

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

Лабораторная работа 5.2.1  
«Опыт Франка-Герца»

Шумаков Иван Игоревич  
студент группы Б01-009  
3 курс ФРКТ

г. Долгопрудный  
2022 г.

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

**В работе используются:** Трёхэлектродная лампа ЛМ-2, батарея 4,5 В, микроамперметр, понижающий трансформатор, осциллограф, блок источников питания, вольтметр В7-22А

## 1 Теоретические положения

Опыт Франка-Герца подтверждает существование дискретных уровней энергии атомов. Разреженный одноатомный газ заполняет трёхэлектродную 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.

- энергия электрона недостаточна, чтобы возбудить/ионизировать атом -> *упругое столкновение*, электрон не теряет энергию
- при большой разности потенциалов энергия электрона достаточна для возбуждения атомов -> *неупругое столкновение*, кинетическая энергия передаётся одному из атомных электронов, в результате чего происходит:
  - **возбуждение** - переход одного из атомных электронов на свободный энергетический уровень
  - **ионизация** - отрыв электрона от атома

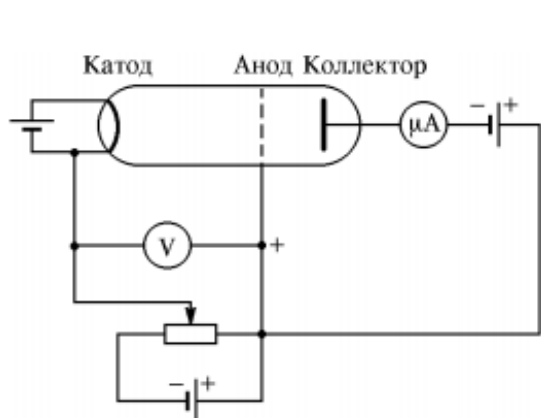


Рис. 1. Схема опыта Франка и Герца

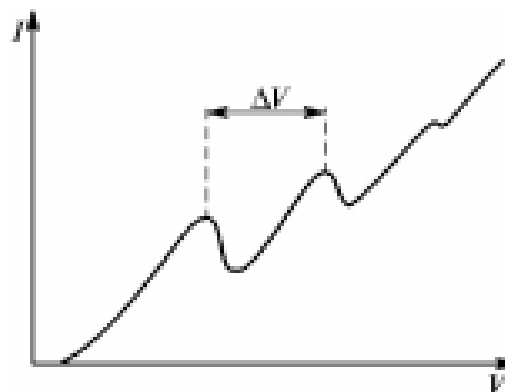


Рис. 2. Схематический вид зависимости тока коллектора от напряжения на аноде

Объясним вид зависимости тока коллектора (измеряется микроамперметром) от напряжения на аноде. При увеличении потенциала анода ток в лампе сначала растёт (зависимость, подобная ВАХ вакуумного диода). Когда энергия электронов становится достаточной для возбуждения атомов, ток коллектора резко уменьшается. Это происходит потому, что при неупругих соударениях с атомами электроны теряют свою энергию и не могут преодолеть задерживающее напряжение (около 1 В) между анодом и коллектором. При дальнейшем увеличении потенциала 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. Таким образом, на кривой зависимости тока коллектора от напряжения анода имеется ряд максимумов и минимумов, отстоящих друг от друга на равные расстояния, равные энергии первого возбуждённого состояния.

## 2 Ход работы

### 2.1 Динамический метод

В данном опыте были получены осциллограммы, характеризующие изменение тока коллектора от напряжения на аноде.

