

Министерство образования и науки Российской Федерации

Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования  
«Санкт-Петербургский государственный  
лесотехнический университет имени С. М. Кирова»

Кафедра автоматизации технологических процессов и производств

## ОПЫТ ФРАНКА — ГЕРЦА

*Методические указания к лабораторной работе по физике № 53  
с применением компьютерного моделирования  
для студентов всех направлений бакалавриата всех форм обучения*

*Самостоятельное учебное электронное издание*

Издание 2-е, переработанное

УДК 53  
ББК 223  
О-60

Рассмотрены и рекомендованы к переизданию в электронном виде  
кафедрой автоматизации технологических процессов и производств  
Сыктывкарского лесного института.

Утверждены к переизданию в электронном виде  
советом технологического факультета Сыктывкарского лесного института.

Составители:

ст. преподаватель **Л. С. Полугрудова**,  
ст. преподаватель **Е. В. Илюшенко**

Компьютерная программа:

**Г. Д. Филиппов**

Отв. редактор:

доктор физико-математических наук, профессор **Ф. Ф. Асадуллин**

Рецензент:

доктор геолого-минералогических наук **О. Б. Котова**  
(Институт геологии Коми НЦ УрО РАН)

**Опыт Франка — Герца** [Электронный ресурс] : метод. указания к лаб. ра-  
О-60 боте по физике № 53 с применением компьютерного моделирования для студ.  
всех напр. бакалавриата всех форм обуч. : самост. учеб. электрон. изд. : изд.  
2-е, перераб. / Сыкт. лесн. ин-т ; сост. Л. С. Полугрудова, Е. В. Илюшенко. –  
Электрон. дан. – Сыктывкар : СЛИ, 2014. – Режим доступа:  
<http://lib.sfi.komi.com>. – Загл. с экрана.

В методических указаниях приведены теоретическая и экспериментальная  
части по данной лабораторной работе. Работа выполняется на виртуальной ус-  
тановке, созданной с помощью имитирующей компьютерной программы. Для  
самоподготовки даны списки контрольных вопросов и рекомендуемой литера-  
туры.

Первое издание опубликовано в 2006 г.

УДК 53  
ББК 223

Темплан I полугодия 2014 г. Изд. № 4.

---

*Самостоятельное учебное электронное издание*

Составители: **Полугрудова** Людмила Степановна, **Илюшенко** Елена Вячеславовна

ОПЫТ ФРАНКА — ГЕРЦА

Электронный формат – pdf. Разрешено к публикации 18.06.14. Объем 0,3 уч.-изд. л.  
Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного обра-  
зовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский го-  
сударственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова» (СЛИ),  
167982, г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39, [institut@sfi.komi.com](mailto:institut@sfi.komi.com), [www.sli.komi.com](http://www.sli.komi.com)  
Редакционно-издательский отдел СЛИ. Заказ № 69.

© СЛИ, 2006

© СЛИ, 2014

© Л. С. Полугрудова, Е. В. Илюшенко, составление, 2006

© Л. С. Полугрудова, Е. В. Илюшенко, составление, 2014

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	4
Постулаты Бора.....	4
Описание опыта Франка и Герца .....	5
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	7
Методика выполнения работы .....	7
Порядок выполнения работы.....	8
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....	9
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	9

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 53 (с применением компьютерного моделирования)

## ОПЫТ ФРАНКА — ГЕРЦА

**Цель работы:** изучение классического опыта Франка и Герца.

**Задачи работы:** получение экспериментальных данных, смоделированных с помощью компьютерной программы, анализ результатов.

**Обеспечивающие средства:** компьютер с ОС Windows 98 и выше, компьютерная программа, среда разработки Borland Delfi 7 Studio.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Постулаты Бора

В основе квантовой модели атома, предложенной Н. Бором, положены следующие постулаты.

1. Электроны могут двигаться в атоме только по определенным орбитам, находясь на которых они, несмотря на наличие у них ускорения, не излучают. Эти орбиты соответствуют *стационарным состояниям* электронов в атоме и определяются условием  $m_e v_n r_n = \frac{n\hbar}{2\pi}$ , где  $r_n$  — радиус  $n$ -й орбиты,  $v_n$  — скорость электрона на этой орбите,  $m_e$  — масса электрона,  $m_e v_n r_n$  — момент импульса электрона на этой орбите,  $n$  — номер стационарной орбиты ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ).

