

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Фурсов Владимир Александрович

Должность: И.о. директора Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 04.06.2026 09:34:38

Уникальный программный ключ:

1c378726a41fd0143ae5bccc8ba81860b00daa62

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 практических работ

по дисциплине «ФИЗИКА» для студентов направления подготовки

08.03.01 Строительство, направленность (профиль) «Городское строительство и
хозяйство»

Пятигорск, 2026

Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	
1.	Цель и задачи изучения дисциплины	
2.	Оборудование и материалы	
3.	Наименование практических работ	
4.	Содержание практических работ	
4.1	Практическая работа №1 Простейшие физические модели, положение материальной точки.	
4.2	Практическая работа №2 Скорость. Вычисление пройденного пути. Ускорение	
4.3	Практическая работа №3 Понятие о магнитном поле. Закон Био – Савара – Лапласа.	
4.4	Практическая работа №4 Электромагнитное поле.	
5	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
5.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
5.2	Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	
5.3	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины	

Введение

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

Целью практических 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.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Физика» является формирование у студентов компетенций позволяющий выработать навыки физических исследований в сферах академической, профессиональной и общенаучной деятельности.

Задачи освоения дисциплины:

- изучение законов окружающего мира в их взаимосвязи;
- овладение фундаментальными принципами и методами решения научно-технических задач;
- формирование навыков по применению положений фундаментальной физики к грамотному научному анализу ситуаций, с которыми инженеру приходится сталкиваться при создании новых технологий;
- освоение основных физических теорий, позволяющих описать явления в природе, и пределов применимости этих теорий для решения современных и перспективных технологических задач.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства: переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения.

3. Наименование практических работ

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
1 семестр			
1	Практическая работа № 1. Простейшие физические модели, положение материальной точки. Кинематика поступательного движения. Кинематика вращательного движения материальной точки. Тангенциальное, нормальное и полное ускорения	2	
2	Практическая работа № 2. Скорость. Вычисление пройденного пути. Ускорение Первый закон Ньютона. Сила, масса, импульс. Второй закон Ньютона. Принцип независимости действия сил. Третий закон Ньютона. Закон сохранения импульса. Закон движения центра масс	2	
Итого за 1 семестр		4	
10	Практическая работа № 3. Понятие о магнитном поле. Закон Био – Савара – Лапласа. Характеристики магнитного поля. Закон Био – Савара – Лапласа и его применение к расчету	2	

	магнитного поля. Теорема о циркуляции магнитного поля. Закон Ампера. Взаимодействие параллельных токов		
11	Практическая работа №4. Электромагнитное поле. Закон полного тока. Ток смещения. Единая теория электрических и магнитных явлений Максвелла. Система уравнений Максвелла. Скорость распространения электромагнитного поля Релятивистская трактовка магнитных явлений	2	
Итого за 2 семестр		4	
Итого		8	

4. Содержание практических работ

Раздел 1. Механика

Практическое занятие 1.

Тема занятия. Простейшие физические модели, положение материальной точки.

Цель занятия. Изучить закономерности движения материальной точки.

Теоретическая часть.

Поступательное движение

Средняя (путевая) скорость:

$$\langle v_x \rangle = \frac{\Delta s}{\Delta t},$$

где Δs – путь, пройденный точкой за интервал времени Δt . Путь Δs не может убывать и принимать отрицательные значения, т.е. $\Delta s \geq 0$.

Мгновенная скорость (проекция на ось x):

$$v_x = \frac{dx}{dt}$$

Среднее ускорение:

$$\langle a_x \rangle = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}$$

Мгновенное (линейное) ускорение (проекция на ось x):

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2}.$$

Основные уравнения кинематики поступательного движения: скорость и путь равнопеременного поступательного движения:

$$v = v_0 + at,$$

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}, s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}.$$

где v_0 – начальная скорость (в момент времени $t = 0$); для равнозамедленного движения $a < 0$, для равноускоренного $a > 0$).

При движении тела по вертикальному направлению в поле силы тяжести Земли $a = g$.

