

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Радиофизический факультет
Кафедра общей физики

Отчет по лабораторной работе:

ОПЫТ ФРАНКА-ГЕРЦА

Выполнили: студенты 430 группы
Воробьёв Артём
Зайцев Юрий

Проверил: **Лонин Александр Леонидович**

Нижний Новгород
2006 год

Содержание

1	Теоретическая часть	3
2	Практическая часть	7
2.1	Задание 1	7
2.2	Задание 2	8
3	Вывод	8
4	Список литературы	10

1 Теоретическая часть

Цель работы. Целью данной лабораторной работы была экспериментальная проверка положений квантовой теории строения атома Бора при помощи повторения опытов Франка-Герца и анализа полученных экспериментальных результатов.

Приборы и оборудование. В ходе выполнения лабораторной работы были задействованы следующие приборы и оборудование:

- Экспериментальная установка
- Блок стабилизированного питания Б2-2
- Лампа накаливания (триод)
 - Радиус анода – 1.4 см
 - Радиус проволоки катода – 0.07 см
 - Радиус витков сетки – 0.4 см
 - Газ – гелий при давлении $p = 1.2$ мм ртутного столба

Дополнительные сведения: длина свободного пробега электрона при давлении $p = 1$ мм ртутного столба, $t = 0^\circ \text{C}$ – $\lambda = 7.41 \cdot 10^{-2}$ см.

На основании проведенных экспериментов Резерфордом в 1911 г. была построена планетарная модель атома. Но устойчивость такого атома и характер его спектров невозможно было объяснить с точки зрения известных тогда классической механики и электродинамики. Для устранения указанного противоречия Н. Бор в 1913 г. предложил квантовую теорию строения атома, в основе которой лежат следующие постулаты:

1. Атомы могут длительно пребывать только в определенных энергетических состояниях. В этих состояниях они обладают энергиями $E_0, E_1, E_2, \dots, E_n$, образующими дискретный ряд. При движении электронов по соответствующим этим состояниям стационарным орбитам никакого излучения или поглощения энергии не происходит. Всякое изменение энергии атома может происходить только скачком в результате перехода между указанными выше энергетическими состояниями.
2. При переходе из одного энергетического состояния E_m в другое E_n поглощается или излучается строго определенная порция (квант) электромагнитной энергии. Энергия кванта связана с частотой излучения ν следующим отношением: $h\nu = E_m - E_n$, где h – постоянная Планка.

Ставшие классическими эксперименты, выполненные в 1913 г. Д. Франком и Г. Герцем, непосредственно подтвердили справедливость квантовых постулатов Бора. В опыте Франка-Герца исследуются процессы столкновения электронов с атомами газа. Упрощенная схема экспериментальной установки приведена на Рис. 1. В

