

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра физики

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ФИЗИКЕ
для студентов специальностей
290300, 290600, 290700, 290800,
291000, 291400, 291500

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 67

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНОГО ПОТЕНЦИАЛА И ДЛИНЫ
ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ
АТОМА КРИПТОНА
МЕТОДОМ ФРАНКА И ГЕРЦА**

Казань
2011

УДК 539.1

Составитель: Закиров И. Н.

Под редакцией Алексеева В. В., Маклакова Л. И.

Методические указания к лабораторным работам по физике для студентов специальностей 060811, 060815, 240400, 290300, 290600, 290700, 290800, 291000, 550100.

Лабораторная работа № 60. "Определение резонансного потенциала и длины волны излучения атома криптона методом Франка и Герца" / Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Составитель Закиров И. Н. Казань, 2011 г., 7 с.

В работе рассмотрены опыты Франка и Герца, подтверждающие правильность постулатов Бора. Приведена установка, на которой проводятся измерения резонансного напряжения и длины волны излучения атома криптона.

Рис. 3

Рецензент: доцент Казанского государственного
университета Л. Д. Зарипова

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2011 г.

Целью данной работы является ознакомление с общими закономерностями процессов возбуждения атомов электронным ударом и с измерением первых потенциалов возбуждения.

Как известно, на основании своих исследований по рассеянию α -частиц веществом Резерфорд предложил ядерную (планетарную) модель атома. Согласно этой модели, в ядре атома — малом по сравнению с линейными размерами атома (10^{-15} — 10^{-14} м) — сосредоточен весь его положительный заряд Ze (Z — порядковый номер элемента в системе Менделеева, e — элементарный заряд) и практически вся масса атома. Вокруг ядра в области с линейными размерами $\sim 10^{-10}$ м по замкнутым орбитам, удерживаясь на них кулоновской силой притяжения к ядру, движутся электроны, образуя электронную оболочку атома.

Однако модель Резерфорда противоречит классической электродинамике. Согласно классической теории, электрон, вращаясь вокруг ядра, движется с центростремительным ускорением. Это приводит к излучению электромагнитных волн и вследствие чего он должен непрерывно терять энергию. В результате электроны будут приближаться к ядру и, в конце концов, упадут на него. Таким образом, атом Резерфорда должен быть неустойчивой системой и испускать только непрерывный спектр.

В действительности же оказывается, что

- а) атом является устойчивой системой;
- б) атом излучает энергию лишь при определённых условиях;
- в) излучение атома имеет линейчатый спектр, связанный со строением и свойством его электронной оболочки.

Первая попытка построения неклассической теории атома была предпринята Н. Бором в 1913 г. Она составила важный этап в развитии современной физики. Бор поставил перед собой задачу связать в единое целое эмпирические (опытные) закономерности линейчатых спектров, ядерную модель атома Резерфорда и квантовый характер излучения и поглощения света, подтверждённые обширным экспериментальным материалом. В основе теории Бора лежат два постулата.

Первый постулат Бора (постулат стационарных состояний): *существуют некоторые стационарные состояния атома, находясь в которых он не излучает энергию.* Стационарным состояниям атома соответствуют стационарные орбиты с определёнными радиусами r_1, r_2, \dots, r_n , по которым движутся электроны также с вполне определёнными энергиями E_1, E_2, \dots, E_n . Энергия в этом случае от орбиты к орбите меняется скачком (говорят, что энергия квантована). Отметим, что в классической физике энергия меняется непрерывно. Несмотря

на наличие ускорения, электроны не излучают электромагнитных волн. Таким образом, Бор постулирует, что в микромире законы движения частиц другие по сравнению с законами макромира.

