



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

## Практикум

Лабораторная работа № Э17.

«Определение удельного заряда электрона»  
по дисциплине

«Физика»

Авторы

Егорова С. И.,

Кудря А. П.,

Жданова Т. П.,

Лемешко Г. Ф.,

Холодова О. М.

Ростов-на-Дону, 2019

## Аннотация

Методические указания содержат краткую теорию воздействия магнитного поля на заряды, движущиеся в этом поле. Представлен один из методов определения удельного заряда.

Предназначены для студентов инженерных специальностей всех форм обучения, в программу учебного курса которых входит выполнение лабораторных работ по физике (раздел «Электромагнетизм»)

## Авторы

д.т.н., профессор	кафедры	«Физика»
Егорова С.И.,		
ст. преподаватель	кафедры	«Физика»
Кудря А.П.,		
к.ф.-м.н., доцент	кафедры	«Физика»
Жданова Т.П.,		
к.ф.-м.н., профессор	кафедры	«Физика»
Лемешко Г.Ф.,		
доцент	кафедры	«Физика»
Холодова О.М.		



## Оглавление

<b>Краткая теория .....</b>	<b>4</b>
<b>Описание экспериментальной установки .....</b>	<b>7</b>
<b>Выполнение работы .....</b>	<b>9</b>
<b>Контрольные вопросы .....</b>	<b>12</b>
<b>Рекомендуемая литература .....</b>	<b>13</b>
<b>Приложение .....</b>	<b>13</b>

**Цель работы:**

1. Познакомиться с одним из методов определения удельного заряда электрона.
2. Измерить удельный заряд электрона.
3. Вычислить гиромагнитное отношение.

**Оборудование:**

Электронно-лучевая трубка ЭЛТ, катушки Гельмгольца КГ, универсальный источник питания 0-600 В УБП1, универсальный источник питания 0-18 В УБП2, мультиметры М1, М2, соединительные провода.

### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

На заряд  $q$ , движущийся в магнитном поле индукцией  $\vec{B}$  со скоростью  $\vec{v}$ , действует сила Лоренца:  $\vec{F} = q[\vec{v} \vec{B}]$   
или в скалярном виде  $F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$ , (1)

где  $\alpha$  - угол между векторами  $\vec{B}$  и  $\vec{v}$ . Направление силы Лоренца определяется по правилу левой руки. Очевидно, что сила Лоренца действует только на движущиеся заряды.

Проанализируем выражение (1).

1) Если заряд движется вдоль магнитных силовых линий, т.е.  $\alpha = 0^\circ$  ( $\alpha = 180^\circ$ ),  $\vec{F} = 0$ .

2) Если скорость  $\vec{v}$  заряда перпендикулярна вектору магнитной индукции  $\vec{B}$ , то он будет двигаться по окружности радиуса  $r$  с нормальным ускорением  $a_n = \frac{v^2}{r}$ . Применяв второй закон Ньютона, получим

$$q \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{r}. \quad (2)$$

Из выражения (2) можно получить радиус окружности, по которой движется заряд  $r = \frac{m \cdot v}{qB}$  и период вращения

$T = \frac{2\pi m}{qB}$ , который не зависит от скорости частицы.

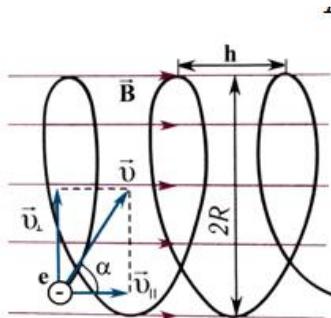


Рис.1

3) Если скорость  $\vec{v}$  заряда направлена под углом  $\alpha$  к вектору  $\vec{B}$ , то движение можно представить как суперпозицию: а) равномерного прямолинейного движения вдоль поля со скоростью  $v_{\parallel} = v \cos \alpha$ , б) равномерного движения по окружности со скоростью

$v_{\perp} = v \sin \alpha$  в плоскости, перпендикулярной полю. В результате возникает движение по спирали,

радиус которой  $r = \frac{m \cdot v_{\perp}}{qB} = \frac{m \cdot v \sin \alpha}{qB}$ , шаг спирали

$$h = v_{\parallel} T = v T \cos \alpha.$$

В данной работе удельный заряд электронов  $\frac{e}{m}$  ( $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг – масса покоя электрона;  $e = |1,6 \cdot 10^{-19}|$  Кл – заряд электрона) определяется по радиусу траектории электронов, движущихся в однородном магнитном поле (рис.2).

