

Отчет по лабораторной работе №5
Опыт Франка-Герца

Выполнили студенты 430 группы
Виноградов И.Д., Шиков А.П.

Нижний Новгород, 2018

1. Теоритическая часть

Цель работы: Экспериментально пронаблюдать дискретный характер поглощения энергии атомами, провести измерения потенциалов резонанса и ионизации для атома гелия

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.

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 баллоне лампы Д заполненной исследуемым газом, находятся три электрода: раскаленный катод К, являющийся источником электронов, сетка С и анод А. 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 $\varphi = \varphi_a - \varphi_c < 0$.

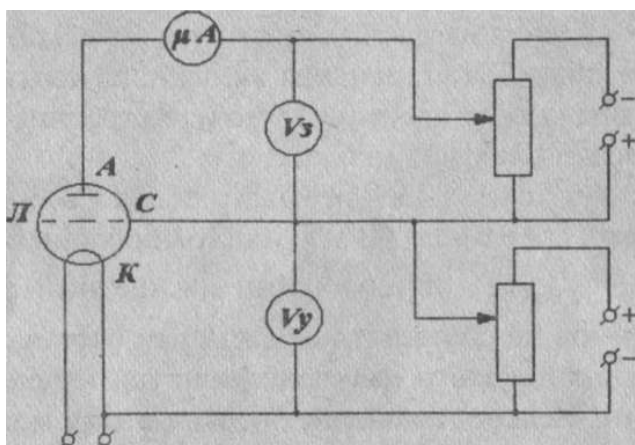


Рис. 1

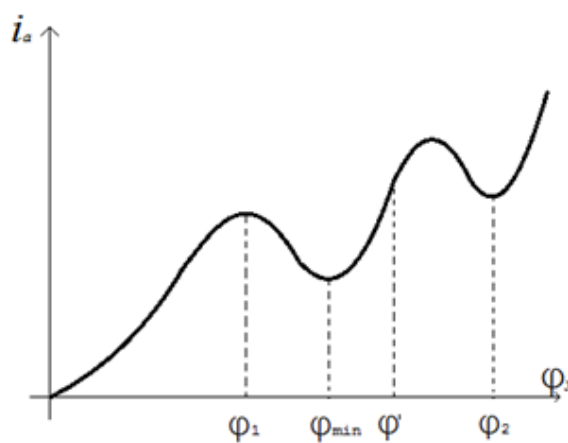


Рис. 2

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 . 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 $e\varphi$ (здесь не учтена начальная скорость вылета электронов с катода).

При $\varphi_y > \varphi$ 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 $e\varphi$, 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 $\varphi_n = n\varphi_1$.

Заметим далее, что если на длине свободного пробега электрон может набрать энергию, большую разности энергий двух уровней $E_n - E_1$, то возможно возбуждение всех уровней с энергией, меньшей E_n , и даже ионизация атома, если $E_n - E_1$ больше энергии ионизации. Поэтому уменьшение длины свободного пробега λ (за счет увеличения давления газа внутри лампы) позволяет не только увеличить точность определения резонансного потенциала, но и избежать перекрытия различных ступеней возбуждения. С другой стороны, слишком сильное уменьшение λ нецелесообразно, т. к. при этом электроны до прихода в область неупругих соударений Ω испытывают много упругих столкновений, что увеличивает их разброс по энергиям, и, следовательно, уменьшает точность определения резонансного потенциала.

Для некоторых газов, у которых величина резонансного потенциала не сильно отличается от потенциала ионизации, можно, используя эту же лампу, только при относительно больших потенциалах задержки ($\varphi_3/\varphi_y \sim 1$), измерить также и потенциал ионизации.

Для этого можно использовать то обстоятельство, что при $|\varphi_3| > \varphi_y$, электроны, эмитированные катодом, не достигают анода, и анодный ток может быть вызван только положительными носителями заряда. В случае $|\varphi_3| > \varphi_y \geq \varphi_u$ наличие анодного тока связано с процессами ионизации электронным ударом в окрестностях сетки. Когда φ_y достигнет значения φ_u , у витков сетки появится область неупругих соударений, в которой энергия электронов будет достаточна для ионизации атомов газа, и возникнет ионный ток между сеткой и анодом лампы. В анодной цепи ток в этом случае будет иметь направление, противоположное обычному и для его измерения необходимо произвести «переполусовку» амперметра (заметим, что название «анод» в этом случае оказывается чисто условным).

