

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна
Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета
Дата подписания: 24.08.2023 12:01:19
Уникальный программный ключ:
d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «ФИЗИКА» для студентов направления подготовки /специальности
23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Интернет, необходимых для освоения дисциплины

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

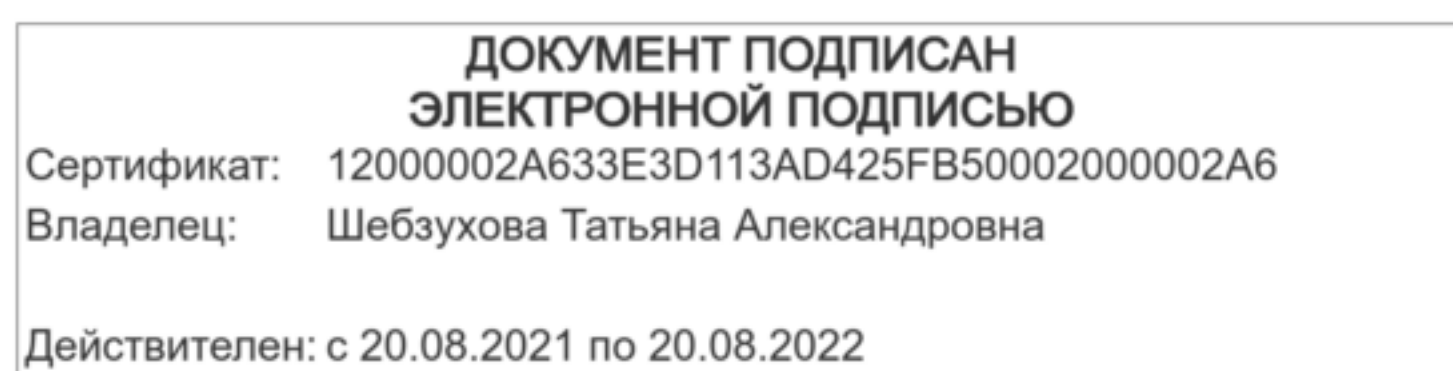
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Введение

Лабораторные занятия создают оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины «Физика», использование специального лабораторного оборудования и технических средств. Лабораторные занятия занимают преимущественное место при изучении общепрофессиональных и профессиональных дисциплин. Лабораторные занятия проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении экспериментных задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью лабораторных занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.



	поглощения.	
	Итого за 1 семестр	6
	Итого	6

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

формула удобна для логарифмирования, оказывается более удобной формула

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x}, \text{ но } d(\ln x) = \frac{dx}{x},$$

относительной погрешности. Относительная погрешность

$$\Delta(\ln x) = \frac{\Delta x}{x}.$$

следовательно,

Иначе говоря, относительную погрешность можно рассчитать, если взять дифференциал натурального логарифма, определяющий зависимость данной величины от измеряемых величин. Наиболее часто встречающиеся формулы приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Математическая операция	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность
$x+y$	$\Delta x + \Delta y$	$\frac{\Delta x + \Delta y}{x + y}$
$x-y$	$\Delta x + \Delta y$	$\frac{\Delta x + \Delta y}{x - y}$
xy	$y\Delta x + x\Delta y$	$\frac{y\Delta x + x\Delta y}{xy}$
xyz	$yz\Delta x + xz\Delta y + xy\Delta z$	$\frac{yz\Delta x + xz\Delta y + xy\Delta z}{xyz}$
x/y	$y\Delta x - x\Delta y$	$\frac{y\Delta x - x\Delta y}{x/y}$
x^n	$nx^{n-1}\Delta x$	$\frac{nx^{n-1}\Delta x}{x^n}$
$\sqrt[n]{x}$	$\frac{1}{n}x^{\frac{1}{n}-1}\Delta x$	$\frac{\frac{1}{n}x^{\frac{1}{n}-1}\Delta x}{\sqrt[n]{x}}$
$\frac{x}{1+x^2}$	$\frac{\Delta x}{1+x^2}$	$\frac{\Delta x}{x(1+x^2)}$
e^x	$e^x \Delta x$	$\frac{e^x \Delta x}{e^x}$
$\ln x$	$\frac{\Delta x}{x}$	$\frac{\frac{\Delta x}{x}}{\ln x}$
$\sin x$	$\cos x \Delta x$	$\frac{\cos x \Delta x}{\sin x}$
$\cos x$	$-\sin x \Delta x$	$\frac{-\sin x \Delta x}{\cos x}$
$\sin x$	$\cos x \Delta x$	$\frac{\cos x \Delta x}{\sin x}$
$\cos x$	$-\sin x \Delta x$	$\frac{-\sin x \Delta x}{\cos x}$

tgx	$\frac{x}{\cos^2 x}$	$\frac{2x}{\sin 2x}$
$ctgx$	$\frac{x}{\sin^2 x}$	$\frac{2x}{\sin 2x}$

Изучение движения тела, брошенного под углом к горизонту

Тело, брошенное под углом α к горизонту с начальной скоростью v_0 , будет двигаться по криволинейной траектории, в любой точке которой вектор скорости может быть разложен на две составляющие – горизонтальную и вертикальную (рис. 1).

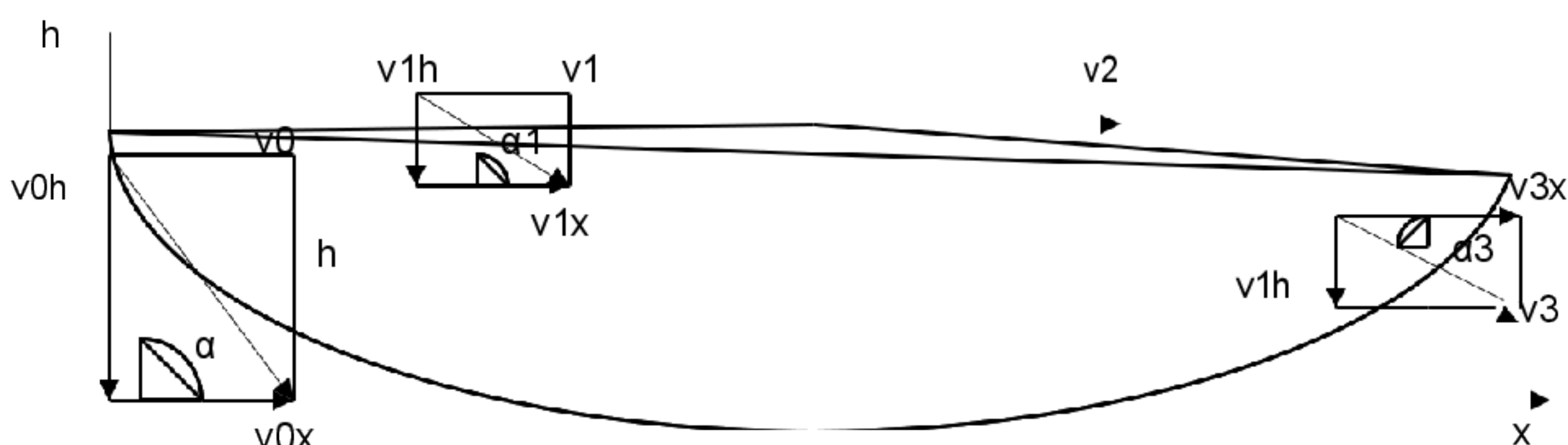


Рис. 1.

Проекции этих векторов на оси координат, начало которых выбрано в точке бросания, равны:

$$\begin{aligned} u_x &= u_0 \cdot \cos \alpha \\ u_y &= u_0 \cdot \sin \alpha - gt \end{aligned} \quad (1)$$

При этом горизонтальная составляющая скорости не будет меняться с течением времени, т. к. ускорение свободного падения не имеет горизонтальной составляющей, а направлено вертикально вниз. Вертикальная составляющая скорости будет меняться по закону равнопеременного движения с ускорением $a = g$. Изменение координат тела имеет вид.

$$\begin{aligned} x &= u_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \\ y &= h = u_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} \end{aligned} \quad (2)$$

Лабораторная работа № 5

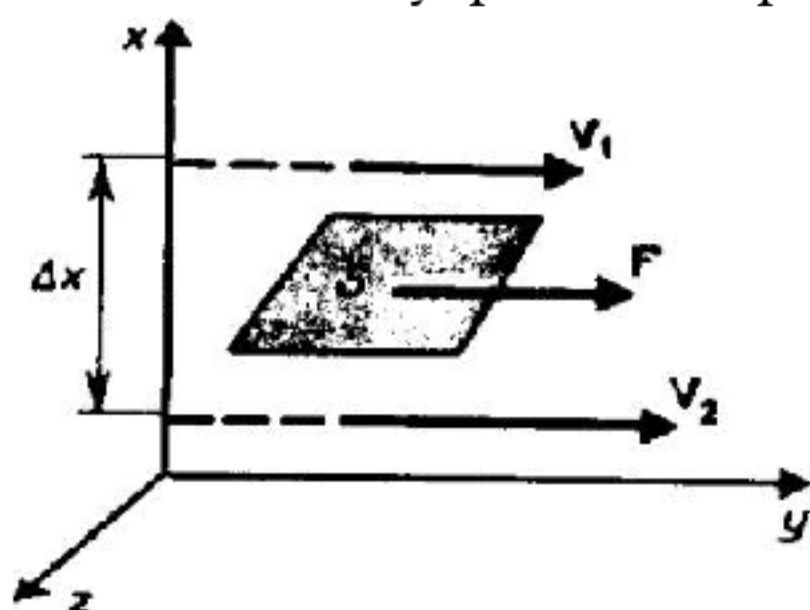
Тема работы. Определение коэффициента внутреннего трения жидкости методом падающего шарика (метод Стокса).

Цель работы. Познакомиться с методом измерения вязкости жидкой среды.

Теоретическая часть.

Вязкость (внутреннее трение) — это свойство реальных жидкостей оказывать сопротивление перемещению одной части жидкости относительно другой. При перемещении одних слоев реальной жидкости относительно других возникают силы внутреннего трения, направленные по касательной к поверхности слоев. Действие этих сил проявляется в том, что со стороны слоя, движущегося быстрее, на слой, движущийся медленнее, действует ускоряющая сила. Со стороны же слоя, движущегося медленнее, на слой, движущийся быстрее, действует тормозящая сила.

Сила внутреннего трения F тем больше, чем больше рассматриваемая площадь поверхности слоев S , и зависит от того, насколько быстро меняется скорость течения жидкости при переходе от слоя к слою. На рисунке представлены два слоя, отстоящие друг от друга на расстоянии Δx и движущиеся со скоростями v_1 и v_2 . При этом $v_1 - v_2 = \Delta v$. Направление, в котором отсчитывается расстояние между слоями, **перпендикулярно** скорости течения слоев. Величина $\Delta v / \Delta x$ показывает, как быстро меняется скорость при переходе от слоя к слою в направлении x , перпендикулярном направлению движения слоев, и называется **градиентом скорости**. Таким образом, можно считать, что модуль силы внутреннего трения равен:



$$F = \eta \left| \frac{\Delta v}{\Delta x} \right| S, \quad (1)$$

где коэффициент пропорциональности η , зависящий от природы жидкости, называется **динамической вязкостью** (или просто **вязкостью**).

Единица вязкости — **паскаль-секунда** (Па·с): 1 Па·с равен динамической вязкости среды, в которой при ламинарном (гладком) течении и градиенте скорости с модулем, равным 1 м/с на 1 м, возникает сила внутреннего трения в 1 Н на 1 м² поверхности касания слоев (1 Па·с = 1 Н·с/м²). Применяется также внесистемная единица — **пуаз** (П): 1 Па·с = 10 П.

Чем больше вязкость, тем сильнее жидкость отличается от идеальной, и тем большие силы внутреннего трения в ней возникают. Вязкость зависит от температуры, причем характер этой зависимости для жидкостей и газов различен. Для жидкостей η с увеличением температуры уменьшается, у газов, наоборот, увеличивается, что указывает на различие в них механизмов внутреннего трения. Так, динамическая вязкость воды уменьшается от $1,792 \cdot 10^{-2}$ П до $0,284 \cdot 10^{-2}$ П (т.е. в 6,3 раза) при увеличении температуры от 0 °С до 100 °С, а у воздуха в этом же диапазоне вязкость увеличивается от $1,709 \cdot 10^{-4}$ П до $2,175 \cdot 10^{-4}$ П.

Существует два режима течения жидкостей. Течение называется **ламинарным (слоистым)**, если вдоль потока каждый выделенный тонкий слой скользит относительно соседних слоев, и **турбулентным (вихревым)**, если вдоль потока происходит интенсивное перемешивание жидкости (газа).

Ламинарное течение жидкости наблюдается при небольших скоростях ее движения. Внешний слой жидкости, примыкающий к поверхности трубы, в которой она течет, из-за сил молекулярного сцепления прилипает к ней и остается неподвижным. Скорости последующих слоев тем больше, чем больше их расстояние до поверхности трубы, и наибольшей скоростью обладает слой, движущийся вдоль оси трубы.

При турбулентном течении частицы жидкости приобретают составляющие скоростей, перпендикулярные течению, поэтому они могут переходить из одного слоя в другой. Скорость частиц жидкости быстро возрастает по мере удаления от поверхности трубы, затем изменяется довольно незначительно. Так как частицы жидкости переходят из одного слоя в другой, то их скорости в различных слоях мало отличаются. Из-за большого градиента скоростей у поверхностей трубы обычно происходит образование вихрей.

Профиль усредненной скорости при турбулентном течении в трубах отличается от параболического профиля при ламинарном течении более быстрым возрастанием скорости у стенок трубы и меньшей кривизной в центральной части течения.

Английский ученый О. Рейнольдс (1842—1912) установил, что характер течения зависит от безразмерной величины, называемой числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho U d}{\eta} \quad (2)$$

где ρ – плотность жидкости;

U

– средняя по сечению трубы скорость жидкости;

d – характерный линейный размер, например диаметр трубы;

η – динамическая вязкость жидкости.

Отношение $\nu = \eta/\rho$ называется **кинематической вязкостью**, поэтому (2) можно представить следующим образом:

$$Re = \frac{U d}{\nu} \quad (3)$$

При малых значениях числа Рейнольдса ($Re < 1000$) наблюдается ламинарное течение, переход от ламинарного течения к турбулентному происходит в области $1000 < Re < 2000$, а при $Re = 2300$ (для гладких труб) течение турбулентное. Если число Рейнольдса одинаково, то режим течения различных жидкостей (газов) в трубах разных сечений одинаков.

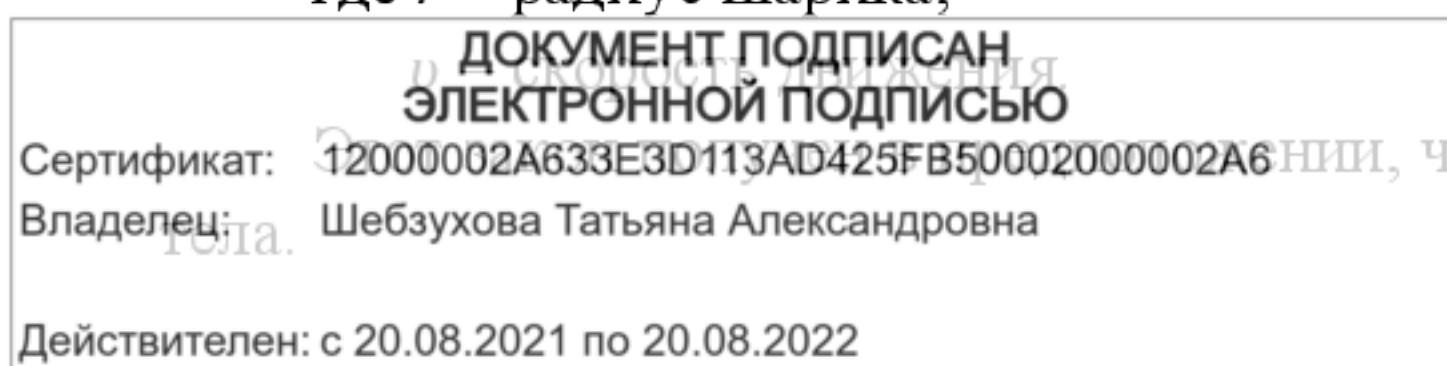
Теория метода и описание установки

Вязкость проявляется при движении не только жидкости по сосудам, но и тел в жидкости. При небольших скоростях в соответствии с уравнением Ньютона сила сопротивления движущемуся телу пропорциональна вязкости жидкости, скорости движения тела и зависит от размеров тела. Так как невозможно указать общую формулу для силы сопротивления, то ограничимся рассмотрением частного случая.

