



Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

Физический факультет

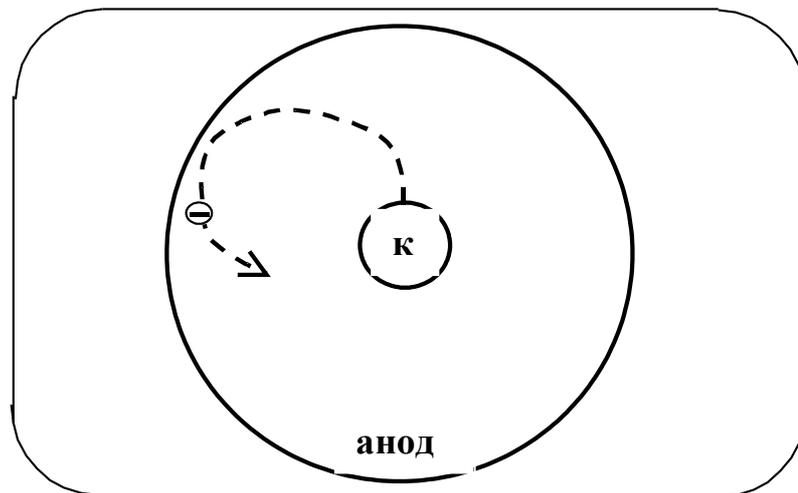
Кафедра общей физики

Лабораторный практикум по общей физике
(электричество и магнетизм)

Козлов В.И.

Лабораторная работа 8

Удельный заряд электрона



МОСКВА 2006

Лабораторная работа 8

Удельный заряд электрона

В лабораторной работе экспериментально определяется удельный заряд электрона e/m двумя методами. Первый из них основан на законе Богуславского-Ленгмюра (закон “трех вторых”). Во втором исследуется движение электронов в скрещенных радиальном электрическом и однородном магнитном полях.

Закон “трех вторых”

Рассмотрим диод, в котором катодом является проволока радиусом r_k , а анодом – соосный с нею полый цилиндр радиусом r_a . Длина этих электродов l . При термоэлектронной эмиссии из катода в пространстве вокруг него образуется облако электронов (пространственный заряд). Анодный ток в случае существования этого облака (при этом часть электронов из облака возвращается на катод) будет подчиняться закону “трех вторых”:

$$I = \frac{8\sqrt{2}\pi\epsilon_0}{9} \frac{l}{r_a} \left(\frac{e}{m}\right)^{1/2} U^{3/2}, \quad (1)$$

где U – разность потенциалов между анодом и катодом, $r_a \gg r_k$. Условия стабильного существования упомянутого облака состоят в том, что электроны, вылетающие из катода, должны иметь нулевую начальную скорость, а электрическое поле вблизи катода должно отсутствовать ($\partial U/\partial r = 0$) – этим обеспечивается возможность почти беспрепятственного обмена электронами между катодом и облаком (рис. 1). Можно сказать, что закон “трех вторых” описывает “вытягивание” электронов из облака, причем доля таких электронов относительно общего числа электронов в облаке мала. При достаточно большом анодном напряжении уже все электроны облака будут устремляться к аноду (ток насыщения) – при этом закон “трех вторых” уже не будет выполняться.

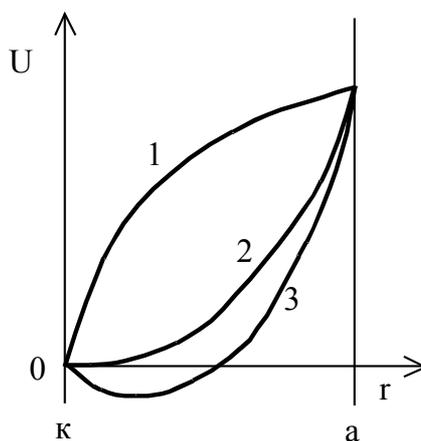


Рис. 1. Возможные варианты изменения потенциала в пространстве между катодом и анодом.

Выполнение условия ($\partial U/\partial r = 0$ вблизи катода) достигается подбором силы тока накала лампы, определяющей эмиссию катода.

Цель работы состоит в экспериментальной проверке закона “трех вторых” и определении на его основе величины e/m .

Движение электрона в скрещенных радиальном электрическом и однородном магнитном полях.

Диод, описанный выше, поместим в соленоид L так, чтобы вектор магнитной индукции поля, создаваемого соленоидом, был направлен вдоль оси диода. В таком случае на электроны, вылетающие из катода, помимо радиального электрического поля действует однородное магнитное поле. Можно показать, что при достижении индукцией магнитного поля значения

$$B_{\text{крит}} = \frac{2}{r_a} \sqrt{\frac{2U_a}{e/m}} \quad (2)$$

электроны перестанут достигать анода вследствие искривления их траектории магнитным полем, и анодный ток диода резко упадет. Таким образом, определение величины критической индукции магнитного поля $B_{\text{крит}}$ даст возможность вычислить удельный заряд электрона:

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_a}{r_a^2 B_{\text{крит}}^2} \quad (3)$$

Следует иметь в виду, что распределение электронов по скоростям приводит к “размазыванию” спада анодного тока диода, что затрудняет измерение критического значения индукции магнитного поля.

