

ННГУ им. Н. И. Лобачевского, ВШОПФ
Лабораторная работа "Определение удельного заряда электрона
методом магнитного запираания диода"

Цель работы:

- Определить удельный заряд электрона

Приборы и оборудование:

- Установка, использующая вместо лампы вакуумный диод 1Ц7С с радиусом анода 7 мм, дающая возможность устанавливать значения анодного напряжения в 80, 100 и 120 В, устанавливать ток катушки в диапазоне от 0 до 2 А с шагом 0,06 А, длиной катушки 0,16 м, шириной катушки 0,05 м, количеством витков 1000 шт.

Теоретическая часть

Метод измерения удельного заряда электрона, используемый в данной лабораторной работе, основан на отклонении движущегося электрона магнитным полем. В данной работе используется вакуумный диод с коаксиальным цилиндрическим катодом и анодом. Летящие от катода к аноду электроны отклоняются магнитным полем, создаваемым катушкой с током, внутри которой соосно располагается диод, направленным вдоль оси лампы.

На электрон с зарядом $-e$, движущийся со скоростью \vec{V} , действует сила Лоренца:

$$(1) \vec{F} = -e \cdot (\vec{E} + [\vec{V} \times \vec{B}])$$

где \vec{E} - напряжённость электрического поля, \vec{B} - индукция магнитного поля.

В отсутствие магнитного поля вылетающие из катода электроны двигались бы по радиусу к аноду, разгоняясь радиальным электрическим полем, величина которого определяется анодным напряжением U_a . Направленное вдоль оси лампы магнитное поле приводит к искривлению траектории электронов. При критическом значении индукции магнитного поля $B_{кр}$ электроны перестат достигать анода, пролетая по касательной вблизи него. Измеряя $B_{кр}$ можно определить, при известном U_a , удельный заряд электрона.

По теореме об изменении кинетической энергии:

$$(2) \frac{m V_a^2}{2} = e U_a$$

где m - масса электрона, а V_a - его скорость у анода. В силу потенциальности, работа не зависит от формы траектории.

По теореме об изменении момента импульса для электрона (уравнение моментов):

$$(3) \frac{d\vec{N}}{dt} = [\vec{r}, \vec{F}],$$

но т.к. $[\vec{r}, \vec{E}] = 0$, то уравнение (3) приводится к виду:

$$(4) \frac{d\vec{N}}{dt} = -e[\vec{r}, [\vec{V}, \vec{B}]],$$

это уравнение можно преобразовать к виду:

$$(5) \frac{dN}{dt} = eB(\vec{r}, \vec{B}),$$

заменим (\vec{r}, \vec{V}) на rV_r и домножив обе част на dt , приводим (5) к виду $dN = eBrdr$. Для критической траектории электрона проинтегрируем это уравнение от начальной точки на аноде до конечной на катоде, учитывая, что вблизи анода скорость равна 0, а вблизи катода перпендикулярна радиус-вектору, и применив формулу (2), получим модуль удельного заряда электрона:

$$(6) \frac{e}{m} = \frac{8U_a r_a^2}{B_{кр}^2 (r_a^2 - r_{кр}^2)^2}.$$

Но у лампы, используемой в данной работе $r_{кр} \ll r_a$, поэтому вместо (6) можно использовать приближённую формулу:

$$(7) \frac{e}{m} \approx \frac{8U_a}{B_{кр}^2 r_a^2}.$$

Для определения удельного заряда электрона по формуле (7) в работе экспериментально находится величина критического поля при нескольких значениях напряжения на аноде. При достижении магнитным полем критического значения анодный ток в лампе резко падает до нуля. В реальной лампе спад тока будет менее резким, из-за взаимного влияния электронов друг на друга, ненулевой начальной скорости электронов и возможной некоаксиальности катода и анода.

Считая, что лампа находится в центре катушки и размеры лампы малы по сравнению с размерами катушки, индукция магнитного поля будет определяться по формуле:

$$(8) B = \frac{\mu_0 I_k N}{\sqrt{D^2 + L^2}},$$

где N – число витков в катушке, D и L – её диаметр и длина,

а $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} [\frac{\text{Гн}}{\text{м}}]$ – магнитная постоянная.