2. Атом излучает или поглощает квант электромагнитной энергии при переходе из одного стационарного состояния в другое. Энергия кванта равна разности энергий стационарных состояний электрона до ( $E_m$ ) и после ( $E_n$ ) перехода:  $h\nu = E_n - E_m$ .

## Описание опыта Франка и Герца

Изучая методом задерживающего потенциала столкновения электронов с атомами газов (1913), Д. Франк и Г. Герц экспериментально доказали дискретность значений энергии атомов. Принципиальная схема их установки приведена на рис. 1. Вакуумная трубка, заполненная парами ртути (давление приблизительно равно 13 Па), содержала катод ( $K$ ), две сетки ( $C_1$  и  $C_2$ ) и анод ( $A$ ). Электроны, эмитируемые катодом, ускорялись разностью потенциалов, приложенной между катодом и сеткой  $C_1$ . Между сеткой  $C_2$  и анодом приложен небольшой (примерно 0,5 В) задерживающий потенциал.

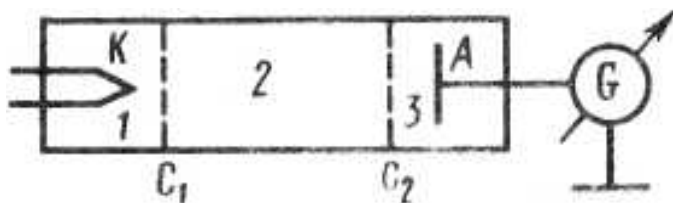


Рис. 1

Электроны, ускоренные в области 1, попадают в область 2 между сетками, где испытывают соударения с атомами паров ртути. Электроны, которые после соударений имеют достаточную энергию для преодоления задерживающего потенциала в области 3, достигают анода. При неупругих соударениях электронов с атомами ртути последние могут возбуждаться. Согласно боровской теории, каждый из атомов ртути может получить лишь вполне определенную энергию, переходя при этом в одно из возбужденных состояний. Поэтому если в атомах действительно существуют стационарные состояния, то электроны, сталкиваясь с атомами ртути, должны терять энергию дискретно, определенными порциями, равными разности энергий соответствующих стационарных состояний атома.

Из опыта следует (рис. 2), что при увеличении ускоряющего потенциала вплоть до 4,86 В анодный ток возрастает монотонно, его значение проходит через максимум (при 4,86 В), затем резко уменьшается и возрастает вновь. Дальнейшие максимумы наблюдаются при  $2 \cdot 4,86$  и  $3 \cdot 4,86$  В.

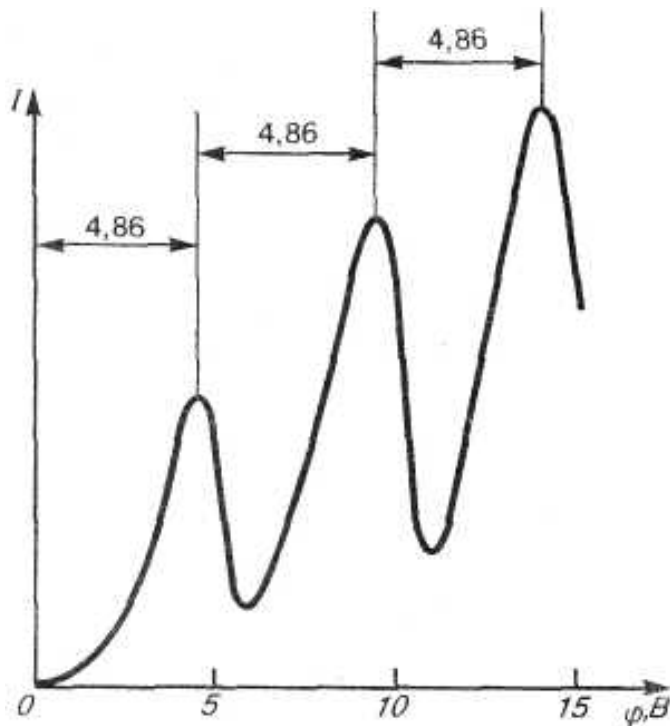


Рис. 2

Ближайшим к основному, невозбужденному, состоянию атома ртути является возбужденное состояние, отстоящее от основного по шкале энергий на 4,86 эВ. Пока разность потенциалов между катодом и сеткой меньше 4,86 В, электроны, встречая на своем пути атомы ртути, испытывают с ними только упругие соударения.

