света (интерференция света - пространственное перераспределение энергии светового излучения при наложении когерентных световых волн).

В данной работе используются призмные монохроматоры.

Важнейшими характеристиками любого спектрального прибора являются дисперсия и разрешающая сила. Светосила прибора определяется светосилой его объектива. Светосила (без учета потерь световой энергии на поглощение и отражение, т. е. геометрическая светосила объектива) численно равна квадрату относительного отверстия: $(d/F)^2$, где d – диаметр объектива, F – его фокусное расстояние.

Если исследуемые источники света достаточно яркие, то следует отдавать предпочтение менее светосильным объективам с большим фокусным расстоянием. В таком случае изображение получается дальше от объектива, вследствие чего при той же призме в фокальной плоскости трубы наблюдаются спектры большей длины.

Длина спектра, помимо величины фокусного расстояния, зависит также от величины углов расхождения, образуемых монохроматическими пучками после их прохождения через призму: чем больше углы расхождения, тем длиннее будет спектр. Иными словами, при прочих равных условиях длина получаемого спектра зависит от дисперсии спектрального прибора.

Угловая дисперсия $D = d\varphi/d\lambda$ определяется величиной углового расстояния $d\varphi$ между двумя спектральными линиями заданного спектрального интервала, отличающимися по длине волны на $d\lambda = 1$.

Линейная дисперсия $D_{\text{лин}} = dl/d\lambda$ численно равна линей-

ному расстоянию dl между двумя спектральными линиями данного спектрального интервала, различающимися по длине волны на $d\lambda = 1$. Связь между линейной и угловой дисперсиями определяется уравнением

$$\frac{dl}{d\lambda} = F \frac{d\phi}{d\lambda},$$

где F – фокусное расстояние объектива.

Разрешающая сила спектрального прибора показывает, с какой разностью длин волн $\Delta\lambda$, могут быть разрешены две спектральные линии. Согласно Рэлею, две соседние линии считаются разрешенными, если максимум одной из них совпадает с минимумом другой. Разрешающая сила R определяется формулой:

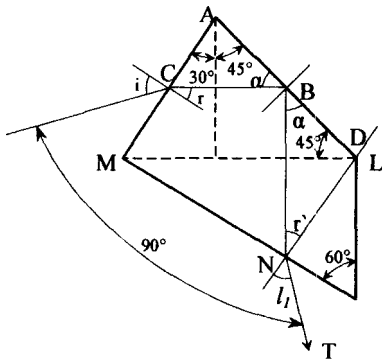
$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda},$$

где $\Delta\lambda$ – минимальная разность длин волн двух спектральных линий, которые разрешены прибором, т. е. воспринимаются раздельно. Разрешающая способность тем выше, чем меньше $\Delta\lambda$.

Изучение спектров с помощью монохроматора

Спектральные приборы, предназначенные для выделения узкого интервала спектра оптического излучения, называются монохроматорами.

Мы будем использовать призмный монохроматор с постоянным углом отклонения для визуального наблюдения оптических спектров. Монохроматор состоит из призмы с постоянным углом отклонения и двух труб: коллиматорной и зрительной, которые закреплены под углом 90° друг к другу.



Призмный столик вместе с призмой может вращаться вокруг вертикальной оси посредством микрометрического винта, заканчивающегося барабаном с нанесенной шкалой длин волн. Барабан снабжен указателем с

риской. Против одной из граней призмы помещена коллиматорная труба, конец которой, обращенный к призме, снабжен собирающей линзой. На другом конце трубы в фокальной плоскости линзы расположена щель, ширину которой можно изменять с помощью микрометрического винта.

Лучи от источника света идут через щель, выходят из коллиматорной линзы параллельным пучком и падают на призму. Рассмотрим подробно ход лучей через призму (рис. 1). Призма сделана из одного куска стекла и имеет углы 90° , 75° , 135° , 60° . Будем рассматривать ее как совокупность двух 30° -градусных призм и одной 45° -градусной призмы полного внутреннего отражения. Из чертежа видно, что

$$\angle ACB = 90^\circ - r; \quad MA \parallel DN \text{ и } \angle MAB + \angle NDA = 180^\circ.$$