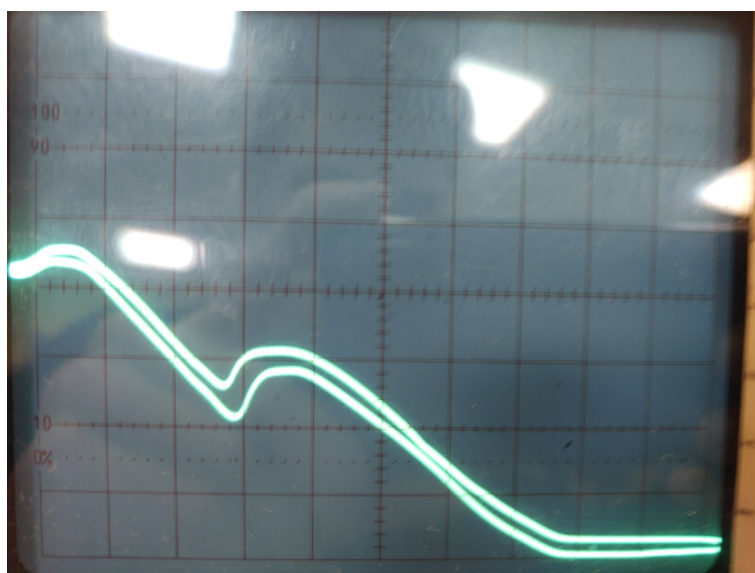
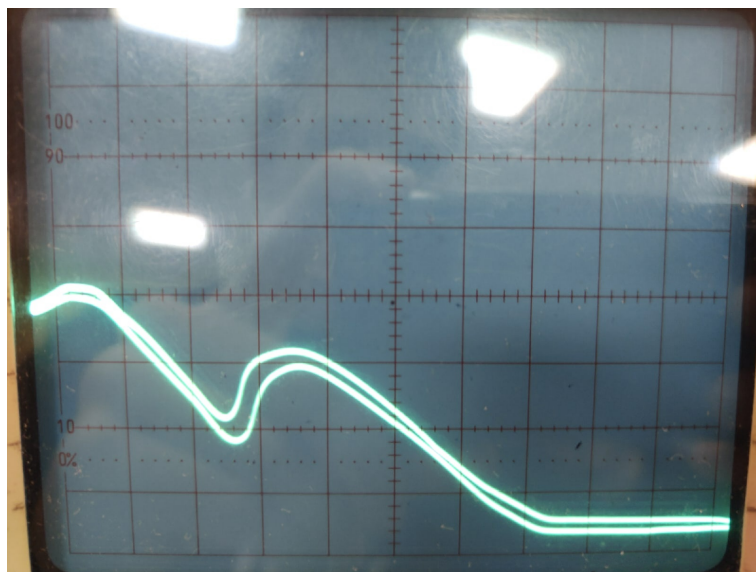
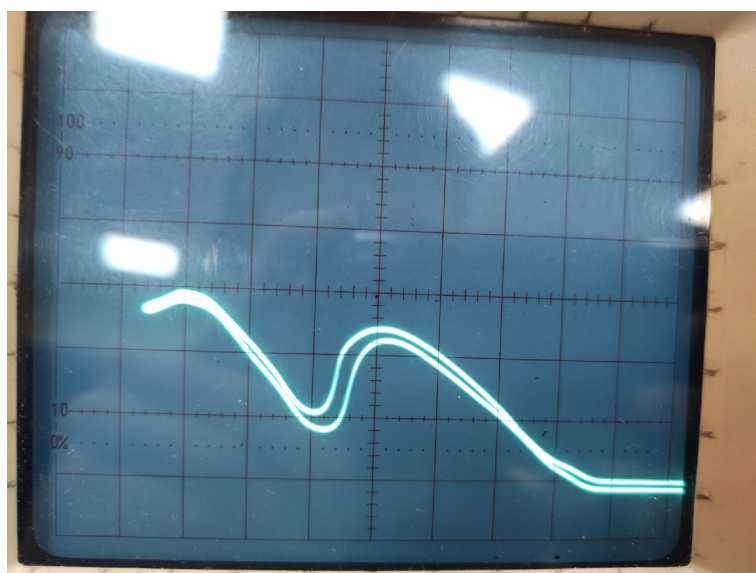


Рис. 3. осциллограмма при 4В



**Рис. 4.** осциллограмма при 6В



**Рис. 5.** осциллограмма при 9В

По графикам были определены расстояния между максимумами: По-

$U_{\text{коллектор}} [\text{В}]$	$\Delta U_{\text{максимумы}} [\text{В}]$
4	16
6	16
9	15

грешность определения расстояний между максимумами равна:

$$\Delta = 1[\text{В}] \quad \delta = 0.07 \quad (1)$$

Таким образом энергия первого уровня атома гелия равна:

$$E_H = (16 \pm 1)[\text{эВ}] \quad (2)$$

## 2.2 Статический метод

В данном опыте были измерены значения тока коллектора и разности потенциалов в камере. По этим данным были построены графики и по ним получены расстояния между экстремумами.