Второй постулат Бора (правило частот): при переходе из одного стационарного состояния в другое атом испускает или поглощает электромагнитную волну с частотой ν , которая определяется по формуле:

$$h\nu = E_n - E_m, \quad (1)$$

где E_n и E_m — энергии атома в двух стационарных состояниях, h — постоянная Планка, ν — частота. Величина $h\nu$ называется *квантом энергии* или *фотоном* (частица света). Излучение происходит при переходе атома из состояния с большей энергией E_n в состояние с меньшей энергией E_m . Поглощение энергии сопровождается переходом атома из состояния с меньшей энергией в состояние с большей ($E_n < E_m$). На рис.1 с помощью стрелок представлена схема возможных переходов атома с одного энергетического уровня на другой. Уровень с самой низкой энергией E_1 соответствует основному (невозбуждённому) состоянию атома, остальные уровни — возбуждённые.

Оба постулата Бора нашли своё экспериментальное подтверждение в опытах Франка и Герца. Франк и Герц, изучая методом задерживающего потенциа-

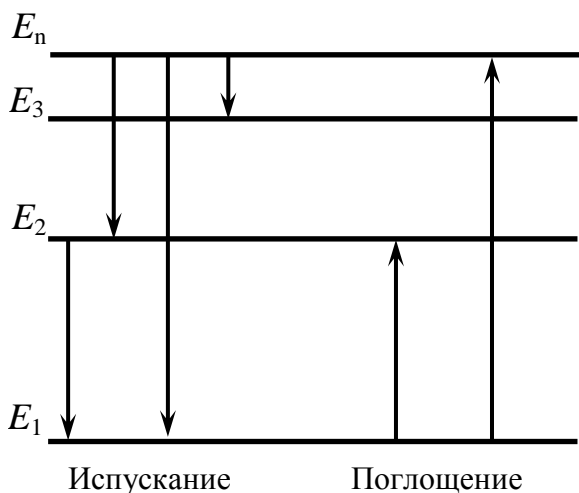


Рис. 1

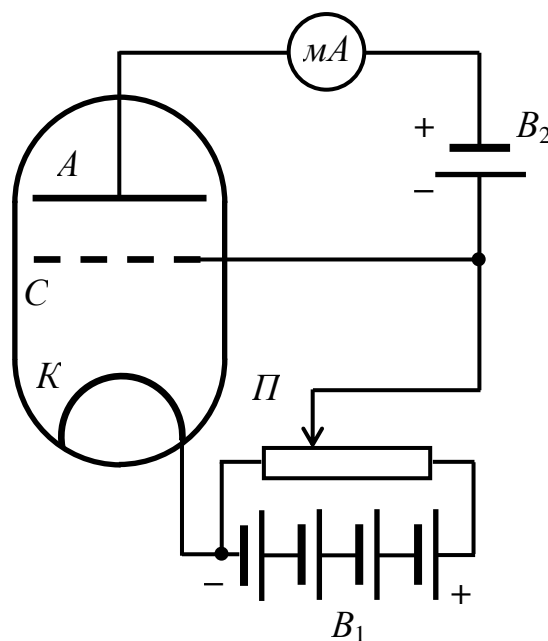


Рис. 2

ла столкновения электронов с атомами газов, экспериментально доказали дискретность значений энергии атомов. Схема опытов изображена на рис. 2. Фактически они использовали трёхэлектродную электронную лампу (триод), состоящую из нити накала (катода) K , который был окружён металлической спиралью (сетка C), помещённой внутри металлического цилиндра, называемого анодом (A). Все они помещались в вакуумную трубку, в которой находились пары ртути при давлении около 13 Па. Накалённый катод испускал электроны. Между катодом и сеткой создавалось ускоряющее электроны электрическое

поле с разностью потенциалов $U_{\text{КС}}$, которую можно было регулировать с помощью потенциометра P , подключённого к батарее B_1 . С увеличением $U_{\text{КС}}$ возрастала и энергия электронов. Между сеткой и анодом с помощью источника тока B_2 был приложен (примерно 0,5 В) задерживающий потенциал. Миллиамперметр MA регистрирует величину анодного тока, протекающего в лампе.