Так как $\angle MAB = 75^\circ$, то

$$\angle NDA = 180^\circ - 75^\circ = 105^\circ.$$

Из $\triangle CAB$ находим:

$$\alpha = 180^\circ - 75^\circ - (90^\circ - r) = 15^\circ + r. \quad (1)$$

Из $\triangle BDN$

$$r' = 180^\circ - 105^\circ - \alpha = 75^\circ - \alpha, \text{ т.е. } \alpha = 75^\circ - r'. \quad (2)$$

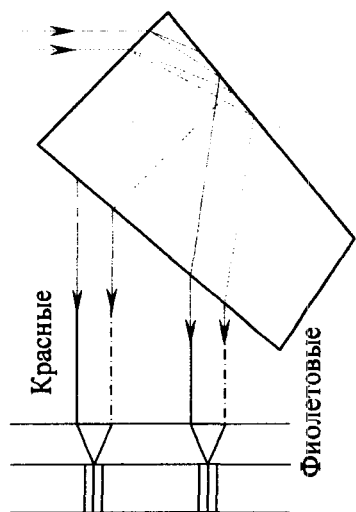
Из выражений (1) и (2) получим

$$15^\circ + r = 75^\circ - r'; \quad r = 60^\circ - r'.$$

Если предположить, что $NT \perp FC$, то $i = i'$, и следовательно, $r = r'$, тогда $2r = 60^\circ$; $r = 30^\circ$. Так как $\sin r = \sin 30^\circ = 1/2$, то из закона преломления $\sin i / \sin r = n$, получим

$$\sin i = n/2 \quad (3)$$

Таким образом, если угол падения светового луча на призму монохроматора удовлетворяет соотношению (3), то выходящий из призмы луч будет перпендикулярен падающему. Следовательно, если на призму падает некогерентный пучок параллельных лучей, то, вращая призму вокруг оси, перпендикулярной к плоскости чертежа (этим мы меняем угол падения), всегда можно добиться того, что монохроматический свет любой длины волны будет выходить из призмы под углом 90° к падаю-



щему лучу. Отсюда название «призма с постоянным углом отклонения». Учитывая ход лучей в призме, коллиматор и зрительную трубу закрепляют под углом 90° . Ход лучей в приборе показан на рис.2. Параллельный пучок немонохроматического света, идущий из коллиматора, диспергируется в призме. Лучи одной длины выходят параллельно друг другу и поэтому собираются в фокальной плоскости объектива зрительной трубы в одной точке. Лучи другой длины волны выходят из призмы также параллельно друг к другу,

но не параллельно первоначальному пучку, поэтому они собираются в другой точке фокальной плоскости.

Итак, в фокальной плоскости объектива O_2 , получается изображение щели, образованное лучами, различных длин волн. Эта совокупность цветных изображений щели образует спектр. Спектр рассматривается через окуляр O_3 , ход лучей в котором на рис.2 не показан.

Приборы и принадлежности: монохроматор, неоновая лампа, спиртовка, пропитанный поваренной солью фильтр, лампочка для освещения зеркала.

Подготовка прибора к работе. Прежде чем пользоваться монохроматором, необходимо:

- 1 установить зрительную трубу на параллельные лучи (на бесконечность); для чего нужно осторожно переместить патрубок с окуляром O_3 относительно объектива O_2 и установить его так, чтобы отчетливо видеть спектр;
- 2 включить лампочку, предназначенную для освещения зеркальца, и повернуть его так, чтобы видеть кончик иглы, — визир, служащий для фиксации соответствующих спектральных линий.

Упражнение 1. Градуировка барабана монохроматора по спектру неона

Устанавливают неоновую лампочку на оптической скамье монохроматора. Перемещая ее по скамье добиваются наибольшей яркости линий спектра. Далее уменьшают ширину входной щели монохроматора, добиваясь такой картины спектра, при которой перемещение визира в пределах ширины спектральной линии соответствовало бы не более двум-трем делениям барабана. Спектр неона состоит из отдельных довольно ярких линий. Длины волн этих линий приведены в табл. 1. Там же указаны относительные интенсивности, что должно облегчить отыскание соответствующей линии. Наблюдая спектр в трубу и вращая призму микрометрическим винтом, последовательно совмещают с визиром спектральные линии неона, указанные в таблице. Показания барабана, соответствующие каждой линии, записывают в табл. 1 и затем на миллиметровой бумаге строят градуировочную кривую барабана, откладывая по оси абсцисс деления барабана, а по оси ординат – длины волн.

