

Лабораторная работа №2.1

«Опыт Франка-Герца»

Драчев Ярослав
Факультет общей и прикладной физики МФТИ

27 сентября 2020 г.

Аннотация

В данной работе методом электронного возбуждения будет измерена энергия первого уровня атома гелия в динамическом и статическом режимах.

1 Теоретическое введение

Одним из простых опытов, подтверждающих существование дискретных уровней энергии атомоов, является эксперимент, известный под названием опыта Франка и Герца. Схема опыта изображена на рис. 1

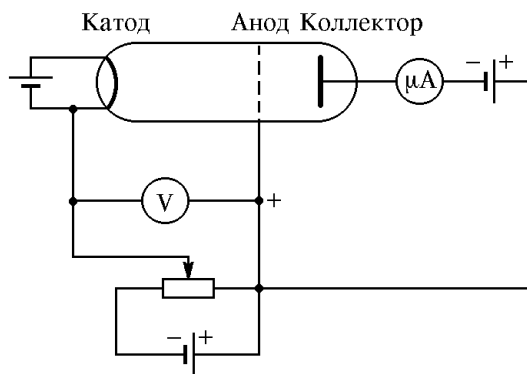


Рис. 1: Принципиальная схема опыта Франка и Герца

Разреженный одноатомный газ (в нашем случае — гелий) заполняет трёхэлектродную лампу. Электроны, испускаемые разогретым катодом, ускоряются в постоянном электрическом поле, созданным 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 возбуждённое состояние (или ионизовать), 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 передаётся одному из атомных электронов, вызывая его переход на свободный энергетический уровень (возбуждение) или совсем отрывая его от атома (ионизация).

Третьим электродом лампы является коллектор. Между ним и анодом поддерживается небольшое задерживающее напряжение (потенциал коллектора меньше потенциала анода). Ток коллектора, пропорциональный числу попадающих на него за секунду электронов, измеряется микроамперметром.

При увеличении потенциала анода ток в лампе вначале растёт, подобно тому как это происходит в вакуумной диоде (рис. 2). Однако, когда энергия

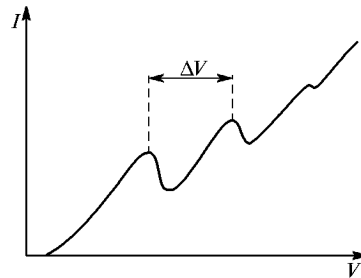


Рис. 2: Зависимость тока коллектора от напряжения на аноде

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 (около 1 В) 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 возбуждённого состояния (рис. 2).

При тщательной постановке опыта можно увидеть и тонкую структуру кривой спада тока, содержащую ряд минимумов, соответствующих возбуждению других уровней и ионизации атома гелия. Для этого нужны лампы специальной конструкции. В нашей постановке опыта эта тонкая структура не видна.

2 Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 3. Для опыта

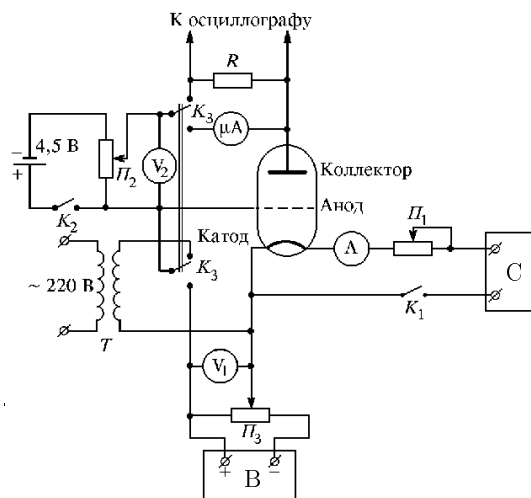


Рис. 3: Схема экспериментальной установки

используется серийная лампа ионизационного манометра ЛМ-2, заполненная гелием до давления ~ 1 Торр. Источником электронов является вольфрамовый катод, нагреваемый переменным током. Напряжение накала подаётся от стабилизируемого источника питания С. Ток накала контролируется амперметром А.

В качестве анода используется двойная спираль, окружающая катод. Роль коллектора играет полый металлический цилиндр, соосный с катодом и анодом.

Ускоряющее напряжение подаётся на анод от выпрямителя В. Величина этого напряжения регулируется потенциометром Π_3 и измеряется вольтметром V_1 .

Источник задерживающего напряжения — батарея 4,5 В; величина напряжения регулируется потенциометром Π_2 и измеряется вольтметром V_2 . Ток в цепи коллектора регистрируется микроамперметром.