Ранее утверждалось, что для точного определения резонансного потенциала необходимо избежать перекрытия различных ступеней возбуждения; а в этом случае электроны на

длине свободного пробега должны набирать энергию, не превышающую разности уровней $E_2 - E_1$. Для ионизации же необходимо, чтобы энергия, полученная электроном на длине свободного пробега, была бы не меньше $E_u - E_1$ (E_u - энергия, соответствующая ионизированному атому). Казалось бы, одновременное выполнение этих двух условий невозможно. Но нельзя забывать, что картины электрических полей внутри лампы при определении резонансного потенциала и потенциала ионизации будут совершенно различными. Нетрудно убедиться, что производная $\frac{d\varphi}{dn}$ во втором случае будет существенно выше, следовательно, и электрон в этом случае может набрать на длине свободного пробега существенно большую энергию

$$\Delta W_\lambda = e\lambda \frac{d\varphi}{dn}.$$

2. Экспериментальная часть

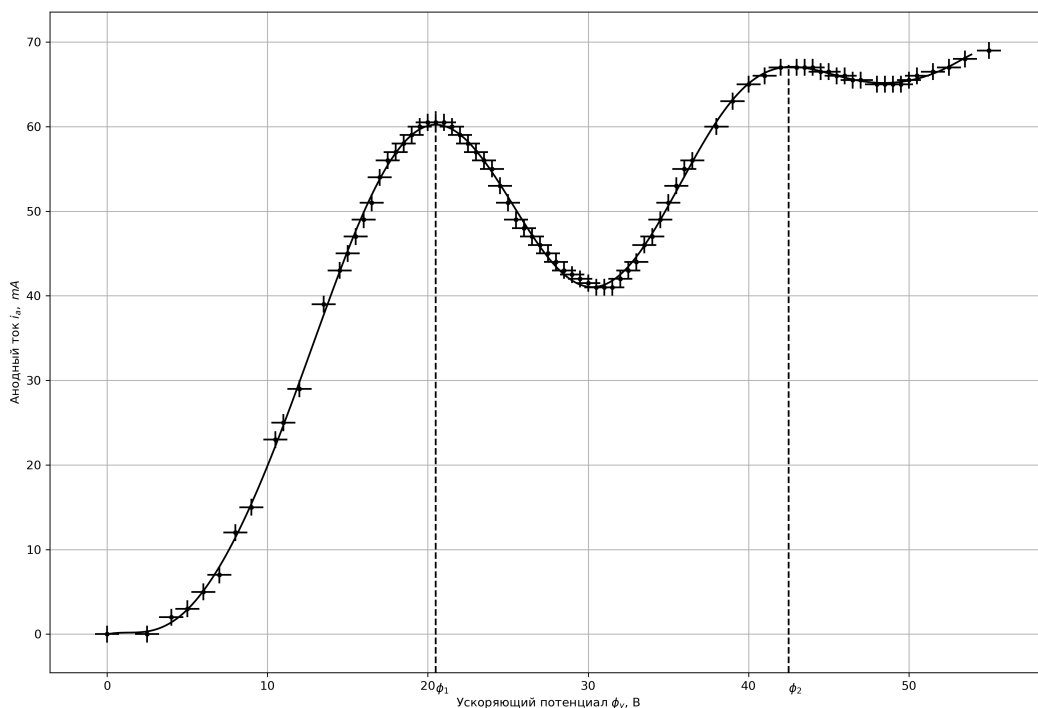
В Данной работе в качестве рабочего газа использовался гелий, при этом давление в лампе $p=1.2$ мм рт.ст.