Упражнение 2. Определение длины волны желтой линии натрия

Зажигают спиртовку, фитиль которой пропитан раствором поваренной соли $NaCl$, и наблюдают спектр натрия. В видимой области спектр натрия состоит из нескольких двойных линий (дублетов), наибольшей интенсивностью которых обладает желтый дублет. Однако, в наших приборах он не разрешается и воспринимается как одна линия. По барабану монохроматора измеряют положение этой линии. Используя градуировочный график, полученный в упражнении №1, определяют длину волны λ желтой линии натрия.

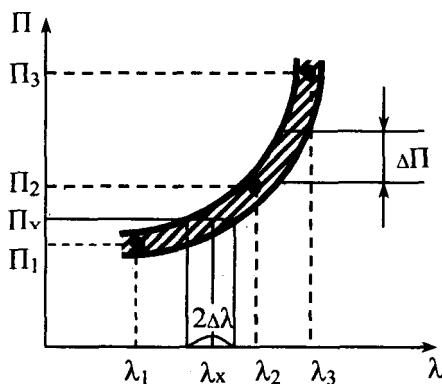


Рис.3

Оценка погрешности

Для качественной оценки погрешности предлагается провести следующее построение (рис.3). Отложите по оси ординат деления шкалы (n_i), а по оси абсцисс -- длины волн. Учítывая, что при определении делений на барабане ошибка составляет. 2 – 3 деления, постройте область, указанную на рис.3 штриховкой.

После установления деления барабана n_x , которому соответствует определяемая длина волны λ_x , проведите прямую, параллельную оси абсцисс с ординатой, равной n_x , и определите интервал $\Delta\lambda$, как это показано на рис.3. Результат представьте в виде $\lambda \pm \Delta\lambda$.

Таблица 1

Длины волн некоторых ярких линий в спектре неона

Окраска линии	Относительная яркость	Длина волны, нм	Окраска линии	Относительная яркость	Длина волны, нм
Красная	1	671,70	Красно-оранжевая	3	609,62
	3	667,83		4	607,43
	5	659,89		2	603,00
	5	653,29			
	5	650,65			
Ярко-красная	10	640,22	Жёлтая	4	588,19
	10	638,30		10	585,25
	5	633,44		3	576,44
	2	630,48	Зелёная	8	540,06
	8	626,65		5	534,11
	3	621,73		5	533,08
	5	616,36		3	503,13
Оранжевая		597,55 594,48	Голубая	5	482,73

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется спектром излучения?
2. В чем заключается явление дисперсии света?
3. Какой спектр называется линейчатым? Как он возникает?
4. Что называется дисперсией и разрешающей силой спектральных приборов?
5. Объясните принцип работы монохроматора.
6. Объясните как в работе оценивается погрешность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландсберг Г. С. Оптика. – М.: Наука, 1976.
2. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики. – М.: Высш. шк., 1979 – Т. 3.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ РИДБЕРГА ПО СПЕКТРУ ВОДОРОДА

Цель работы. Изучение спектра водорода.

Введение

Линейчатые спектры обусловлены испусканием электромагнитного излучения свободными или слабо связанными атомами. Одним из источников такого излучения является возбужденный газ или пар [1], [3]. В данной работе используются газосветные трубки, наполненные водородом и неонам.

Установлено, что спектральные линии атомарного водорода обнаруживают несложные закономерности. Частоты соответствующих линий могут быть определены по формуле

$$\nu = Rc \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_j^2} \right), \quad (1)$$

где ν – частота, $\nu = c/\lambda$,

c – скорость света в вакууме,

λ – длина волны,

R – постоянная Ридберга,

n_i, n_j – целые числа, причем n_i может принимать значения $(n_i + 1), (n_i + 2), (n_i + 3), \dots$

Из квантовой механики известно, что атом может обладать лишь рядом дискретных значений энергии E_1, E_2, E_3 и т. д., каждое из которых определяется главным образом квантовым числом n . При разрешенном правилами отбора (1) переходе атома из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией испускается квант энергии.

Рассмотрим переход атома из различных возбужденных состояний на один и тот же энергетический уровень, определяемый квантовым числом n_i . Совокупность спектральных линий, отвечающая таким переходам, образует серию. Таким образом, n_i определяет серию. Соответственно квантовое число n_j определяет энергетический уровень, с которого имел место данный переход, т. е. линию в серии.

Различным сериям атома водорода: Лаймана, Бальмера, Па-

шена, Брэккета, Пфунда отвечают соответственно значения $n_i = 1, 2, 3, 4, 5$.

