

Работа №

ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА

Удельный заряд электрона (отношение заряда электрона e к его массе m_e) определяется в работе из параметров траектории движения электрона в магнитном поле. Если скорость \mathbf{v} электрона, движущегося в однородном магнитном поле с индукцией \mathbf{B} , перпендикулярна направлению поля, траектория его движения представляет собой окружность (рис. 1). На движущийся электрон со стороны магнитного поля действует сила Лоренца

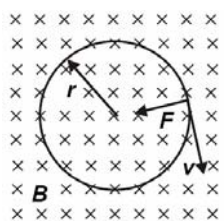


Рис. 1

$$\vec{F} = e[\vec{v}, \vec{B}]. \quad (1)$$

Считая электрон материальной точкой массы m_e , запишем для него уравнение динамики в проекциях на касательную и нормаль к траектории

$$m_e \frac{dv}{dt} = F_\tau \quad (2)$$

$$m_e \frac{v^2}{r} = F_n. \quad (3)$$

Поскольку $F_\tau = 0$, модуль скорости будет постоянен. Сила Лоренца играет роль центростремительной силы, т.е. $F_n = F$. Так как \mathbf{v} перпендикулярно \mathbf{B} , то модуль этой силы $F = |e|vB$. Тогда (3) можно переписать, как

$$\frac{|e|}{m_e} = \frac{v}{r \cdot B}. \quad (4)$$

Скорость электрона определяется разностью потенциалов U , пройдя которую электрон приобретает кинетическую энергию

$$\frac{m_e v^2}{2} = |e| \cdot U. \quad (5)$$

Решая совместно (4) и (5), получим

$$\frac{|e|}{m_e} = \frac{2 \cdot U}{(r \cdot B)^2}. \quad (6)$$

В работе для создания однородного магнитного поля применяются катушки Гельмгольца¹⁾. Согласно закону Био-Савара индукция магнитного поля B , создаваемого проводником, пропорциональна протекающему по нему току I , т.е. $B = kI$, где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от конфигурации проводника. В случае катушек Гельмгольца для коэффициента k можно вывести следующее соотношение

$$k = \mu_0 \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{n}{R}, \quad (7)$$

где n – число витков каждой из катушек, R – радиус катушки. Можно, разумеется, определить k и экспериментально.

Заменяя в (6) B на kI , получим

$$\frac{|e|}{m_e} = \frac{2U}{r^2 \cdot k^2 \cdot I^2}. \quad (8)$$

откуда при известных значениях r , k , I и U находится модуль удельного заряда электрона. Из (8) также следует, что один и тот же радиус траектории электрона ($r = \text{const}$) можно получить, изменяя ускоряющее напряжение пропорционально квадрату тока, протекающего через катушки:

$$U = \frac{|e|}{m_e} \cdot \frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot k^2 \cdot I^2. \quad (9)$$

Приборы и оборудование

Общий вид установка для проведения опытов показан на рис. 2, а электрические соединения – на рис. 3. Сфокусированный пучок электронов из электронной пушки направляется вертикально вверх в стеклянной колбе, наполненной водородом под давлением ~ 1 Па. Катушки Гельмгольца, между которыми установлена колба, создают однородное магнитное поле, отклоняющее электроны таким образом, что

¹⁾ катушки Гельмгольца — две соосно расположенных одинаковых катушки с током, расстояние между центрами которых равно их среднему радиусу. В центре системы имеется зона однородного магнитного поля.

их траектория представляет собой окружность, плоскость которой перпендикулярна оси катушек. При взаимодействии движущихся электронов с атомами водорода возникает слабое голубое свечение, позволяющее наблюдать траекторию электронов визуально.

