

Опыт Франка-Герца

Васильев Денис

ФИВТ МФТИ

(Дата: 22 февраля 2018 г.)

Цель: Методом электронного возбуждения измерить энергию первого уровня атома гелия в динамическом и статическом режимах.

Оборудование: трехэлектродная лампа, лампа ионизационного манометра, источник питания, амперметр, выпрямитель, осциллограф, вольтметр, потенциометр

I. ВВЕДЕНИЕ

Одним из простых опытов, подтверждающих существование дискретных уровней энергии атомов, является эксперимент, известный под названием опыта Франка и Герца. Разреженный гелий заполняет трехэлектродную лампу. Электроны, испускаемые разогретым катодом, ускоряются в постоянном электрическом поле, созданном между катодом и сетчатым анодом лампы. Передвигаясь от катода к аноду, электроны сталкиваются с атомами гелия. Если энергия электрона, налетающего на атом, недостаточна для того, чтобы перевести его в возбужденное состояние, то возможны только упругие соударения, при которых электроны почти не теряют энергии, так как их масса в тысячи раз меньше массы атомов. По мере увеличения разности потенциалов между анодом и катодом энергия электронов увеличивается и, в конце концов, оказывается достаточной для возбуждения атомов. При таких неупругих столкновениях кинетическая энергия налетающего электрона передается одному из атомных электронов, вызывая его переход на свободный энергетический уровень или совсем отрывая его от атома. Третьим электродом лампы является коллектор. Между ним и анодом поддерживается небольшое задерживающее напряжение. Ток коллектора, пропорциональный числу электронов, попадающих на него за секунду, измеряется микроамперметром. При увеличении потенциала анода ток в лампе сначала растет, подобно тому как это происходит в вакуумном диоде (рис.2). Однако, когда энергия электронов становится достаточной для возбуждения атомов, ток коллектора резко уменьшается. Это происходит потому, что при неупругих соударениях с атомами электроны почти полностью теряют свою энергию и не могут преодолеть задерживающего потенциала между анодом и коллектором. При дальнейшем увеличении потенциала анода ток коллектора вновь возрастает: электроны, испытавшие неупругие соударения, при дальнейшем движении к аноду успевают набрать энергию, достаточную для преодоления задерживающего потенциала. Следующее замедление роста тока происходит в момент, когда часть электронов неупруго сталкивается с атомами два раза: первый раз посередине пути, второй – у анода и т.д. Таким образом, на кривой зависимости тока коллектора от напряжения анода имеется ряд максимумов и

минимумов, отстоящих друг от друга на равные расстояния ΔV ; эти расстояния равны энергии первого возбужденного состояния.

II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Схема экспериментальной установки изображена на рисунке. Для опыта используется серийная лампа ионизационного манометра ЛМ-2, заполненная гелием до давления порядка 1 Тор. Источником электронов является вольфрамовый катод, нагреваемый переменным током. Напряжение накала подается от стабилизированного источника питания Б7-4. Ток накала контролируется амперметром А. Источник Б7-4 включается в цепь тумблером В. В качестве анода используется двойная спираль, окружающая катод. Роль коллектора играет полый металлический цилиндр, соосный с катодом и анодом. Ускоряющее напряжение подается на анод от выпрямителя Б5-10. Величина этого напряжения регулируется потенциометром φ_3 и измеряется вольтметром V_1 . Источник задерживающего потенциала – батарея КБСЛ (4,5 В) – включается ключом K_2 , величина потенциала регулируется потенциометром φ_2 и измеряется вольтметром V_2 . Ток в цепи коллектора регистрируется микроамперметром. Схему можно переключать из статического режима измерений в динамический режим с помощью ключа K_3 . На рис.3. две части сдвоенного ключа K_3 изображены отдельно. При динамическом режиме работы ускоряющий потенциал подается с понижающего трансформатора Т, а ток коллектора регистрируется осциллографом, подключенным к нагрузочному резистору R. Осциллограф следует синхронизировать от сети 50Гц. При определении энергии электронов по разности потенциалов между анодом и катодом следует иметь в виду, что из-за контактной разности потенциалов между катодом и анодом первый максимум не соответствует потенциалу первого возбужденного уровня. Однако контактная разность потенциалов так сдвигает все максимумы, что расстояние между ними не изменяется.