Из формулы (1) следует, что частоту любой спектральной линии спектра атома водорода можно представить как произведение скорости света на разность двух членов типа R/n_k^2 . Эти члены в спектроскопии называются термами [3]. Иными словами,

$$\nu = c (T(n_i) - T(n_j)), \quad (2)$$

где

$$T(n_i) = \frac{R}{n_i^2}; \quad T(n_j) = \frac{R}{n_j^2}.$$

Итак, зная систему термов для данного атома, можно получить частоту любой спектральной линии из соотношения (2).

Рассмотрим, как определить частоты спектральных линий атома водорода, принадлежащих серии Бальмера, используя комбинационный принцип, математическое выражение которого представлено равенством (2). Для серии Бальмера $n_i = 2$, $n_j = 3, 4, 5 \dots$ Следовательно,

$$\nu = Rc \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_j^2} \right). \quad (3)$$

Если присписать n_j значения соответственно 3, 4, 5, 6, то из уравнения (3) получим значения частот спектральных линий, лежащих в видимой области и обозначаемых в спектроскопии H_α , H_β , H_γ , H_δ . По мере увеличения n_j разность частот соседних линий уменьшается, и при $n_j \Rightarrow \infty$ сами частоты стремятся к пределу

$$\nu_{mp} = Rc \frac{1}{2^2}.$$

где ν_{mp} – частота, соответствующая границе серии Бальмера. У каждой серии есть своя граница, соответствующая ей частота определяется соотношением:

$$\nu_{mp} = Rc \frac{1}{n_i^2}.$$

Рассмотрим физический смысл ν_{mp} . Согласно Бору, при переходе атома с более высокого j -го энергетического уровня на менее высокий i -й уровень излучается квант энергии

$$h\nu = E_j - E_i \quad (4)$$

Соответственно, чтобы перевести электрон с уровня i на уро-

вень j , необходимо сообщить ему такую же энергию.

Частота $\nu_{гр}$ определяет энергию ($E = h\nu_{гр}$), которую надо сообщить электрону, чтобы удалить его с уровня, определяемого числом n , в безвоздушное пространство за пределы атома, где его полная энергия должна быть равна нулю. Описанный процесс называется процессом ионизации.

Таким образом, $E = h\nu_{гр}$ представляет энергию ионизации атома в данном состоянии. Обратный процесс - процесс рекомбинации будет сопровождаться излучением, частота которого $\nu_{гр}$.

Поскольку электрон, отделенный от атома, может обладать произвольной кинетической энергией T , то при его захвате ионом должна освобождаться энергия ($h\nu_{гр} + T$). Следовательно, согласно второму постулату Бора (1) в этом случае будет испускаться электромагнитное излучение с частотой

$$\nu = \frac{h\nu_{гр} + T}{h} = \nu_{гр} + \frac{T}{h}.$$

Таким образом, возможно излучение с частотой, большей нежели частота границы серии, на любую величину T/h . Это означает, что к границе серии со стороны высоких частот прилежит сплошной спектр. Излучение спектров испускания позволяет исследовать строение атома.

Приборы и принадлежности: монохроматор, газосветные трубки с водородом, неоном.

Порядок выполнения работы

1. Проградуировать монохроматор по спектру неона (см. лабораторную работу 35). Построить на миллиметровой бумаге градуировочную кривую, т.е. график зависимости длины волны от деления на барабане монохроматора.

2. Получить спектр водорода от газосветной трубки. Определить длины волн λ_i четырех видимых линий спектра водорода по градуировочной кривой.

3. Вычислишь частоты, соответствующие данным спектральным линиям по формуле

$$\nu_i = c/\lambda_i$$

записать значения частоты в таблицу.

4. Рассчитать значения R , используя формулу (3) и полученные в упражнении 3 значения частот (ν_i), принять равным соответ-

ственно 3, 4, 5, 6), записать найденные значения в таблицу.

5. По четырем найденным из эксперимента значениям R_i определить $R_{\text{ср}}$:

$$R_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k},$$

где k – число измерений.

