

**Министерство высшего и среднего специального
образования Республики Узбекистан**

Ташкентский Автомобильно-Дорожный институт

**Сборник лабораторных работ по курсу «Физика»
(Электромагнетизм)**

Ташкент-2010

Данный сборник по разделу «Электромагнетизм» содержит 4 лабораторных работ и предназначен для студентов-бакалавров ТАДИ.

Составители: доц. Тошходжаев Т.К.
доц. Мирсаатов Р.М.

РАБОТА №27

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ КАТУШКИ И СДВИГА ФАЗ МЕЖДУ ТОКОМ И НАПРЯЖЕНИЕМ

Цель работы: изучение явления самоиндукции.

Принадлежности: катушка индуктивности, амперметры, вольтметры, ползунковый реостат, ключ.

Теоретическое введение

В замкнутом контуре, находящемся в переменном магнитном поле, возникает электродвижущая сила электромагнитной индукции $\varepsilon_{\text{инд}}$. Явление возбуждения $\varepsilon_{\text{инд}}$ в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего контур, называется электромагнитной индукцией.

Величина э.д.с. индукции пропорциональна скорости изменению магнитного потока

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

Это математическое выражение основного закона электромагнитной индукции в форме, данной Максвеллом (закон Фарадея-Максвелла). Коэффициент пропорциональности в законе Фарадея-Максвелла равен единице при измерении всех величин либо в «СИ», либо в «СГС» системе. Знак «минус» для э.д.с. индукции является математическим выражением закона (правила) Ленца: «индукционный ток всегда направлен так, чтобы своим действием препятствовать причине, его вызвавшей». Иными словами, индукционный ток направлен таким образом, чтобы создаваемое им магнитное поле было направлено против вызвавшего этот ток изменения магнитного потока. Этот закон вытекает из закон сохранения энергии.

Индукционный ток находится по закону Ома делением э.д.с. индукции на сопротивление контура.

При изменении силы тока в контуре изменяется и его собственный магнитный поток и, следовательно, в контуре индуцируется э.д.с. Индукционная э.д.с., возникающая в контуре с током при изменении этого тока, называется э.д.с. самоиндукции, а само явление – явлением самоиндукции.

Поток, связанный с контуром, пропорционален току в контуре, т.е.

$$\Phi = LI \quad (2)$$

$$\left(\hat{O} = BS, \quad B = \mu, \mu H, \quad dH = k \frac{d\ell \text{Sind}}{r^2} \right)$$

Подставив выражение (2) в формулу (1), определим э.д.с. самоиндукции:

$$\varepsilon_c = -L \frac{dI}{dt} \quad (3)$$

Э.д.с. самоиндукции пропорциональна скорости изменения силы тока. Коэффициент пропорциональности L называется коэффициентом самоиндукции или индуктивностью катушки и зависит от формы, размеров проводника и от магнитной проницаемости среды (μ).

Если $\varepsilon_{ii} = 1\text{А}$, $\frac{dI}{dt} = 1\frac{\text{А}}{\text{С}}$, то $L=1$ Генри (Гн)

Таким образом, индуктивностью в 1 Гн обладает такой проводник, в котором изменение силы тока в 1 А за 1 с вызывает э.д.с. самоиндукции в 1 В.

У линейных проводников коэффициент самоиндукции мал. Большими L обладают катушки индуктивности с большим числом витков. Железный сердечник значительно увеличивает индуктивность катушки. В цепи постоянного тока катушка обладает омическим сопротивлением R , которое называют активным. Если включить эту катушку в цепь переменного тока, то вследствие периодического изменения силы тока возникает э.д.с. индукции, препятствующая приложенному напряжению: замедляет его возрастание или убывание. Это приводит к увеличению сопротивления катушки: теперь катушка обладает не только активным, но и индуктивным (реактивным) сопротивлением R_L .

Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из последовательно включенных сопротивления R и катушки с индуктивностью L . (рис.1)

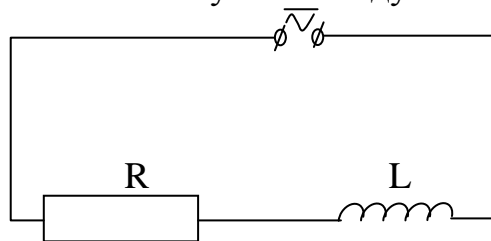


Рис.1

Ток в цепи изменяется по синусоидальному закону

$$I = I_0 \sin \omega t \quad (4)$$

так как э.д.с. источника

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t \quad (5)$$

где I_0 , ε_0 – амплитудные значения тока и э.д.с.,

ω – циклическая (круговая) частота.

При прохождении переменного тока в катушке возникает э.д.с. самоиндукции ε_c .