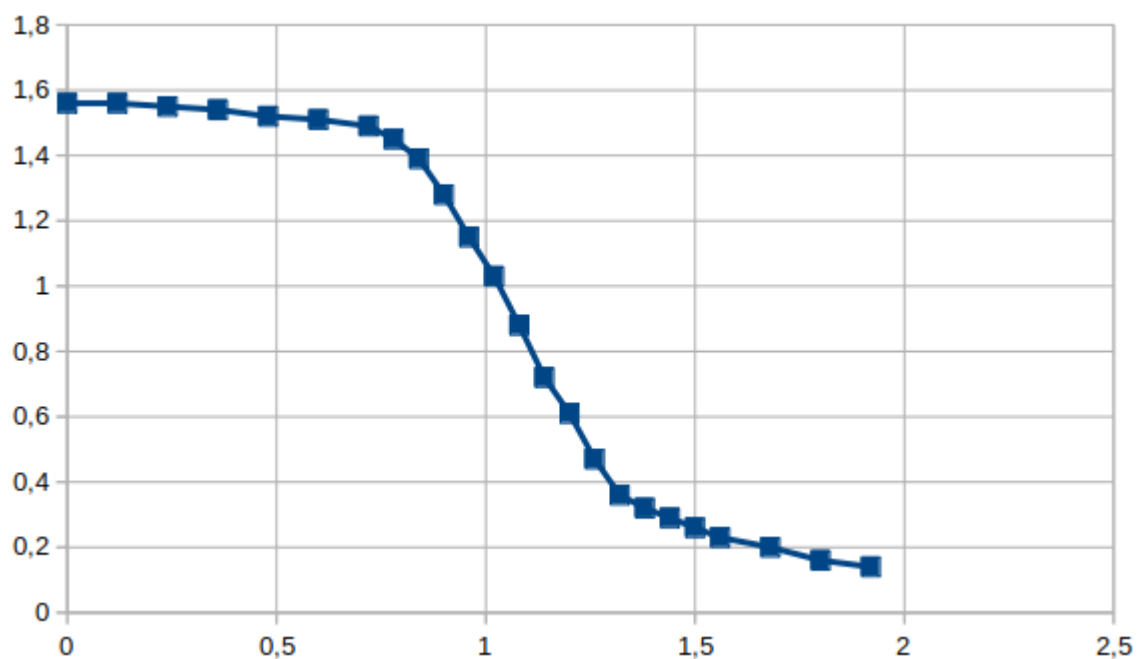
Практическая часть

Снятые данные:

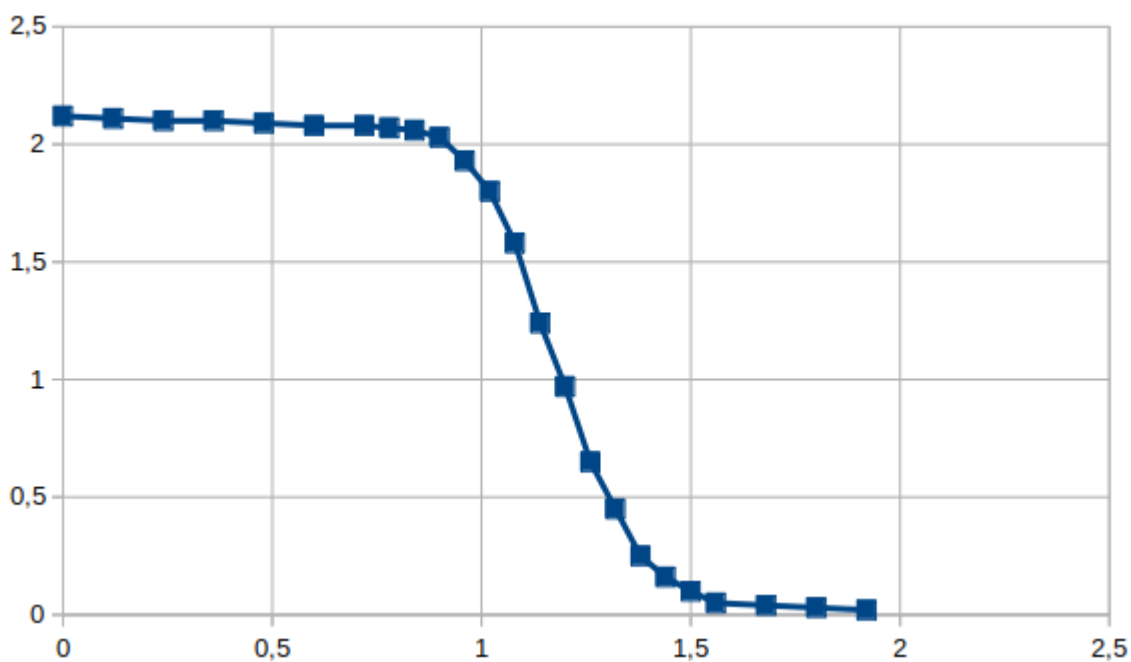
I _к , А	I _а , мА		
	U _а = 80 В	U _а = 100 В	U _а = 120 В
0	1,56	2,12	2,56
0,12	1,56	2,11	2,55
0,24	1,55	2,10	2,55
0,36	1,54	2,10	2,55
0,48	1,52	2,09	2,55

0,6	1,51	2,08	2,54
0,72	1,49	2,08	2,54
0,78	1,45	2,07	2,54
0,84	1,39	2,06	2,53
0,9	1,28	2,03	2,53
0,96	1,15	1,93	2,53
1,02	1,03	1,80	2,52
1,08	0,88	1,58	2,50
1,14	0,72	1,24	2,42
1,2	0,61	0,97	2,32
1,26	0,47	0,65	2,20
1,32	0,36	0,45	2,07
1,38	0,32	0,25	1,86
1,44	0,29	0,16	1,65
1,5	0,26	0,10	1,42
1,56	0,23	0,05	1,25
1,68	0,20	0,04	1,12
1,8	0,16	0,03	1,05
1,92	0,14	0,02	1,00