6. Оценить точность измерения, сравнив экспериментально найденное среднее значение постоянной Ридберга с теоретическим. Относительную ошибку определить по формуле:

$$\frac{R_{\text{ср}} - R_{\text{теор}}}{R_{\text{теор}}} \cdot 100(\%),$$

7. Используя найденные значения частот, по соотношению (4) рассчитать в электрон-вольтах разность энергий между уровнями, соответствующими наблюдаемым переходам для $n_j = 3, 4, 5, 6$ при $n = 2$, учитывая, что $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме; $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж, $R_{\text{теор}} = 109,7 \cdot 10^5 \text{ м}^{-1}$.

Спектральные линии	n_j	λ	ν	R	$R_{\text{ср}}$	Разность энергий между уровнями
1. Красная						
2. Голубая						
3. Синяя						
4. Фиолетовая						

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте постулаты Бора (см. 1, 2).
2. Рассчитайте по теории Бора радиус первой орбиты атома водорода (см. 1,2).
3. Рассчитайте энергию атома водорода по теории Бора в основном состоянии ($n_j = 1$).
4. Что определяют в формуле (1) квантовые числа n , и n_j ?
5. Объясните закономерности в спектре атома водорода.
6. Что называется термом, серией?
7. Что такое граница серии?
8. Что называется потенциалом ионизации? Как он определяется?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савельев И. В. Курс физики – М.: Наука, 1989 – Т. 3.
2. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики. – М.: Высшая шк., 1979. – Т. 3.
3. Шпольский Э. В. Атомная физика.–М.: Наука, 1974.–Т. 1

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ФОТОЭЛЕМЕНТА С ВНЕШНИМ ФОТОЭФФЕКТОМ

Цель работы. Снятие вольтамперной характеристики фотоэлемента и исследование зависимости возникающего в фотоэлементе фототока от потока излучения, падающего на чувствительную поверхность фотоэлемента.

Приборы и принадлежности. Фотоэлемент, микроамперметр, лампа накаливания, оптическая скамья с держателями для фотоэлемента и лампы, выпрямитель, потенциометр, вольтметр, соединительные провода, светофильтры.

Введение

Воздействие света на вещество состоит в сообщении этому веществу энергии, приносимой световой волной. Одним из проявлений воздействия света на вещество является внешний фотоэффект – испускание электронов

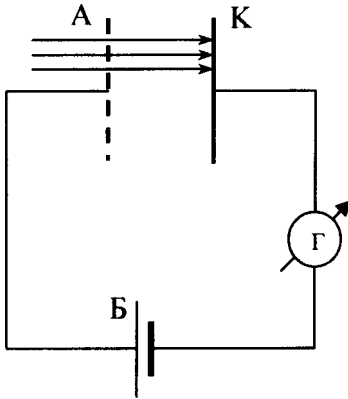


Рис. 1

веществом под действием света. Явление фотоэффекта было открыто Герцем в 1887 г., а затем подробно изучено А. Г. Столетовым (1888 г.). Схема опыта А. Г. Столетова представлена на рис. 1. Поток света падает на конденсатор, состоящий из двух пластин. Одна представляет собой металлическую сетку (А), через которую свет может свободно попадать на вторую пластину, являющуюся катодом (К). Б – батарея, с помощью которой создается поле между пластинами конденсатора.

А. Г. Столетов установил, что при освещении светом от электрической дуги пластина К теряет свой заряд; при этом гальванометр Г показывает наличие тока. Позднее было установлено, что пластина К испускает электроны. Используемая в опытах Столетова схема представляет собой простейший фотоэлемент с внешним фотоэффектом. Пластина К носит название фотокатода, а пластина А – фотоанода. Испускаемые

фотокатодом электроны называют фотоэлектронами, а возникающий электрический ток - фототоком. На рис. 2 показана вольтамперная характеристика фотоэлемента, т.е. зависимость

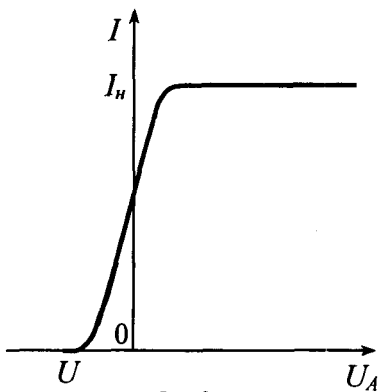


Рис.2

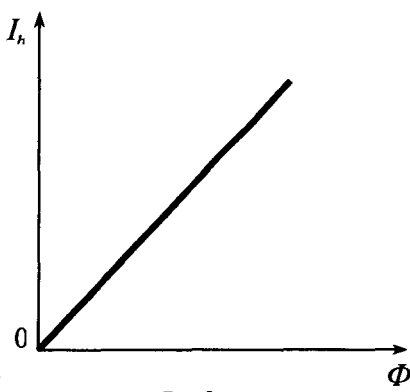


Рис.3

силы фототока I от разности потенциалов $\phi_1 - \phi_2 = U_A$ между фотокатодом и фотоанодом при $\Phi = \text{Const}$, где Φ - поток излучения.