В результате прохождения электроном разности потенциалов  $U$  он приобретает скорость  $\vec{v}$ , величину которой можно определить из закона сохранения энергии:

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = eU \quad (3)$$

Совместное решение уравнений (2) и (3) позволяет определить удельный заряд электрона:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{r^2 B^2}. \quad (4)$$

Движущийся по окружности электрон можно рассматривать как круговой ток  $i$ , орбитальный магнитный момент которого равен:

$$p_m = i S = \frac{e}{T} \pi \cdot r^2 \quad (5)$$

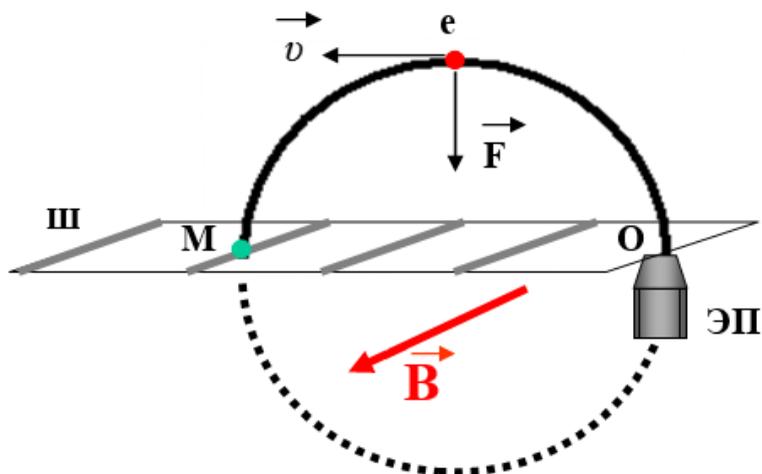


Рис.2

Движущийся по круговой траектории электрон обладает орбитальным механическим моментом (моментом импульса)

$$L = m \cdot v \cdot r, \quad (6)$$

где  $v$  – скорость орбитального движения электрона,  $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг – масса покоя электрона.

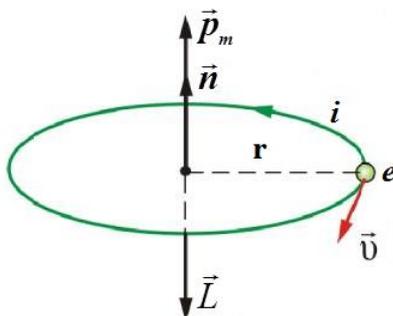


Рис.3

Отношение орбитального магнитного момента электрона (5) к его орбитальному моменту импульса (6) называется гиромагнитным (магнитомеханическим) отношением:

$$g = \frac{p_m}{L}. \quad (7)$$

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

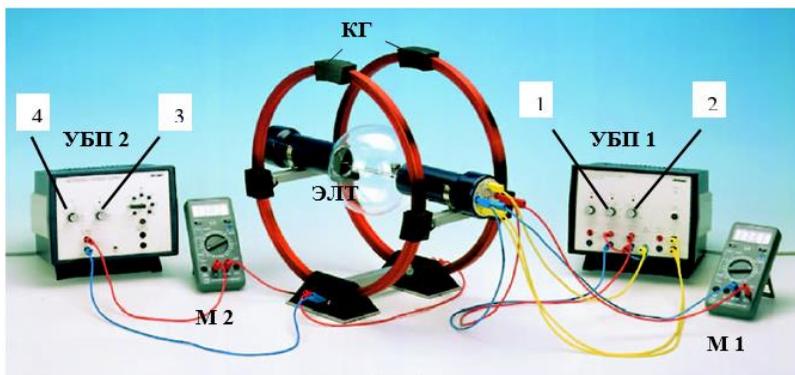


Рис.4

В комплект измерительной установки (рис.4) входят: электронно-лучевая трубка ЭЛТ, установленная в центре пары катушек Гельмгольца КГ; универсальный источник питания электронно-лучевой трубки 0-600 В УБП 1; универсальный источник питания катушек Гельмгольца 0-18 В УБП 2; мультиметры М1, М2; соединительные провода.