По второму закону Кирхгофа для замкнутого контура

$$IR = \varepsilon + \varepsilon_c \quad (6)$$

или, учитывая (3) и (5),

$$IR = \varepsilon_0 \sin \omega t - L \frac{dI}{dt} \quad (7)$$

Подставляя вместо I его выражение из (4), получим:

$$RI_0 \sin \omega t + LI_0 \omega \cos \omega t = \varepsilon_0 \sin \omega t$$

на $\cos \omega t = \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$

поэтому последнее равенство можно записать в виде

$$RI_0 \sin \omega t + L\omega I_0 \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = \varepsilon_0 \sin \omega t \quad (8)$$

Первый член представляет собой падение напряжения на омическом сопротивлении R , второй член – падение напряжения на индуктивности

$$L\omega I_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = U_L;$$

$L I_a \omega = U_{0L}$ – амплитудное значение индуктивного напряжения. Учитывая закон Ома, получаем

$$R_L = L \omega \quad (9)$$

Индуктивное сопротивление увеличивается с возрастанием ω . При $\omega=0$ $R_L = 0$, т.е. постоянному току индуктивность оказывает только омическое сопротивление. Из сопоставления первого и второго членов формулы (8) следует, что падение напряжения на индуктивности опережает по фазе на $\pi/2$ падение напряжения на омическом сопротивлении. Для определения полного напряжения удобно воспользоваться методом векторных диаграмм. Отложим амплитудное значение падения напряжения на омическом сопротивлении по горизонтальной оси, тогда индуктивное напряжение нужно отложить против часовой стрелки под углом $\pi/2$, т.к. фазы их отличаются на $\pi/2$. Полное напряжение изобразится на диаграмме равнодействующей этих двух векторов (рис.2), т.е.

$$U_0 = \sqrt{I_0^2 R^2 + I_0^2 \omega^2 L^2} \quad (10)$$

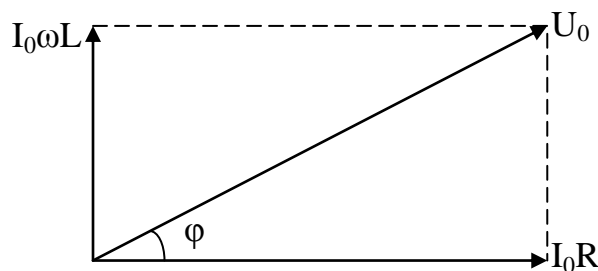


Рис. 2

Из (10) следует $I_0 = U_0 / \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \quad (11)$

Величина $Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \quad (12)$

Определяет полное сопротивление в цепи переменного тока с самоиндукцией.

Аналогично графически можно определить полное сопротивление в цепи переменного тока с самоиндукцией по омическому сопротивлению R и индуктивному сопротивлению $L\omega$

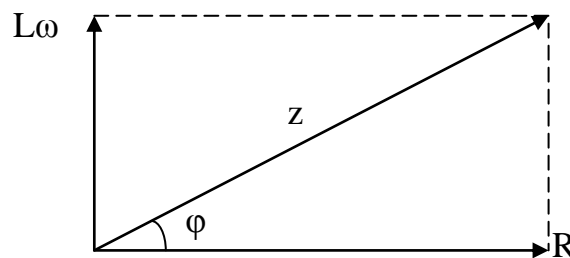


Рис.3

Измерительные приборы регистрируют не максимальные значения силы тока и напряжения, а их эффективные значения $I_{эф}$ и $U_{эф}$. За эффективное значение переменного тока принимают такое значение постоянного тока, тепловое действие которого равно тепловому действию

переменного тока. Таким образом, количество выделяющегося тепла в цепи переменного тока определяется лишь эффективной силой тока $I_{\text{эф}}$ (эффективным напряжением $U_{\text{эф}}$) и омическим сопротивлением R . Индуктивное сопротивление $L\omega$ никакой роли в процессе выделения тепла не играет. Поэтому оно иногда называется безваттным сопротивлением. Если омическое сопротивление цепи R мало, то мало и количество выделяемого в ней тепла; общее же сопротивление $Z = \sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$ такой цепи может быть велико, если велика ее индуктивность и частота переменного тока.

Расчет показывает, что

$$I_{\text{эф}} = \frac{I_c}{\sqrt{2}} \quad (13)$$

$$U_{\text{эф}} = \frac{U_c}{\sqrt{2}} \quad (14)$$

Подставляя значения I и U_0 из формул (13) и (14) в (II), получим закон Ома для цепи переменного тока, обладающей омическим и индуктивным и индуктивным сопротивлениями:

$$I = \frac{U_{\text{эф}}}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$$

Рассчитав по измеренным $I_{\text{эф}}$ и $U_{\text{эф}}$ общее сопротивление Z можно определить индуктивность катушки:

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega}$$

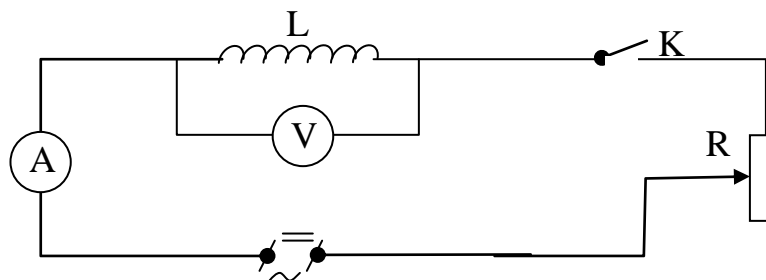
Где $\omega = 2\pi\nu$ (для городской сети $\nu = 50$ Гц).