Из рис.2 следует, что с увеличением разности потенциалов U_A , называемой анодным напряжением, фототок растет, а затем достигает насыщения. Насыщение наступает при таком значении U_A , когда все электроны испускаемые фотокатодом за единицу времени, достигают анода. Сила фототока насыщения

$$I_n = en, \quad (1)$$

где e - заряд электрона, n - число электронов, попадающих на анод за единицу времени.

Законы внешнего фотоэффекта. Приведем три основных закона фотоэффекта.

1. При постоянном спектральном составе потока излучения фототок насыщения пропорционален потоку излучения:

$$I_n = \gamma n, \quad (2)$$

γ называют интегральной чувствительностью фотокатода.

Зависимость (2) называется люкс-амперной характеристикой фотоэлемента, график ее представлен на рис.3. Закон был впервые сформулирован А. Г. Столетовым. Следует отметить, что закон Столетова строго выполняется лишь для вакуумных фото-

элементов.

Закон Столетова можно объяснить, используя квантовую теорию света. Опираясь на гипотезу Планка, Эйнштейн предположил, что свет не только испускается, но поглощается и распространяется, в виде отдельных порций электромагнитного излучения, квантов энергии электромагнитного поля, получивших название фотонов.

Энергия фотона:

$$E = h\nu,$$

где $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка,

ν – частота излучения.

2. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты падающего монохроматического света.

Рассмотрим подробнее вольт-амперную характеристику фотоэлемента. Из рис.2 следует, что при $U_A = 0$ сила фототока $I \neq 0$. Это означает, что электроны, вырванные светом из катода, имеют некоторую скорость, а следовательно и кинетическую энергию $E_k \neq 0$ и могут достигнуть анода в отсутствие внешнего электрического поля. Чтобы прекратить фототок, т.е. сделать его равным нулю, необходимо приложить задерживающее напряжение U_3 , при котором даже самые быстрые фотоэлектроны не достигнут анода, т. к. будут задержаны электрическим полем, т. е.

$$(E_k)_{\max} = \frac{m\nu_{\max}^2}{2} = eU_3. \quad (3)$$

Здесь m – масса электрона,

e – заряд электрона,

U_3 – задерживающее напряжение.

Меняя частоту падающего монохроматического света, можно найти зависимость $(E_k)_{\max} = f(\nu)$

Экспериментальные исследования показали, что эта зависимость является линейной:

$$(E_k)_{\max} = \frac{m\nu_{\max}^2}{2} = a\nu - b, \quad (4)$$

где a – константа, b – зависит от материала катода.

График зависимости (4) показан на рис.4 и свидетельствует о

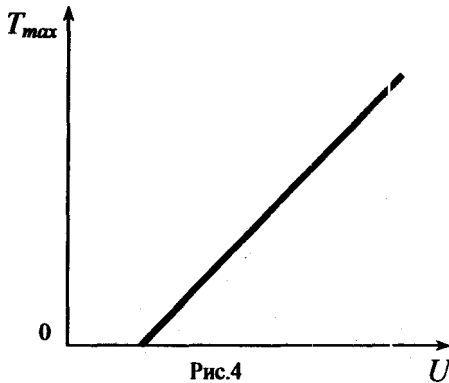
том, что с увеличением частоты падающего монохроматического света максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов возрастает. Линейный характер зависимости был объяснен Эйнштейном на основе квантовых представлений о природе света.

При падении фотонов на поверхность металла происходит взаимодействие фотонов и электронов. Согласно однофотонной теории фотоэффекта, электрон получает энергию только одного фотона. Эта энергия расходуется на работу выхода электрона из металла и сообщения ему кинетической энергии.

В соответствии с законом сохранения энергии максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона равна

$$(E_k)_{\max} = \frac{mv_{\max}^2}{2} = h\nu - A, \quad (5)$$

Здесь A – есть работа выхода электрона из металла, равная той наименьшей энергии, которую необходимо сообщить электрону для того, чтобы удалить его из твердого или жидкого вещества в вакуум в состояние с кинетической энергией равной нулю.