Электроны, встречающиеся на своём пути атомы ртути, в области между сеткой и анодом могли испытывать с ними соударения двоякого рода. Первый тип соударений — упругие столкновения, в результате которых энергия электронов не изменяется. Они не могут быть причиной отсутствия анодного тока в трубке. Второй тип соударений электронов с атомами — неупругие столкновения. При неупругих соударениях происходила деформация электронной оболочки атома, в результате чего атом, поглощая энергию электрона, переходил из основного состояния в возбуждённое. В соответствии с постулатами Бора атом может принять лишь определённую энергию и перейти при этом в одно из возбуждённых состояний. Ближайшим к нормальному состоянию атома ртути является возбуждённое состояние, отстоящее от основного по шкале энергий на 4,86 эВ. (1 эВ — это энергия, которую приобретает электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов 1 В. $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.) Пока разность потенциалов между катодом и сеткой меньше 4,86 В, электроны, встречая на своём пути атомы ртути, испытывают с ними только упругие соударения. Как только кинетическая энергия достигает 4,86 эВ, начинают происходить неупругие столкновения. Электрон с таким значением энергии полностью отдаёт её атому, возбуждая переход одного из электронов атома ртути из нормального энергетического состояния на возбуждённый энергетический уровень. Ясно, что такой электрон, потерявший свою кинетическую энергию, не сможет преодолеть задерживающее поле и достигнуть анода, т.е. должно наблюдаться резкое падение анодного тока. Аналогичное явление должно происходить при значениях энергии, кратных 4,86 эВ, когда электроны могут испытать с атомами 2, 3 и т.д. неупругих соударения, потерять при этом полностью свою энергию и не достигнуть анода. На рис. 3 приведена характерная кривая зависимости анодного тока от разности потенциалов между катодом и сеткой в опытах Франка и Герца.

Таким образом, опыты Франка и Герца показали, что электроны при столкновении с атомами передают им только определённые порции энергии.

Атомы, получившие при соударении с электронами энергию $\Delta E = E_n - E_m = h\nu$, переходят в возбуждённое состояние и затем возвращаются в основное, излучая при этом, согласно второму постулату Бора, световой квант с частотой

$$\nu = \Delta E / h \quad (2)$$

Частота светового кванта ν связана с длиной волны λ формулой

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \quad (3)$$

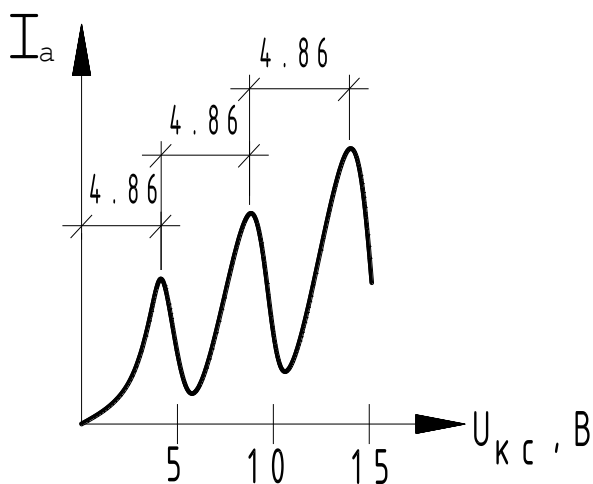


Рис. 3

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — скорость света в вакууме.

Подставляя (2) в (3), получаем:

$$l = \frac{hc}{\Delta E}. \quad (4)$$

По известному значению $\Delta E = 4,86$ эВ Франк и Герц вычислили длину волны излучения атома ртути: $\lambda = 255$ нм, что хорошо согласуется с другими экспериментальными данными. Опыты Франка и Герца экспериментально подтвердили оба постулата Бора и сыграли огромное значе-

ние в развитии атомной физики.