Однородное магнитное поле в центре, где располагается электронно-лучевая трубка, создается двумя последовательно соединенными одинаковыми катушками Гельмгольца с током. Катушки расположены в параллельных плоскостях на расстоянии, равном их радиусу  $R$ . Магнитная индукция внутри такой системы определяется по формуле

$$B = c \cdot I \quad (8)$$

где  $c = \frac{k \cdot \mu_0 \cdot N}{R} = 6.9 \cdot 10^{-4} \text{ Тл/А}$  - коэффициент пропорциональности, зависящий от взаимного расположения катушек ( $k = 0.715$ ), числа витков в катушке  $N$ , радиуса катушек  $R$  ( $N = 154$ ,  $R = 20 \text{ см}$ ,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ );  $I$  – сила тока в катушках Гельмгольца.

В электронно-лучевой трубке находится инертный газ – аргон, под давлением 0,1 Па. Взаимодействие движущихся электронов с аргоном вызывает его свечение фиолетовым цветом, что позволяет видеть траекторию электронного луча.

Внутри трубки располагается проволочная шкала в виде лестницы с перекладинами Ш, которая покрыта флуоресцентным веществом. При попадании на нее электронов высвечивается зеленая точка. По этой шкале можно определить диаметр траектории электронов (на рис. 2 – ОМ). В данной работе предусмотрено четыре значения диаметра ( $d = 4, 6, 8, 10 \text{ см}$ ), поэтому мы *изменением силы тока и напряжения подстраиваем траектории под эти точно известные диаметры.*

Таким образом, зная радиус  $r$  траектории электронов в известном магнитном поле  $\vec{B}$ , а также ускоряющую разность потенциалов  $U$ , можно вычислить удельный заряд электрона.

## ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

### Задание 1. *Определение удельного заряда электрона*

1. С помощью универсального блока питания УБП 1 (рис.4) установите следующие значения напряжений на ЭЛТ:

- а) регулятором напряжения 1 установите 25 В;
- б) регулятором напряжения 2 установите напряжение, заданное преподавателем (от 100 до 240 В).

Величина напряжения контролируется мультиметром

M1.

2. Включите универсальный блок питания УБП 2. Регулятором тока в катушках 3 установите 5 А, регулятором напряжения 4 добейтесь попадания пучка на первую перекладину шкалы Ш (рис.2). Ориентировочные значения тока, соответствующего установленному анодному напряжению и радиусу траектории электронного луча, приведены в приложении. Величина тока в катушках Гельмгольца контролируется мультиметром M2.

**Внимание.** *Максимальное значение допустимого непрерывного тока в катушках Гельмгольца не должно превышать 5 А.*

3. Занесите показания вольтметра и амперметра в таблицу 1.

Таблица 1

$(e/m)_{TEOP.} =$								
№ п/п	$d$	$r$	$U$	$I$	$B$	$\frac{e}{m}$	$\Delta\left(\frac{e}{m}\right)$	$\delta\left(\frac{e}{m}\right)$
	$10^{-2} м$	$10^{-2} м$	$В$	$А$	$Тл$	$Кл/кг$	$Кл/кг$	%
1	4							X
2	6							
3	8							
4	10							
	Средние значения							

4. Добейтесь попадания пучка на вторую, третью, четвёртую переключины шкалы Ш путем изменения напряжения на катушках Гельмгольца регулятором 4 (рис.4). Показания вольтметра и амперметра занесите в таблицу 1.
5. Для каждого измерения вычислите магнитную индукцию  $B$  внутри кольцевой системы по формуле (8).
6. По формуле (4) вычислите удельный заряд электрона  $(e/m)$  для каждого измерения. Результаты вычислений занесите в таблицу 1.
7. Вычислите среднее значение удельного заряда электрона  $\langle e/m \rangle$ .
8. Вычислите теоретическое значение удельного заряда электрона  $(e/m)_{TEOP.}$ , где  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$  – масса покоя электрона,  $e = |1,6 \cdot 10^{-19}| \text{ Кл}$  – заряд электрона.
9. Найдите абсолютную  $\Delta(e/m)$  и относительную  $\delta(e/m)$  погрешности измерений по формулам:

$$\Delta(e/m)_i = |\langle e/m \rangle - (e/m)_i|,$$

$$\delta(e/m) = \frac{\langle \Delta(e/m) \rangle}{\langle e/m \rangle} 100\%.$$

10. Сравните табличное значение удельного заряда  $(e/m)_{TEOP.}$  со средним экспериментальным  $\langle e/m \rangle$  по

формуле 
$$\delta = \frac{|(e/m)_{TEOP.} - \langle e/m \rangle|}{(e/m)_{TEOP.}} 100\% \quad \text{и}$$

сделайте вывод.