Наиболее простой формой тела является сфера. Для сферического тела (шарик) зависимость силы сопротивления при его движении в сосуде с жидкостью от перечисленных выше факторов выражается **законом Стокса**:

$$F_{\text{пр}} = 6\pi\eta r v, \quad (4)$$

где r – радиус шарика;



Вывод: при ламинарном течении, что стенки сосуда не влияют на движение

При падении шарика в вязкой среде (рис. 3) на него действуют три силы:

сила тяжести $mg = \frac{4}{3} \rho \pi r^3 g$;

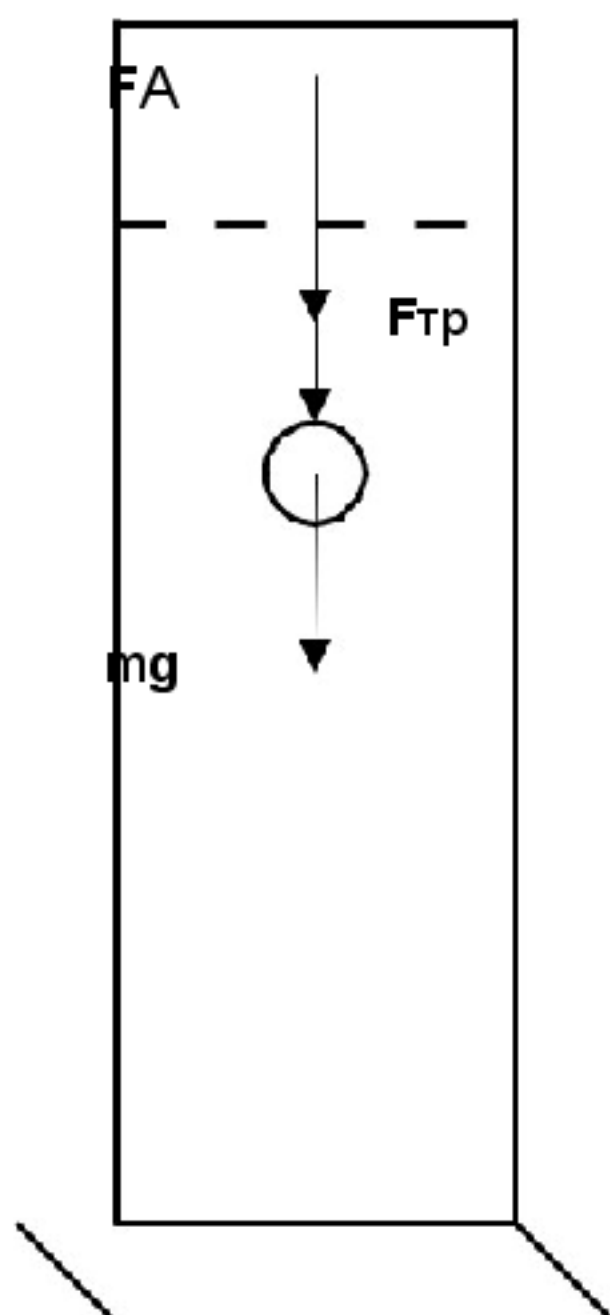
выталкивающая (архимедова) $F_A = m_{ж} g = \frac{4}{3} \rho_{ж} \pi r^3 g$,

где $m_{ж}$ – масса вытесненной шаром жидкости; $\rho_{ж}$ – ее плотность;

$F_{тр}$ – сила сопротивления, вычисляемая по формуле (4).

При попадании шарика в вязкую жидкость его скорость уменьшается. Так как сила сопротивления прямо пропорциональна скорости, то и она будет уменьшаться до тех пор, пока движение не станет равномерным. В этом случае:

$$mg + F_A + F_{тр} = 0 \quad (5)$$



В скалярной форме при подстановке соответствующих

выражений для сил, формула (5) будет иметь вид

$$\frac{4}{3} \rho \pi r^3 g - \frac{4}{3} \rho_{ж} \pi r^3 g - 6 \pi \eta r v_0 = 0, \quad (6)$$

Рис.2.

где U_0 – скорость равномерного движения (падения) шарика. Из (6) получаем выражение для динамической вязкости:

$$\eta = \frac{2(\rho - \rho_{ж})r^2 g}{9 v_0} \quad (7)$$

Формула (7) справедлива для движения шарика не только в жидкости, но и в газе.

Экспериментальная установка состоит из стеклянного цилиндра, заполненного глицерином. На цилиндре нанесены две горизонтальные метки (проволочные кольца), расположенные друг от друга на расстоянии l (верхняя метка должна быть ниже уровня глицерина на 5 – 8 см.). Вязкость глицерина зависит от температуры следующим образом:

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ		
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6	18	21
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна	10,69	7,78
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	8,48	8,18

Оборудование и материалы.

Стеклянный цилиндр, заполненный глицерином, секундомер, пинцет, шарики, микрометр или отсчетный микроскоп.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

1. Измерив диаметр шарика, опустить шарик в жидкость как можно ближе к оси цилиндра.
2. Включить секундомер в момент прохождения шариком верхней метки.
3. Выключить секундомер в момент прохождения шариком нижней метки.
4. Повторить опыт несколько (7 – 9) раз. Вычислить среднее время t_{cp} , за которое шарик проходит между двумя метками.
5. Измерить расстояние l между метками.
6. Вычислить скорость падения шариков $v_0 = l/t_{cp}$.
7. Подставить значение скорости в формулу (7), вычислить вязкость глицерина.
8. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1.

t_1, c	t_2, c	t_3, c	t_4, c	t_5, c	t_6, c	t_7, c	t_8, c	t_9, c	t_{cp}, c	r, m	$v_0, m/c$	l, m	$\eta, Pa \cdot c$

Примечание: плотность свинца $\rho = 11,350 \text{ г/см}^3$
плотность глицерина $\rho_{ж} = 1,264 \text{ г/см}^3$.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание методики выполнения работы;
- результаты измерений, расчеты (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН	
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Что такое внутреннее трение?
2. От чего зависит сила внутреннего трения?
3. Как записывается формула Ньютона для внутреннего трения?
4. Что показывает градиент скорости? В каких единицах он измеряется?
5. От чего зависит сила трения при движении тел шарообразной формы в вязкой среде?
6. Какие силы действуют на падающий в вязкой среде шарик и каков характер движения шарика?
7. В каких единицах измеряют вязкость? От чего она зависит?

Лабораторная работа № 6

Тема работы. Определение отношения удельных теплоемкостей воздуха методом адиабатического расширения.

Цель работы. Изучить газовые законы, первый закон термодинамики и понятие теплоёмкости. Определить отношение теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и постоянном объеме (коэффициент Пуассона) в условиях, близких к нормальным.

Теоретическая часть.

Опыт показывает, что количество теплоты Q , необходимое для нагревания массы однородного вещества от температуры T_1 до T_2 , пропорционально массе вещества и изменению температуры:

$$Q = cm(T_2 - T_1), \quad (1)$$

где c - удельная теплоемкость вещества. Из формулы (1) следует

$$c = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)}. \quad (2)$$

Удельной теплоемкостью называется количество теплоты, необходимое для

$$[c] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

нагревания вещества массой 1 кг на 1 К. В «СИ»

Кроме удельной теплоемкости вещества используется молярная теплоемкость C^M . **Молярной теплоемкостью** называется количество теплоты, необходимое для нагревания 1 моля вещества на 1 К. Из определения удельной теплоемкости следует, что она связана с молярной соотношением

$$C^M = Mc \quad (3)$$

где M - молярная масса вещества. В «СИ» единица измерения

$$[C^M] = 1$$

$$\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

Состояние газа может быть охарактеризовано тремя параметрами: давлением p , объемом V и температурой T . Уравнение, связывающее эти величины, называется **уравнением состояния газа**. Для случая идеального газа уравнением состояния является уравнение Менделеева-Клапейрона

$$pV = \frac{m}{M} RT, \quad (4)$$

где R - универсальная газовая постоянная.

Величина теплоемкости газов зависит от условий нагревания. Выясним эту зависимость, воспользовавшись уравнением состояния (4) и **первым началом термодинамики**, которое можно сформулировать следующим образом: количество теплоты δQ , переданное системе, затрачивается на увеличение ее внутренней энергии dU и на работу δA , совершаемую системой против внешних сил

$$\delta Q = dU + \delta A. \quad (5)$$

По определению теплоемкость равна

$$C = \frac{\delta Q}{dT} = \frac{dU}{dT} + \frac{\delta A}{dT}. \quad (6)$$

Из уравнения (6) видно, что теплоемкость может иметь различные значения в зависимости от способов нагревания газа, так как одному и тому же значению dT могут соответствовать различные значения dU и δA .

Элементарная работа идеального газа равна $\delta A = p dV$. **Внутренняя энергия газа** равна:

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT, \quad (7)$$

где $\frac{m}{M}$ - количество молей газа, i - число степеней свободы.

Числом степеней свободы молекулы газа называется число независимых координат, определяющих положение молекулы в пространстве.

При движении точки по прямой линии для оценки ее положения надо знать одну координату, то есть точка имеет одну степень свободы. Если точка движется по плоскости, ее положение характеризуется двумя координатами, то есть точка обладает двумя степенями свободы. Положение материальной точки в пространстве определяется тремя координатами (три степени свободы).

Молекулы, которые состоят из одного атома, считаются материальными точками и имеют число степеней свободы $i = 3$. Такими являются молекулы аргона, гелия и др. Двухатомные молекулы (H_2 , N_2 и др.) обладают числом степеней свободы $i = 5$; они имеют три степени свободы поступательного движения вдоль осей X , Y , Z и две степени свободы вращения вокруг осей X и Z (рисунок 1, а). Вращением вокруг оси Y можно пренебречь, так как момент инерции молекулы относительно этой оси очень мал. Молекулы, состоящие из трех и более жестко связанных атомов, не лежащих на одной прямой (рисунок 1, б), имеют число степеней свободы $i = 6$: три степени свободы поступательного движения и три степени свободы вращения вокруг осей X , Y , Z . Столько же степеней свободы имеют и другие многоатомные молекулы.

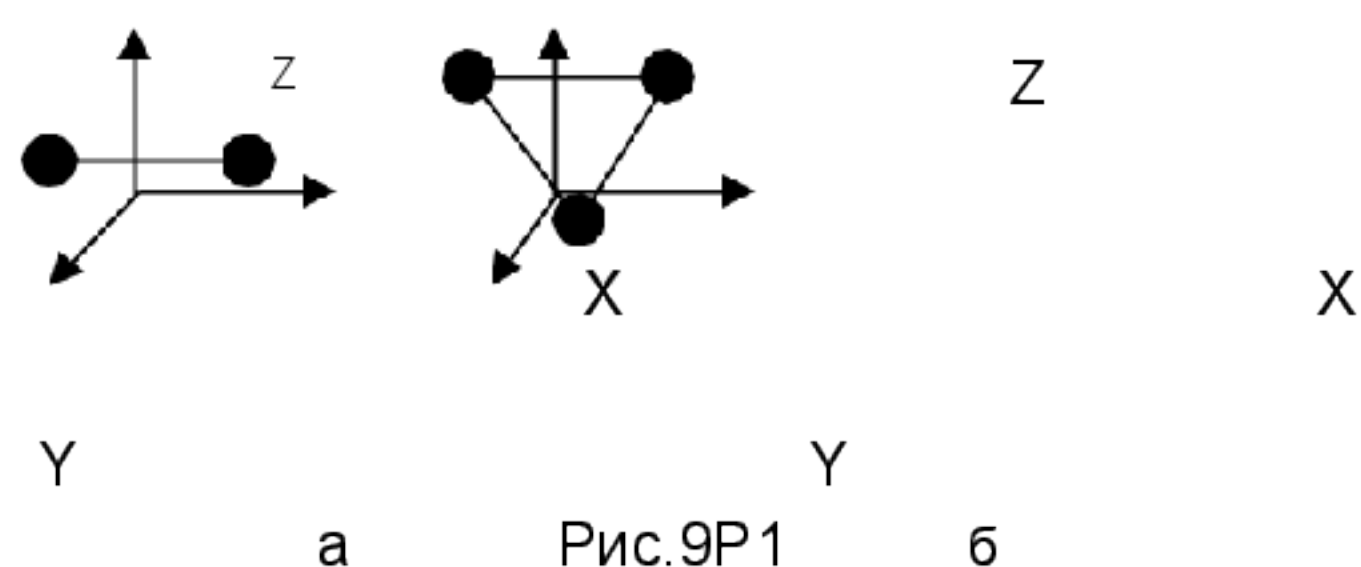


Рисунок 1 – Число степеней свободы молекул

В общем случае i - коэффициент, равный сумме числа поступательных ($i_{пост}$), вращательных ($i_{вращ}$) и удвоенного числа колебательных ($i_{колеб}$) степеней свободы молекулы газа:

$$i = i_{пост} + i_{вращ} + 2i_{колеб}.$$

На рисунке 2 показана зависимость молярной теплоёмкости $C_{V,M}$ водорода (H_2) от температуры, из которой следует, что теплоёмкость реального газа не зависит от температуры только в определенных температурных интервалах. При этом в интервале 1-1' необходимо учитывать только поступательные степени свободы ($i=3$); в интервале 2-2' - поступательные и вращательные ($i=5$); в интервале 3-3' - поступательные, вращательные и колебательные ($i=6$). Описанная зависимость теплоёмкости реального газа от температуры обусловлена квантовой природой молекул и объясняется в соответствующих разделах курса физики.