При  $e\varphi = 4,86$  эВ энергия электрона становится достаточной, чтобы вызвать неупругий удар, при кото-

ром электрон отдает атому ртути всю кинетическую энергию, возбуждая переход одного из электронов атома из нормального энергетического состояния на возбужденный энергетический уровень. Электроны, потерявшие свою кинетическую энергию, уже не смогут преодолеть тормозящего поля и достигнуть анода. Этим и объясняется первое резкое падение анодного тока при  $e\varphi = 4,86$  эВ. При значениях энергии, кратных 4,86 эВ, электроны могут испытать с атомами ртути 2, 3, ... неупругих соударения, потеряв при этом полностью свою энергию, и не достигнуть анода, т. е. должно наблюдаться резкое падение анодного тока. Это действительно наблюдается на опыте (рис. 2).

Таким образом, опыты Франка и Герца показали, что электроны при столкновении с атомами ртути передают атомам только определенные порции энергии, причем 4,86 эВ — наименьшая возможная порция энергии (наименьший квант энергии), которая может быть поглощена атомом ртути в основном энергетическом состоянии. Следовательно, идея Бора о существовании в атомах стационарных состояний блестяще выдержала экспериментальную проверку.

Атомы ртути, получившие при соударении с электронами энергию  $\Delta E$ , переходят в возбужденное состояние и должны возвратиться в основное, излучая при этом, согласно второму постулату Бора, световой квант частотой  $\nu = \Delta E/h$ . По известному зна-

чению  $\Delta E = 4,86$  эВ можно вычислить длину волны излучения:  $\lambda = hc/\Delta E \approx 255$  нм. Таким образом, если теория верна, то атомы ртути, бомбардируемые электронами с энергией 4,86 эВ, должны являться источником ультрафиолетового излучения с  $\lambda \approx 255$  нм. Опыт действительно обнаруживает одну ультрафиолетовую линию с  $\lambda \approx 254$  нм. *Таким образом, опыты Франка и Герца экспериментально подтвердили не только первый, но и второй постулат Бора.* Эти опыты сыграли огромное значение в развитии атомной физики.

Данный опыт был одним из основополагающих в атомной теории. Для его реализации необходимо использовать емкость (см. рис. 1) с большим количеством паров ртути. Ртуть очень токсична, и установка подобного оборудования для лабораторных работ опасна и требует квалифицированного подхода. Поэтому данная работа ставит собой цель смоделировать опыт, проведенный более 90 лет назад, при помощи компьютера. Моделирование не претендует на точнейшие результаты. Визуальное отображение процессов, происходящих внутри колбы, является основной направленностью этой работы.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### Методика выполнения работы

Из графика, построенного на основе данных, полученных Франком и Герцем, можно вывести функции, по которым изменяется анодный ток  $I$  от подаваемого напряжения  $U$ . Компьютерная программа отображает упрощенную схему установки и поток электронов, проходящий между сетками сквозь пары ртути. Увеличение  $U$  влияет на скорость электронов. При достижении определенного  $U$  ( $n \cdot 4,86$  В,  $1 \leq n \leq 3$ ) происходит резкое падение тока на аноде и падение скорости электронов в колбе. График функции, используемый в программе, несколько упрощен, и поэтому работа является лишь упрощенной моделью того, что должно происходить при реальном проведении опыта.

Напряжение регулируется реостатом. При изменении напряжения по вычисленным функциям проводится вычисление анодного тока. В отдельном окне выводится график.

При определённых значениях напряжения ( $n \cdot 4,86 \text{ В}$ ,  $1 \leq n \leq 3$ ) в колбе будет изображаться вспышка. Эта вспышка не является отражением реального физического явления, а будет лишь визуальным подтверждением достижения экстремума функции. В зависимости от  $n$  будет меняться либо количество одинаковых вспышек (равно  $n$ ), либо длительность и сила одной вспышки в каждом случае.

### Порядок выполнения работы

Загрузить файл FrankGerz.exe. Зарисовать в отчете внешний вид установки.