Устройство и принцип работы

Установка позволяет проводить изучение зависимости анодного тока I_A газонаполненной лампы (триода) от напряжения катод — сетка $U_{КС}$ при фиксированном напряжении анод — сетка. Эту зависимость с максимумами и минимумами, характерными для опыта Франка и Герца, можно наблюдать на экране осциллографа. В состав установки входит объект исследования, измерительное устройство и осциллограф. Объект исследования выполнен на базе лампы (триода), заполненной криптоном. Лампа помещена в металлический корпус со стойкой для установки её в штатив. Измерительное устройство выполнено в виде конструктивно законченного изделия. На передней панели корпуса расположены органы управления (ручки «ГРУБО» и «ТОЧНО»), табло индикации напряжения катод — сетка и выходы для подключения осциллографа и его синхронизации. На задней стенке расположены сетевой выключатель и разъем для подключения объекта исследования.

Установка работает следующим образом. С генератора пилообразного напряжения на объект исследования подаются импульсы амплитудой примерно 40 В. Кроме того, на объект исследования подаётся также регулируемое напряжение накала U_H и запирающее напряжение $U_{ЗАП}$, которые обеспечивают нормальный режим работы лампы. Анодный ток лампы I_A измерительным устройством преобразуется в напряжение пропорциональное току и подаётся на вход осциллографа. На экране осциллографа отображается зависимость I_A от напряжения $U_{КС}$. Несколько причин приводят к тому, что кривая на экране не совпадает с теоретической кривой (рис. 3): разброс электронов по энергиям, пространственный потенциал создаваемый самими электронами и др.

Измерительное устройство формирует на экране осциллографа в виде небольшого светлого пятна маркер, который можно перемещать по экрану при помощи ручек «ГРУБО» и «ТОЧНО». При наведении маркера на интересующие

точки отображаемого графика, происходит совпадение опорного напряжения и мгновенного пилообразного напряжения, что позволяет измерять напряжение $U_{\text{КС}}$ с помощью табло цифрового измерителя напряжения.

Порядок работы

1. Установите на осциллографе развёртку 5 ms/дел и усиление 0,5 В/дел.
2. Включите осциллограф. С помощью ручек « \leftrightarrow », « \updownarrow » установите развёртку луча в центре экрана.
3. Включите измерительное устройство, нажав на выключатель, находящийся на задней стенке. При этом должно засветиться объект исследования. Выдержите лампу во включённом состоянии в течение времени не менее 10 мин. для установления рабочего режима лампы.
4. Отрегулируйте синхронизацию осциллографа для получения устойчивой картины на экране.

Примечание: в случае искажения осциллограммы отрегулируйте её при помощи ручки «НАКАЛ» измерительного устройства.

5. С помощью ручек «ГРУБО» и «ТОЧНО» перемещайте маркер по осциллограмме, совмещая маркер с максимумами. Произведите измерения $U_{\text{КС}}$ в вольтах по индикатору измерительного устройства.

Поскольку положение первого максимума по шкале напряжений $U_{\text{КС}}$ искажено рядом причин, то измерение резонансного напряжения $U_{\text{КС}}$ проведите как разность $U_{\text{КС3}} - U_{\text{КС2}}$, где $U_{\text{КС3}}$ и $U_{\text{КС2}}$ — напряжения для 3-его и 2-ого максимума соответственно.

6. По формуле $\Delta E = eU_{\text{КС}} = e(U_{\text{КС3}} - U_{\text{КС2}})$ вычислите энергию возбуждения атома криптона в джоулях ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл) и в электрон-вольтах, имея в виду, что $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.
7. Длину волны излучения атома криптона при переходе из возбуждённого состояния в основное вычислите по формуле (4), подставляя в неё $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с и значение ΔE в Дж, полученное в пункте 6.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о модели атома Резерфорда.
2. Сформулируйте постулаты Бора.
3. Расскажите об опыте Франка и Герца. Поясните, в чём заключается его значение.
4. Напишите формулу для длины волны излучения атома.