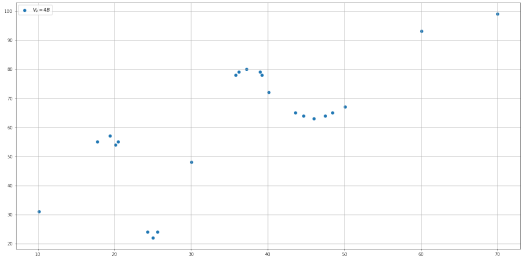


Рис. 1. Зависимость $I_k = I_k(V_1)$ при $V_2 = 4B$

III. ИЗМЕРЕНИЯ

A. Получение вольт-амперной характеристики $I_k = f(V_a)$ на экране осциллографа

При задерживающем напряжении 4В: а) Расстояние между соседними максимумами – 17 дел. б) Расстояние между соседними минимумами – 20 дел.

При задерживающем напряжении 6В: а) Расстояние между соседними максимумами – 16 дел. б) Расстояние между соседними минимумами – 20 дел.

При задерживающем напряжении 8В: а) Расстояние между соседними максимумами – 16 дел. б) Расстояние между соседними минимумами – 20 дел.

В. Получение вольт-амперной характеристики $I_k = f(V_a)$ в статическом режиме

Таблица I. Зависимость $I_k = f(V_a)$ при задерживающем напряжении $V_2 = 4B$:

V_a, B	10,13	20,13	25,03	25,62	24,32	30,03	40,11
I_k, mA	31	54	22	24	24	48	72

Таблица II. Зависимость $I_k = f(V_a)$ при задерживающем напряжении $V_2 = 4B$:

V_a, B	37,26	35,84	36,25	38,99	39,26	60,07	70,02
I_k, mA	80	78	79	79	78	93	99

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ

По данным из таблиц построим графики зависимости $I_k = I_k(V_1), V_2 = const$ для различных значений V_2 :

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таблица III. Зависимость $I_k = f(V_a)$ при задерживающем напряжении $V_2 = 4B$:

V_a, B	19,41	17,77	20,49	47,50	46,01	44,68	43,63	48,47
I_k, mA	57	55	55	64	63	64	65	65

Таблица IV. Зависимость $I_k = f(V_a)$ при задерживающем напряжении $V_2 = 6B$:

V_a, B	10,09	20,08	30,03	40,07	50,06	60,01	70,01	20,12
I_k, mA	22	48	24	53	38	58	59	50

Таблица V. Зависимость $I_k = f(V_a)$ при задерживающем напряжении $V_2 = 6B$:

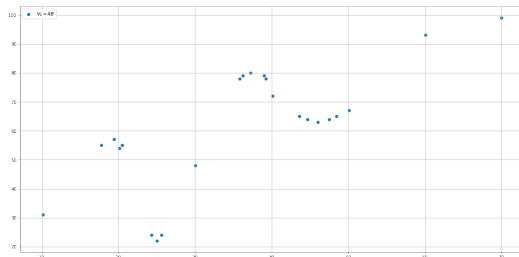
V_a, B	26,34	27,40	38,43	64,79	60,06	69,60
I_k, mA	9	11	57	62	60	60

Таблица VI. Зависимость $I_k = f(V_a)$ при задерживающем напряжении $V_2 = 8B$:

V_a, B	10,06	20,10	30,02	40,03	50,08	60,00	39,91	36,30
I_k, mA	12	42	5	32	18	30	55	55

Таблица VII. Зависимость $I_k = f(V_a)$ при задерживающем напряжении $V_2 = 8B$:

V_a, B	49,34	46,59	51,09	70,05	20,94	27,94	38,94	51,44
I_k, mA	38	40	40	28	43	0	39	18

Рис. 2. Зависимость $I_k = I_k(V_1)$ при $V_2 = 4B$