Температуры, выше которых необходимо учитывать температурную зависимость

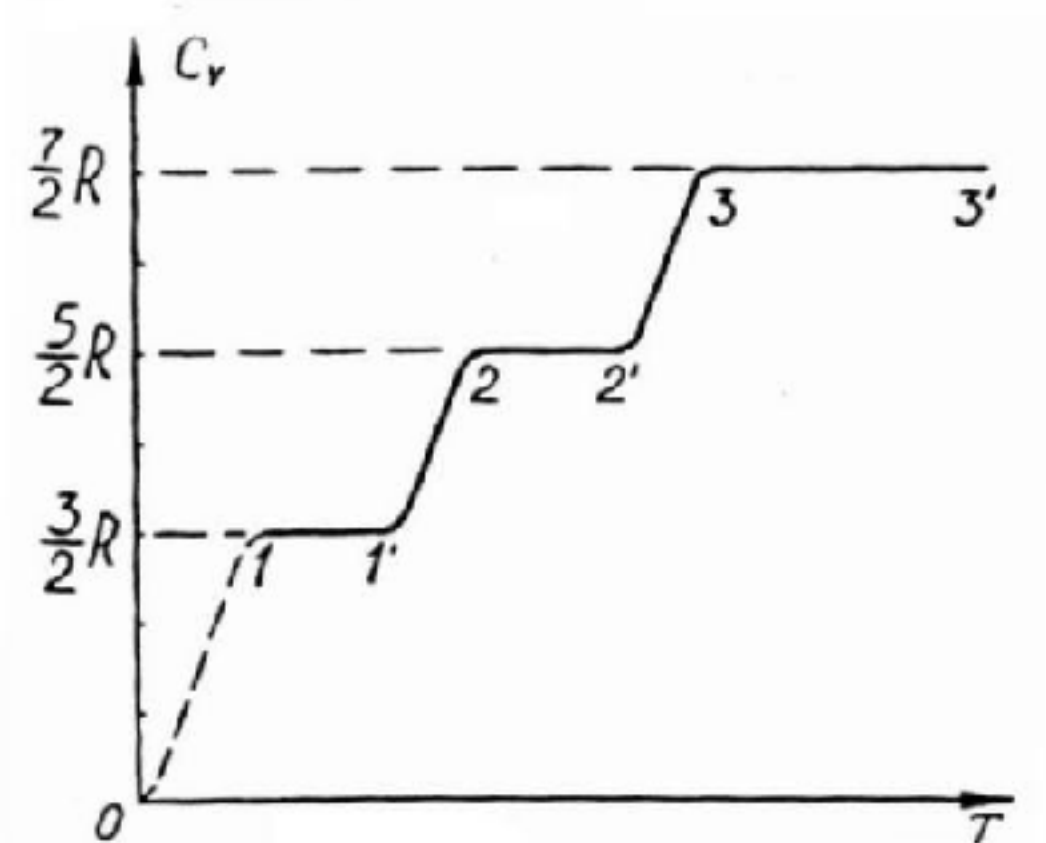


Рисунок 2 – Зависимость молярной теплоёмкости от температуры газа

вкладов в теплоёмкость вращательного и колебательного движения молекул, получили название **вращательной характеристической** и **колебательной характеристической температуры** соответственно. Значения этих характеристических температур для водорода, азота и кислорода приведены в таблице 1.

Вращательная и колебательная характеристические температуры некоторых газов

Таблица 1

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Газ	Характеристическая температура, К	
	вращательная	Колебательная
H ₂	85,4	6100
N ₂	2,86	3340
O ₂	2,07	2230

Из приведенных данных следует, что при температурах, близких к нормальной, реальные двухатомные газы можно рассматривать как идеальный газ, молекулы которого обладают только поступательными и вращательными степенями свободы.

Рассмотрим основные процессы, протекающие в идеальном газе при изменении температуры, когда количество вещества газа остается неизменным и равно **одному молю**. Количество теплоты, необходимое для нагревания одного моля газа на 1К, равно молярной теплоемкости.

Изохорный процесс. Процесс называется изохорным, если объем тела при изменении температуры остается постоянным, т.е. $V=const$ и $m=const$. В этом случае $dV = 0$. Следовательно, и $dA = 0$, т.е. при этом вся подводимая к газу теплота идет на увеличение его внутренней энергии. Тогда из уравнений (6) и (7) следует, что молярная теплоемкость газа при постоянном объеме равна

$$C_V^M = \frac{dU}{dT} = \frac{i}{2} R. \quad (8)$$

Изобарный процесс. Процесс, протекающий при постоянном давлении $p = const$ и $m=const$, называется изобарным. Для этого случая формула (6) переписывается в виде:

$$C_p^M = \frac{dU}{dT} + p \frac{dV}{dT}. \quad (9)$$

Из уравнения газового состояния (4) для одного моля получаем:

$$pdV + Vdp = RdT. \quad (10)$$

Но $p = const$ и $dp = 0$. Следовательно, $pdV = RdT$. Подставляя это выражение в уравнение (9), получим

$$C_p^M = \frac{i+2}{2} R. \quad (11)$$

Из уравнений (8) и (11) следует, что

$$C_p^M = C_V^M + R. \quad (12)$$

Последнее уравнение называют **уравнением Майера**.

Изотермический процесс. Изотермическим процессом называется процесс, протекающий при постоянной температуре $T=const$ и $m=const$. В этом случае $dT = 0$ и

$$dQ = dA$$

то есть внутренняя энергия газа остается постоянной и все подводимое тепло

расходуется на работу.

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Процесс, протекающий без теплообмена с окружающей средой, называется адиабатическим. Первое начало термодинамики для такого процесса

будет иметь вид: $dQ = 0$, $dU + dA = 0$, $dA = -dU$, то есть при адиабатическом процессе работа совершается газом только за счет изменения запаса внутренней энергии.

Выведем уравнение адиабатического процесса. При адиабатическом расширении работа совершается за счет убыли внутренней энергии $dA = -dU$. Но $dA = pdV$ и

$$dU = C_{V,M} dT, \text{ значит}$$

$$pdV = - C_{V,M} dT. \quad (13)$$

Разделив уравнение (10) на (13) и учитывая (12), получим

$$1 + \frac{V dp}{p dV} = - \frac{C_p^M - C_V^M}{C_V^M} \Rightarrow \frac{dp}{p} = -\gamma \frac{dV}{V}, \quad (14)$$

$$\gamma = \frac{C_p^M}{C_V^M}$$

где называется

показателем адиабаты или **коэффициентом Пуассона**.

Интегрируя и потенцируя уравнение (14), получим **уравнение Пуассона** (уравнение адиабатического процесса):

$$pV^\gamma = \text{const}.$$

С учетом (8) и (11) коэффициент Пуассона равен

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i}.$$

(16)

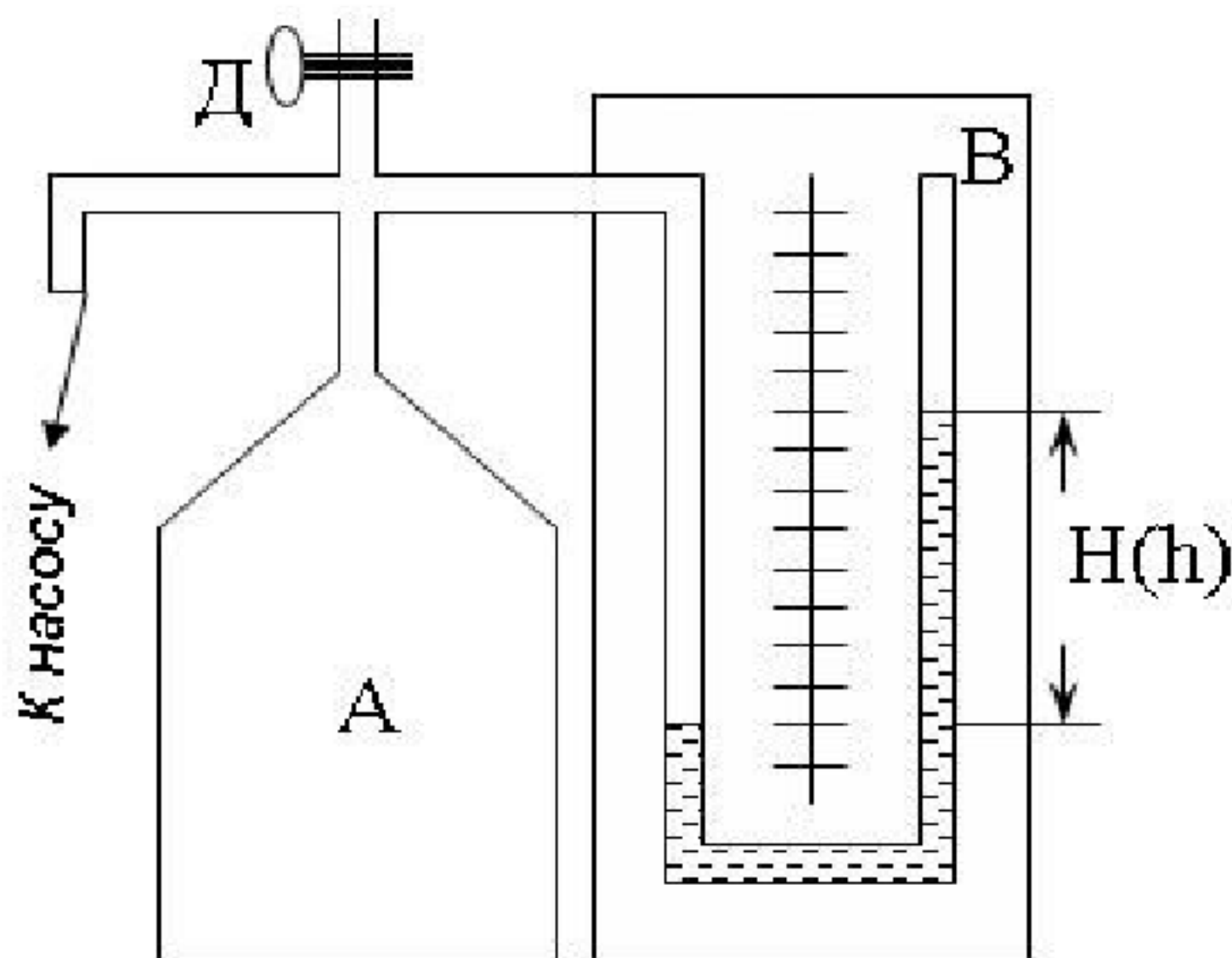


Рисунок 3 – Схема установки

Эта формула справедлива как для отношения молярных, так и удельных теплоемкостей газов.

Воздух является в основном смесью двухатомных газов: азота и кислорода. Поэтому его можно рассматривать в целом как двухатомный газ. Совпадение экспериментально найденного значения коэффициента γ с рассчитанным по формуле (16) для двухатомного идеального газа может служить критерием применимости теории идеального газа для описания реальных газов.

Оборудование и материалы.

Предлагаемый метод определения коэффициента Пуассона основан на применении уравнений адиабатического и изохорного процессов и закона Бойля-Мариотта.

Установка состоит из стеклянного баллона А, соединенного с водяным манометром В и краном Д (рис. 3). Посредством крана Д баллон может быть соединен с атмосферой.

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

быстро, то столбик воды в манометре не сразу займет окончательное положение, так как при сжатии воздуха температура его повысится. Окончательная разность уровней воды в коленах манометра H установится только тогда, когда температура воздуха внутри баллона сравняется, благодаря теплопроводности стенок, с комнатной температурой

Обозначим через T_1 комнатную температуру и через p_1 - давление газа внутри сосуда, соответствующее показанию манометра H . Очевидно, что давление, установившееся в баллоне, будет больше атмосферного на величину $\Delta p_1 = \rho g H$:

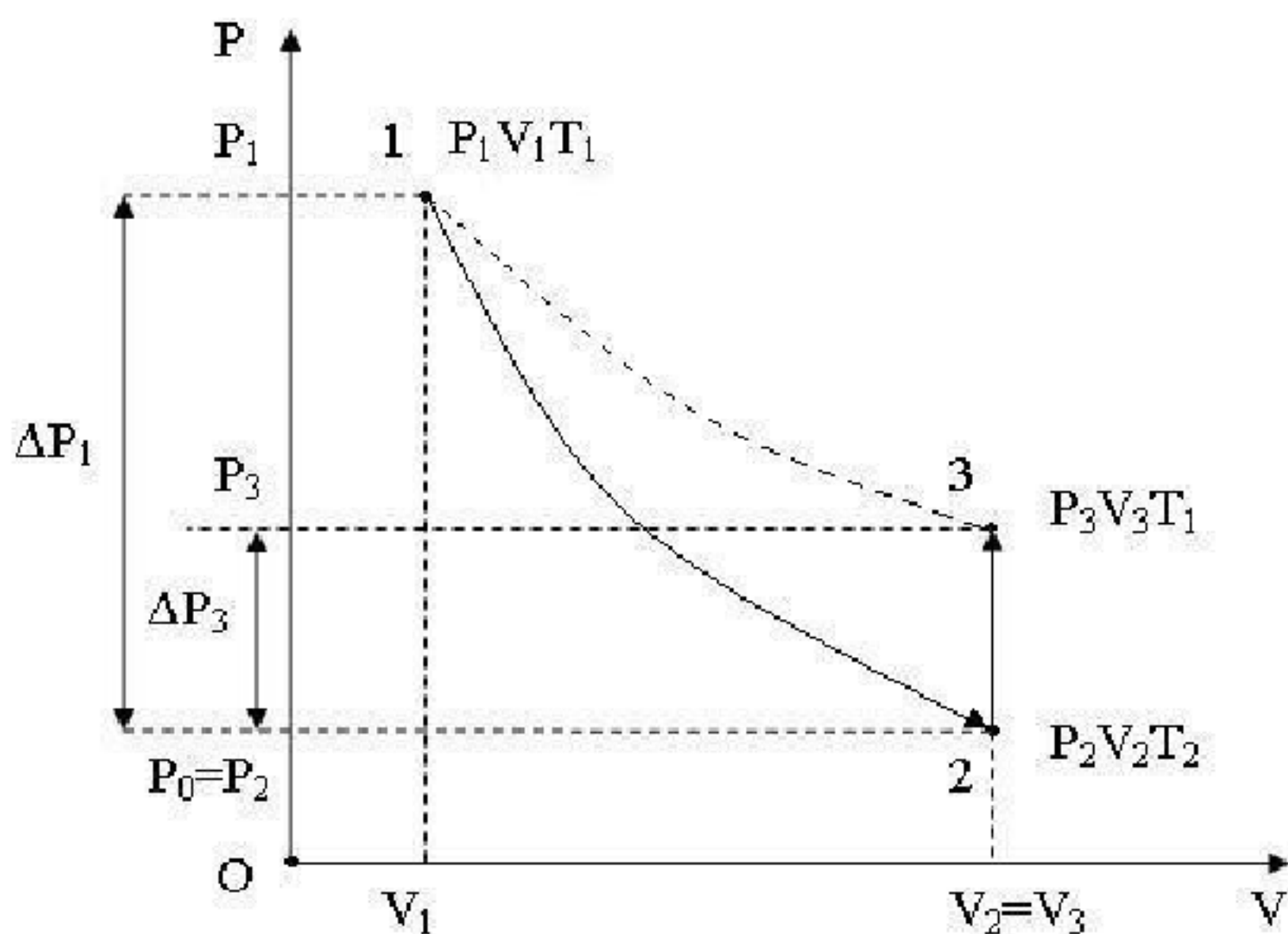


Рисунок 4 – Диаграмма газового процесса

$$p_1 = p_0 + \Delta p_1 \quad (17)$$

где p_0 - атмосферное давление. Параметры T_1 и p_1 характеризуют состояние элемента объема V_1 газа, которое мы назовем первым состоянием газа (точка 1 на рисунке 4).

Если теперь на короткое время открыть кран, то воздух в баллоне будет расширяться адиабатически, пока давление его не сделается равным атмосферному p_0 ; при этом он охладится до температуры T_2 . Это будет второе состояние газа с

параметрами T_2 , V_2 и $p_2 = p_0$ (точка 2 на рисунке 4).

Если сразу в момент достижения второго состояния газа снова закрыть кран, то давление внутри баллона начнет возрастать вследствие того, что охладившийся при расширении (процесс 1-2) воздух в баллоне станет снова нагреваться. Возрастание давления прекратится, когда температура воздуха в баллоне сравняется с комнатной температурой T_1 . Обозначим давление воздуха в баллоне в этот момент через p_3 и соответствующее показание манометра - через h . Это будет третье состояние газа: T_1 , p_3 и V_3 (точка 3 на рисунке 4). Давление в этом состоянии равно

$$p_3 = p_0 + \Delta p_3, \quad (\Delta p_3 = \rho g h) \quad (18)$$

Переход от второго состояния (после закрытия крана) к третьему происходит без изменения объема, то есть изохорно.