### **Задание 2.** Определение магнитомеханического отношения.

1. Вычислите скорость электронов  $v$  по формуле

$$v = \left\langle \frac{e}{m} \right\rangle B \cdot r \quad (\text{которая получена из формулы (2)})$$

для каждого значения радиуса  $r$ .

- Вычислите период вращения электронов по формуле  $T = \frac{2\pi r}{v}$ , где  $v$  - скорость электронов, для каждого значения радиуса  $r$ .
- Вычислите орбитальный магнитный момент  $p_m$  по формуле (5) для каждого значения радиуса  $r$ .
- Вычислите орбитальный механический момент  $L$  по формуле (6) для каждого значения радиуса  $r$ .
- Вычислите гиромагнитное отношение  $g$  по формуле (7) для каждого значения радиуса  $r$ .
- Найдите среднее значение  $\langle g \rangle$ .
- Рассчитайте теоретическое значение гиромагнитного отношения по формуле  $g_{TEOP.} = \frac{e}{2m}$ , где  $e$  и  $m$  - заряд и масса электрона соответственно.
- Найдите абсолютную  $\Delta g$  и относительную  $\delta g$  погрешности измерений по формулам:

$$\Delta(g)_i = \left| \langle g \rangle - (g)_i \right| \quad ,$$

$$\delta(g) = \frac{\langle \Delta g \rangle}{\langle g \rangle} 100\%.$$

- Сравните табличное значение гиромагнитного отношения  $(g)_{TEOP.}$  со средним экспериментальным

$$\langle g \rangle \text{ по формуле } \delta = \frac{|(g)_{TEOP.} - \langle g \rangle|}{(g)_{TEOP.}} 100\% \quad \text{и}$$

сделайте вывод.

Таблица 2

$g_{ГЕОР.} = \frac{e}{2m} =$							
№ п/п	$v$	$T$	$p_m$	$L$	$g$	$\Delta g$	$\delta g$
	м/с	с	А·м <sup>2</sup>	кг м <sup>2</sup> /с	Кл/кг	Кл/кг	%
1							X
2							
3							
4							
Средние значения							

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Записать выражение для силы Лоренца в векторном и скалярном виде.

1. Как определяется направление силы Лоренца?
2. Как движется заряд, летящий вдоль магнитных силовых линий?
3. По какой траектории движется заряд, летящий перпендикулярно линиям магнитного поля? Записать 2-ой закон Ньютона для этого случая. Найти радиус кривизны траектории и период вращения заряда.
4. Приведите краткую теорию движения заряженных частиц по винтовой траектории в однородном магнитном поле.
5. Что называется магнитным моментом контура? Написать формулу. Как определяется его направление?
6. Что называется механическим моментом? Написать формулу. Как определяется его направление?
7. Что такое гиромангнитное (магнитомеханическое) отношение? Написать формулу.
8. На рисунке указать ориентацию векторов  $\vec{B}$ ,  $\vec{p}_m$  и  $\vec{L}$ .
9. В чем заключается смысл данного метода по определению удельного заряда электрона?

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т. И. Курс физики.- М.: Высш. шк., 2016
2. Грабовский Р.И. Курс физики - СПб.: Лань, 2012
3. Инструкция по эксплуатации оборудования фирмы "PHUWE".

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Ориентировочные значения анодного напряжения на ЭЛТ и величины тока в катушках Гельмгольца, соответствующих четырем радиусам траектории электронного луча.

U, В	100	120	140	160	180	200	220	240
r=2см I, А	2,5	2,6	2,8	-	-	-	-	-
r=3см I, А	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5
r=4см I, А	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
r=5см I, А	0,91	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5