Схему можно переключать из статического режима измерения 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 подаётся с понижающего трансформатора Т (220/50 В), а ток коллектора регистрируется осциллографом, подключённым к нагрузочному резистору R.

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 возбуждённого уровня. Однако контактная разность потенциалов сдвигает все максимумы одинаково, так что расстояние между ними не меняется.

Схема экспериментальной установки, изображённой на рис. 3, в нашей работе конструктивно осуществлена следующим образом. Наполненная гелием лампа ЛМ-2 расположена непосредственно на корпусе блока источников питания (БИП). Напряжение к электродам лампы подводится от источни-

ков питания, находящихся в корпусе прибора. Регулировка напряжения и выбор режима работы производятся при помощи ручек управления, выведенных на лицевую панель БИП (рис. 4). Включении всех источников

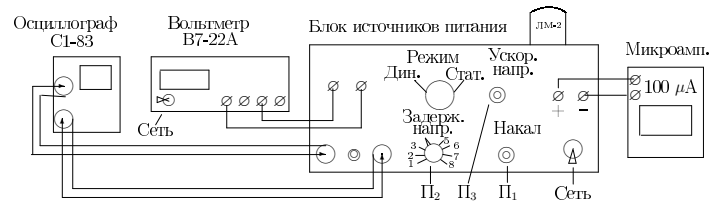


Рис. 4: Блок-схема экспериментальной установки

питания осуществляется включением БИП в сеть.

В статическом режиме напряжение V_a между анодом и катодом измеряется цифровым вольтметром В7-22А, подключённым к клеммам «Вольтметр» прибора. Ток коллектора I_k измеряется микроамперметром, вся шкала которого соответствует току 100 мкА.

3 Ход работы

Полученные в ходе измерений зависимости представлены в таблице 1.

V_a , В	I_k , дел
73	100
56	90
49	80
45	76
37	81
32	70
29,3	60
26,1	50
24,7	47
24,3	56
17,5	50
14,3	40
11,0	30
8,2	20
4,7	10
0,0	0

(a) $V_2 = 4$ В

V_a , В	I_k , дел
74	100
55	90
48	81
38	96
32,6	80
30,9	70
28,9	60
27,3	50
25,4	45
23,6	77
17,3	60
13,0	40
8,57	20
0,00	0

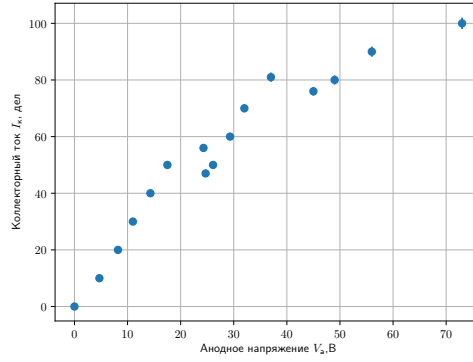
(b) $V_2 = 6$ В

V_a , В	I_k , дел
74	77
63	83
53	70
50	68
38	93
32,7	70
30,2	50
26,3	33
23,8	89
15,5	50
0,0	0

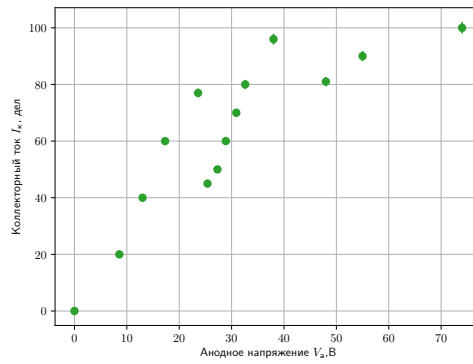
(c) $V_2 = 8$ В

Таблица 1: Зависимость коллекторного тока I_k от анодного напряжения V_a для 3-х значений задерживающего напряжения $V_2 = 4, 6, 8$ В

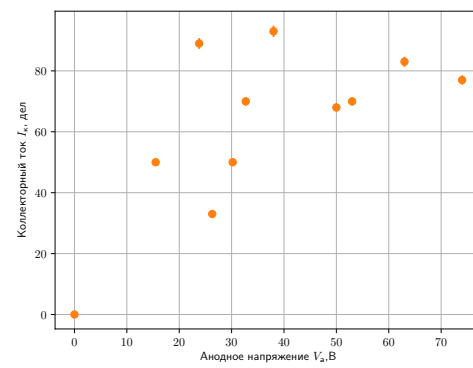
Построим графики $I_k = f(V_a)$ для всех значений V_2 (рис. 5). Для определения энергии первого возбуждённого состояния гелия найдём расстояния ΔV между первыми двумя максимумами и минимумами для каждого