Согласно рис.2, тангенс угла сдвига фаз между напряжением и током равен

$$\text{tg } \varphi = \frac{L\omega}{R}$$

Порядок выполнения работы.

1. Собрать электрическую цепь по схеме



A и V - амперметр и вольтметр, L - исследуемая катушка, R_1 - ползунковый реостат, K - ключ.

2. Подключить схему к источнику постоянного тока. При определенных (заданных преподавателем) значениях напряжения измерить силу тока и определить омическое сопротивление по формуле $R=U/I$.

3. Переключить схему к источнику переменного тока. При тех же значениях напряжения измерить силу тока и определить общее сопротивление по формуле $Z=U_{эф}/I_{эф}$.

4. Подставив в формулу (16) средние значения Z и R , определить L в Генри.

5. По формуле (17) найти $\text{tg}\varphi$

6. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

N	Постоянный ток			Переменный ток			t	tgφ	φ
	U	I	R	$U_{эф}$	$I_{эф}$	Z			

Контрольные вопросы.

1. В чем заключается явление электромагнитной индукции и самоиндукции?
2. Сформулируйте основной закон электромагнитной индукции.
3. Объясните правило Ленца.
4. От чего зависит индуктивность катушки и в каких единицах она измеряется?
5. Объясните возникновение индуктивного сопротивления.
6. Почему его называют безваттным?
7. Выведите формулу для индуктивного сопротивления. От чего оно зависит?
8. Запишите закон Ома для цепи переменного тока, содержащей омическое и индуктивное сопротивление.
9. Дайте определения $I_{эф}$ и $U_{эф}$. Как они связаны с амплитудными значениями I_0 и U_0 ?
10. Почему возникает сдвиг фаз между током и напряжением? От чего зависит величина сдвига фаз?

РАБОТА № 28
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ
ТАНГЕНС-БУССОЛИ

Цель работы: Определение напряженности магнитного поля Земли.

Принадлежности: компас, круговой проводник с током, гальванометр, реостат, ключ.

Теоретическое введение.

Земля представляет собой естественный магнит, полюса которого располагаются недалеко (300 км) от географических полюсов. Магнитный полюс земли, который расположен на севере, называется южным магнитным полюсом, другой, соответственно на юге-Северным магнитным полюсом.

Через магнитные полюса земли можно провести линии больших кругов- магнитные меридианы, перпендикулярно к ним- линию большого круга- магнитный экватор- и параллельно последнему линии малых кругов- магнитные параллели. Таким образом, каждой точке земли будут соответствовать не только географические, но и магнитные координаты.

Если в данной точке земли свободно подвесить магнитную стрелку (подвесить за центр масс так, чтобы она могла поворачиваться и в горизонтальной и в вертикальной плоскостях), то она установится по направлению напряженности магнитного поля земли в данной точке.

Магнитное поле земли подобно полю прямого магнита. Поэтому силовые линии этого поля лишь на магнитных полюсах вертикальны, а на магнитном экваторе горизонтальны (рис.1).

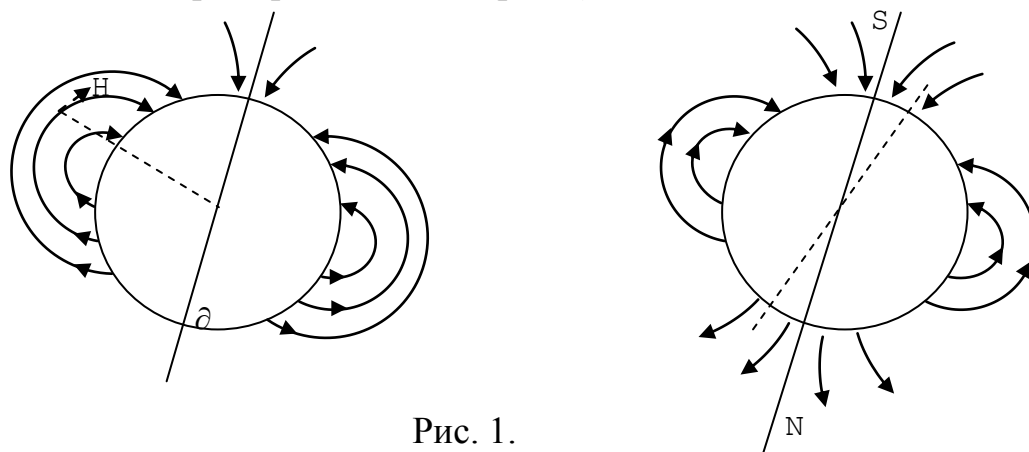


Рис. 1.