Плавно изменяя реостатом напряжение от 0 до 20 В, наблюдать картину. В момент неупругого столкновения атомы ртути излучают свет с длиной волны  $\lambda$  (этому событию предшествует вспышка на экране).

Во время проведения опыта можно нажимать кнопку «График» и наблюдать, как меняется сила тока от напряжения. После достижения 20 В зафиксировать точки максимума функции  $I_a = I_a(U_{c-k})$ .

Используя значение первого потенциала возбуждения и пользуясь соотношением  $\frac{hc}{\lambda} = eU$ , вычислить длину волны  $\lambda$  для ультрафиолетового излучения, возникшего в результате неупругих столкновений атомов ртути с электронами.

Повторить вычисления для второго и третьего максимумов.

Оценить скорости электронов для значений первых трех максимумов.

Сделать вывод о результатах опыта.



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулировать постулаты Бора. Как с их помощью объясняется линейный спектр атома?
2. Используя теорию Бора для атома водорода, определить:
  - радиус ближайшей к ядру орбиты;
  - скорость движения электрона по этой орбите.
3. Используя теорию Бора, определить изменение орбитального механического момента электрона при переходе его из возбужденного состояния ( $n = 2$ ) в основное с испусканием фотона с длиной волны  $\lambda = 1,212 \cdot 10^{-7}$  м.
4. В чем заключается значение опытов Франка и Герца? Какие основные выводы можно сделать на основании этих опытов?
5. На каких участках кривой  $I = I(\varphi)$  (см. опыт) наблюдаются упругие и на каких неупругие столкновения электронов с атомами?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### Основная учебная литература

1. Бутиков, Е. И. Физика [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов вузов : в 3-х книгах. Кн. 1. Механика / Е. И. Бутиков, А. С. Кондратьев ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 352 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/75492/>.

2. Бутиков, Е. И. Физика [Электронный ресурс] : учебное пособие : в 3-х книгах. Кн. 2. Электродинамика. Оптика. / Е. И. Бутиков, А. С. Кондратьев ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 336 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/75493/>.

3. Бутиков, Е. И. Физика [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов вузов : в 3-х книгах. Кн. 3. Строение и свойства вещества / Е. И. Бутиков, А. С. Кондратьев, В. М. Уздин ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 170 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/75494/>.

### Дополнительная учебная и учебно-методическая литература

1. Асадуллин, Ф. Ф. Основы классической механики [Электронный ресурс] : учеб. пособие по дисциплине "Физика" для

студ. всех направлений бакалавриата, спец., форм обучения : [электрон. версия бумажного изд.] / Ф. Ф. Асадуллин, Л. Н. Котов ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Сыкт. лесн. ин-т (фил.) ФГБОУ ВПО С.-Петерб. гос. лесотехн. ун-т им. С. М. Кирова, Каф. физики. – Электрон. текстовые дан. (1 файл в формате pdf: 1,11 Мб). – Сыктывкар : СЛИ, 2012. – on-line. – Систем. требования: Acrobat Reader (любая версия). – Загл. с титул. экрана. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com/ft/301-000215.pdf>.

2. Козлов, В. Ф. Курс общей физики в задачах [Электронный ресурс] / В. Ф. Козлов ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Физматлит, 2010. – 262 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/68398/>.

3. Дмитриева, Е. И. Физика для инженерных специальностей. Ответы на вопросы [Электронный ресурс] : [учебное пособие] / Е. И. Дмитриева ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2011. – 142 с. – (Скорая помощь студенту). – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/78809/>.

4. Калашников, Н. П. Физика. Интернет-тестирование базовых знаний [Текст] : учеб. пособие для подготовки студ. вузов к Федеральному интернет-тестированию по физике / Н. П. Калашников, Н. М. Кожевников. – Изд. 2-е, стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2010. – 160 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература).

5. Трофимова, Т. И. Физика. 500 основных законов и формул [Текст] Физика. 500 основных законов и формул [Текст] / Т. И. Трофимова. – 3-е изд., стер. – Москва : Высш. шк., 2001. – 64 с.

6. Трофимова, Т. И. Физика. Справочник с примерами решения задач [Текст] / Т. И. Трофимова. – Москва : Высш. образование, 2008. – 448 с. – (Основы наук).