Движение материальной точки по окружности

Угловая скорость:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}.$$

Угловое ускорение:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}.$$

Связь между линейными и угловыми величинами при движении точки по окружности:

$$v = \omega R, \quad a_t = \varepsilon R, \quad a_n = \omega^2 R,$$

где v – модуль линейной скорости; a_t и a_n – модули тангенциального и нормального ускорений; ω – модуль угловой скорости; ε – модуль углового ускорения; R – радиус окружности.

Модуль полного ускорения:

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}.$$

Основные уравнения кинематики вращательного движения: угловая скорость и угловой путь

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t,$$

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}, \quad \varphi = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\varepsilon}.$$

Для равнопеременного вращательного движения ($\varepsilon = \text{const}$), $\varepsilon > 0$ – ускоренное вращение, $\varepsilon < 0$ – замедленное вращение.

Связь частоты вращения n и угловой скорости:

$$\omega = 2\pi n.$$

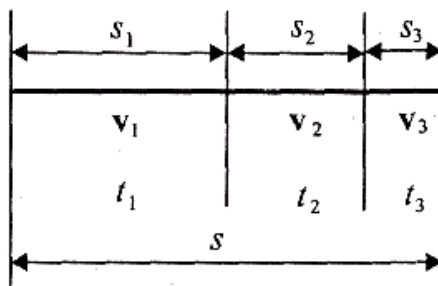
Связь углового перемещения и числа оборотов N :

$$\varphi = 2\pi N.$$

Примеры решения задач

Задача 1. Студент проехал половину пути на велосипеде со скоростью $v_1 = 16$ км/ч. Далее половину оставшегося времени он ехал со скоростью $v_2 = 12$ км/ч, а затем до конца пути шел пешком со скоростью $v_3 = 5$ км/ч. Определите среднюю скорость движения студента на всем пути.

Решение:



Длина первой части пути $s_1 = v_1 t_1$, второй части пути $s_2 = v_2 t_2$, третьей части, $s_3 = v_3 t_3$.

По условию, $s_1 = s_2 + s_3$, а время $t_2 = t_3$. Средняя скорость

$$\langle v \rangle = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{t_1 + t_2 + t_3},$$

так как s_1 - половина пути, то весь путь равен $2s_1$, время $t_1 = s_1/v_1$, оставшееся время $t_2 + t_3 =$, тогда

$$\langle v \rangle = \frac{2s_1}{\frac{s_1}{v_1} + \frac{2s_1}{v_2 + v_3}} = \frac{2v_1(v_2 + v_3)}{2v_1 + v_2 + v_3}.$$

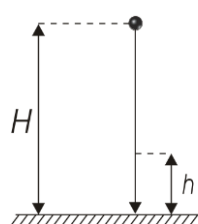
Задача 2. Последние 2 метра пути вертикально падающее тело прошло за 0,3 с. С какой высоты падало тело?

Дано:

$$h = 2\text{ м}$$

$$t_2 = 0,3\text{ с}$$

$$H = ?$$



Высоту H падения тела (без начальной скорости) можно определить по формуле $H = \frac{gt^2}{2}$. Здесь t – полное время падения. Очевидно $t = t_1 + t_2$, где t_1 – время прохождения первого участка; t_2 – время прохождения последних 2-х метров пути.

Запишем уравнение движения для двух последних метров пути, считая движение равноускоренным:

$$h = v_1 t_2 + \frac{gt_2^2}{2},$$

где v_1 – скорость, с которой тело «входит» в этот участок пути.

Следовательно,

$$v_1 = \frac{h - \frac{gt_2^2}{2}}{t_2} = \frac{h}{t_2} - \frac{gt_2}{2}. \quad (1)$$

Первый участок пути тело проходит без начальной скорости, т.е. $v_0 = 0$, а так как $g = \frac{v_1 - v_0}{t_1}$, то $t_1 = \frac{v_1}{g}$. Учитывая (1), получим $t_1 = \frac{h}{gt_2} - \frac{t_2}{2}$.