Запишем уравнения, связывающие параметры воздуха в разных состояниях:

$$\text{процесс 1 - 2 (адиабата)} \quad p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma, \quad (19)$$

$$\text{процесс 2 - 3 (изохора)} \quad V_2 = V_3, \quad (20)$$

$$\text{кривая 1 - 3 (изотерма)} \quad p_1 V_1 = p_3 V_3. \quad (21)$$

В уравнение Пуассона (19) на основании равенства (20) подставим V_3 вместо V_2 :

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 \left(\frac{p_1}{p_3 V_1} \right)^\gamma \quad (24)$$

Представим выражение (24) в виде:

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 p_1^\gamma V_1^\gamma p_3^{-\gamma} \quad (25)$$

Сократив обе части на V_1^γ , перенеся p_1 вправо, а $p_2 p_3^{-\gamma}$ влево и поменяв левую и правую части местами, получим:

$$p_1^{\gamma-1} = p_2^{-1} p_3^\gamma \quad (26)$$

Помножим правую часть на $p_2^\gamma p_2^{-\gamma}$ (отчего равенство не нарушится) и сделаем соответствующие преобразования, объединив члены с одинаковым основанием степени:

$$p_1^{\gamma-1} = p_2^{\gamma-1} p_3^\gamma p_2^{-\gamma} \quad (27)$$

Поделим на $p_2^{\gamma-1}$ левую и правую части уравнения, получим:

$$\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\gamma-1} = \left(\frac{p_3}{p_2} \right)^\gamma \quad (28)$$

Представим давления газа в баллоне в точках 2, 1 и 3 соответственно как

$$p_2 = p_0, \quad (29)$$

$$p_1 = p_0 + \Delta p_1, \quad (30)$$

$$p_3 = p_0 + \Delta p_3, \quad (31)$$

где p_0 – давление окружающей среды, то есть атмосферное давление, Δp_1 и Δp_3 – давление, пропорциональное разности уровней жидкости в манометре в состояниях 1 и 3 соответственно.

Подставив (29), (30), (31) в уравнение (28), получим

$$\left(1 + \frac{\Delta p_1}{p_0} \right)^{\gamma-1} = \left(1 + \frac{\Delta p_3}{p_0} \right)^\gamma \quad (32)$$

Разложив обе части полученного выражения в ряд по малому параметру и ограничившись первыми двумя членами ряда (в силу малости вторых слагаемых в левой и правой частях), получим

$$1 + (\gamma-1) \frac{\Delta p_1}{p_0} = 1 + \gamma \frac{\Delta p_3}{p_0} \quad (33)$$

Выразим из уравнения (33) коэффициент Пуассона:

$$\gamma = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_1 - \Delta p_3} \quad (34)$$

Если учесть, что $\Delta p_1 = \rho g H$, а $\Delta p_3 = \rho g h$, то получим рабочую формулу для

определения коэффициента Пуассона:

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$\gamma = \frac{H}{H-h} \quad (35)$$

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

1. При помощи крана Д соединить баллон с атмосферой. Закрыть кран.
2. Накачать в баллон воздух так, чтобы разность уровней воды в коленях манометра составила 20-25 см. (4-5 оборотов ручки насоса)
3. Выждать 1,5-2 минуты, чтобы воздух в баллоне охладился до комнатной температуры и уровни воды в манометре перестали перемещаться. Полученное состояние соответствует точке 1 на рисунке 4.
4. Записать в таблицу 2 высоту уровней воды $h_{л}$ и $h_{пр}$ в коленях манометра. Определить H :

$$H = |h_{л} - h_{пр}|$$

5. Открыть кран так, чтобы воздух в баллоне был соединен с атмосферой, и быстро его закрыть в момент, когда уровни жидкости в обоих коленях манометра сравняются. При этом давление воздуха в баллоне станет равным атмосферному p_0 – это состояние, соответствующее точке 2 на рисунке 4.

6. Выждать, чтобы воздух в баллоне после адиабатного расширения нагрелся, и его температура приблизилась к комнатной температуре. При этом давление в баллоне повысится и вновь появится разность уровней жидкости в манометре. Когда уровни перестанут перемещаться, сделать новый отсчет показаний установившихся уровней в коленях манометра $h_{л}$ и $h_{пр}$. Определить разность уровней h .

7. При помощи крана Д соединить баллон с атмосферой.
8. Опыт повторить не менее 5 раз по пунктам 1-7 (по указанию преподавателя).
9. Рассчитать по формуле (35) γ_i для каждого опыта проведенной серии измерений.
10. Найти среднее арифметическое $\bar{\gamma}$.
11. Вычислить полуширину доверительного интервала $\Delta\gamma$, как для серии прямых измерений.

12. Результат представить в виде $\gamma = \bar{\gamma} \pm \Delta\gamma, \alpha = 0,95$.

13. Вывод сделать из сравнения экспериментально полученного значения коэффициента Пуассона и рассчитанного по формуле (16) через степени свободы молекул воздуха.

Таблица результатов измерений

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ				Таблица 2				
№	Сертификат:	Владелец:	Действителен:	$h_{пр}$, мм	$h_{л}$, мм	i	< >	Δi
	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6	Шебзухова Татьяна Александровна	с 20.08.2021 по 20.08.2022					

2							
3							
4							
5							

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Что такое идеальный газ?
2. Запишите уравнение состояния идеального газа. Дайте определение величин, входящих в него.
3. Что называется числом степеней свободы системы? Каково число степеней свободы одно-, двух- и многоатомной молекулы? Чем обусловлено различие числа степеней свободы для разных молекул?
4. Что такое внутренняя энергия? Как найти внутреннюю энергию идеального газа?
5. Назовите способы изменения внутренней энергии. Как рассчитать работу идеального газа?
6. Сформулируйте первое начало термодинамики.
7. Дайте определения теплоемкости системы, удельной и молярной теплоемкостей.
8. Дайте определения изотермическому, изобарному, изохорному и адиабатическому газовым процессам, проанализируйте их с помощью первого начала термодинамики. Приведите графики соответствующих изопроцессов.
9. Запишите формулы для молярных теплоемкостей идеального газа. Объясните, почему теплоемкость газа при постоянном давлении больше, чем при постоянном объеме.
10. Выразите коэффициент Пуассона через число степеней свободы молекулы.
11. Постройте график процессов, происходящих с воздухом при выполнении данной работы и объясните его.

Лабораторная работа № 7

Тема работы: Изучение электростатического поля

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН

ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 42000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Изучение электростатического поля; построение эквипотенциальных поверхностей поля.

Теоретическая часть.

Известно, что вокруг любого заряда или заряженного тела существует электрическое поле. В этом поле на внесенный в него другой заряд действует кулоновская сила. Электрическое поле характеризуется в каждой точке величинами: силовой – вектором электрической напряженности $\vec{E}$, и энергетической – скалярной величиной – потенциалом ϕ .

Напряженностью электрического поля называется физическая величина, численно равная и совпадающая по направлению с силой $\vec{F}$, действующей со стороны поля на единичный положительный точечный заряд q_0 , помещенный в рассматриваемую точку:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (1)$$

Потенциалом электрического поля в данной точке называется скалярная величина, численно равная потенциальной энергии U единичного положительного точечного заряда q_0 , помещенного в эту точку

$$\phi = \frac{U}{q_0} \quad (2)$$

Потенциал и напряженность электрического поля связаны соотношением

$$\vec{E} = -\text{grad}\phi \quad (3)$$

Напомним, что градиентом любой скалярной величины ϕ называют вектор, направление которого совпадает с направлением быстрейшего увеличения величины ϕ , а модуль равен изменению ϕ при перемещении на единицу длины в направлении быстрейшего изменения ϕ . Знак «минус» в формуле (3) показывает, что напряженность поля $\vec{E}$ направлена в сторону убывания потенциала.

Направление вектора напряженности электрического поля в каждой точке поля и распределение потенциалов поля можно сделать особенно наглядным, если воспользоваться понятиями о силовых линиях и о поверхностях равного потенциала, так называемых эквипотенциальных поверхностях.

Силовыми линиями называются линии, касательные в каждой точке которых определяют направление векторов напряженностей электрического поля. Число же силовых линий проходящих через единицу площади, нормальной к этим линиям, определяет величину вектора напряженности электрического поля в центре этой площади. Линии напряженности электрического поля незамкнуты, они начинаются из положительного заряда и заканчиваются на отрицательном заряде.

Геометрическое место точек электрического поля, потенциалы которых одинаковы, называется эквипотенциальной поверхностью. Эквипотенциальные поверхности проводят таким образом, что разность потенциалов для двух соседних поверхностей всюду одна и та же. Это позволяет по густоте эквипотенциальных поверхностей судить о величине напряженности поля.

Векторы напряженности электрического поля и, следовательно, силовые линии поля нормальны к эквипотенциальным поверхностям. На рис.1 силовые линии некоторого поля проведены сплошной линией, а эквипотенциальные поверхности – штриховой.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

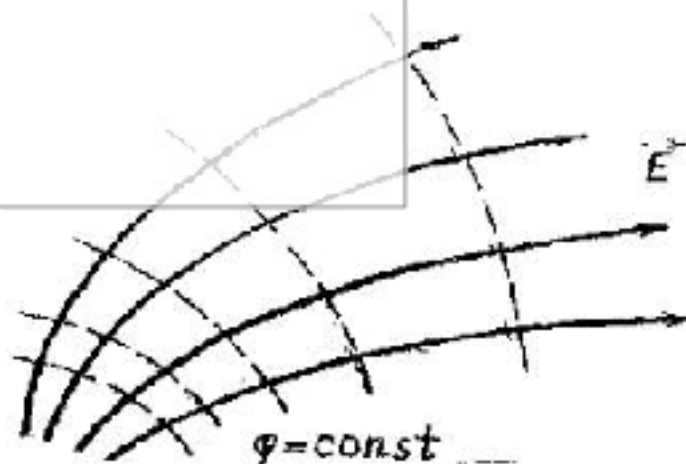


рис. 1

Известно, что экспериментальное и теоретическое изучение распределения потенциалов электрического поля проще, чем определение напряженностей поля. Поэтому в данной работе экспериментально определяется распределение потенциалов электростатического, т.е. не изменяющегося со временем электрического поля. Силовые линии изучаемого поля можно построить потом, как кривые, ортогональные к экспериментально найденным поверхностям равного потенциала.

Распределение потенциалов электростатического поля можно изучать методом зондов, заключающемся в следующем: в исследуемую точку поля вводится дополнительный электрод – зонд, устроенный так, чтобы он минимально нарушал своим присутствием исследуемое поле и принимал потенциал той точки поля, в которую он помещен. При этих условиях показания прибора, с которым зонд соединяется проводником, будут давать правильную картину распределения потенциалов в исследуемом поле.

Сложности работы с зондами и, вообще, трудности электростатических измерений привели к разработке особого метода изучения электростатических полей – путем искусственного воспроизведения их структуры в проводящих средах, по которым пропускается постоянный ток. Таким путем прямое изучение электростатического поля заменяется изучением его точной и более удобной модели.

Описанный метод исследования, который называется моделированием электростатического поля, имеет широкое применение на практике. Этот метод полезен для изучения сложных электростатических полей, точный расчет которых затруднителен из-за сложности граничных условий (многоэлектродные радиолампы, электростатические линзы, фотоэлектронные умножители и т.д.).

Оборудование и материалы.

Специальная установка; гальванометр; источник тока.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. Располагайте приборы, материалы, оборудование на рабочем месте в порядке, указанном преподавателем.
4. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
5. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

1. Проверить схему экспериментальной установки.
2. Включить выпрямитель в сеть 220 В.
3. Установить реохорды на расстоянии 8-10 см от одного из клемм реохорды. Определить потенциалы движка по формуле (4).

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

4. Перемещая зонд вращением ручек координатника, находить такие точки, для которых ток гальванометра равен нулю. Количество этих точек должно быть

достаточно для построения линии эквипотенциальной поверхности (7-10 точек).

Координаты точек отсчитывать по линейкам координатника.

5. Нанести на миллиметровую бумагу найденные точки и соединить их плавной линией. На линии написать его потенциал.

6. Изменив положение реохорды повторить пп.4, 5. число повторений опыта 4-5 раз.

7. Используя найденные линии эквипотенциальных поверхностей, построить силовые линии поля. При этом надо иметь в виду, что в точках пересечения линии эквипотенциальных поверхностей и силовые линии должны быть нормальны друг к другу.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.

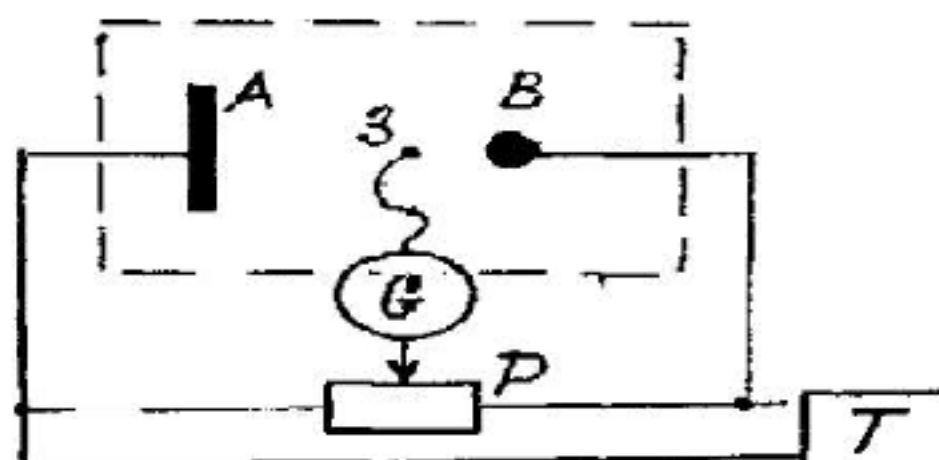


Рис. 2

Она представляет собой мостовую схему, состоящую из электродов А и С, поле между которыми изучается, реохорды Р, нуль-гальванометра G, соединенного с зондом z, и источника питания – выпрямителя В. Напряжение на электроды А и С подается с реохорды Р, подключенной на выход выпрямителя В. Средой, позволяющей моделировать электростатическое поле, служит токопроводящая бумага, контуры которой показаны на рис. 2 штриховыми линиями.

Принцип работы установки можно понять из следующего. Перемещая движок реохорды, этому движку можно придавать различные значения потенциала относительно электродов. Наличие или отсутствие тока в цепи зависит при этом от того, в какой точке поля находится зонд. Если он находится в такой точке поля, потенциал которой равен потенциалу, установленному на движке реохорды, то тока в цепи гальванометра не будет. Геометрическое место точек поля, для которых ток в цепи гальванометра будет равен нулю, образует эквипотенциальную поверхность в исследуемом поле. Потенциал ϕ этой поверхности относительно электрода С можно найти как

$$\phi = \frac{n}{N} U \quad (4)$$

где U – напряжение на выходе выпрямителя, N – число делений шкалы реохорды, n – деление шкалы, на который установлен движок.

Установка снабжена специальным приспособлением – координатником, позволяющим вращением ручек координатника перемещать зонд, а также отсчитывать координаты найденных точек эквипотенциальной поверхности.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);

- оценка

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

</

- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Какими величинами характеризуется электрическое поле? Дайте определение этих величин и напишите единицы их измерения.
2. Какова связь между напряженностью и потенциалом электростатического поля в общем случае и в случае однородного поля?
3. Какими понятиями пользуются для наглядного представления электрического поля?
4. Нарисуйте силовые линии и эквипотенциальные поверхности поля точечного заряда, двух разноименных зарядов.
5. Какие экспериментальные методы используют для изучения электростатического поля?

Лабораторная работа № 8

Тема работы. Измерение сопротивления с помощью моста Уитстона.