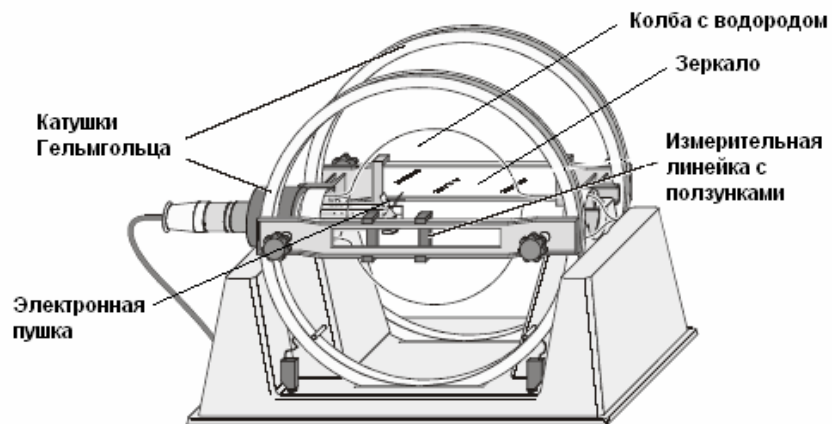


Рис. 2

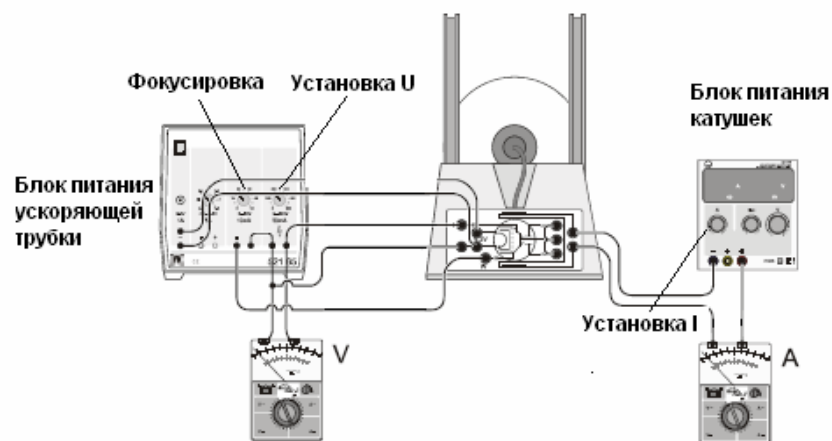


Рис. 3

Для измерения диаметра траектории установка снабжена измерительной линейкой с двумя ползунками. Поскольку измеряемый объект (траектория) находится на значительном удалении от линейки, при проведении измерений возможен параллакс, т.е. кажущееся смещение наблюдаемого объекта относительно линейки при наклонном направлении луча зрения наблюдателя. Чтобы избежать параллакса, с противоположной стороны колбы параллельно измерительной линейке установлено зеркало. При проведении измерений наблюдатель должен выбрать точку наблюдения таким образом, чтобы край ползунка совпал с его изображением в зеркале. Тогда, так как по закону отражения угол падения равен углу отражения, луч зрения будет перпендикулярен плоскости измерительной линейки (угол падения равен 0).

Используемые в работе катушки Гельмгольца имеют следующие параметры: число витков каждой катушки $n=130$, радиус $R=150$ мм.

Катушки Гельмгольца и ускоряющая электроны трубка запитаны от разных источников (см. рис. 3). На ускоряющую трубку подаются: ток накала для разогрева катода, испускающего электроны в результате термоэмиссии, ускоряющее анодное напряжение (до +300 В) и небольшое напряжение (до -10 В) на фокусирующий электрод. Поскольку катод является общей точкой, выход «+» фокусирующего напряжения соединяется с выходом «-» анодного напряжения. Ток через катушки Гельмгольца не должен превышать 2 А.

Выполнение работы

- 1) Собрать/проверить электрическую схему установки согласно рис. 3.
- 2) Вывести регулировки анодного и фокусирующего напряжений и тока катушек в крайнее положение против часовой стрелки.
- 3) Включить блоки питания ускоряющей трубки и катушек.
- 4) Через 1 минуту после включения установить ускоряющее напряжение $U=300$ В и ток катушек $I=2$ А.
- 5) Наблюдая траекторию электронов, подобрать фокусирующее напряжение так, чтобы светящаяся линия имела бы минимальную толщину.
- 6) Установить левый ползунок измерительной линейки таким образом, чтобы наблюдаемый правый край ползунка и его изображение в

зеркале совпали бы с касательной к траектории электронов слева от центра окружности.

- 7) Установить правый ползунок так, чтобы расстояние между внутренними краями ползунков составляло 8 см.
- 8) Наблюдая внутренний край правого ползунка и его изображение в зеркале, уменьшать ток катушек до тех пор, пока траектория не коснется края (рис. 4).

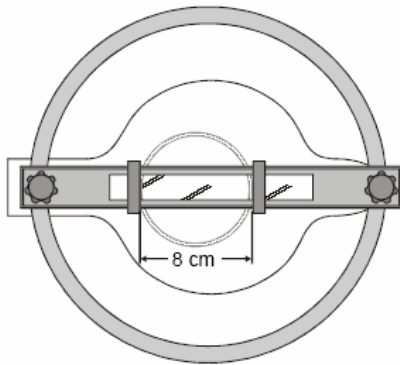


Рис. 4

- 9) Записать значения ускоряющего напряжения U и тока катушек I в таблицу в лабораторном журнале.
- 10) Уменьшить ускоряющее напряжение на 10 В и повторить пункты 8 и 9.
- 11) Продолжить уменьшение ускоряющего напряжения с шагом 10 В до достижения значения 200 В, выполняя каждый раз пункты 8 и 9.
- 12) Устанавливая снова ускоряющее напряжение $U=300$ В и ток катушек $I=2$ А, повторить пункты 8-11 еще два раза.
- 13) Для каждого значения ускоряющего напряжения U найти среднее по трем измерениям значение тока I и его погрешность.
- 14) Рассчитать значение коэффициента k по формуле (7).
- 15) Для каждого значения U и соответствующего среднего значения I найти удельный заряд электрона по формуле (8) и оценить погрешность результата.
- 16) Найти среднее значение e/m_e и его погрешность. (Справочное значение $e/m_e = -(1.758820088 \pm 0.000000039) \cdot 10^{11}$ Кл/кг).

Литература

1. И.В.Савельев. Курс общей физики, т.2. Наука, М. 1988.

Контрольные вопросы

1. Совершает ли сила Лоренца работу при движении заряженной частицы в магнитном поле?
2. Как изменится траектория движения электрона, если поменять местами проводники на клеммах катушек Гельмгольца?
3. При каких условиях траектория движения заряженной частицы в магнитном поле имеет вид спирали?
4. Выведите соотношение (7) для катушек Гельмгольца.