Таким образом, общее время движения тела $t = t_1 + t_2$ равно

$$t = \frac{h}{gt_2} - \frac{t_2}{2} + t_2 = \frac{h}{gt_2} + \frac{t_2}{2} \quad (2)$$

Подставляя (2) в формулу для H , окончательно, получим

$$H = \frac{g}{2} \left(\frac{h}{gt_2} + \frac{t_2}{2} \right)^2 = \frac{10}{2} \cdot \left(\frac{2}{10 \cdot 0,3} + \frac{0,3}{2} \right)^2 \approx 3,33 \text{ м.}$$

Задача 3. Тело брошено с начальной скоростью $v_0 = 20$ м/с под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Определить максимальную высоту подъема, дальность полета, а так же тангенциальное и нормальное ускорения, радиус кривизны траектории в начальный момент времени.

Дано:

$$v_0 = 20 \text{ м/с}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

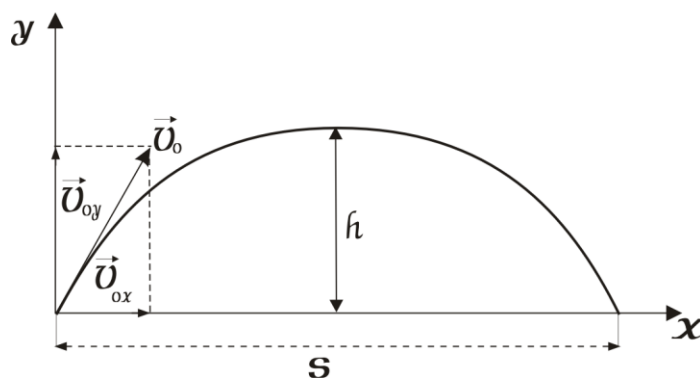
$$h = ?$$

$$S = ?$$

$$a_\tau = ?$$

$$a_n = ?$$

$$R = ?$$



Воспользуемся принципом суперпозиции движений: движение тела представим как два независимых движения вдоль осей координат X и Y .

Из треугольника скоростей найдем начальные скорости

$$v_{ox} = v_0 \cdot \cos \alpha, \quad v_{oy} = v_0 \cdot \sin \alpha. \quad (1)$$

Вдоль оси X движение равномерное (при отсутствии сопротивления движению, других сил, действующих вдоль оси X , нет). Поэтому v_x не изменяется, то есть $v_x = v_{ox}$.

Вдоль оси Y движение – равноускоренное за счет силы тяготения. При подъеме на высоту h скорость v_y изменяется со временем по закону: $v_y = v_{oy} - gt$. Считая, что в максимальной точке подъема $v_y = 0$, найдем время подъема t_1 : $v_{oy} = gt_1$. Учитывая (1), получим

$$t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \quad (2)$$

Из уравнения движения вдоль оси y найдем высоту подъема

$$h = v_{oy} \cdot t_1 - \frac{gt_1^2}{2} = v_0 \cdot \sin \alpha \frac{v_0 \sin \alpha}{g} - \frac{g v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g^2} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = 5 \text{ м.}$$

Из уравнения равномерного движения вдоль оси X , найдем дальность полета S :

$$S = v_{ox} \cdot t = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t,$$

где t – общее время движения, из соображений симметрии, равное удвоенному времени подъема, т.е. $t = 2 t_1$. Тогда

$$S = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot 2t_1 = 2v_0 \cos \alpha \cdot v_0 \frac{\sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} = 34,6 \text{ м.}$$

Тангенциальное ускорение, по определению, $a_\tau = \frac{dv}{dt}$, а так как скорость

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}, \text{ и } v_x = v_{ox}, \text{ а } v_y = v_{oy} - gt, \text{ значит } v = \sqrt{v_{ox}^2 + (v_{oy} - gt)^2}.$$

Следовательно

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = \frac{d\sqrt{v_{ox}^2 + (v_{oy} - gt)^2}}{dt} = \frac{(v_{oy} - gt) \cdot g}{\sqrt{(v_{oy} - gt)^2 + v_{ox}^2}}$$

В начальный момент времени $t=0$,

$$a_\tau = \frac{v_{oy} \cdot g}{\sqrt{v_{ox}^2 + v_{oy}^2}} = \frac{v_{oy} \cdot g}{v_0} = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha \cdot g}{v_0} = g \cdot \sin \alpha = 5 \text{ м/с}^2.$$

Полное ускорение движения тела, очевидно, равно ускорению свободного падения g .
Поэтому $a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = g$.

