

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

ОПЫТ ФРАНКА И ГЕРЦА

САМАРА 2012

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ОПЫТ ФРАНКА И ГЕРЦА

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний к лабораторной работе № 3-4*

САМАРА
Издательство СГАУ
2012

УДК 53(075)
ББК 22.313

Составители: *Н.М.Рогачев, И.П. Завершинский*

Рецензент Н.Д. Семкин, доктор технических наук, профессор

Опыт Франка и Герца: метод. указания к лаб. работе №3-4 / *Сост. Н.М. Рогачев, И.П. Завершинский.* – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2012. – 12 с.

Описана опыт Франка и Герца, основные положения теории атома Бора по обнаружению дискретности в энергетическом спектре.

Приводится схема и описание экспериментальной установки, порядок выполнения работы и обработки опытных данных, контрольные вопросы и перечень рекомендуемой литературы.

УДК 53(075)
ББК 22.313

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2012

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3-4

ОПЫТ ФРАНКА И ГЕРЦА

Цель работы: определение потенциала возбуждения атомов криптона.

Приборы и оборудование: лабораторная установка ФПК-02, осциллограф С1-73.



Рис. 1.

1. ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

В основе разработанной Бором полуклассической теории строения атома лежат два постулата:

1. Атомы могут длительное время находиться только в определенных *стационарных* состояниях, в которых они не излучают энергии. Стационарным состояниям соответствуют стационарные орбиты, по которым движутся электроны без излучения электромагнитных волн. На стационарных орбитах момент импульса электрона $m_e v_n r_n$ кратен значению $h/(2\pi)$, т.е.

$$m_e v_n r_n = nh/(2\pi), \quad n=1,2,3,\dots \quad (1)$$

где n – номер стационарной орбиты, целое число, названное *главным квантовым числом*; $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг – масса электрона; v_n – его скорость на n -й орбите радиуса r_n ; $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка.

2. Атом излучает или поглощает фотон электромагнитного поля при переходе из одного стационарного состояния в другое:

$$h\nu = E_{n_2} - E_{n_1}, \quad (2)$$

где ν – частота излучения; E_{n_1} и E_{n_2} – энергия стационарных состояний атомов до и после излучения или поглощения. Если $E_{n_2} > E_{n_1}$, то атом излучает фотон (электрон переходит на орбиту, более близкую к ядру атома).

Набор возможных дискретных частот (квантовых переходов) определяет линейчатый спектр атома.

Постулаты Бора позволили установить выражение для энергии электрона на n -й стационарной орбите атома водорода:

$$E_n = m_e e^4 / (8 \epsilon_0 h^2 n^2) = -13,5/n^2 \text{ эВ}. \quad (3)$$

Отсюда на основании второго постулата Бор получил выражение для линий спектра атома водорода (эмпирическую формулу Бальмера).

Опыт Франка и Герца подтверждает существование в атомах дискретных энергетических уровней, постулируемых теорией Бора.

В опытах изучается взаимодействие электронов, ускоренных электрическим полем, с атомами, в нашем случае, инертного газа криптона.

К разрядной трубке, содержащей катод К, анод А и сетку С, подавалось напряжение, как показано на рис. 2,а. Между катодом и сеткой прикладывалось напряжение $U_{ск}$, которое регулировалось потенциометром Р. Между сеткой и анодом подавалось встречное (запирающее) напряжение $U_{зан} = (0,5 - 1,0)$ В. Трубка заполнялась одноатомным газом криптоном под давлением $p \sim 1$ мм рт. ст.

В экспериментах измерялся анодный ток I_k (количество электронов, пришедших на анод, в единицу времени) в зависимости от напряжения $U_{ск}$ между катодом и сеткой. Полученная вольтамперная характеристика показана на рис. 2,б.

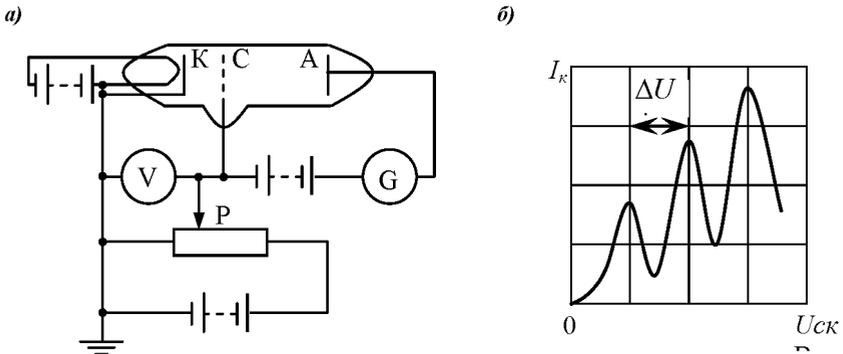


Рис. 2.