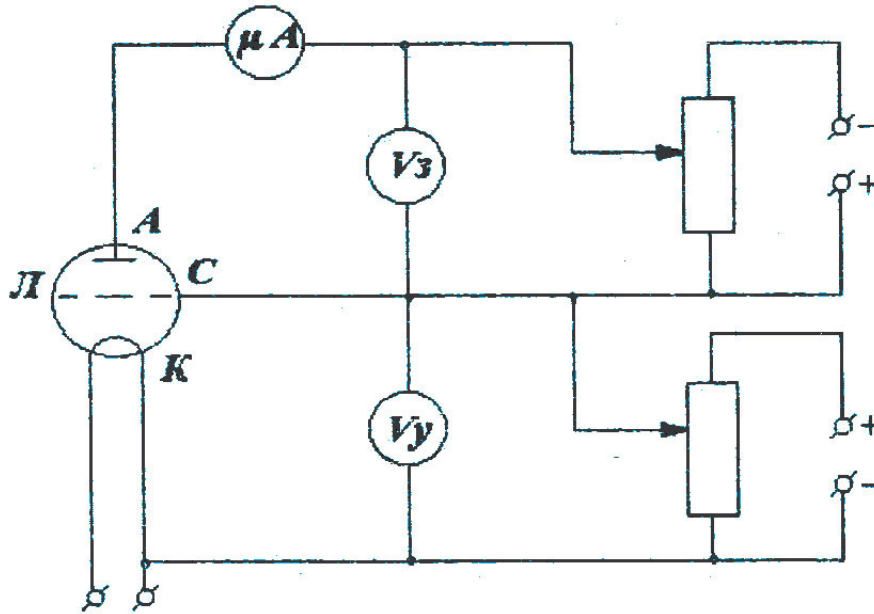


Рис. 1: Принципиальная схема экспериментальной установки

баллоне лампы L , заполненной исследуемым газом, находятся три электрода: раскаленный катод K , являющийся источником электронов, сетка C и анод A . Между сеткой и катодом прикладывается разность потенциалов $\varphi_y = \varphi_c - \varphi_k$, ускоряющая электроны (потенциал сетки по отношению к катоду φ_y называют ускоряющим потенциалом). Разность потенциалов между анодом и сеткой имеет, как правило, противоположный знак и носит название потенциала задержки $\varphi_z = \varphi_a - \varphi_c < 0$.

В ходе выполнения эксперимента снимается анодно-сеточная характеристика газонаполненной лампы, т. е. зависимость анодного тока i_a от ускоряющего потенциала φ_y при постоянном потенциале задержки φ_z . Типичный вид этой характеристики приведен на Рис. 2.

На начальном участке характеристики по мере увеличения φ_y наблюдается монотонный рост анодного тока. В этом режиме вылетающие из катода электроны при движении к сетке приобретают сравнительно малую энергию W_e и сталкиваются с атомами газа упруго. При таких столкновениях кинетическая энергия атома изменяется слабо - на величину порядка

$$\Delta W \sim W_e \frac{m}{M} \ll W_e,$$

где m и M - массы электрона и атома соответственно, а внутреннее состояние атома не меняется. Поскольку при столкновениях атомы отбирают у электронов лишь незначительную часть энергии, последние, проходя через некоторую эквипотенциальную поверхность с потенциалом φ , имеют энергию, примерно равную $e\varphi$

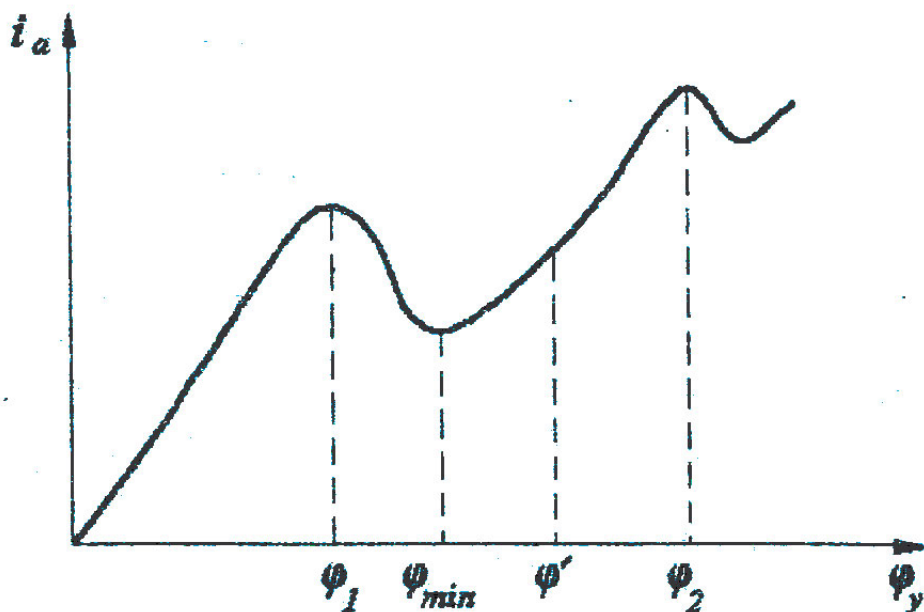


Рис. 2: Анодно-сеточная характеристика газонаполненной лампы

(здесь не учтена начальная скорость вылета электронов с катода).