Цель работы. Целью работы является изучение метода измерения сопротивления проводников с помощью мостовой схемы и определение удельного сопротивления материала проводника.

Теоретическая часть.

Электросопротивление проводника – это скалярная физическая величина, характеризующая его электропроводящие свойства. Сопротивление проводника зависит от его формы, размеров и электропроводящих свойств материала, из которого изготовлен проводник. В простейшем случае однородного проводника с постоянным поперечным сечением, сопротивление проводника определяется следующим образом:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad l \quad (1)$$

где ρ – удельное сопротивление материала проводника, l – длина проводника;
 S – площадь его поперечного сечения.

Из формулы (1) можно выразить удельное сопротивление:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l}, \quad (2)$$

откуда видно, что удельное сопротивление численно равно сопротивлению проводника единичной длины, имеющего площадь поперечного сечения, равную единице площади. В системе СИ удельное сопротивление измеряют в омметрах (Ом·м).

Одним из методов измерения сопротивления является метод моста Уитстона.

Мост Уитстона предназначен для измерения сопротивлений.

Он состоит из двух резисторов R_1 и R_2 , чувствительного гальванометра G , резисторов – эталонного R_3 и неизвестного R_x (рис.1). Рассмотрим условия, что по участку ED ток не протекает. Замкнём ключ K , тогда по участку AB потечёт ток и вдоль него будет наблюдаться падение потенциала от величины ϕ_A (в точке A) до величины ϕ_B (в точке B). В цепи пойдёт ток I и будет наблюдаться падение потенциала от ϕ_A до ϕ_E (на резисторе R_x) и от ϕ_E до ϕ_B (на резисторе R_3).

рис. 1



Очевидно, потенциал в точке e имеет значение ϕ_E промежуточное между значениями ϕ_A и ϕ_B . Поэтому подбором резисторов R_1 , R_2 и R_3 всегда можно добиться, того что в точке D потенциал ϕ_D будет равен потенциалу ϕ_E : $\phi_D = \phi_E$. Если между точками D и E включен гальванометр G , то в этом случае ток через него не пойдет, т.к.

$$\phi_E - \phi_D = 0.$$

Такое положение называется равновесием моста. Покажем, что условие равновесия определяется соотношением:

$$\frac{R_X}{R_3} = \frac{R_1}{R_2} \quad (1)$$

Действительно, на основании второго закона Кирхгофа для любого замкнутого контура сумма падений напряжений равна сумме электродвижущих сил, действующих в этом контуре:

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{m=1}^m \mathcal{E}_m \quad (2)$$

Запишем эти уравнения для контуров AED и BED при равновесии моста, т. е. при отсутствии тока на участке ED .

$$\begin{aligned} I_1 R_1 + I_X R_X - I_2 R_2 &= 0 \\ I_1 R_3 - I_2 R_2 &= 0 \end{aligned}$$

Из этих уравнений легко получаем соотношение (1).

$$\frac{R_X}{R_3} = \frac{R_1}{R_2}$$

Откуда:

(3)

Зная, что $R_1 = 270 \text{ Ом}$, $R_2 = 47,6 \text{ Ом}$ и подбирая R_3 , найдем R_X .

Оборудование и материалы.

Мост Уитстона, набор сопротивлений, магазин сопротивлений, гальванометр, источник постоянного тока.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. При выполнении лабораторных работ студентам запрещается:
 - включать схемы под напряжением без проверки преподавателя;
 - прикасаться к незащищённым изоляцией частям схемы, находящимся под напряжением;
 - определять наличие напряжения на элементах цепи при помощи пальцев;

проверка наличия напряжения производится только с помощью вольтметра и в присутствии преподавателя;

- включать рубильники, нажимать кнопки, прикасаться к электрическому оборудованию, не относящемуся к данной лабораторной работе без ведома преподавателя;
- производить по ходу выполнения работы переключения в схеме, не обесточив её;
- бросать соединительные провода на пол и на исследуемую установку;

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

- класть на рабочий стол посторонние предметы;
 - входить в лабораторию в верхней одежде;
4. Перед включением схемы обязательно предупредить членов бригады: «Осторожно! Включаю!».
 5. При наличии в схеме конденсаторных батарей, необходимо после отключения питания их разрядить под наблюдением преподавателя.
 6. При обнаружении каких – либо неисправностей, исчезновения напряжения в сети, а также при несчастном случае, немедленно прекратить работу, отключить установку от электропитания и сообщить преподавателю.
 7. Помнить, что при отключении цепей постоянного тока с индуктивностью возможно кратковременное резкое повышение напряжения.
 8. Студенты, нарушившие правила техники безопасности, не допускаются к дальнейшей работе в лаборатории и привлекаются к ответственности.

Задания.

1. Собрать схему (рис. 1).
2. Подобрать на магазине сопротивлений такое сопротивление R_3 при котором ток через гальванометр равен нулю.
3. Вычислить R_{x1} по формуле (3).
4. Повторить измерения для второго сопротивления R_{x2} , и для третьего R_{x3} .
5. Измерить сопротивления при последовательном и параллельном соединении R_{x1} , R_{x2} и R_{x3} и проверить формулы для последовательного и параллельного соединения сопротивлений:

$$R_{\text{посл}} = R_{x1} + R_{x2} + R_{x3}; \quad R_{\text{парал.}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{x1}} + \frac{1}{R_{x2}} + \frac{1}{R_{x3}}}$$

6. Определить погрешность измерений.
7. Записать окончательный результат.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Сформулировать закон Ома.
2. Сформулировать правила Кирхгофа.
3. Вывести условия равновесия моста используя правила Кирхгофа.
4. Изменится ли условие равновесия моста, если гальванометр и источник тока поменять местами?
5. Как определяется удельное сопротивление?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Лабораторная работа № 9

Тема работы. Исследование электрической цепи постоянного тока.

Цель работы. Изучение зависимости силы тока, напряжения, полной полезной мощности и к.п.д. источника от сопротивления нагрузки.

Теоретическая часть.

Любая электрическая цепь состоит из источника и потребителя энергии, а также различных регулировочных устройств и измерительных приборов.

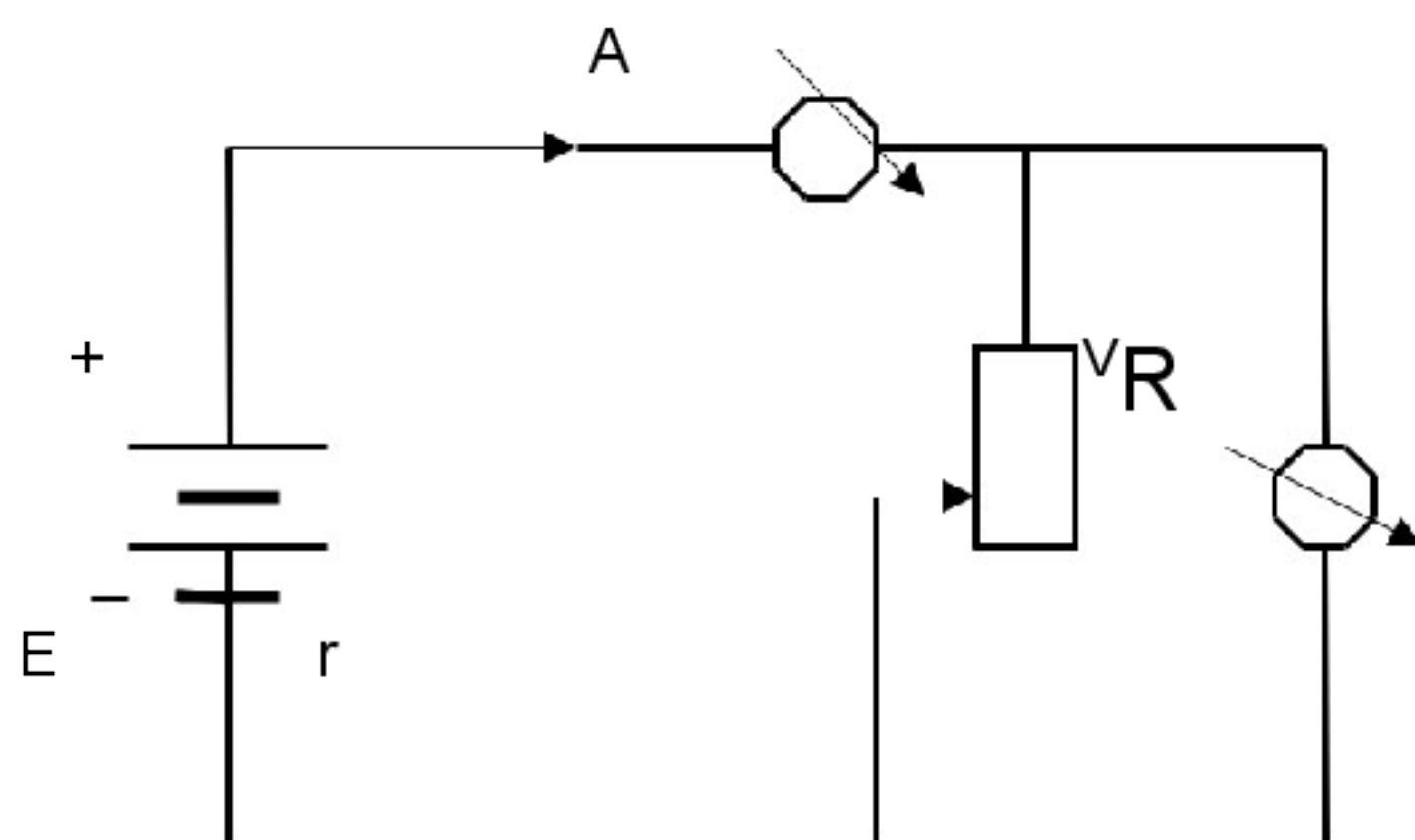


Рис.1.

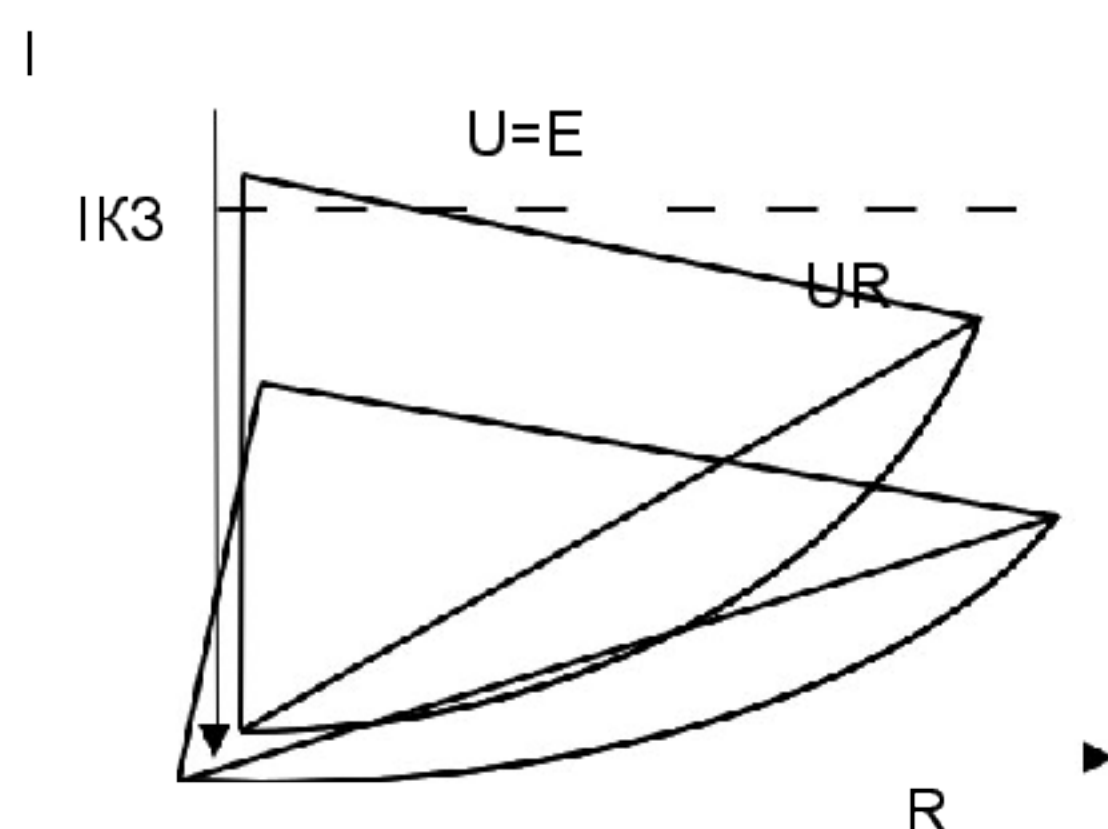


Рис.2.

На рис. 1 представлена простейшая цепь, состоящая из источника постоянного тока с ЭДС E и внутренним сопротивлением r и нагрузочного реостата R . Для измерения силы тока и напряжения на нагрузке в цепь включены амперметр A и вольтметр V . В такой цепи сила тока, напряжение на нагрузке, полная и полезная мощности оказываются зависимыми от величины нагрузки. Сила тока, например, убывает с ростом сопротивления нагрузки в соответствии с известным законом Ома.

$$\frac{R}{R+r} \quad (1)$$

Очевидно, что ток будет в случае короткого замыкания, т.е. при $R=0$. Его

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$U_R = IR, \quad U_r = Ir, \quad U = IR + Ir = I(R + r), \quad (2)$$

где U_R и U_r - падения напряжения (или просто напряжения) на внешнем и внутреннем участках цепи соответственно.

Принимая во внимание закон Ома (1), получаем из (2) зависимость напряжения U_r от сопротивления нагрузки R :

$$U_r = \frac{E}{R + r} \cdot r = \frac{E}{1 + \frac{R}{r}} \cdot \frac{r}{R} \quad (3)$$

Отсюда видно, что с ростом сопротивления нагрузки напряжение на ней возрастает, асимптотически приближаясь к величине ЭДС при $R \rightarrow \infty$ (рис. 2).

При прохождении электрического тока в цепи происходит выделение полной мощности

$$P = IE, \quad (4)$$

при этом мощность, выделяемая на нагрузке

$$P_R = IU_R, \quad (5)$$

является полезной мощностью.

Из (4) видно, что полная мощность, развиваемая источником, зависит от сопротивления нагрузки R так же как и сила тока $I = I(R)$. Она максимальная при коротком замыкании ($R=0$)

$$P_{\text{к.з.}} = I_{\text{к.з.}} E = \frac{E^2}{r}, \quad (6)$$

но в этом случае выделяется в самом источнике и оказывается бесполезной, а зачастую вредной, вызывая выход источника из строя. С ростом R полная мощность убывает, стремясь к нулю при $R \rightarrow \infty$ (рис. 3).