Электроны, вылетающие с поверхности накаливаемого катода, ускорялись электрическим полем в промежутке между катодом и сеткой и, преодолев задерживающее поле, достигали анода. Анодный ток возрастал. Однако этот рост сопровождался резкими спадами тока каждый раз, когда ускоряющий потенциал увеличивался на

величину ΔU . Это объясняется тем, что электроны, испускаемые катодом, до данного напряжения испытывали упругие столкновения с атомами криптона, и их кинетическая энергия поступательного движения оставалась неизменной. При достижении первого максимума электроны стали испытывать неупругие столкновения с атомами криптона, и их энергия настолько уменьшалась, что они не могли преодолеть задерживающего поля, и не достигали анода. Анодный ток резко падал.

Если ускоряющий потенциал увеличить еще на ΔU , то электроны могут снова испытывать неупругие столкновения и терять свою кинетическую энергию. Этим объясняется второй спад тока, наблюдаемый в опытах. Третий спад соответствует электронам, которые испытали три неупругих столкновения и т.д. Таким образом, на кривой зависимости тока I_k от напряжения между катодом и сеткой – анодом $U_{ск}$ имеется ряд максимумов и минимумов, отстоящих друг от друга на равных расстояниях ΔU . Эти расстояния ΔU определяют значения энергии первого возбужденного состояния.

Аналогичные опыты можно произвести с атомами других газов и получить характерные разности потенциалов ΔU , соответствующие переходу атома из основного состояния в ближайшее возбужденное состояние. Такие характерные разности потенциалов называются *первым потенциалом возбуждения*. Все опыты такого рода приводят к заключению, что состояния электронов в атоме изменяются лишь *дискретно*.

При переходе атома из первого возбужденного состояния в основное согласно второму постулату Бора излучается фотон с энергией

$$E_{\phi} = hc/\lambda = E_2 - E_1 = e\Delta U, \quad (4)$$

где h – постоянная Планка, c – скорость света, e – заряд электрона, λ – длина волны фотона. То есть при достижении ускоряющего напряжения между катодом и сеткой-анодом $U_{ск}$ значения ΔU газ испускает излучение с длиной волны

$$\lambda = hc / (e \Delta U). \quad (5)$$

Каждый раз после неупругого столкновения, атом криптона переходил в возбужденное состояние, а затем возвращался в основное состояние, излучая фотон с длиной волны λ .

Таким образом, возбуждение атома криптона происходит лишь в том случае, когда атому передается энергия, равная разности энергий в основном и возбужденном состояниях.

Отметим, что поскольку электроды лампы, как правило, изготавливаются из разных металлов, между ними возникает дополнительная внешняя контактная разность потенциалов. Ее наличие приводит к смещению кривой зависимости тока I_k от ускоряющего напряжения $U_{ск}$ влево или вправо на величину этой контактной разности потенциалов. Однако интересующее нас расстояние между максимумами ΔU на графике при этом не меняется.

2. ЭСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Установка состоит из измерительного модуля ФПК-02, газонаполненной лампы ПМИ-2 и осциллографа С1-73. Схема и внешний вид экспериментальной установки показан на рис. 1. Манометрическая лампа ПМИ-2, наполненная *криптоном* при давлении порядка 1 мм рт. ст., помещена в металлический корпус, установленный на штативе.

На передней панели корпуса измерительного модуля расположены ручки управления «НАКАЛ», «ГРУБО», «ТОЧНО», табло индикации напряжения катод-сетка $U_{ск}$, разъемы для подключения осциллографа и его синхронизации. На *задней панели* модуля находится выключатель сети.

Измерительный модуль соединен с лампой ПМИ-2 и осциллографом. Установка работает следующим образом. С измерительного модуля на лампу подается пилообразное напряжение $U_{ск}$ с амплитудой 40 В, а также напряжение накала лампы U_n и запирающее напряжение $U_{зан}$, которое обеспечивает нормальный режим работы лампы. Ток I_k , текущий через лампу, преобразуется в измерительном блоке в напряжение и подается на вход Y осциллографа, который запускается импульсами, синхронизованными с пилообразным напряжением. Таким образом, на экране осциллографа в относительных единицах изображается вольтамперная характеристика лампы, то есть зависимость I_k от напряжения катод-сетка $U_{ск}$.