2.1. Определение резонансного уровня

Напряжение накала $V_H = 3$ В

Напряжение задержки $V_3 = 7.5$ В

График зависимости анодного тока от ускоряющего потенциала:



Резонансный потенциал $\varphi_1 = 20.5 \pm 0.75$ ЭВ

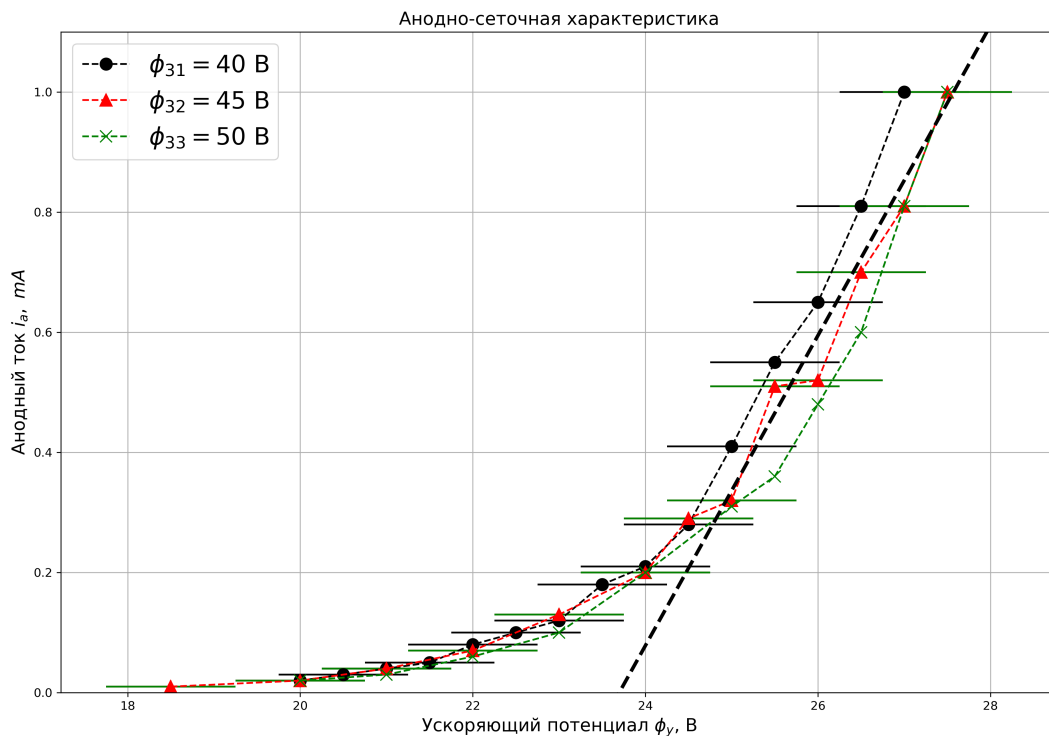
Потенциал $\varphi_2 = 42.5 \pm 0.75$ ЭВ

Разность энергитических уровней $E_1 - E_0 = e\varphi_1 = 20.5 \pm 0.75$ ЭВ

Табличное значение $E_1 - E_0 = 21.2$ ЭВ

2.2. Определение ионизационного потенциала

При разных значениях запирающего потенциала, превышающего потенциал ускорения, была снята зависимость анодного тока от ускоряющего потенциала.



Потенциал ионизации φ_u определялся как значительное увеличение анодного тока при повышении ускоряющего потенциала. При значениях, близких, но меньше φ_u анодный ток может появляться ввиду разброса электронов по скоростям при эмитировании с катода. Электроны, обладающие большей начальной скоростью могут ионизировать атом, при том что большая часть атомов останется не ионизированными. Определенный φ_u составил $\varphi_u = 23.7 \text{ ЭВ}$

Для ионизации атомов газа необходимо, чтобы энергия, которую приобретает электрон на длине свободного пробега $\Delta W_\lambda = e\lambda \frac{d\varphi}{dn}$ была бы не меньше энергии $E_u - E_1 = e(\varphi_u - \varphi_1) = 3.2 \text{ ЭВ}$.

3. Вывод

В проведенной работе был экспериментально подтвержден вид сеточной характеристики и ионного тока. Были получены значения φ_1 , φ_2 и φ_u , напрямую связанные со свойствами исследуемого газа.