Зависимость полезной мощности, выделяемой на нагрузке, от R определяется выражением

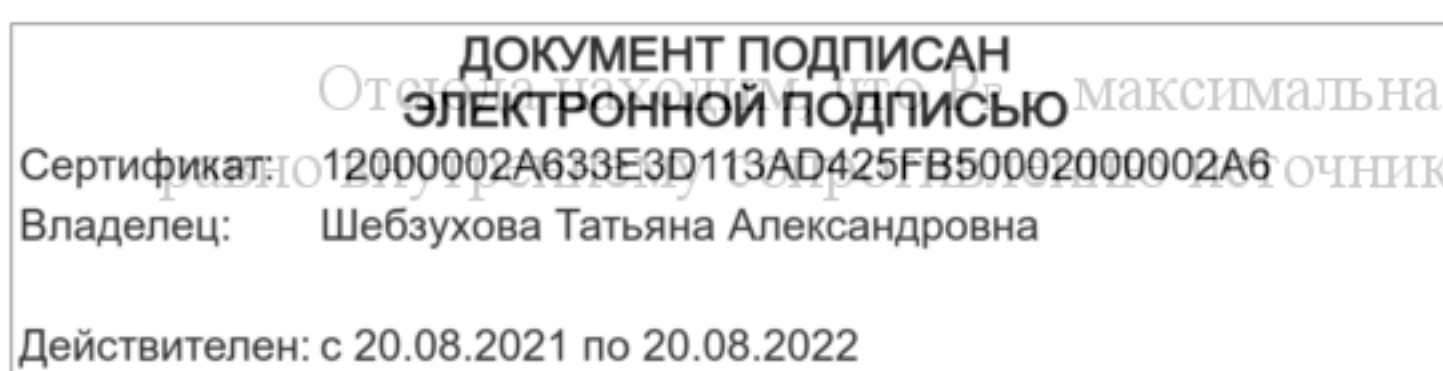
$$P_R = IU_R = I^2 R = \frac{E^2}{(R + r)^2} R \quad (7)$$

Анализ выражения (7) показывает, что зависимость $P_R = P_R(R)$ должна иметь максимум, так как $P_R \rightarrow 0$ в предельных случаях: при коротком замыкании ($R=0$) и при $R \rightarrow \infty$.

Найдем значение R_0 , при котором полезная мощность, отбираемая от источника, будет наибольшая. Для этого продифференцируем формулу (7) и приравняем производную нулю

$$\frac{dP_R}{dR} = \frac{E^2}{(R + r)^4} [(R + r) - 2R] = 0 \quad (8)$$

при $R = r$, т.е. когда сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению источника (рис. 3). При этом напряжение на



нагрузке равно половине ЭДС, т.е. $U_R = \frac{E}{2}$, а сила тока – половине силы тока короткого замыкания $I_{кз}$.

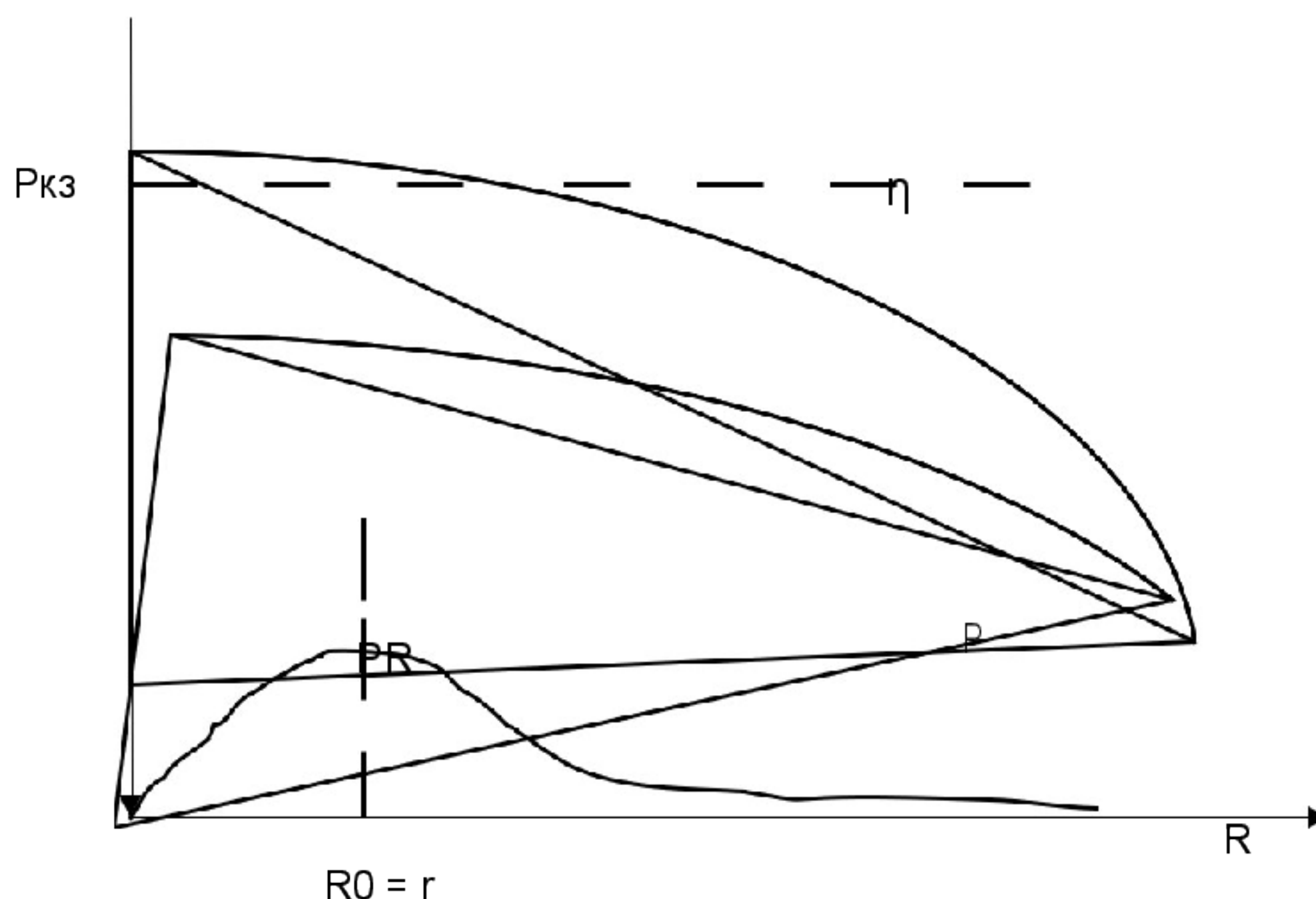


Рис.3.

Полезная мощность, в этом случае, составляет четверть мощности короткого замыкания.

Отношение полезной мощности ко всей мощности, развиваемой источником в цепи, определяет коэффициент полезного действия (к.п.д.) источника.

$$\frac{P_R}{P} = \frac{IU_R}{IE} = \frac{U_R}{E} \cdot \frac{R}{R+r} \quad (9)$$

Из этой формулы следует, что η будет тем больше, чем больше сопротивление нагрузки R . При $R \rightarrow 0$ η и асимптотически стремится к 0. При $R \rightarrow \infty$ η стремится к $\frac{1}{2}$, т.е. составляет 50%.

Именно исследование этих закономерностей является целью работы. Необходимо получить экспериментальные зависимости силы тока I , напряжения U_R , полной P и полезной P_R , а так же к.п.д. от величины сопротивления нагрузки.

Оборудование и материалы.

Источник постоянного тока, реостат для искусственного увеличения внутреннего сопротивления источника, нагрузочный реостат миллиамперметр, вольтметр.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

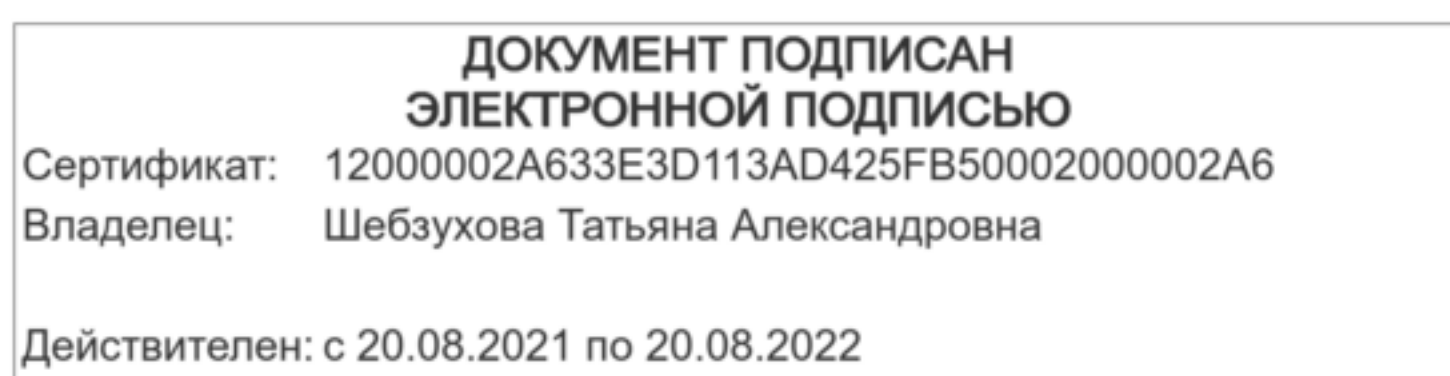
пускаются студенты, изучившие правила

2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. При выполнении лабораторных работ студентам запрещается:
 - включать схемы под напряжением без проверки преподавателя;
 - прикасаться к незащищённым изоляцией частям схемы, находящихся под напряжением;
 - определять наличие напряжения на элементах цепи при помощи пальцев; проверка наличия напряжения производится только с помощью вольтметра и в присутствии преподавателя;
 - включать рубильники, нажимать кнопки, прикасаться к электрическому оборудованию, не относящемуся к данной лабораторной работе без ведома преподавателя;
 - производить по ходу выполнения работы переключения в схеме, не обесточив её;
 - бросать соединительные провода на пол и на исследуемую установку;
 - класть на рабочий стол посторонние предметы;
 - входить в лабораторию в верхней одежде;
4. Перед включением схемы обязательно предупредить членов бригады: «Осторожно! Включаю!».
5. При наличии в схеме конденсаторных батарей, необходимо после отключения питания их разрядить под наблюдением преподавателя.
6. При обнаружении каких – либо неисправностей, исчезновения напряжения в сети, а также при несчастном случае, немедленно прекратить работу, отключить установку от электропитания и сообщить преподавателю.
7. Помнить, что при отключении цепей постоянного тока с индуктивностью возможно кратковременное резкое повышение напряжения.
8. Студенты, нарушившие правила техники безопасности, не допускаются к дальнейшей работе в лаборатории и привлекаются к ответственности.

Задания.

Рабочая схема изображена на рис. 4. В качестве источника могут использоваться аккумуляторы или выпрямитель, дающие напряжение величиной несколько вольт. Внутреннее сопротивление таких источников, как правило, мало - порядка десятых долей Ома. Поэтому, как следует из вышеизложенного, для построения графиков искомых зависимостей нагрузочный реостат R тоже должен иметь сопротивление порядка десятых долей Ома. Подобные реостаты являются уникальными. Поэтому внутреннее сопротивление источника в данной работе искусственно увеличивается путем последовательного включения дополнительного реостата r , имеющего величину нескольких десятков Ом. При этом собственным внутренним сопротивлением r источника можно пренебречь.

Из схемы (рис.4) следует, что внутреннее сопротивление миллиамперметра и вольтметра составляют с сопротивлением нагрузочного реостата единое целое. Таким образом, левую часть схемы следует рассматривать как источник, а правую как нагрузку.



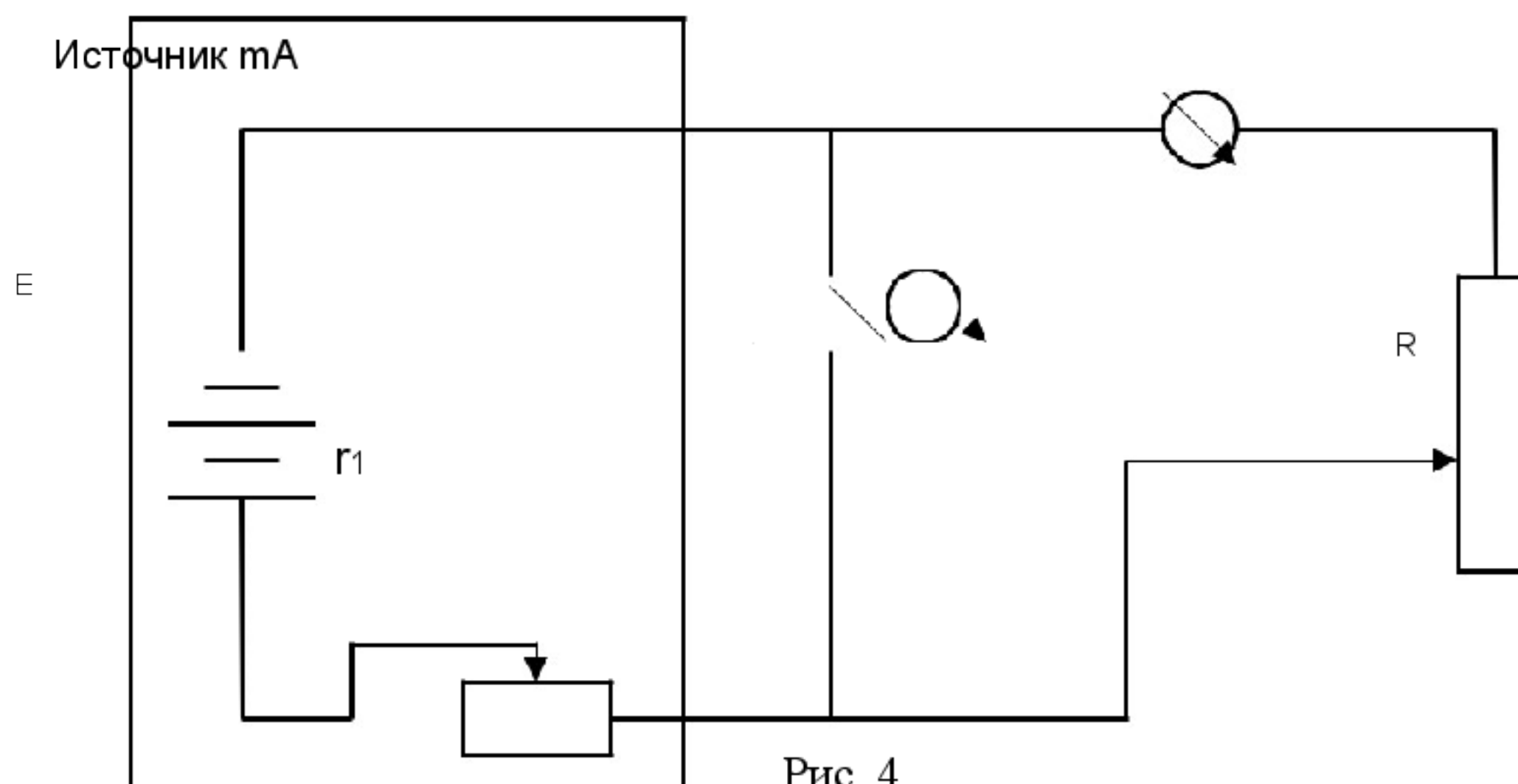


Рис. 4.