В любой другой точке земной поверхности силовая линия и, следовательно, свободно подвешенная стрелка располагаются под каким-то углом к вертикали в этой точке земли и, значит, под каким-то углом к горизонтальной плоскости в данной точке. Из-за несовпадения магнитных и географических полюсов земли не совпадают и плоскости магнитного и географического меридианов, проходящих через данную точку земной поверхности. Таким образом, положение свободно расположенной магнитной стрелки характеризуется двумя углами α и β , определенными для данной точки земли. Магнитное склонение α - угол между направлениями географического и магнитного меридианов (рис.2)

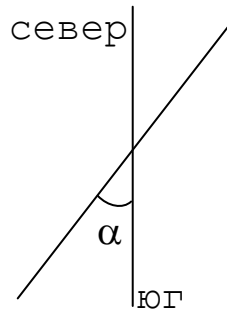


Рис. 2

Различают восточное и западное склонение (северный полюс стрелки отклоняется соответственно вправо или влево от географического меридиана).

Магнитное наклонение β - угол между направлениями напряженности магнитного поля в данной точке и горизонтальной плоскостью (рису.3)

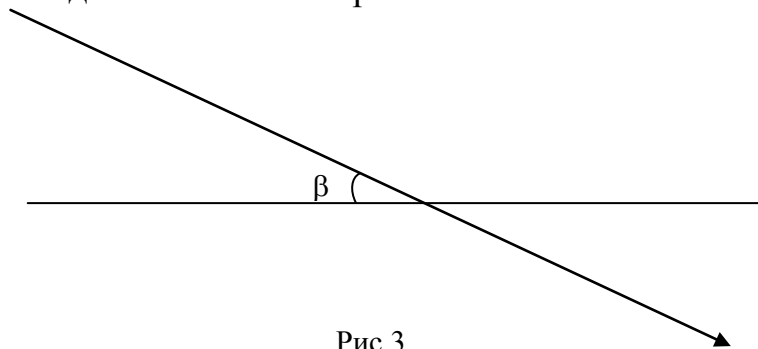


Рис.3

Наклонение бывает северное и южное (северный или южный конец стрелки ниже горизонтальной плоскости).

Горизонтальная составляющая H_0 , магнитное склонение α и наклонение β называются элементами земного магнетизма. Точные измерения элементов земного магнетизма помогают обнаруживать железорудные ископаемые. Знание их помогает ориентации на местности, морской и воздушной навигации, в ориентации и маневре космических аппаратов. Магнитное поле земли подвержено суточным, годовым, вековым колебаниям. Соответственно меняются и элементы земного магнетизма.

Кроме того, наблюдается кратковременные отклонения- так называемые магнитные бури, появление которых связано с деятельностью солнца, в частности с числом солнечных пятен.

Существующие в настоящее время теории земного магнетизма можно разбить на две группы:

1. Теории, объясняющие наличие магнитного поля электрическими токами, циркулирующими на больших глубинах в жидком ядре земли.
2. Теории, основанные на предположении, что земная кора содержит в разных своих участках различное количество магнитных пород.

Однако происхождение магнитного поля земли пока еще не выяснено. Напряженность магнитного поля у поверхности земли возрастает от экватора к полюсу с 33,4 до 55,7 А/м (от 0,42 до 0,70 Э). Лишь в отдельных районах

магнитных аномалий (как курская) она может быть над мощными пластами железных руд в 2-3 раза больше.

Так как вектор напряженности магнитного поля в данной точке наклонен, то он имеет горизонтальную и вертикальную составляющие. Следовательно, магнитная стрелка, вращающаяся на закрепленной вертикальной оси, устанавливается в плоскости магнитного меридиана под действием горизонтальной составляющей магнитного поля земли.

Если с помощью кругового тока около стрелки создать еще одно магнитное поле, то стрелка установится по направлению равнодействующей обоих магнитных полей. Так как поле кругового тока нетрудно вычислить, зная ток, то горизонтальную составляющую земного магнитного поля можно определить по углу отклонения стрелки и величине магнитного поля. Определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля земли производится с помощью прибора, называемого тангенс-буссолью. В центре кругового проводника помещена на острие небольшая магнитная стрелка (при достаточно большом радиусе проводника можно считать, что магнитная стрелка находится в однородном магнитном поле). При прохождении тока I по витку напряженность магнитного поля в его центре может быть определена по закону Био-Савар-Лапласа:

$$H = \frac{I \cdot n}{2r}$$

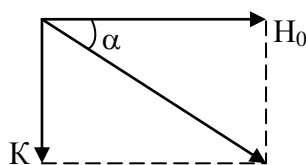


Рис.4

Где I - сила тока, r - радиус витка буссоли, n - число витков.