При $\varphi_y > \varphi_3$ электроны пролетают через сетку, имея энергию, достаточную для преодоления задерживающего потенциала, и достигают анода. Как и в обычных электронных лампах, с ростом потенциала сетки φ_y анодный ток возрастает. Этот процесс продолжается до тех пор, пока φ_y не достигнет величины так называемого первого критического потенциала φ_1 (его называют также резонансным потенциалом), при котором электроны приобретают энергию, достаточную для возбуждения атома. Столкновения электронов, имеющих энергию $e\varphi_1$, с атомами могут происходить неупруго. При этом электрон в процессе столкновения всю свою энергию передает атому. Величина критического потенциала φ_1 связана с разностью энергии возбужденного E_1 и невозбужденного E_0 атомов законом сохранения энергии: $e\varphi_1 = E_1 - E_0$.

Электроны, потерявшие энергию при неупругих столкновениях, не могут преодолеть задерживающего поля между анодом и сеткой и “вылавливаются” последней, поэтому анодный ток с дальнейшим ростом φ_y уменьшается. Так возникает падающий участок на анодно-сеточной характеристике.

При дальнейшем увеличении φ_y поверхность с потенциалом φ_1 (а, следовательно, и область неупругих соударений) смещается от сетки к катоду. При $\varphi_y \geq \varphi_1 + |\varphi_3|$ электроны, испытавшие неупругие соударения на пути к сетке, вновь могут набрать энергию, превышающую $e\varphi_3$, и анодный ток опять возрастает с ростом φ_y . Начиная со значения $\varphi_y \geq 2\varphi_1$ электроны на своем пути могут дважды неупруго столкнуться

с атомами и, потеряв энергию после второго столкновения, не преодолеть задерживающий потенциал. Это приведет к появлению второго провала на анодно-сеточной характеристике. Аналогичным образом происходит падение тока и при более высоких потенциалах $\varphi_y = n\varphi_1$.

Таким образом, опыт Франка-Герца убедительно подтверждает справедливость первого постулата Бора: атом действительно поглощает энергию только определенными дискретными порциями. Франк и Герц, выполнив свои эксперименты с парами ртути, показали, что минимальная энергия, которую способен поглотить атом ртути, составляет 4.9 эВ, т. е. величина резонансного потенциала равна 4.9 В. Они установили также, что возбужденные до резонансного уровня атомы ртути, переходя в невозбужденное состояние, являются источником ультрафиолетового излучения с длиной волны 2537 Å. Этот результат находится в полном соответствии со вторым постулатом Бора.

2 Практическая часть

2.1 Задание 1

Определение резонансного уровня. Напряжение накала $\varphi_n = 1.2$ В, потенциал задержки $\varphi_z = 7.5$ В. Ниже приведена анодно – сеточная характеристика (Рис. 3).