Измерение напряжения $U_{ск}$ в вольтах производится с помощью измерительного модуля, который формирует на экране осциллографа *маркер*. Маркер можно перемещать по экрану осциллографа с помощью ручек «ГРУБО» и «ТОЧНО». При наведении маркера на интересующие точки отображаемой вольтамперной характеристики цифровой индикатор напряжения измерительного модуля высвечивает значение напряжения $U_{ск}$ в данной точке осциллограммы.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Соберите электрическую цепь установки. Для этого соедините 3 проводника осциллографа с измерительным модулем. Внимательно проверьте правильность сборки цепи. *Ошибка в подключении осциллографа может привести к выходу экспериментальной установки из строя.*

2. Включите осциллограф.

3. Включите измерительный модуль. При этом загорается сигнальная лампочка. Выдержите лампу ПМИ-2 во включенном состоянии в течение не менее 2-х минут для установления рабочего режима.

3. Отрегулируйте синхронизацию осциллографа для получения устойчивой картины на экране осциллографа.

4. С помощью ручек «ГРУБО» и «ТОЧНО» перемещайте маркер по осциллограмме, совмещая левый край маркера с характерными точками (минимумами и максимумами) на осциллограмме и проведите измерения $U_{ск}$ по индикатору измерительного модуля.

5. Снимите зависимость анодного тока лампы I_k от напряжения между сеткой и катодом $U_{ск}$. Ток лампы I_k измерьте в относительных единицах (делениях шкалы осциллографа по оси Y), а напряжение $U_{ск}$ в вольтах с помощью маркера измерительного модуля. Особое внимание обратите на положения максимумов и минимумов вольтамперной характеристики. Результаты измерений занесите в таблицу.

I_k , дел					
$U_{ск}$, В					

4. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Рассчитайте среднюю длину свободного пробега электрона по формуле:

$$\langle \lambda \rangle = 1 / (n\sigma), \quad (6)$$

где n – концентрация атомов криптона; σ – поперечное сечение атомов криптона при столкновении с электронами (величина сечения зависит от энергии налетающих электронов и при $E_{кин} = 5$ эВ равна $\sigma = 1,5 \cdot 10^{-20}$ м). Концентрацию атомов криптона можно рассчитать, пользуясь формулой $p = nkT$, где $p = 133$ Па – давление в лампе; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; $T = 300$ К – абсолютная температура.

2. На миллиметровке постройте график $I_k = f(U_{ск})$.

3. По графику определите первый потенциал возбуждения ΔU и найдите его усредненное значение $\langle \Delta U \rangle$.

4. Оцените энергию возбуждения атома криптона по формуле: $\Delta E = e \langle \Delta U \rangle$.

5. Пользуясь формулой (5) по измеренному значению ΔU определите длину волны излучения, испускаемого атомами криптона.

5. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Определите границы случайной погрешности при измерении величины потенциала возбуждения ΔU . Пользуясь методикой, изложенной в [3], вычислите среднее квадратичное отклонение

$$S_{\langle \Delta U \rangle} = \sqrt{(U_i - \langle U \rangle)^2 / (n-1)n}.$$

Рассчитайте границу случайной погрешности

$$\Delta U = S_{\langle \Delta U \rangle} t_{\alpha n}, \text{ при } \alpha = 0,95, n = 5.$$

Определите относительную погрешность при измерении ΔU :

$$\varepsilon_{\Delta U} = (\Delta U / \langle \Delta U \rangle) \cdot 100\%.$$

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте постулаты Бора.
2. Какова идея опыта Франка и Герца?
3. Изобразите вольтамперную характеристику газонаполненной лампы и объясните наличие максимумов и минимумов на кривой.
4. Как по анодной характеристике определяется потенциал и энергия возбуждения атома криптона.
5. Почему при работе лампы не наблюдается свечение газа в ней.
6. Как определить длину волны излучения атома криптона при его переходе из возбужденного в основное состояние?

7. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев, И.В. Курс общей физики. Т.2 / И.В. Савельев. – М.: «Наука», 1978.
2. Рогачев Н.М. Курс физики: Учебное пособие / Н.М. Рогачев. – СПб.: Издательство «Лань», 2008.
3. Практические рекомендации по обработке результатов измерений: метод. указания/ сост. Л.П. Муркин, Н.В. Мышкина. – Самара: СГАУ, 1982.

Учебное издание

ОПЫТ ФРАНКА И ГЕРЦА

*Методические указания
к лабораторной работе № 3-4*

Составители: ***Николай Михайлович Рогачев,
Игорь Петрович Завершинский.***

Редактор И.И. Спиридонова
Вёрстка И.И. Спиридонова

Подписано в печать 02.011.2012. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 0,75.

Тираж 100 экз. Заказ . Арт. Д1(17)/2012.

Самарский государственный аэрокосмический университет.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.