

Подготовить конспект теоретического материала согласно образцу отчета по лабораторным работам по методическим указаниям и ответить письменно на контрольные вопросы по всем лабораторным работам согласно Вашему варианту индивидуальной траектории.

В таблице «Данные экспериментов по лабораторному практикуму семестр 2» взять результаты измерений, обработать данные и записать в отчет вывод.

Прислать электронный скан конспекта лабораторной работы и ответов на вопросы на электронную почту rcamel@ya.ru тема «Дистанционное обучение ВГЛТУ» до конца карантина.

Образец оформления лабораторной работы

Лабораторная работа № 5.3 (27)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТРУБКИ

Цель работы: изучение закономерностей движения заряженных частиц в электрическом и магнитном полях; определение скорости и удельного заряда электрона.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МИНИМУМ

Удельный заряд частицы

Удельный заряд частицы $\frac{q}{m}$ – это отношение заряда q частицы к ее массе m . Для электрона $\frac{q}{m} = \frac{e}{m_e} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$.

Сила Лоренца – сила, действующая на заряд q , движущийся со скоростью \vec{v} в электромагнитном поле:

$$\vec{F}_L = q\vec{E} + q[\vec{v}\vec{B}],$$

где \vec{E} – напряженность электрического поля; \vec{B} – индукция магнитного поля.

Силу Лоренца можно представить как сумму электрической и магнитной составляющих: $\vec{F}_L = \vec{F}_e + \vec{F}_m$.

Электрическая составляющая силы Лоренца: $\vec{F}_e = q\vec{E}$

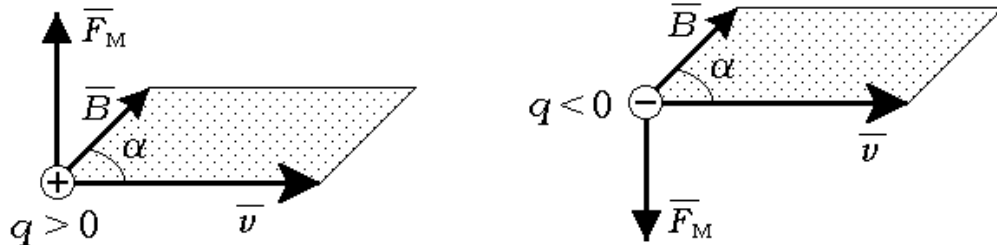
не зависит от скорости движения заряда. Направление электрической составляющей определяется знаком заряда: при $q > 0$ векторы \vec{E} и \vec{F}_e направлены одинаково; при $q < 0$ – противоположно.

Магнитная составляющая силы Лоренца: $\vec{F}_m = q[\vec{v}\vec{B}]$.

зависит от скорости движения заряда. Модуль магнитной составляющей определяется по формуле:

$$F_m = qvB \sin \alpha,$$

где α – угол между векторами \vec{v} и \vec{B} .



Направление магнитной составляющей силы Лоренца можно определить с помощью правила левой руки.

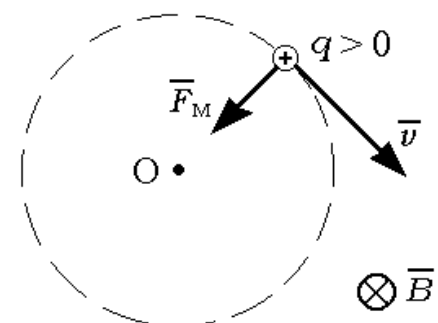
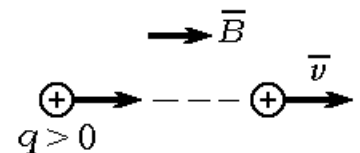
Правило левой руки: расположите ладонь левой руки так, чтобы в нее входил вектор \vec{B} , а четыре пальца направьте вдоль вектора \vec{v} , тогда отогнутый на 90° большой палец покажет направление силы \vec{F}_m , действующей на положительный заряд. В случае отрицательного заряда направление вектора \vec{F}_m противоположно. В любом случае вектор \vec{F}_m перпендикулярен плоскости, в которой лежат векторы \vec{v} и \vec{B} .

Движение заряженных частиц в магнитном поле

Если частица движется вдоль линии магнитной индукции ($\alpha = 0$ или $\alpha = \pi$), то $\sin \alpha = 0$. Тогда $F_m = 0$. В этом случае магнитное поле не влияет на движение заряженной частицы.