1. Собрать рабочую схему (рис.4). Выяснить параметры приборов. Движки реостатов установить в положение наибольшего значения сопротивления.
2. После проверки схемы преподавателем или лаборантом включить источник питания. Отсчитать показания приборов и занести в таблицу.
3. Далее, уменьшая сопротивление нагрузки R , снять 8-10 значений тока в цепи I и напряжения U_R . Последняя точка должна соответствовать короткому замыканию. При этом ток должен равняться $I_{кз}$, а напряжение должно обратиться в нуль. Выключить схему.
4. Определив цены делений на использованных пределах измерений амперметра и вольтметра вычислить и занести в таблицу значения тока в амперах и напряжения в вольтах.
5. Разделив полученные значения напряжения на соответствующие значения тока рассчитать и занести в таблицу сопротивление нагрузки R

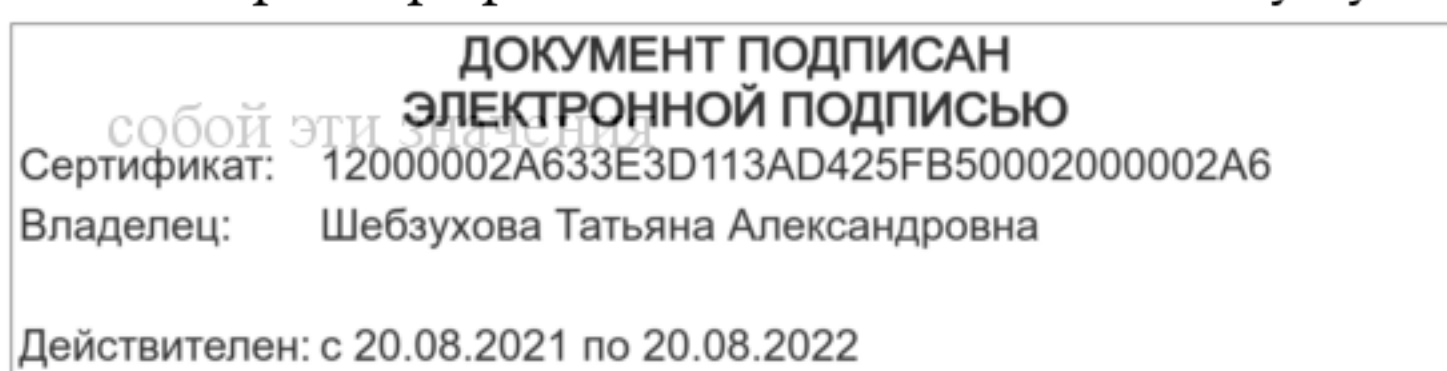
Таблица 1.

N	I	U_R	$R = \frac{U_R}{I}$	$P = IE$	$P_R = IU_R$	P_R
	A	B	Ом	Вт	Вт	Вт

6. Величину ЭДС E следует считать известной, либо измерить значение E при отключенной нагрузке.
7. По формулам (4,5,9) рассчитать значения полезной P_R , полной P мощности и к.п.д., соответствующие найденным величинам R .
8. По полученным значениям построить кривые $I = I(R)$, $U_R = U_R(R)$ на одном графике и $P = P(R)$, $P_R = P_R(R)$ и $\eta = \eta(R)$ на другом.
9. Отметить на первом графике сопротивление $R_0 = r$, при котором ток и напряжение составляют, соответственно, половину тока короткого замыкания $I_{кз}$ и половину E . На втором графике найти R_0 по максимуму зависимости $P_R = P_R(R)$. Сравнить между

R_0 . Примерное равенство

между этими двумя значениями R_0



является критерием правильности выполненных измерений. Если такого равенства нет, измерения следует проделать вновь.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. Что такое ЭДС?
2. Запишите закон Ома в обобщенной форме и для замкнутой цепи.
3. Проведите математическое исследование функций $U_R(R)$ и $I(R)$.
4. Дайте определение мощности электрического тока.
5. Проведите исследование зависимости $P_R(R)$.
6. Что такое к.п.д. источника?

Лабораторная работа № 10

Тема работы. Изучение явления электромагнитной индукции.

Цель работы. Изучение электрических токов возникающих при явлении электромагнитной индукции.

Теоретическая часть.

Магнитный поток через плоскую поверхность — это скалярная физическая величина, численно равная произведению модуля магнитной индукции на площадь поверхности, ограниченной контуром, и на косинус угла между нормалью к поверхности и магнитной индукцией 17 октября 1831 года английский ученый Майкл Фарадей открыл явление **электромагнитной индукции**.

Явлением электромагнитной индукции называется явление возникновения тока в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур. А полученный таким способом ток, называется **индукционным**.

Закон электромагнитной индукции: среднее значение электродвижущей силы индукции в проводящем контуре пропорционально скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром.

Величина и направление ЭДС индукции

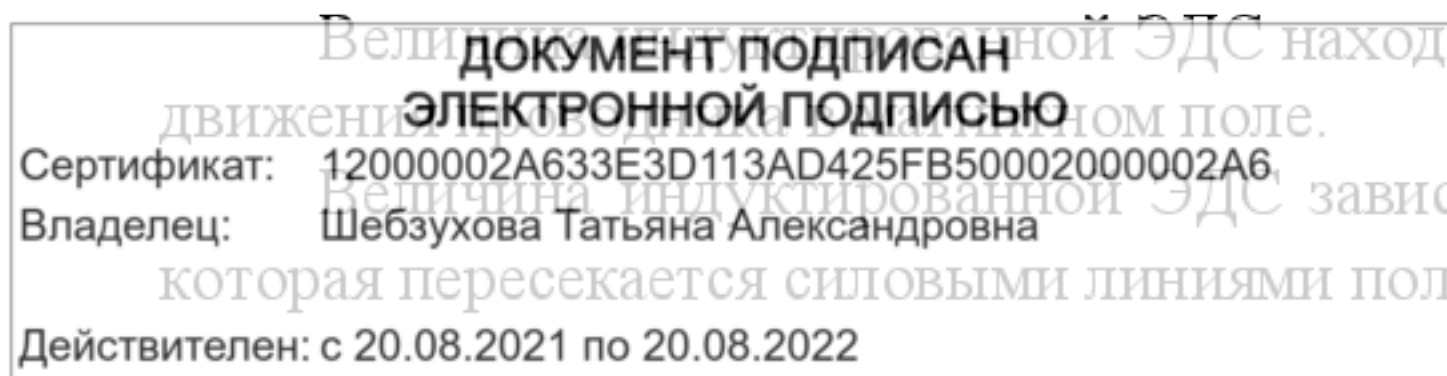
Рассмотрим теперь, каковы будут величина и направление индуцированной в проводнике ЭДС.

Величина ЭДС индукции зависит от количества силовых линий поля, пересекающих проводник в единицу времени, т. е. от скорости движения проводника в поле.

Величина ЭДС индукции находится в прямой зависимости от скорости

движения проводника в магнитном поле.

Величина индуцированной ЭДС зависит также и от длины той части проводника, которая пересекается силовыми линиями поля. Чем большая часть проводника



Изучая это явление, Э. Х. Ленц установил закон, определяющий направление индукционного тока в катушке, а следовательно, и направление ЭДС индукции. ЭДС индукции, возникающая в катушке при изменении в ней магнитного потока, создает в катушке ток такого направления, при котором магнитный поток катушки, созданный этим током, препятствует изменению постороннего магнитного потока.

Закон Ленца справедлив для всех случаев индуктирования тока в проводниках, независимо от формы проводников и от того, каким способом достигается изменение внешнего магнитного поля.

Величина э.д.с. индукции $\mathcal{E}_{\text{инд}}$ определяется законом электромагнитной индукции Фарадея: э.д.с. электромагнитной индукции $\mathcal{E}_{\text{инд}}$, в замкнутом проводящем контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока Φ сквозь поверхность, ограниченную этим контуром

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

Знак минус в формуле соответствует *правилу Ленца*: при всяком изменении магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную замкнутым контуром, в последнем возникает индукционный ток такого направления, что его собственное магнитное поле противодействует изменению магнитного потока, вызвавшего индукционный ток.

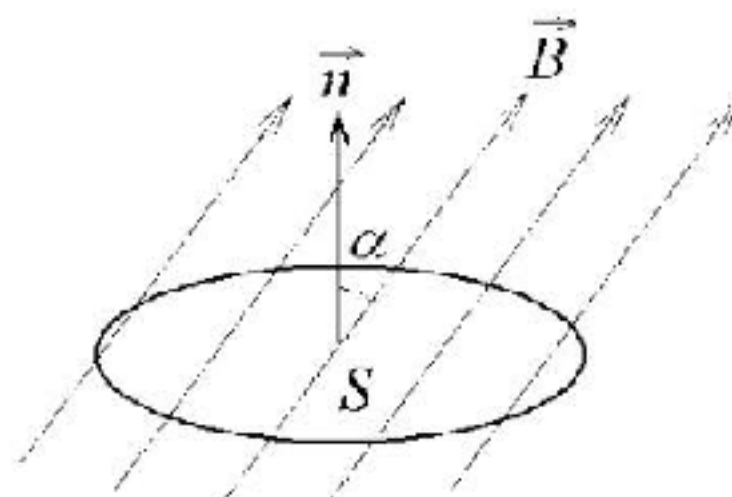


Рис. 1.

Причина возникновения индукционного тока в неподвижном контуре согласно теории электромагнетизма Максвелла состоит в том, что при изменении магнитного поля возникает вихревое электрическое поле, т.е. электрическое поле с замкнутыми силовыми линиями. Под действием этого поля свободные заряды контура перемещаются, т.е. в контуре возникает электрический ток, называемый индукционным током.

Пусть плоский замкнутый проводящий контур L находится в однородном магнитном поле с индукцией B (рис. 1). Тогда магнитный поток Φ (поток вектора магнитной индукции) через поверхность, ограниченную контуром L , определяется выражением

$$\Phi = BS \cos \alpha, \quad (2)$$

где S – площадь поверхности, ограниченной контуром L , α – угол между направлением силовых линий (направлением вектора $\vec{B}$ и нормалью $\vec{n}$ к поверхности, ограниченной контуром).

Пусть магнитное поле создается цилиндрической катушкой (соленоидом), по которой протекает переменный электрический ток

$$I = I_0 \cos \omega t \quad (3)$$

где I_0 – амплитудное значение тока; $\omega = 2\pi\nu$ – циклическая частота тока; ν – частота тока.

Тогда магнитная индукция B поля внутри катушки и вблизи ее торцов равна

$$B = \mu \mu_0 n I$$

$$B = \mu \mu_0 n I_0 \cos \omega t$$

(4)

где μ – магнитная проницаемость сердечника катушки; μ_0 – магнитная постоянная; n – число витков катушки на единице длины. Подставив выражение (4) в формулу (2), находим магнитный поток через контур, расположенный вблизи торца катушки

$$\Phi = \mu \mu_0 n I_0 S \cos \alpha \cos \omega t$$

Отсюда скорость изменения магнитного потока равна,

$$\frac{d\Phi}{dt} = -\mu \mu_0 n I_0 S \omega \cos \alpha \sin \omega t$$

пропорциональна амплитудному

значению тока в катушке I_0 и косинусу угла α . Подставив выражение (5) в формулу (1), получаем

$$\varepsilon_{\text{инд}} = C I_0 \cos \alpha \quad (6)$$

где $C = -\mu \mu_0 n S \omega \sin \omega t$

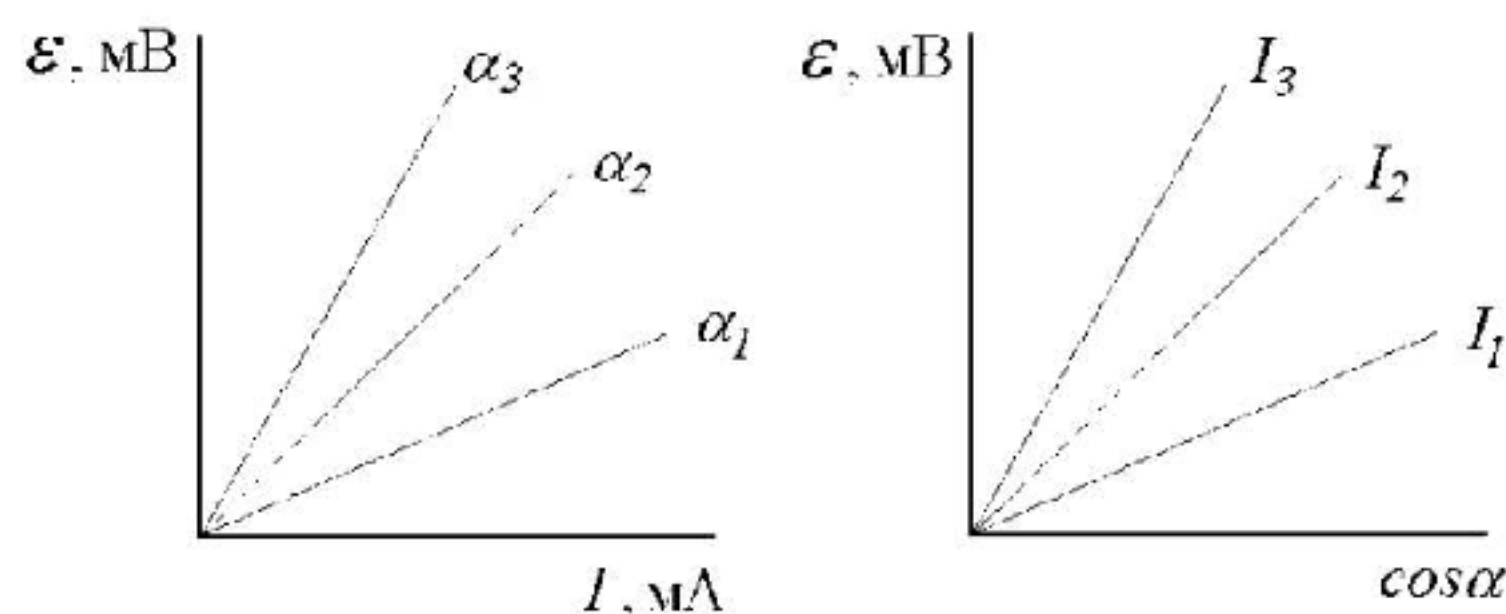


Рис.2.

Зависимость э.д.с. электромагнитной индукции $\varepsilon_{\text{инд}}$ от I и $\cos \alpha$ (примерный вид изображен на рис.2).

Оборудование и материалы.

1. Миллиамперметр.
2. Магнит.
3. Катушка-моток.
4. Источник тока.
5. Реостат.
6. Ключ.
7. Катушка от электромагнита.
8. Соединительные провода.

Указания по технике безопасности.

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности.
2. Лабораторные работы могут проводиться только под руководством и наблюдением преподавателя.
3. При выполнении лабораторных работ студентам запрещается:

- включать напряжение без проверки преподавателя;
- прикасаться к оголенным изоляцией частям схемы, находящимся под

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

- определять наличие напряжения на элементах цепи при помощи пальцев; проверка наличия напряжения производится только с помощью вольтметра и в присутствии преподавателя;
 - при работе на лабораторной установке прикасаться одновременно стен, радиаторов системы отопления и других металлических предметов;
 - включать рубильники, нажимать кнопки, прикасаться к электрическому оборудованию, не относящемуся к данной лабораторной работе без ведома преподавателя;
 - производить по ходу выполнения работы переключения в схеме, не обесточив её;
 - бросать соединительные провода на пол и на исследуемую установку;
 - заменять сгоревшие предохранители на рабочих щитах при включённых рубильниках;
 - класть на рабочий стол посторонние предметы;
 - входить в лабораторию в верхней одежде;
 - курение и зажигание огня.
4. Перед включением схемы обязательно предупредить членов бригады: «Осторожно! Включаю!».
 5. При наличии в схеме конденсаторных батарей, необходимо после отключения питания их разрядить под наблюдением преподавателя.
 6. При обнаружении каких – либо неисправностей, исчезновения напряжения в сети, а также при несчастном случае, немедленно прекратить работу, отключить установку от электропитания и сообщить преподавателю.
 7. Помнить, что при отключении цепей постоянного тока с индуктивностью возможно кратковременное резкое повышение напряжения.
 8. Студенты, нарушившие правила техники безопасности, не допускаются к дальнейшей работе в лаборатории и привлекаются к ответственности.

Задания.

Эксперимент 1

Начнем лабораторную работу со сбора установки. Чтобы собрать схему, которую мы будем использовать в лабораторной работе, присоединим моток-катушку к миллиамперметру и используем магнит, который будем приближать или удалять от катушки. Одновременно с этим мы должны вспомнить, что будет происходить, когда будет появляться индукционный ток.