Индукция магнитного поля, создаваемого соленоидом, вычисляется по формуле

$$B = \mu_0 n I_c, \quad (4)$$

где n – число витков на единицу длины соленоида, I_c – сила тока через соленоид.

Описание экспериментальной установки. В лабораторной работе используется вакуумный диод 3Ц18П ($r_k=0,45$ мм, $r_a=5,5$ мм, $l=4,4$ мм; режим работы: $U_a=100$ В, $I_a=8$ мА, $I_n=210$ мА).

Диод установлен в вертикальном положении на цилиндрической подставке, на которую надевается соленоид так, что диод оказывается на оси соленоида в его середине, где магнитное поле наиболее однородно.

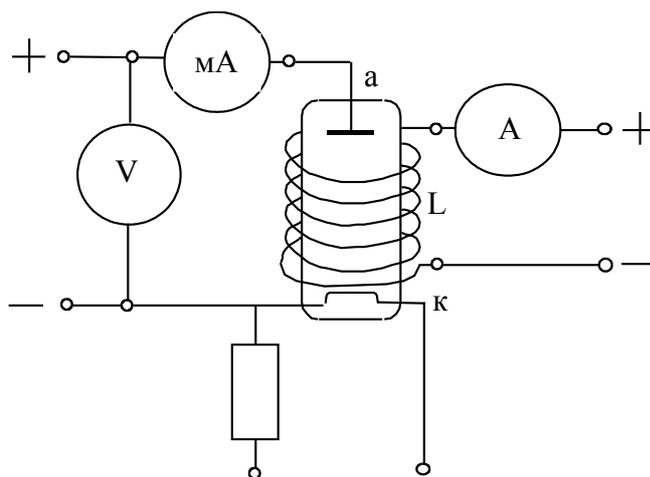


Рис. 2. Схема экспериментальной установки.

Подставка с диодом укреплена на монтажной панели с основной электрической схемой (рис. 2). Для подводки питания к схеме имеются специальные гнезда. Напряжение накала диода следует подавать с одной из пар клемм $\sim 6,3$ В блока питания. Резистор R , смонтированный на панели, предназначен для гашения избытка напряжения, так как для

накала диода 3Ц18П нужно всего 3,15 В. На анод лампы напряжение подается с выхода источника питания.

Питание соленоида L осуществляется от специального источника постоянного тока. Сила тока через соленоид регулируется ручками, расположенными на лицевой стороне источника постоянного тока. Сила тока соленоида измеряется амперметром.

Подготовка установки к работе. Сборка схемы производится в следующем порядке: цепь накала лампы, анодная цепь, цепь питания соленоида. До включения источников тока убедиться в том, что все регуляторы выходных напряжений находятся в положении, соответствующем минимуму. Включить источники питания в сеть, и после прогрева в течение примерно 5 минут приступить к измерениям.

Упражнение 1. Проверка закона “трех вторых” и определение удельного заряда электрона.

Снять зависимость силы тока диода I от анодного напряжения U_a , изменяя напряжение от нуля до 90 вольт.

Представить графически зависимость $I(U_a^{3/2})$. Крутизна наклона прямой линии, которую можно провести по экспериментальным точкам, содержит информацию об отношении e/m . Действительно (см. ф-лу (1)),

$$\frac{\Delta I}{\Delta U^{3/2}} = \frac{8\sqrt{2}\pi\epsilon_0}{9} \frac{l}{r_a} \left(\frac{e}{m}\right)^{1/2}, \quad (5)$$

откуда

$$\frac{e}{m} = \left(\frac{\Delta I}{\Delta U^{3/2}}\right)^2 \left(\frac{9}{8\sqrt{2}\pi\epsilon_0} \frac{l}{r_a}\right)^2. \quad (6)$$

Упражнение 2. Определение удельного заряда электрона методом магнетрона.

Включить ток через соленоид I_c . Снять 2–3 зависимости $I = f(I_c)$ при разных анодных напряжениях (например, при $U=90$ В, 60 В, 40 В). Представить эти зависимости графически. На каждой из полученных кривых отметить индукцию $B_{\text{крит}}$, при которой анодный ток начинает уменьшаться, подставить эти значения индукции в формулу (3).

Контрольные вопросы

1. Сформулировать закон “трех вторых”. При каких условиях он выполняется?
2. Почему ток диода должен быть далек от насыщения?
3. Как объемный заряд влияет на распределение потенциала в пространстве между анодом и катодом?
4. Каково распределение электрического и магнитного полей в диоде, помещенном внутрь соленоида?
5. Какие траектории описывает электрон при разных индукциях магнитного поля?
6. Чему равно отношение e/m в системе единиц СИ?
7. Нарисовать электрическую схему установки. Объяснить порядок действий при измерениях. Перечислить основные правила техники безопасности при работе на установке.
8. Какова точность приборов, используемых на установке?
9. Чем вызвано “размазывание” спада анодного тока диода при увеличении индукции магнитного поля?

10. Какие факторы приводят к неточности определения величины e/m на данной установке в упражнениях 1 и 2?

Литература

1. Калашников С. Г. Электричество. М., Физматлит. 2004.