Откуда $a_n = \sqrt{g^2 - a_\tau^2} = 8,66 \text{ м/с}^2$.

По определению, $a_n = \frac{v^2}{R}$. Следовательно $R = \frac{v^2}{a_n} = 46,2 \text{ м}$.

Задача 4. Две материальные точки движутся согласно уравнениям $x_1 = A_1 t + B_1 t^2 + C_1 t^3$, $x_2 = A_2 t + B_2 t^2 + C_2 t^3$, где $A_1 = 4 \text{ м/с}$, $B_1 = 8 \text{ м/с}^2$, $C_1 = -16 \text{ м/с}^3$, $A_2 = 2 \text{ м/с}$, $B_2 = -4 \text{ м/с}^2$, $C_2 = 1 \text{ м/с}^3$. В какой момент времени t ускорение этих точек будут одинаковы? Найти скорости v_1 и v_2 точек в этот момент времени.

Дано:

Для одномерного движения ускорение есть вторая

$x_1 = A_1 t + B_1 t^2 + C_1 t^3$ производная от координаты, то есть $a = d^2 x / dt^2$
или первая производная от скорости то есть $a = dv / dt$.

$x_2 = A_2 t + B_2 t^2 + C_2 t^3$ Поэтому надо, вначале определить скорости точек:

$$A_1 = 4 \text{ м/с.} \quad v_1 = \frac{dx_1}{dt} = (A_1 t + B_1 t^2 + C_1 t^3)' = A_1 + 2B_1 t + 3C_1 t^2 \quad (1)$$

$$A_2 = 2 \text{ м/с.} \quad v_2 = \frac{dx_2}{dt} = (A_2 t + B_2 t^2 + C_2 t^3)' = A_2 + 2B_2 t + 3C_2 t^2 \quad (2)$$

$B_1 = 8 \text{ м/с}^2$. Теперь найдем ускорения. $B_2 = -4$

$$\text{м/с}^2. \quad a_1 = \frac{dv_1}{dt} = (A_1 + 2B_1 t + 3C_1 t^2)' = 2B_1 + 6C_1 t \quad (3)$$

$$C_1 = -16 \text{ м/с}^3 \quad a_2 = \frac{dv_2}{dt} = (A_2 + 2B_2 t + 3C_2 t^2)' = 2B_2 + 6C_2 t \quad (4)$$

$$C_2 = 1 \text{ м/с}^3$$

$a_1 = a_2$ Приравняв (3) и (4), найдем t :

$t = ? \quad v_1 = ? \quad v_2 = ?$

$$t = \frac{B_1 - B_2}{3(C_2 - C_1)} = \frac{8 - (-4)}{3(1 - (-16))} = 0,235 \text{ с.}$$

Теперь подставим это значение t в (1) и (2):

$$v_1 = 4 + 2 \cdot 8 \cdot 0,235 + 3 \cdot (-16) \cdot (0,235)^2 = 5,1 \text{ м/с,}$$

$$v_2 = 2 + 2 \cdot (-4) \cdot 0,235 + 3 \cdot 1 \cdot (0,235)^2 = 0,286 \text{ м/с}.$$

Задача 5. Материальная точка движется на плоскости согласно уравнениям:

$$\begin{cases} x = 4 \cos \left(\frac{\pi}{6} t \right); & x, y - \text{ в метрах,} \\ y = 3 \sin \left(\frac{\pi}{6} t \right); & t - \text{ в секундах.} \end{cases}$$

Найти: 1) уравнение траектории;

2) координаты точки;

3) полную скорость;

4) полное ускорение;

5) тангенциальное и нормальное ускорение;

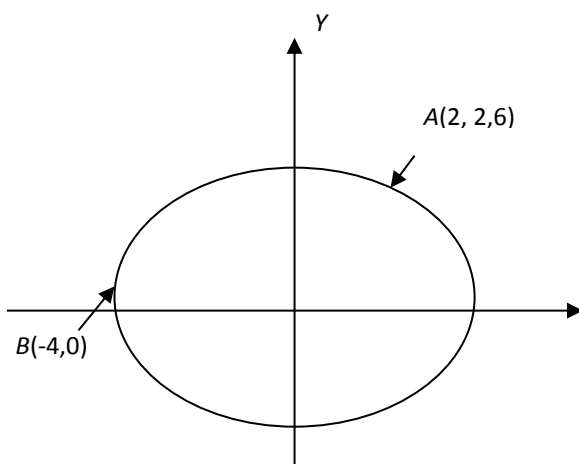
6) радиус кривизны траектории в моменты времени $t_1=2$ с и $t_2=6$ с.