Выражение (5) носит название уравнения Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.

Сопоставление уравнений (4) и (5) позволяет сделать вывод, что $a = h$, $b = A$, что объясняет результаты эксперимента.

3. Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т.е. минимальная частота света ν_0 , при которой еще возможен внешний фотоэффект. Величина ν_0 зависит от химической природы вещества и состояния его поверхности.

При облучении вещества светом, длина волны которого $\lambda > \lambda_0$ (или частота $\nu < \nu_0$), фотоэффект не наблюдается (см. рис. 4). Из рис. 4 следует, что $(E_k)_{\max} = 0$ при $\nu < \nu_0$. Следовательно согласно (5) имеем:

$$h\nu_0 = A, \quad \nu_0 = \frac{A}{h}. \quad (6)$$

Следует отметить, что при обычных интенсивностях света при взаимодействии света с веществом в элементарном акте поглощается один фотон. При больших интенсивностях, например в световых пучках, генерируемых лазерами, в элементарном акте взаимодействия могут поглощаться несколько фотонов. Такое поглощение называется многофотонным (см. 3). Формула Эйнштейна в этом случае записывается следующим образом:

$$Nh\nu = \frac{m\nu_{\max}^2}{2} + A.$$

Соответственно красная граница смещается в сторону более длинных волн (λ_0 увеличивается в N раз), а формула (2), отражающая зависимость тока насыщения от потока излучения для многофотонных процессов приобретает вид

$$I_a = \gamma \Phi^N.$$

Фотоэлементы. Устройство фотоэлементов.

Фотоэлементами называются устройства, в которых световая энергия преобразуется в электрическую. На внешнем фотоэффекте основано устройство фотоэлементов, широко применяемых в разных областях техники. Фотоэлементы бывают вакуумные и газонаполненные.

Вакуумный фотоэлемент (рис.5) представляет собой стеклянный или кварцевый баллон, на внутреннюю стенку которого нанесен слой K светочувствительного щелочного металла. Этот слой K имеет контакт с проводником, выведенным из баллона. В середине баллона расположено кольцо A , имеющее контакт с другим проводником, выведенным из баллона. Кольцо A соединяется с положительным полюсом батареи (фотоанод), слой K – с отрицательным полюсом батареи (фотокатод). Электрическое поле направляет к фотоаноду фотоэлектроны, испускаемые фотокатодом при его освещении.

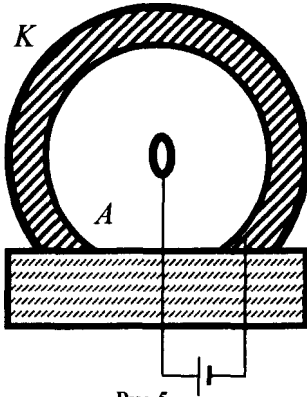


Рис.5

щении, создавая ток в цепи. У вакуумных фотоэлементов, начиная с некоторого значения анодного напряжения, прекращается дальнейший рост тока, наступает состояние насыщения.

Газонаполненный фотоэлемент отличается от вакуумного тем, что он наполнен каким-либо инертным газом (*He, Ne, Ar*). Эти фотоэлементы обладают большей чувствительностью, чем вакуумные, и ток насыщения в них отсутствует.

Описание установки и содержание работы

В работе исследуются следующие основные характеристики фотоэлемента с внешним фотоэффектом.

1. Зависимость силы фототока от анодного напряжения при постоянной-амперная характеристика фотоэлемента)

$$I = f(U) \quad E = const,$$

где

$$E = \frac{\Phi}{S},$$

2. Зависимость фототока от освещенности при постоянном анодном напряжении (люкс-амперная характеристика)

$$I \sim I/r^2 \quad \text{при } U_A = const.$$

Величина фототока прямо пропорциональна освещенности; в свою очередь, освещенность обратно пропорциональна квадрату расстояния r от источника света при нормальном падении светового пучка на фотокатод. Поэтому

$$I_n \sim 1/r^2.$$

Исследование производится при помощи установки, состоящей из оптической скамьи, на которой расположен исследуемый фотоэлемент и электрическая лампочка.

На рис.6 показана принципиальная схема установки.