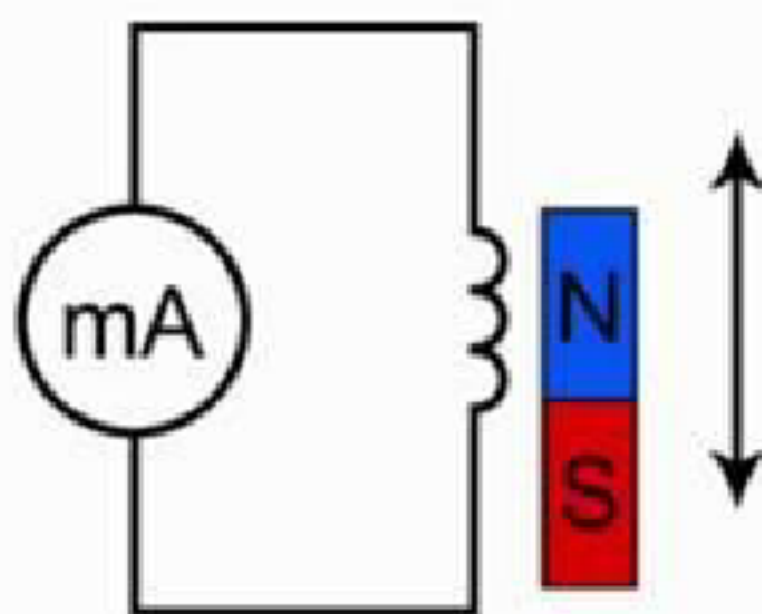


Рис. 1. Эксперимент 1

Подумайте над тем, как объяснить наблюдаемое нами явление. Каким образом

влияет магнитное поле на электрический ток? Что мы видим?

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Обратите внимание, что линии магнитной индукции выходят из северного полюса, входят в южный полюс. При этом количество этих линий, их густота различна на разных

участках магнита. Обратите внимание, что направление индукции магнитного поля тоже изменяется от точки к точке. Поэтому можно сказать, что **изменение магнитного потока приводит к тому, что в замкнутом проводнике возникает электрический ток, но только при движении магнита, следовательно, изменяется магнитный поток, пронизывающий площадь, ограниченную витками этой катушки.**

Эксперимент 2

Следующий этап нашего исследования электромагнитной индукции связан с определением **направления индукционного тока**. О направлении индукционного тока мы можем судить по тому, в какую сторону отклоняется стрелка миллиамперметра. Воспользуемся дугообразным магнитом и увидим, что при приближении магнита стрелка отклонится в одну сторону. Если теперь магнит двигать в другую сторону, стрелка отклонится в другую сторону. В результате проведенного эксперимента мы можем сказать, что от направления движения магнита зависит и направление индукционного тока. Отметим и то, что от полюса магнита тоже зависит направление индукционного тока.

Обратите внимание, что величина индукционного тока зависит от скорости перемещения магнита, а вместе с тем и от скорости изменения магнитного потока.

Вторая часть нашей лабораторной работы связана будет с другим экспериментом. Посмотрим на схему этого эксперимента и обсудим, что мы будем теперь делать.

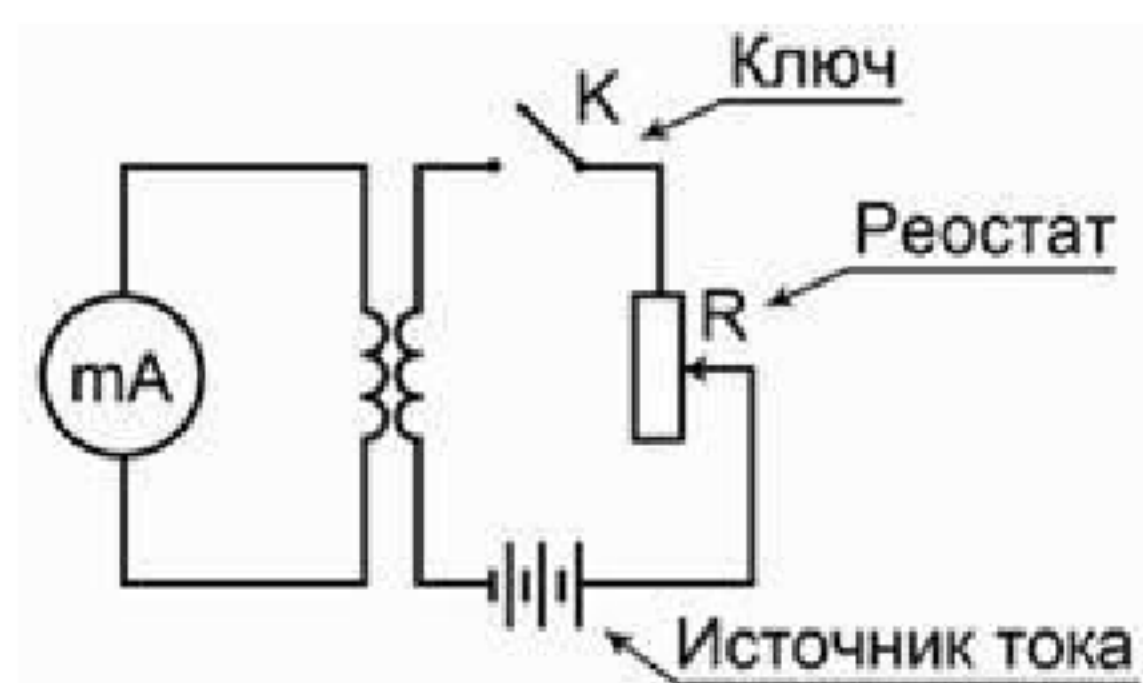


Рис. 2. Эксперимент 2

Во второй схеме в принципе ничего не изменилось относительно измерения индукционного тока. Тот же самый миллиамперметр, присоединенный к мотку катушки. Остается все, как было в первом случае. Но теперь изменение магнитного потока мы будем получать не за счет движения постоянного магнита, а за счет изменения силы тока во второй катушке.

В первой части будем исследовать наличие индукционного тока при замыкании и размыкании цепи. Итак, первая часть эксперимента: мы замыкаем ключ. Обратите внимание, ток нарастает в цепи, стрелка отклонилась в одну сторону, но обратите внимание, сейчас ключ замкнут, а электрического тока миллиамперметр не показывает. Дело в том, что нет изменения магнитного потока, мы уже об этом говорили. Если теперь ключ размыкать, то миллиамперметр покажет, что направление тока изменилось.

Во втором эксперименте мы проследим, как возникает индукционный ток, когда изменяется магнитный поток во второй цепи.

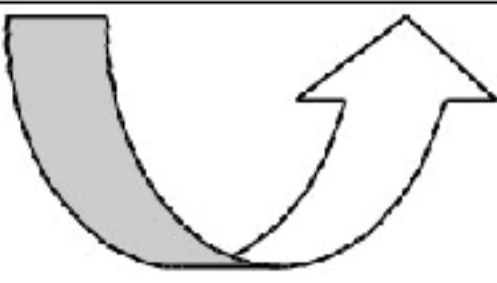
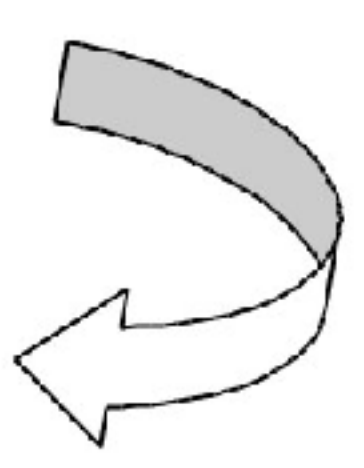
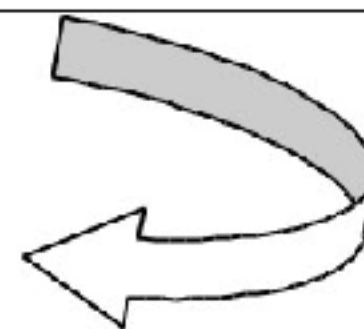
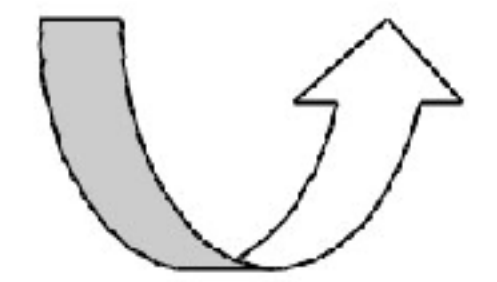
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Следующая часть опыта будет заключаться в том, чтобы проследить, как будет изменяться индукционный ток, если менять величину тока в цепи за счет реостата. Вы знаете, что, если во второй цепи изменить электрическое сопротивление в цепи, то, следуя закону Ома,

у нас будет меняться и электрический ток. Раз изменяется электрический ток, будет изменяться магнитное поле. В момент перемещения скользящего контакта реостата изменяется магнитное поле, что приводит к появлению индукционного тока.

№ опыта	Способ получения индукционного тока	I	B	Bм	$\Delta\Phi_m$
1	Внесение в катушку северного полюса магнита		→	←	+
2	Удаление из катушки северного полюса магнита		←	←	-
3	Внесение в катушку южного полюса магнита		←	→	+
4	Удаление из катушки южного полюса магнита		→	→	-

Содержание отчета.

Отчет по лабораторным работам должны содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- конспект основных законов, определений, понятий, формул;
- основное оборудование, схема установки;
- описание по пунктам выполненной работы;
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики);
- оценка погрешностей;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по результатам выполненной работы, дата, подпись.

Контрольные вопросы.

1. В чем заключается явление электромагнитной индукции?
2. Какой ток называют индукционным?
3. Сформулируйте закон электромагнитной индукции. Какой формулой он описывается?
4. Как формулируется правило Ленца?
5. Как формулируется закон сохранения энергии?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Лабораторная работа № 11

витки сориентировать так чтобы их плоскости совпадали с плоскостью магнитного меридиана, то на стрелку будут действовать два взаимно перпендикулярных поля: поле Земли B_3 и поле тока B_0 (рис.2).

Стрелка компаса установится в направлении равнодействующей этих полей, вдоль B , т.е. по диагонали параллелограмма, сторонами которого будут B_0 и B_3 . См. рис.2, на котором изображено сечение витков с током, ориентированных вдоль магнитного меридиана, горизонтальной плоскостью. Из рис. 2 следует, что $\tan \alpha = \frac{B_3}{B_0}$, откуда

$$B_3 = \frac{B_0}{\tan \alpha} \quad (1)$$

Так как индукция магнитного поля в центре кругового тока $B_0 = \frac{\mu_0 I n}{2R}$, то в центре n витков очевидно

$$B_3 = \frac{\mu_0 I n}{2R \tan \alpha} \quad (2)$$

Подставив (2) в (1) получим

Эта формула используется в настоящей работе для опытного определения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли. Формула (3) записана в системе СИ, поэтому B_3 получится в теслах.

Электрическая схема установки для измерения B_3 состоит из тангенс-гальванометра G , источника тока, реостата R и амперметра A для регулировки и измерения тока (рис.3).

В схеме используется переключатель Π для изменения направления тока, проходящего через тангенс-гальванометр.

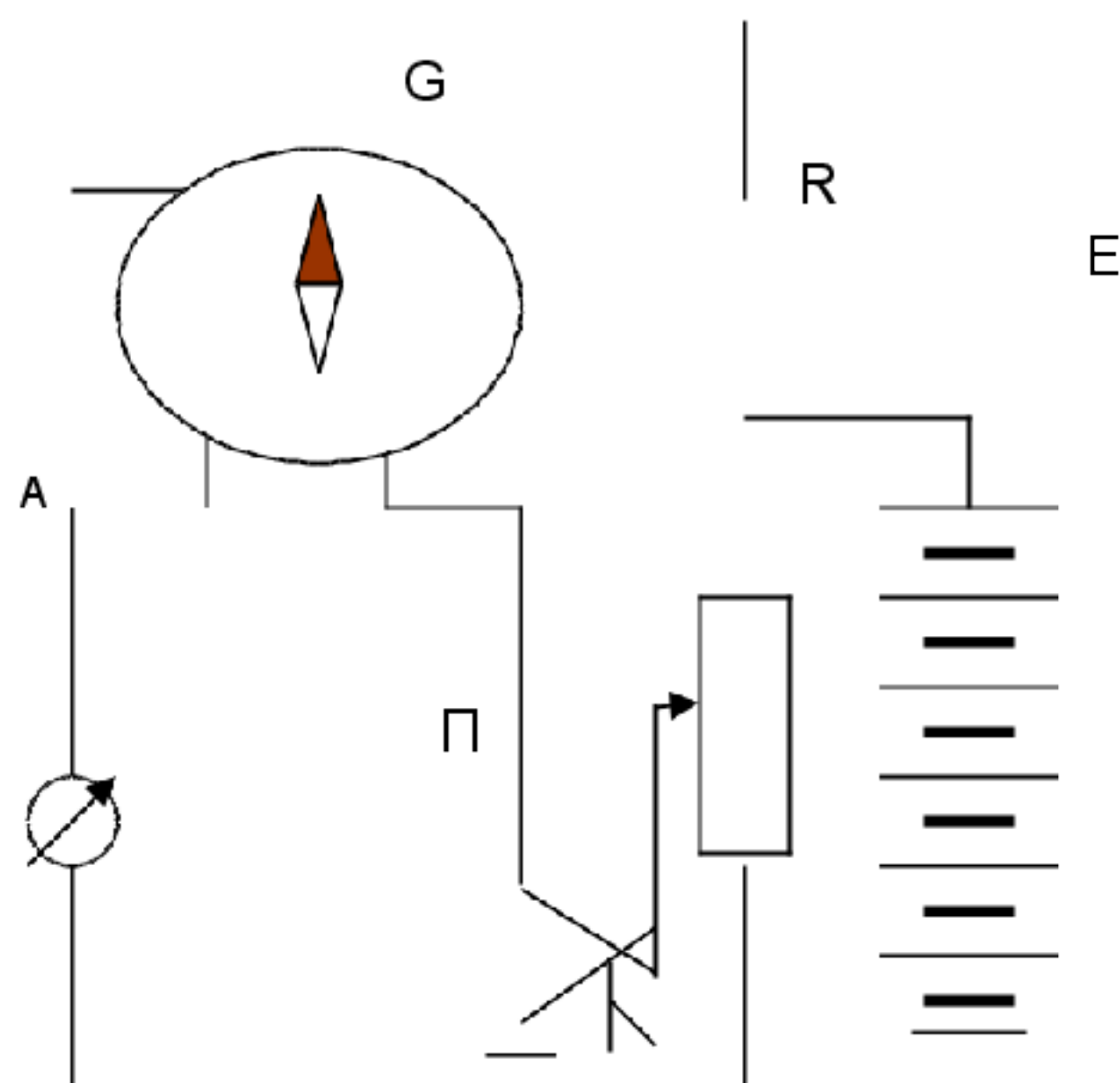


Рис. 3

$$\frac{di}{dt} = \frac{d^2q}{dt^2},$$

получаем следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC} q = 0. \quad (3)$$

В этом уравнении сделаем следующие замены:

$$\frac{R}{L} = 2\beta, \quad (4)$$

$$\frac{1}{LC} = \omega_0^2, \quad (5)$$

где β коэффициент затухания, ω_0 собственная частота контура.

Тогда

$$\frac{d^2q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0 \quad (6)$$

Дифференциальное уравнение (6) имеет (при ω_0) следующее решение:

$$q = q_0 \cdot e^{-\beta t} \cdot \cos(\omega t + \alpha), \quad (7)$$

где

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}, \quad (8)$$

q_0 и некоторые постоянные, соответствующие начальной амплитуде и начальной фазе колебания.

Выражение (11.7) есть уравнение затухающих электрических колебаний, циклическая частота которых равна ω , а амплитуда экспоненциально убывает с течением времени (рис. 3).

Период этих колебаний:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}} \quad (9)$$