(а) $V_2 = 4$ В



(б) $V_2 = 6$ В



(в) $V_2 = 8$ В

Рис. 5: Зависимость коллекторного тока I_k от анодного напряжения V_a для 3-х значений задерживающего напряжения V_2

значения задерживающего напряжения найдём среднее значение для этих величин:

$$V = 17,1 \pm 0,4 \text{ В.}$$

Следовательно, по результатам эксперимента мы получаем, что энергия первого возбуждённого состояния гелия

$$W = 17,1 \pm 0,4 \text{ эВ.}$$

По порядку это согласуется с табличным значением (рис. 6)

$$W \approx 20,55 \text{ эВ.}$$

4 Выводы

В данной работе методом электронного возбуждения была измерена энергия первого уровня атома гелия в динамическом и статическом режимах, экспериментальные результаты сходятся по порядку с табличными данными.

Список литературы

- [1] Википедия. *Атом гелия* — Википедия, свободная энциклопедия. [Онлайн; загружено 16 сентября 2020]. 2019. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=102360670>.

А Приложение

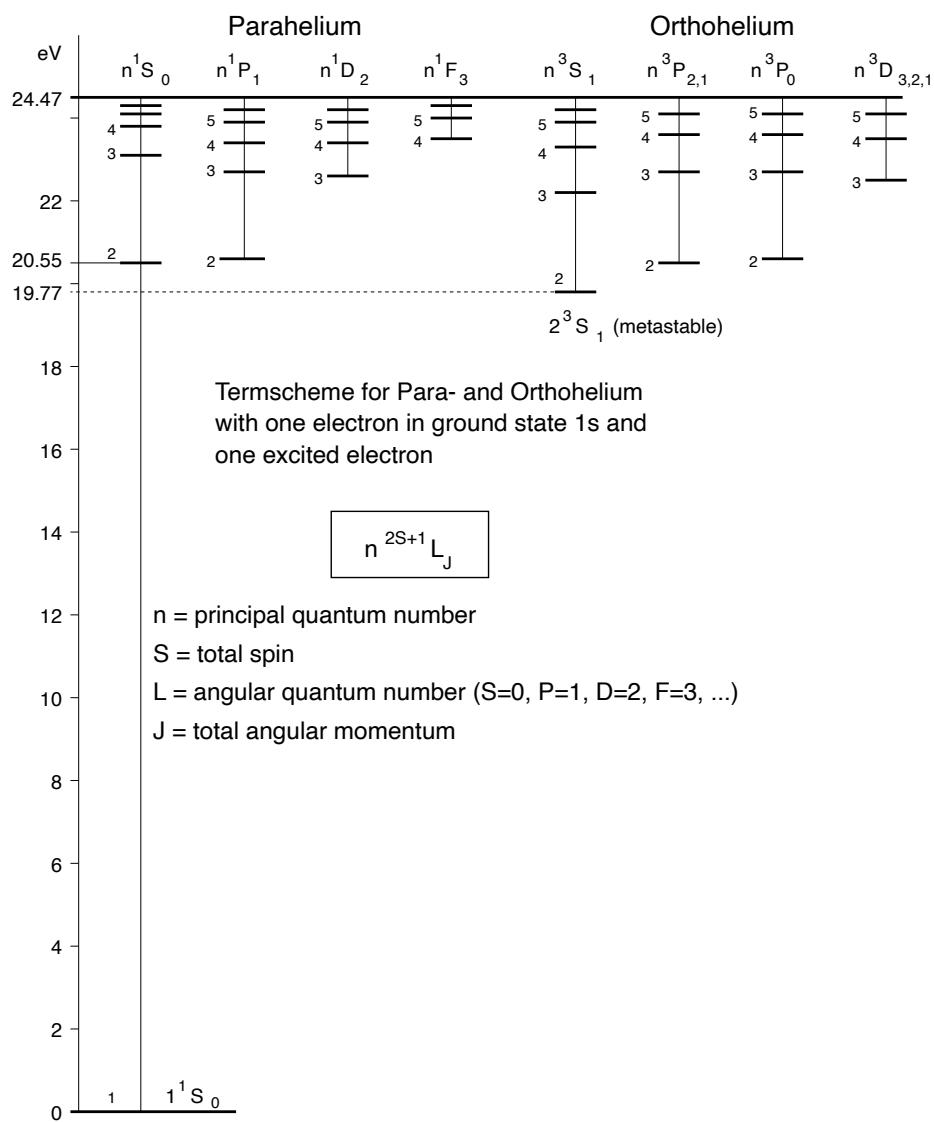


Рис. 6: Схемы термов для пара- и ортогелия с одним электроном в основном состоянии $1S$ и одним возбужденным электроном.[1]