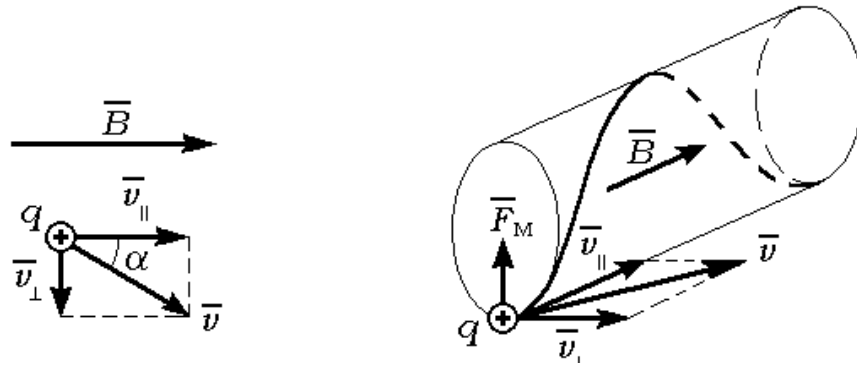
Если заряженная частица движется перпендикулярно линиям магнитной индукции ($\alpha = \pi/2$), то $\sin \alpha = 1$. Тогда $F_m = qvB$. Так как вектор этой силы всегда перпендикулярен вектору скорости \vec{v} частицы, то сила \vec{F}_m создает только нормальное (центростремительное) ускорение $a_n = \frac{v^2}{r}$, при

этом скорость заряженной частицы изменяется только по направлению, не изменяясь по модулю. Частица в этом случае равномерно движется по дуге окружности, плоскость которой перпендикулярна линиям индукции.



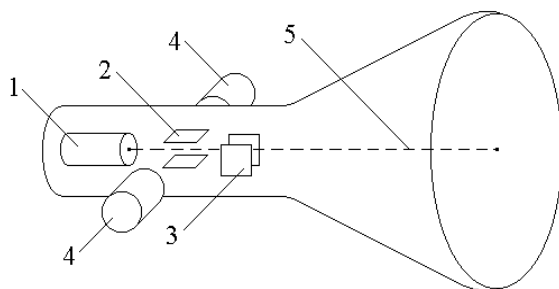
Вектор \vec{B} перпендикулярен плоскости чертежа и направлен за чертеж

Если вектор скорости \vec{v} заряженной частицы составляет с вектором \vec{B} угол α , то частица участвует одновременно в двух движениях: поступательном с постоянной скоростью \vec{v}_{\parallel} и равномерном вращении по окружности со скоростью v_{\perp} . В результате траектория заряженной частицы имеет форму

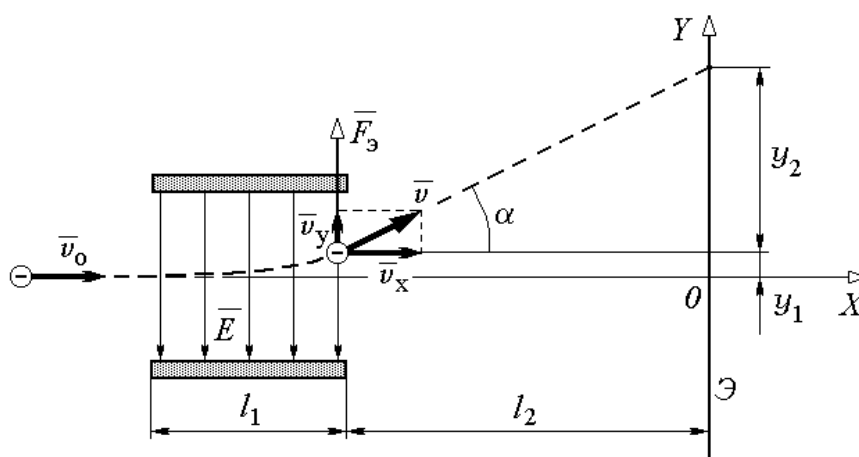


винтовой линии.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА



В работе изучается движение электронов в скрещенных однородных электрическом и магнитном полях. Источником электронов является электронная пушка 1 электроннолучевой трубки осциллографа. Электрическое поле создается между парой вертикально отклоняющих пластин 2 электроннолучевой трубки при подаче на них напряжения U . (Горизонтально отклоняющие пластины 3 в работе не используются.) Напряженность \vec{E}



электрического поля направлена вертикально.

В отсутствии электрического и магнитного полей электроны движутся вдоль оси трубки с начальной скоростью \vec{v}_0 , при этом

свещающееся пятно находится в центре экрана. При подаче напряжения U на

пластины 2 между ними создается электрическое поле, напряженность которого \vec{E} перпендикулярно вектору начальной скорости электронов. В результате пятно смещается. Величину y этого смещения можно измерить, воспользовавшись шкалой на экране осциллографа.

Магнитное поле создается двумя катушками 4, симметрично расположенными вне электроннолучевой трубки, при пропускании по ним электрического тока. Вектор магнитной индукции \vec{B} направлен горизонтально и перпендикулярно оси трубки.