Если контур буссоли установить в плоскости магнитного меридиана земли, то горизонтальная составляющая магнитного поля земли H_0 и поле кругового тока в центре буссоли окажутся перпендикулярными друг другу.

Тогда

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{H_0} \quad \text{и} \quad H_0 = \frac{nI}{2r \operatorname{tg} \alpha}$$

Величина $\frac{2rH_0}{n} = C$ является постоянной для данного места

земного шара и прибора и называется постоянной тангенс-буссоли.

Описание прибора и схемы.

Тангенс-буссоль состоит из пластмассового кругового каркаса большого диаметра, на котором намотано несколько витков. В центре каркаса помещена магнитная стрелка в футляре (компас) так, что она может свободно вращаться в горизонтальной плоскости. Стрелка аррентируется и освобождается от арретира поворотом стеклянной крышки или специального рычажка.

Контрольные вопросы.

1. Каковы элементы земного магнетизма?
2. Сформулируйте и запишите закон Био-Савара-Лапласа.
3. Что характеризуют вектора магнитной индукции и напряженности магнитного поля?
4. Почему магнитная стрелка тангенс-буссоли должна быть малых размеров?
5. Выведите формулу напряженности магнитного поля на оси кругового тока.
6. Для чего применяется тангенс-буссоль?
7. Объясните причину повороте стрелки после подачи напряжения на катушку тангенс-буссоли.
8. Дайте вывод рабочей формулы для определения горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля земли?
9. Для чего устанавливается стрелки на нуль?
10. Как определить направление напряженности магнитного поля кругового и прямолинейного тока?

РАБОТА №29

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА «МЕТОДОМ МАГНЕТРОНА»

Теоретическое введение

В настоящей работе удельный заряд /отношение $\frac{e}{m}$ для электрона определяется при помощи метода, получившего название «метода магнетрона». Это название связано с тем, что применяемая в работе конфигурация электрического и магнитного полей очень напоминает конфигурацию полей в магнетронах-генераторах электромагнитных колебаний в области сверхвысоких частот. Движение электронов в этом случае происходит в кольцевом пространстве, заключенном между катодом и анодом двухэлектродной электронной лампы. Нить накала лампы /катод/ располагается вдоль оси цилиндрического анода так, что электрическое поле направлено по радиусу. Лампа помещается внутри соленоида, создающего магнитное поле, параллельное катоду.

Рассмотрим траекторию электронов, движущихся под действием э электрического и магнитного полей , и силы, действующие на них. Сила, действующие на электрон со стороны электрического поля, направлена по радиусу и определяется формулой

$$F_{эл} = eE, \quad (1)$$

Где E – напряженность электрического поля в цилиндрическом конденсаторе, образованном катодом и анодом.

Рассмотрим теперь силы, действующие на электрон со стороны магнитного поля. Поскольку магнитное поле в нашем случаи направлено по оси Z , то

$$F_{zмагн} = 0 \quad (2)$$

А в плоскости Р на движущийся электрон действует сила Лоренца

$$F_{\text{лмaгн}} = eV \vartheta \sin\alpha$$

Где e – заряд электрона, ϑ – скорость электрона, V – индукция магнитного поля, α – угол между векторами ϑ и V , равный 90° .

Магнитное поле, действующее на электрон, никакой работы не производит, следовательно, при вылетании с катода электроны обладают запасом кинетической энергии, которая обусловлена только напряжением, приложенным между катодом К и анодом А.

$$eU_a = \frac{m\vartheta^2}{2},$$

Где U_0 – разность потенциалов между катодом и анодом, m – масса электрона.

Рассмотрим теперь траекторию электронов, вылетающих из катода. В отсутствии магнитного поля (рис.2) траектория электрона прямолинейна и направлена вдоль радиуса R (прямая 1). При слабом магнитном поле $V < V_{\text{кр}}$ траектория несколько искривляется (кривая 2) вследствие действия силы Лоренца.

Сила Лоренца перпендикулярна скорости движения электронов и направлению магнитного поля (находится по правилу левой руки с учетом знака электрона) и не меняется по величине. Сила F-центростремительная, поэтому

$$e\vartheta V = \frac{m\vartheta^2}{r} \quad (5)$$

При слабом магнитном поле электрон попадает на анод. При некотором критическом значении индукции магнитного поля $V = V_{\text{кр}}$ ($V = \mu\mu_0 H$) траектория изменится настолько, что коснется анода (кривая 3).

Для случая $V = V_{\text{кр}}$ радиус траектории $r = \frac{R}{2}$

Наконец, при $V > V_{\text{кр}}$ электрон вовсе не попадает на анод и возвратится к катоду – анодный ток в лампе прекратится (кривая 4).