Решение:

1. Для нахождения уравнения траектории (зависимости одной координаты от другой) исключим из уравнений переменную величину t :

$$\begin{cases} \frac{x}{4} = \cos \left(\frac{\pi}{6} t \right) \\ \frac{y}{3} = \sin \left(\frac{\pi}{6} t \right) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{x^2}{4^2} = \cos^2 \left(\frac{\pi}{6} t \right) \\ \frac{y^2}{3^2} = \sin^2 \left(\frac{\pi}{6} t \right) \end{cases} \Rightarrow \frac{x^2}{4^2} + \frac{y^2}{3^2} = 1$$

Это уравнение эллипса с полуосями $a = 4$ м; $b = 3$ м.



В момент $t_1 = 2$ с

$$x_1 = 4 \cos \left(\frac{\pi}{6} \cdot 2 \right) \Rightarrow x_1 = 4 \cos \frac{\pi}{3} = 2 \text{ м}$$

$$y_1 = 3 \sin \left(\frac{\pi}{6} \cdot 2 \right) \Rightarrow y_1 = 3 \sin \frac{\pi}{3} = 2,6 \text{ м}$$

В момент $t_2 = 6$ с: $x_2 = 4\cos(\pi) = -4$ м, $y_2 = 3\sin(\pi) = 0$ м.

Таким образом, в момент времени $t_1 = 0$ координаты точки: $A(x, y) = (2, 2, 6)$;

в момент времени $t_2 = 6$ с координаты точки: $B(x, y) = (-4, 0)$.

2. Для нахождения полной скорости найдем v_x и v_y в моменты $t_1 = 2$ с и $t_2 = 6$ с:

$$v_x = x' = \frac{dx}{dt} = \left(4\cos\frac{\pi}{6} \cdot t \right)' = -\frac{4\pi}{6} \sin\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right) = \frac{2}{3} \pi \sin\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right)$$

$$v_y = y' = \left(3\sin\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right) \right)' = \frac{3\pi}{6} \cos\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right) = \frac{1}{2} \pi \cos\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right)$$

$$v_{x1} = -\frac{4\pi}{6} \sin\left(\frac{\pi}{6} \cdot 2\right) = -\frac{4\pi}{6} \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) = -1,81 \text{ м/с.}$$

$$v_{y1} = \frac{1}{2} \pi \cos(60^\circ) = 0,785 \text{ м/с.}$$

$$v_{\text{полн.1}} = \sqrt{(-1,8)^2 + (0,785)^2} = 1,98 \text{ м/с.}$$

Аналогично находим, что

$$v_{x2} = -\frac{4\pi}{6} \sin\left(\frac{\pi}{6} \cdot 6\right) = 0 \text{ м/с,} \quad v_{y2} = \frac{1}{2} \pi \cos(\pi) = -1,57 \text{ м/с.}$$

$$v_{\text{полн.2}} = 1,57 \text{ м/с.}$$

3. Для нахождения полного ускорения $a_{\text{полн}}$ найдем a_x и a_y в моменты времени $t_1 = 2$ с и $t_2 = 6$ с:

$$a_x = v_x' = -\frac{4}{6^2} \pi^2 \cos\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right), a_y = v_y' = -\frac{3}{6^2} \pi^2 \sin\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right)$$

$$a_{x1} = -\frac{1}{9} \pi^2 \cos\left(\frac{\pi}{6} \cdot 2\right) = -\frac{1}{9} \pi^2 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) = -0,55 \text{ м/с}^2.$$

$$a_{y1} = -\frac{1}{12} \pi^2 \sin\left(\frac{\pi}{6} \cdot 2\right) = -\frac{1}{12} \pi^2 \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) = -0,71 \text{ м/с}^2.$$

$$a_{\text{полн.1}} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = 0,9 \text{ м/с}^2.$$

$$a_{x2} = -\frac{1}{9}\pi^2 \cos\left(\frac{\pi}{6} \cdot 6\right) = -\frac{1}{9}\pi^2 \cos(\pi) = 1,1 \text{ м/с}^2.$$

$$a_{y2} = -\frac{1}{12}\pi^2 \sin(\pi) = 0 \text{ м/с}^2.$$

$$a_{\text{полн.2}} = 1,1 \text{ м/с}^2.$$

4. Найдем нормальное (центростремительное) ускорение: $a_n = \frac{v^2}{R}$, тангенциальное