В электрическом поле на электрон действует электрическая составляющая силы Лоренца:

$$\vec{F}_Э = e\vec{E},$$

где e – заряд электрона. Заряд электрона отрицательный ($e < 0$), поэтому сила $\vec{F}_Э$ направлена противоположно полю. Эта сила сообщает электрону ускорение a_y в направлении оси Y , не влияя на величину скорости электрона вдоль оси X : $v_x = v_0$. Подставляя выражение для $\vec{F}_Э$ в основной закон динамики поступательного движения $F_Э = ma_y$ и получаем, что ускорение $a_y = \frac{eE}{m}$, где m – масса электрона. В результате, пролетая область электрического поля за время $t = \frac{l_1}{v_0}$, где l_1 – длина пластин, электрон смещается по оси Y на расстояние:

$$y_1 = \frac{a_y t^2}{2} = \frac{eEl_1^2}{2mv_0^2}.$$

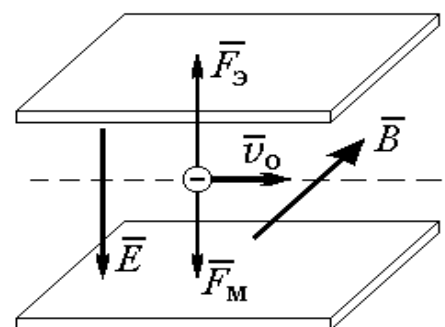
После вылета из поля электрон летит прямолинейно под некоторым углом α к оси X , причем согласно рисунку $tg\alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{a_y t}{v_0} = \frac{eEl_1}{mv_0^2}$.

Окончательно смещение пятна от центра экрана в электрическом поле равно $y = y_1 + y_2$, где

$$y = y_1 + l_2 tg\alpha = \frac{eEl_1}{mv_0^2} \left(\frac{l_1}{2} + l_2 \right).$$

Если по катушкам 4 пропустить электрический ток, то на пути электронов возникнет магнитное поле. Изменяя силу тока I в катушках, можно подобрать такую

величину и направление магнитной индукции \vec{B} , что магнитная



составляющая силы Лоренца \vec{F}_M компенсирует электрическую составляющую $\vec{F}_Э$. В этом случае пятно снова окажется в центре экрана. Это будет при условии равенства нулю силы Лоренца:

$$e\vec{E} + e[\vec{v}_o\vec{B}] = 0 \text{ или } \vec{E} + [\vec{v}_o\vec{B}] = 0.$$

Как видно из рисунка, это условие выполняется, если вектор магнитной индукции \vec{B} перпендикулярен векторам \vec{E} и \vec{v}_o , что реализовано в установке. Из этого условия можно определить скорость электронов:

$$v_o = \frac{E}{B}.$$

Поскольку практически измеряется напряжение U , приложенное к пластинам, и расстояние d между ними, то пренебрегая краевыми эффектами можно считать, что $E = \frac{U}{d}$, тогда

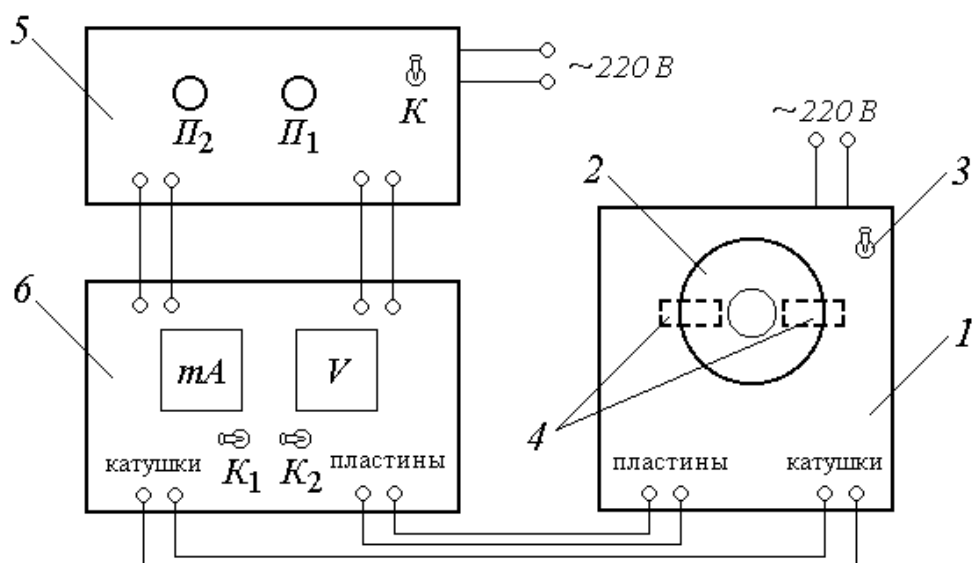
$$v_o = \frac{U}{Bd}.$$

Измеряя смещение y электронного пучка, вызванное электрическим полем E , а затем подбирая такое магнитное поле B , чтобы смещение стало равным нулю, можно определить удельный заряд электрона:

$$\frac{e}{m} = \frac{yU}{B^2 dl_1 \left(\frac{l_1}{2} + l_2 \right)}.$$

Схема установки

Электроннолучевая трубка расположена в корпусе осциллографа 1, на передней панели которого находится экран трубки 2 и две пары клемм. Клеммы ПЛАСТИНЫ соединены с вертикально отклоняющими пластинами трубки. Клеммы КАТУШКИ соединены с катушками 4 электромагнита, создающего магнитное поле. (Расположение катушек видно через прозрачную боковую стенку осциллографа.) Выпрямитель 5 и блок 6 служат для создания, регулировки и измерения постоянного напряжения на управляющих пластинах трубки и постоянного тока через катушки электромагнита. Переключатель K_1 позволяет изменить полярность напряжения на пластинах, а переключатель K_2 — направление тока через катушки электромагнита.



Параметры установки: $d = 7,0$ мм; $l_1 = 25,0$ мм; $l_2 = 250$ мм.

Приборы и принадлежности: осциллограф с электроннолучевой трубкой; выпрямитель; блок коммутации с электроизмерительными приборами.

**Таблица характеристик используемых в работе
электроизмерительных приборов (если нужно)**

Наименование и назначение прибора	Система	Предел измерения	Цена деления	Класс точности	Приборная погрешность
Миллиамперметр (мА)	Магнито-электрическая	100 мА	2 мА/дел.	2.5	2.5 мА
Вольтметр (V)	Электро-магнитная	100 В	2 В/дел.	2.5	2.5 В

Расчетные формулы (если нужны)

$$1) \quad \frac{e}{m} = \frac{yU}{B^2 d l_1 \left(\frac{l_1}{2} + l_2 \right)},$$

где y — смещение луча на экране осциллографа при напряжении U ;

B — индукция магнитного поля;

d — расстояние между пластинами, $d = 7.0$ мм, $\Delta d = 0.05$ мм;

l_1 – длина пластины, $l_1 = 25$ мм , $\Delta l_1 = 0.5$ мм;

l_2 – расстояние от пластины до экрана, $l_2 = 250$ мм , $\Delta l_2 = 0.5$ мм .

2) Относительные частные ошибки величины $\frac{e}{m}$:

$$\varepsilon_y = \frac{\Delta y}{y} \quad ; \quad \varepsilon_U = \frac{\Delta U}{U} \quad ; \quad \varepsilon_B = \frac{2\Delta B}{B} \quad ; \quad \varepsilon_d = \frac{\Delta d}{d} \quad ; \quad \varepsilon_{l_1} = \frac{\Delta l_1(l_1 + l_2)}{l_1\left(\frac{l_1}{2} + l_2\right)} \quad ; \quad \varepsilon_{l_2} = \frac{\Delta l_2}{\frac{l_1}{2} + l_2} \quad .$$

Таблица результатов измерения из таблицы

«Данные экспериментов по лабораторному практикуму семестр 2» или свои,
если работа проделана

Индивидуальные траектории лабораторного практикума по физике для студентов 1-го курса
по направлению подготовки бакалавров 09.03.02 «Информационные системы и технологии»
(2 семестр)

№ Траектории	Номера лабораторных работ							
	Электро измерения	Электр. поле	Магнитное поле		Электромагнетизм		Оптика	Квантовая оптика
1	3.2 (23)	3.3 (21)	4.1 (25)	4.4 (27)	4.9	5.6 (32)	5.9 (35м)	6.3 (43)
2	3.2 (23)	3.3 (21)	4.3 (26)	4.5 (28)	4.9	5.6 (32)	5.13 (38)	6.3 (43)
3	3.2 (23)	3.3 (21)	4.6 (29)	4.4 (27)	4.9	5.6 (32)	5.11 (36)	6.3 (43)
4	3.2 (23)	3.5 (24)	4.1 (25)	4.5 (28)	4.9	5.6 (32)	5.14 (39)	6.3 (43)
5	3.2 (23)	3.3 (21)	4.3 (26)	4.4 (27)	4.9	5.6 (32)	5.11 (36)	6.3 (43)
6	3.2 (23)	3.3 (21)	4.6 (29)	4.5 (28)	4.8	5.6 (32)	5.13 (38)	6.1 (41)
7	3.2 (23)	3.4 (20)	4.1 (25)	4.4 (27)	4.8	5.5 (30)	5.9 (35)	6.2 (42)