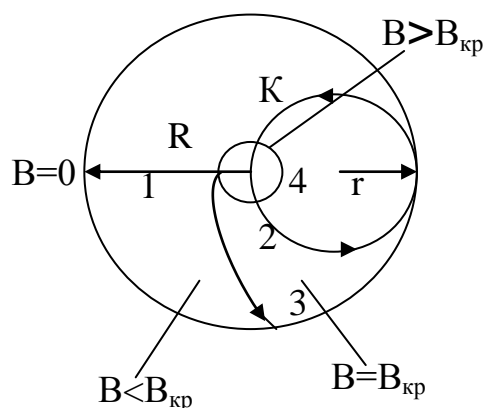


Рис. 2

Электроны, испускаемые нагретым катодом, обладают различными начальными скоростями, поэтому критические условия для разных

электронов достигаются при разных значениях. Вследствие этого кривая зависимости I_a от B приобретает вид сплошной линии (рис.3).

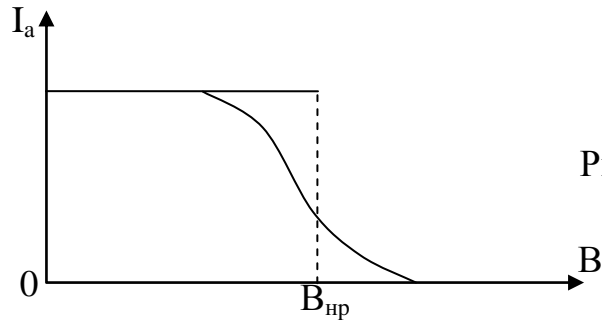


Рис.3

В работе изучается графическая зависимость анодного тока I_a от тока соленоида I_c , т.к. по закону Био-Савара-Лапласа напряженность магнитного поля соленоида прямо пропорциональна силе тока, протекающего по виткам. По графику находится $I_{c\text{кр}}$. (рис.4).

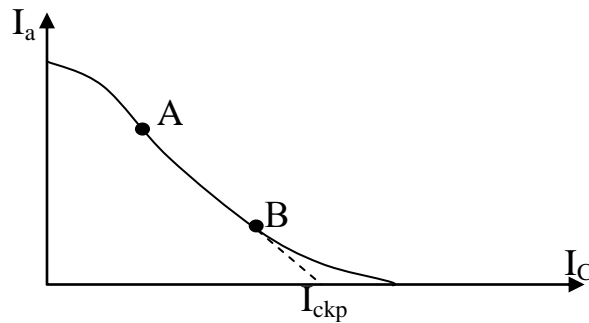


Рис.4

Для определения удельного заряда электрона найдем скорость из формулы (4) и подставим в формулу (5). Так как

$$eU_a = \frac{m g^2}{r},$$

то

$$g = \sqrt{\frac{2eU_a}{m}}$$

подставляя в (5), получим

$$eB = \frac{m \sqrt{\frac{2eU_a}{m}}}{r},$$

откуда

$$\frac{e}{m} = \frac{2U_a}{B_{кр}^2 \cdot r^2} = \frac{8U_a}{B_{кр}^2 \cdot R^2} \quad (6)$$

где R – радиус цилиндрического анода, $B_{кр}$ – критического значение индукции магнитного поля, определяемое по формуле

$$B_{кр} = \mu_0 n I_{c.кр}$$

μ_0 – магнитная постоянная, разная $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м

n – число витков соленоида,

$I_{c.кр}$ – критической ток соленоида.

Электрическая схема работы имеет вид

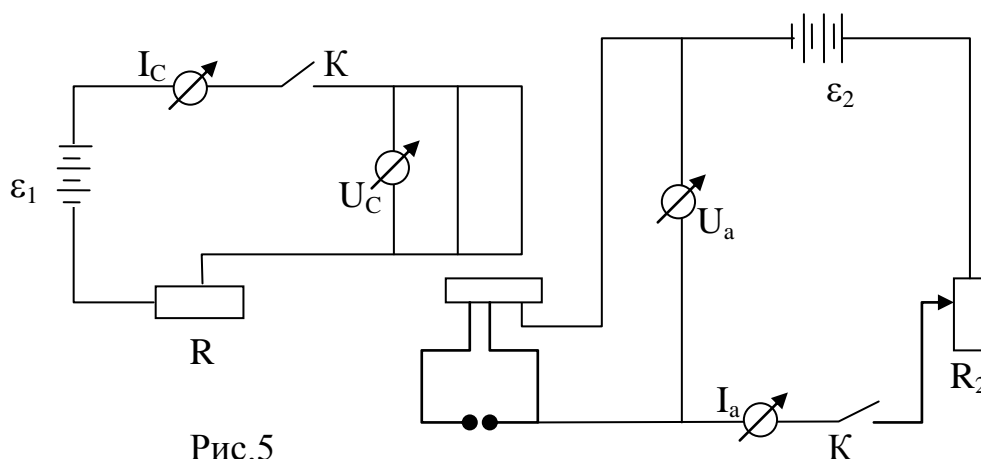


Рис.5

Порядок выполнения работы.