Получившиеся графики:

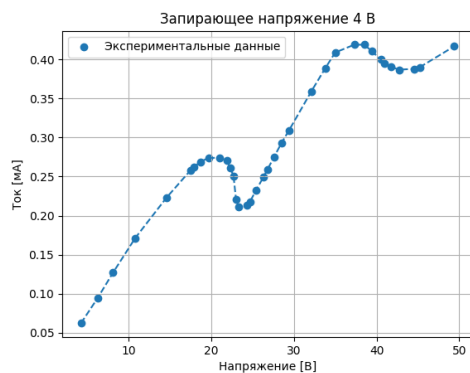


Рис. 6. Зависимость при 4В

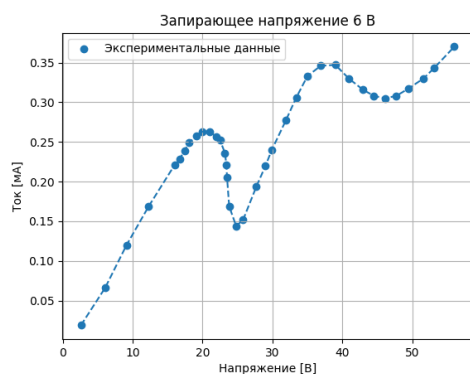


Рис. 7. Зависимость при 6В

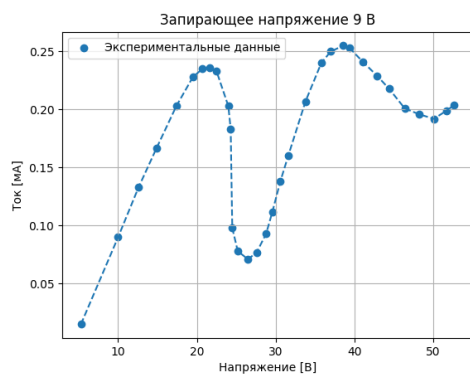


Рис. 8. Зависимость при 9В

Расстояние между максимумами и минимумами:

$U_{\text{коллектор}}$ [В]	$\Delta U_{\text{максимумы}}$ [В]	$\Delta U_{\text{минимумы}}$ [В]
4	17	23.6
6	18.5	21.3
9	17.4	19.4

По полученным данным можно оценить энергию возбуждения первого уровня атома гелия:

$$E \approx (17.5 \pm 1)[\text{эВ}] \quad (3)$$

## 2.3 Вывод

Оба представленных метода являются довольно грубыми, но статистический более точный за счет точных измерительных приборов. Тем не менее оба метода основаны на поиске максимума, который сложно точно определить из-за его плавности.

Теоретическое значение энергии возбуждения первого уровня атома гелия равно:

$$E_1 = 20.96[\text{эВ}] \quad (4)$$

Это значение не лежит в доверительном интервале полученных значений, но значения в первом и втором методах сходятся с точностью до погрешности. Таким образом можно предположить, что заниженные значения получились в результате неправильной постановке эксперимента.

Экспериментальные данные:

4В		6В		9В	
$U[B]$	$I [mA]$	$U[B]$	$I [mA]$	$U[B]$	$I [mA]$
4.25	0.062	2.60	0.019	5.28	0.015
6.25	0.094	6.05	0.066	10.0	0.090
8.14	0.127	9.12	0.120	12.6	0.133
10.8	0.171	12.3	0.169	14.9	0.167
14.6	0.223	16.0	0.221	17.4	0.203
17.5	0.258	16.7	0.228	19.5	0.228
17.9	0.262	17.4	0.239	20.7	0.235
18.7	0.269	18.1	0.249	21.6	0.236
19.7	0.274	19.1	0.258	22.5	0.233
21.0	0.274	20.0	0.263	24.0	0.203
21.9	0.271	21.0	0.263	24.3	0.183
22.3	0.261	21.9	0.257	24.5	0.098
22.7	0.251	22.5	0.252	25.2	0.078
23.0	0.221	23.2	0.236	26.5	0.071
23.3	0.211	23.4	0.221	27.6	0.077
24.3	0.213	23.5	0.205	28.8	0.093
24.7	0.218	23.8	0.169	29.6	0.112
25.4	0.232	24.8	0.144	30.6	0.138
26.3	0.249	25.8	0.152	31.6	0.160
26.8	0.259	27.7	0.194	33.8	0.207
27.6	0.275	29.0	0.220	35.8	0.240
28.5	0.293	29.9	0.240	37.0	0.250
29.4	0.309	31.9	0.277	38.6	0.255
32.1	0.359	33.4	0.306	39.4	0.253
33.8	0.389	35.0	0.333	41.1	0.241
35.0	0.409	36.9	0.346	42.9	0.229
37.3	0.419	39.0	0.347	44.4	0.218
38.5	0.419	40.9	0.330	46.4	0.201
39.4	0.411	42.9	0.316	48.2	0.196
40.5	0.400	44.5	0.308	50.1	0.192
40.9	0.395	46.1	0.305	51.7	0.199
41.7	0.391	47.7	0.308	52.7	0.204
42.7	0.387	49.4	0.317		
44.5	0.388	51.6	0.330		
45.2	0.390	53.1	0.343		
49.4	0.417	56.0	0.370		

Теоретическое значение энергии первого уровня гелия: 20.96 эВ