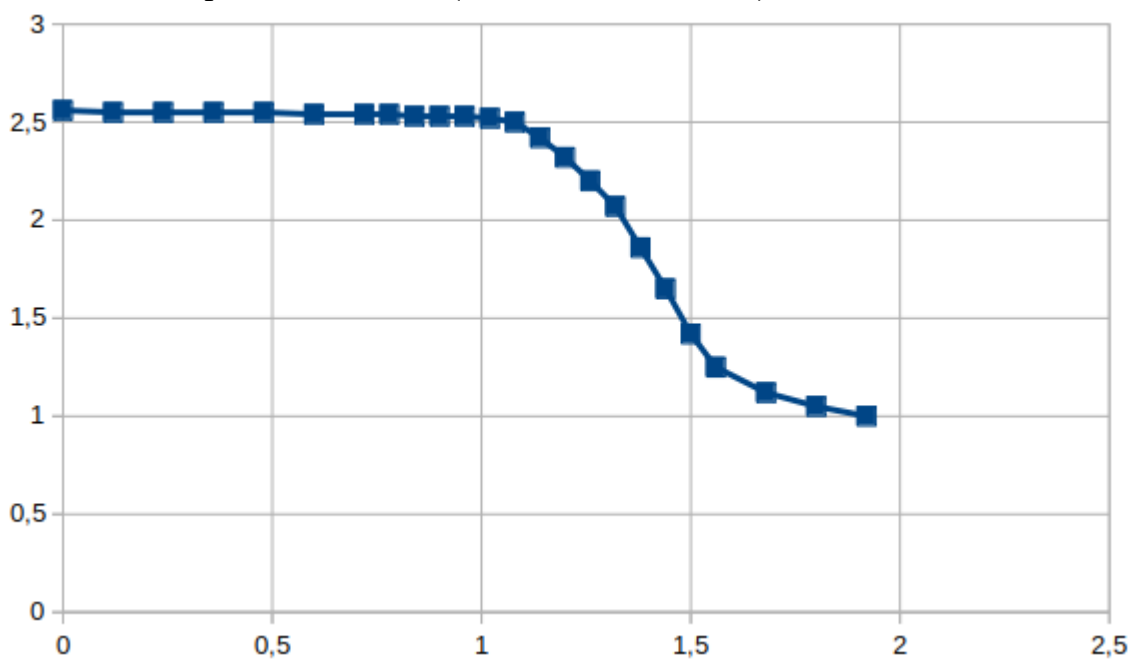
1. Снял зависимость анодного тока в зависимости от катодного с значением анодного напряжения 80 В (2 столбец таблицы).



2. Снял зависимость анодного тока в зависимости от катодного с значением анодного напряжения 100 В (3 столбец таблицы).



3. Снял зависимость анодного тока в зависимости от катодного с значением анодного напряжения 120 В (4 столбец таблицы).



4. Определил значение критического тока, при котором график имеет наибольшую крутизну:

$$I_{кр} = 1,15 \text{ A}; 1,28 \text{ A}; 1,39 \text{ A}$$

$$\Delta I_{абс.} = 0,02 \text{ A}$$

$$\Delta I_{отн.} = 0,0174; 0,0156; 0,0143$$

Вычислил соответствующее критическое значение поля (по формуле (8)):

$$B_{кр} = 0,00862 \text{ Тл}; 0,00960 \text{ Тл}; 0,01042 \text{ Тл}$$

$$\Delta B_{абс.} = 0,00015 \text{ Тл}$$

$$\Delta B_{отн.} = 0,0174; 0,0156; 0,0144$$

Определил удельный заряд электрона (по формуле (7)) (табличное значение $1,76 \cdot 10^{11} [\frac{Kл}{к2}]$):

$$\frac{e}{m} = 1,75 \cdot 10^{11} [\frac{Kл}{к2}]; 1,77 \cdot 10^{11} [\frac{Kл}{к2}]; 1,80 \cdot 10^{11} [\frac{Kл}{к2}]$$

$$\Delta (\frac{e}{m})_{абс.} = 0,12 \cdot 10^{11} [\frac{Kл}{к2}]; 0,11 \cdot 10^{11} [\frac{Kл}{к2}]; 0,10 \cdot 10^{11} [\frac{Kл}{к2}]$$

$$\Delta (\frac{e}{m})_{отн.} = 0,0685; 0,0621; 0,0555$$

Выводы

В ходе лабораторной работы определён удельный заряд электрона методом магнитного загибания диода, который оказался равен:

$$\frac{e}{m} = 1,75 \cdot 10^{11} \pm 0,12 \cdot 10^{11} [\frac{Kл}{к2}]; 1,77 \cdot 10^{11} \pm 0,11 \cdot 10^{11} [\frac{Kл}{к2}]; 1,80 \cdot 10^{11} \pm 0,10 \cdot 10^{11} [\frac{Kл}{к2}]$$