1. Ознакомьтесь с электрической схемой.
2. Ползунки реостатов установить в положение минимального напряжения.
3. Установить катодное напряжение 6 В и анодное 250 В и прогреть лампу в течение 1-2 минут.
4. При помощи реостата установить анодное напряжение 160-190В.
5. Подать напряжение на соленоид.
6. Увеличивая напряжение на соленоиде при помощи реостата, измерить показания токов соленоида и анодного тока и записать их в таблицу.

I_c								
I_a								

7. Начертить график зависимости анодного тока I_c от тока, проходящего через соленоид I_c . При помощи графика найти критический ток $I_{кр}$, который определяется точкой пересечения продолжающейся прямой графика с осью абсцисс (рис.4).
8. Определить индукцию магнитного поля $B_{кр}$ и удельный e/m .

Контрольные вопросы.

1. Объяснить метод определения удельного заряда электрона.
2. Охарактеризуйте поведение заряженной частицы в электрическом и магнитном полях.
3. Сила Лоренца.
4. На что тратится энергия электрического и магнитного поля?
5. Вывести формулу для определения удельного заряда электрона.

РАБОТА № 30. ГРАДУИРОВКА ТЕРМОПАРЫ

Цель работы: изучение контактных явлений.

Приборы и принадлежности: термопара, милливольтметр (гальванометр), печь, магазин сопротивлений.

Теоретическое введение

При соприкосновении двух различных металлов, находящихся при одинаковой температуре, между ними возникает разность потенциалов, называемая контактной разностью потенциалов. С точки зрения электронной теории данное явление можно объяснить так:

1. Свободные электроны металла, совершающие тепловое хаотическое движение, при соприкосновении двух металлов будут диффундировать из одного в другой. Однако, встречные диффузионные потоки будут неодинаковы, так как условия перехода неодинаковы.

Электронов больше переходить от того металла, где их концентрация больше к тому, в котором концентрация меньше. В результате, металл, в котором концентрация свободных электронов была больше, зарядится положительно, в второй отрицательно. Возникшее электрическое поле вызывает дополнительное движение электронов в обратном направлении, поэтому общее количество электронов, переходящих от 1 к 2 (рис.1), будет уменьшаться, а идущих в противоположном направлении увеличивается



$$n_1 > n_2$$

При некоторой разности потенциалов U_1 между металлами установится равновесие и потенциалы металлов не будет уже меняться. Эта разность потенциалов и является внутренней контактной разностью потенциалов обоих металлов.

Вследствие большой тепловой скорости электронов равновесие устанавливается в ничтожные доли секунды. В классической электронной теории состояние свободных электронов отождествляется с состоянием идеального газа, поэтому распределение концентрации определяется законом Больцмана:

$$n = n_0 e^{-\frac{W-W_0}{kT}} \quad (1)$$

Где n и n_0 – концентрации в точках пространства с потенциальной энергией W и W_0 .

В случае двух соприкасающихся металлов

$$n_1 = n_2 e^{-\frac{W_1-W_2}{kT}}$$

а так как

$$W_1 - W_2 = q_2 U \quad (2)$$

то

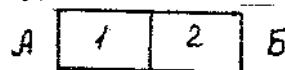
$$n_1 = n_2 e^{\frac{q_e U_i}{kT}} \quad (3)$$

Отсюда

$$U_i = \frac{kT}{q_e} \ln \frac{n_2}{n_1} \quad (4)$$

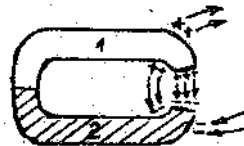
Следовательно, чем больше различие в концентрации свободных электронов, тем больше внутренняя контактная разность потенциалов. Величина ее мала, при комнатной температуре $U_i \sim 10^{-2} - 10^{-3} \text{В}$.

2. Электронам легче переходить к тому металлу, у которого работа выхода больше (для удаления электрона из этого металла необходимо совершить большую работу).



Вследствие неодинаковых значений работы выхода электронов между любыми точками А и Б, находящимися вне металла, но расположенными в непосредственной близости от их поверхностей, возникает разность потенциалов. Ее называют внешний контактной разностью потенциалов U_a . Между соприкасающимися металлами на внешнем пространстве появляется электрической поля, а на поверхности металла возникнуть электрический заряды (рис-3).

$$U_a = \frac{A_2 - A_1}{q_e} = - \frac{A_1 - A_2}{q_e} \quad (5)$$



Внешняя контактная разность потенциалов порядка нескольких вольт. Контактная разность потенциалов между металлами 1 и 2 представляет собой алгебраическую сумму U_i и U_a .

$$U_{12} = - \frac{A_1 - A_2}{q_e} \pm \frac{kT}{q_e} \ln \frac{n_2}{n_1} \quad (6)$$

Если составить цепочку из ряда последовательно соединенных различных металлов, то контактная разность потенциалов зависит лишь от крайних металлов, а промежуточные металлы не влияют на нее. Эта закономерность носит название закона Вольта.