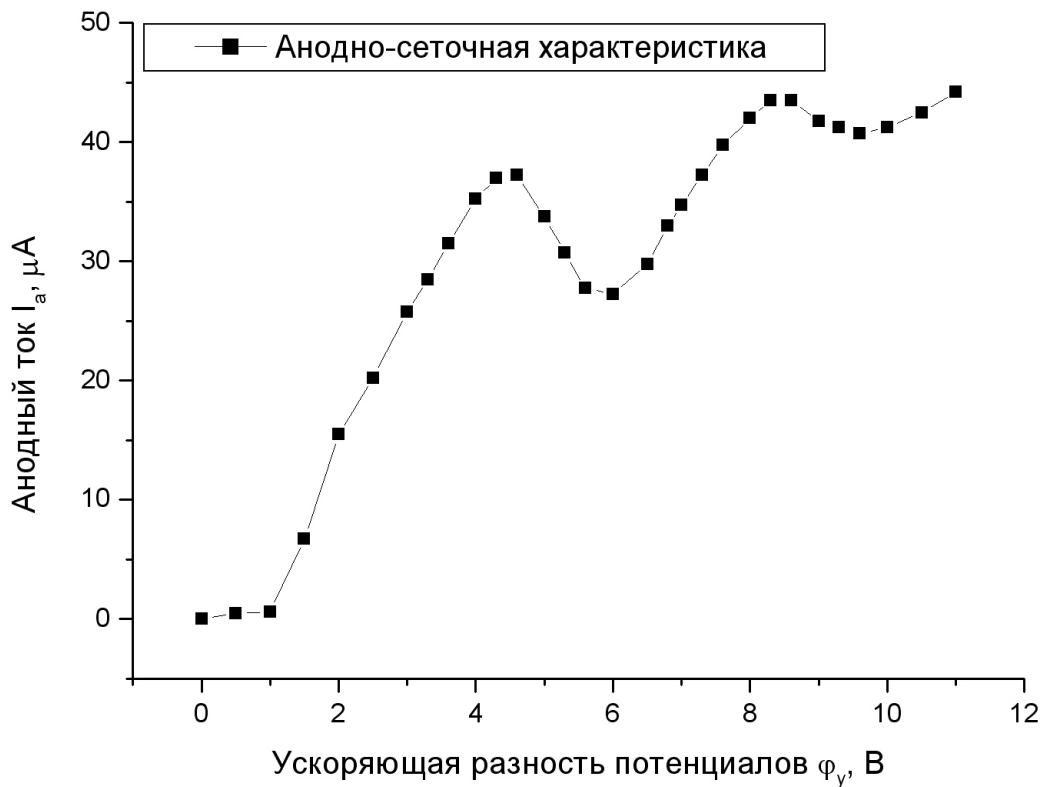


Рис. 3: Анодно-сеточная характеристика

Резонансный потенциал $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 8.4 - 4.6 = 3.8$ В. Разность уровней $E_1 - E_0 = e\varphi = 3.8$ эВ.

При $V_z = 7.5$ В, анодно-сеточная характеристика приведена на Рис. 4.

Резонансный потенциал $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 8.5 - 4.5 = 4$ В. Разность уровней $E_1 - E_0 = e\varphi = 4$ эВ.

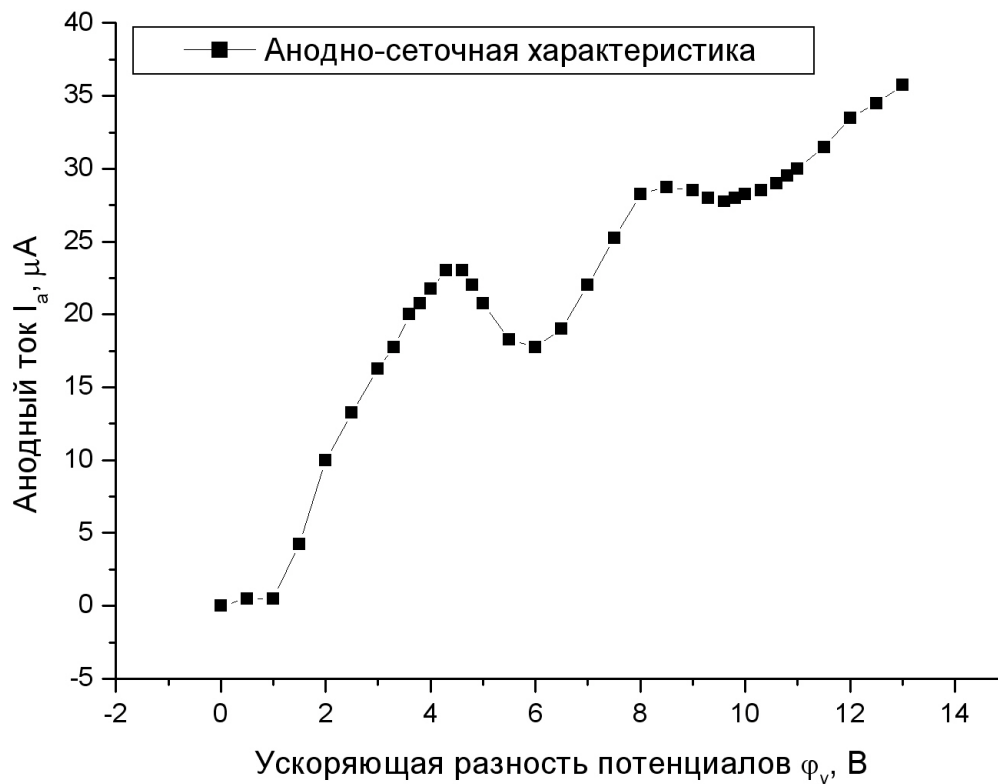


Рис. 4: Анодно-сеточная характеристика

2.2 Задание 2

Определение ионизационного потенциала. При $\varphi_z > \varphi_y$ был обнаружен скачок ионного тока. Анодно-сеточные характеристики при $\varphi_z = 3.5$ В, $\varphi_z = 4$ В и $\varphi_z = 4.5$ В приведены на Рис. 5.