Здесь

Φ – исследуемый вакуумный фотоэлемент;

ВУП-2 – выпрямитель универсальный полупроводниковый для питания анодной цепи;

V – вольтметр для измерения величины анодного напряжения;

μA – микроамперметр;

Л – осветительная лампа.

Порядок выполнения работы:

I. Снятие вольтамперной характеристики фотоэлемента.

1. Собрать схему (см. рис. 6).

В н и м а н и е ! Без проверки собранной схемы преподавателем или лаборантом категорически воспрещается подсоединять ее к осветительной сети.

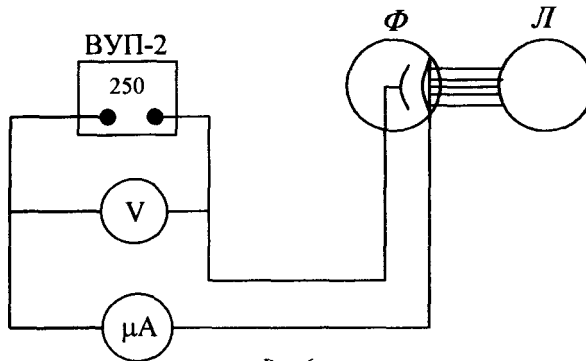


Рис.6

2. Установить осветительную лампу на расстоянии $r_1 = 20$ см от фотоэлемента.

3. Не меняя положения осветительной лампы, изменять анодное напряжение от 20 до 50 В через каждые 10 В, а с 50 до 120 В – через 20 В и измерять фототок, соответствующий каждому значению анодного напряжения. Получаемые значения силы фототока I и соответствующих анодных напряжений U_A занести в табл.1.

4. Опыт повторить при других положениях лампы ($r_2 = 30$ см, $r_3 = 40$ см).

5. Построить вольтамперные характеристики фотоэлемента, согласно данным таблицы 1.

II. Снятие люкс-амперной характеристики фотоэлемента.

1. Установить осветительную лампу на расстоянии $r = 20$ см от фотоэлемента.

2. Подать анодное напряжение 100 В и, меняя расстояние от 20 до 50 см каждые 5 см, измерить фототок для каждого положения лампы.

3. Результаты наблюдений занести в табл.2.

4. Повторить опыт при других значениях анодного напряжения: 110, 130 В. Результаты наблюдений заносят в соответствующие таблицы, подобные табл.2, для $U = 110, 130$ В.

5. Построить люкс-амперные характеристики согласно данным табл.2.

6. На каждой экспериментальной точке показать величины погрешности, которая в данном случае является приборной; ошибку взять, равной цене деления прибора.

Таблица 1

$U, В$	$I, А$		
	$R_1=0,2 М$	$R_2=0,3 М$	$R_3=0,4 М$
20			
30			
40			
50			
70			
90			
110			
150			

Таблица2

$R, М$	$1/r^2, 1/m^2$	$I, А$		
		$U_1=100 В$	$U_2=130 В$	$U_3=150 В$
0,2				
0,25				
0,3				
0,35				
0,4				
0,45				
0,5				

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как объяснять явление внешнего фотоэффекта?
2. Сформулируйте закон А. Г. Столетова?
3. Напишите уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
4. Что называется красной границей фотоэффекта и как она определяется?
5. Объясните вольт-амперную характеристику фотоэлемента.
6. Объясните люкс-амперную характеристику фотоэлемента.
7. Опишите устройство фотоэлемента.
8. Что такое задерживающий потенциал?
9. Дайте определение светового потока, потока излучения, освещенности.
10. Объясните работу схемы, данной на рис.1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики. М.: Высшая школа, 1979. – Т. 3.
2. Савельев И. В. Курс физики. М.: Наука, 1989. – Т. 3.

Содержание

№ работ ы	Название лабораторной работы	Страница
35	Изучение спектров паров и газов с помощью монохроматора	3
35a	Определение постоянной ридберга по спектру водорода	11
38	Изучение работы фотоэлемента с внешним фотоэффектом	16

Учебно-методическое издание

**Касименко Лидия Михайловна
Куница Роза Иосифовна**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

по дисциплине

«ФИЗИКА»

Работы 35, 35а, 38

Под ред. Н. Л. Пахомовой

Подписано к печати - **07.07.05.**

Формат 60 × 84/16

Усл. п. л. - 1,75.

Тираж 200 экз.

Изд. № 296 - **05.**

Заказ **476**

127994 Москва, А-55, ул. Образцова 15. Типография МИИТ