$$U_{12} + U_{23} + U_{34} = \frac{kT}{q_e} \left(\ln \frac{n_2}{n_1} + \ln \frac{n_3}{n_2} + \ln \frac{n_4}{n_3} \right) - \frac{A_1 - A_2}{q_e} - \frac{A_2 - A_3}{q_e} - \frac{A_3 - A_4}{q_e} = - \frac{A_1 - A_4}{q_e} + \frac{kT}{q_e} \ln \frac{n_4}{n_1} \quad (7)$$

В замкнутой цепи из двух и большего числа металлов при одинаковой температуре всех контактов сумма контактных разностей потенциалов равна нулю. Если же температура контактов не одинакова, то цепи возникает термоэлектродвижущая сила. Для цепи из двух различных металлов

$$E = \frac{kT}{q_e} \ell_n \frac{n_1}{n_2} - \frac{kT_2}{q_e} \ell_n \frac{n_1}{n_2} = \frac{H}{q_e} \ell_n \frac{n_1}{n_2} x(T_1 - T_2) = \alpha(T_1 - T_2) \quad (8)$$

(предполагается, что отношение концентраций n_1/n_2 электронов в металле не зависит от температуры). Явление термоэлектричества впервые было обнаружено Зеебексм.

Коэффициент α в формуле (8) называется дифференциальной термо-э.д.с.: $\alpha = \frac{dE}{dT}$

Это величина, численно равная разности потенциалов, возникающей при разности температур нагретого и холодного контактов, равной одному градусу.

Термоэлектрические явление в металлах используются для измерения температур. Для этого применяются термопары. Схема простейшей термопары изображена на рис.4.

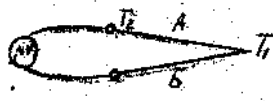


Рис. 4.

Термопара состоит из двух разных металлов А и Б, спаянных с одного конца. Другие концы металлов присоединены к цепи милливольтметра или другого измерителя напряжения. Спаянный конец термопары помещают в пространство, температуры T_1 которого надо измерить температуры T_2 , например, комнатной.

Термопары обладают большой чувствительностью и широким диапазоном (термопара железо-константан имеет чувствительность $5,3 \cdot 10^{-5}$ В/град и применяется для измерения температур до 500^0 С). для каждого температурного интервала подбирается наиболее подходящая пара металла.

В работе производится градуировка термопары, т.е. определение экспериментальным путем зависимости термоэлектродвижущей силы ϵ , возникающей в термопаре, от разности температур ΔT ее спаев. Зависимость ϵ от T в общем случае является нелинейной, но почти каждая термопара имеет линейный участок. При достаточно больших температурах величина термо-э.д.с. начинает падать.

Описание установки и метода работы

Градуировка термопары производится при помощи следующей схемы (рис.5.)

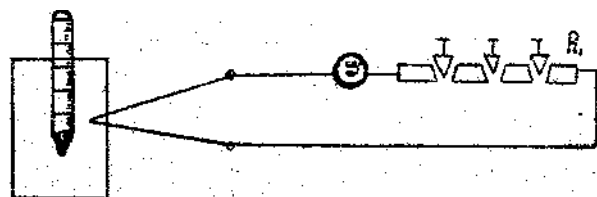


Рис. 5

Горячий спай помещается в печь, снабженную термометром. Холодные спаи имеют комнатную температуру. Если магазин

6. Пользуясь градировочным графиком, определить температуру горячего спая. Для этого по показанию гальванометра на графике найти соответствующее ему $\Delta t \cdot t_1 - t_2$ а затем $t_1 = t_2 + \Delta t$

Контрольные вопросы

1. Что называется контактной разностью потенциалов?
2. Какими причинами обусловлена контактная разность потенциалов?
3. Что называется работой выхода?
4. В чем заключается явление термоэлектричества (явление Зеебека)?
5. От чего зависит величина термо - э.д.с.
6. Что называется термопарой и где она находит применение?
7. Что называют постоянной термопары?
8. Как постоянная термопары определяется в работе? Вывести формулу (9)
9. Как с помощью термопары можно измерить температуру тела?

Литературы

1. Савельев И.В. Общий курс физики т. 1-3, М, Наука 1989-98г.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М., Курс физики, М.Высшая школа 1989г.
3. Трофимова Т.И. Курс физики М., Высшая школа, 1999 г.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики, т. 1-5, М.,Наука.1977-1999г.
5. Фейнман Р., Р.Лейтон, М.Сендс. Фейнмановские лекция по физике, Мир, 1-10 т., 1986.
6. Майсова В.В. Практикум по курсу общей физики, М., Наука 1995г.
7. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике М.Наука 1990г
8. Лабораторный практикум по физике., Под ред. Борсукова К. А. и Уханова Ю.И.М.,Высшая школа 1988 г.