Потенциал ионизации $\varphi_u = 5.2$ В. Изменение энергии ΔW_λ на длине свободного пробега в области ионизации $\Delta W_\lambda = e\lambda \frac{d\varphi}{dn}$. Но $\lambda \frac{d\varphi}{dn} = \varphi_{\min} - \varphi_1 = \varphi_u - \varphi_1 = 1.4$ В. Тогда $\Delta W_\lambda = 1.4$ эВ. Величина $e(\varphi_u - \varphi_1) = 1.4$ эВ $= \Delta W_\lambda$.

3 Вывод

Полученные результаты согласуются с экспериментальными представлениями и предложенной моделью. Действительно, анодно-сеточная характеристика имеет два ярко выраженных максимума при обоих потенциалах задержки. Резонансный потен-

циал φ не равен координате первого максимума на графике φ_1 что говорит о наличии контактной разности потенциалов между катодом и сеткой.

4 Список литературы

- [1] Опыт Франка-Герца: описание к лабораторной работе / Сост. Королев И.Я, Захаров Ю.Н. – Нижний Новгород: ННГУ, 2003. 16с.
- [2] Матвеев А.Н. Атомная физика: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Высш. шк., 1989. - 439 с.: ил.
- [3] Сивухин Д.В. Атомная и ядерная физика. Ч.1. Атомная физика. – М.: Наука, 1986.

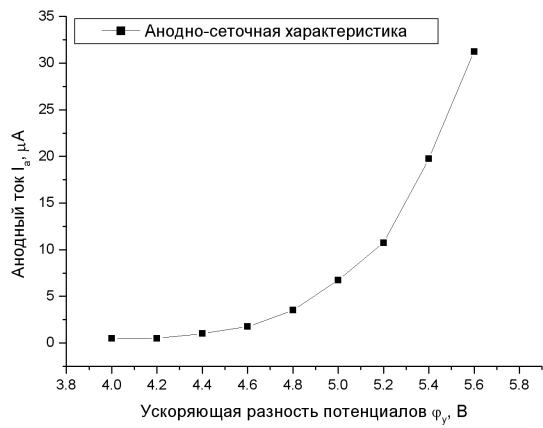
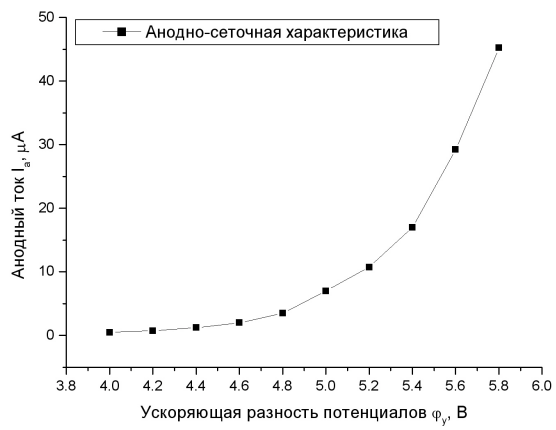
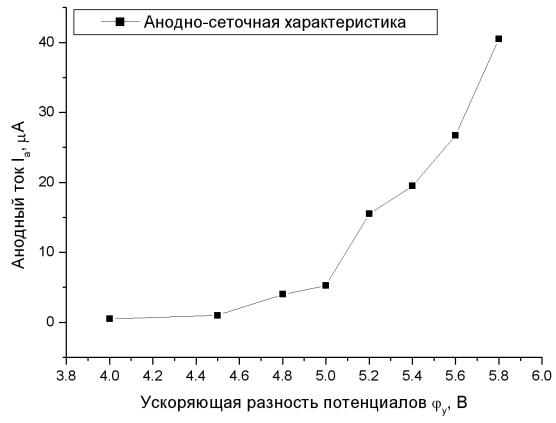


Рис. 5: Анодно-сеточные характеристики для $\varphi_z = 3.5$ В, $\varphi_z = 4$ В и $\varphi_z = 4.5$ В соответственно