ускорение $a_x = \frac{dv}{dt}$.

Найдем $v_{\text{полн.}}$

$$v_{\text{полн.}} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{\left(\frac{2}{3}\pi \sin\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right)\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\pi \cos\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right)\right)^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a_\tau = \frac{dv}{dt} = \frac{\pi^2 \left(\frac{8}{9} \cos\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right) \sin\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right) - \frac{1}{2} \cos\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right) \sin\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right) \right)}{12\pi \sqrt{\frac{4}{9} \sin^2\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right) + \frac{1}{4} \cos^2\left(\frac{\pi}{6} \cdot t\right)}};$$

$$a_{\tau 1} = 0,22 \text{ м/с}^2.$$

Следовательно $a_{n1} = \sqrt{a_{\text{полн.}}^2 - a_{\tau 1}^2} = \sqrt{0,9^2 - 0,22^2} = 0,87 \text{ м/с}^2$.

Так как $v_{\text{полн.1}} = 1,98 \text{ м/с}$, то радиус кривизны в точке А равен

$$R_A = \frac{v_1^2}{a_{n1}} = \frac{1,98^2}{0,81} = 4,84 \text{ м.}$$

Аналогично: $a_{\tau 2} = \frac{25\pi \cos(\pi) \sin \pi}{12 \cdot 18 \sqrt{\frac{4}{9} \sin^2(\pi) + \frac{1}{4} \cos^2(\pi)}} = 0.$

Следовательно $a_{n2} = a_2 = 1,1 \text{ м/с}^2 \Rightarrow R_B = \frac{1,57^2}{1,1} = 2,24 \text{ м.}$

Вопросы и задания

1. Механическое движение. Система отсчета.
2. Материальная точка. Траектория. Перемещение и путь.
3. Скорость и ускорение, как производные от радиус-вектора по времени.
4. Тангенциальное и нормальное ускорения.

5. Кинематика вращательного движения материальной точки.
6. Угловая скорость и угловое ускорение, как производные от угла поворота по времени.
7. Связь между линейными и угловыми характеристиками движения.

Задачи для самостоятельного решения

1. Две материальные точки движутся согласно уравнениям $x_1 = A_1 t + B_1 t^2 + C_1 t^3$,
 $x_2 = A_2 t + B_2 t^2 + C_2 t^3$, где $A_1 = 4$ м/с; $B_1 = 8$ м/с²; $C_1 = -16$ м/с³; $A_2 = 2$ м/с; $B_2 = -4$ м/с²; $C_2 = 1$ м/с³. Найти момент времени t , когда ускорения этих точек будут одинаковы. Найти скорости v_1 и v_2 точек в этот момент времени.
2. Точка движется по прямой согласно уравнению $x = At + Bt^3$, где $A = 6$ м/с; $B = 1/8$ м/с³. Найти среднюю путевую скорость $\langle v \rangle$ точки в интервале времени от $t_1 = 2$ с до $t_2 = 6$ с.
3. Движение точки по прямой задано уравнением $x = At + Bt^2$, где $A = 2$ м/с; $B = -0,5$ м/с². Определить среднюю путевую скорость $\langle v \rangle$ движения точки в интервале времени от $t_1 = 0$ с до $t_2 = 3$ с.
4. Тело брошено с балкона вертикально вверх со скоростью $v_0 = 10$ м/с. Высота балкона над поверхностью земли $h = 12$ м. Написать уравнение движения и определить среднюю путевую скорость $\langle v \rangle$ с момента бросания до момента падения на землю.
5. С балкона бросили мячик вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 5$ м/с. Через $t = 2$ с мячик упал на землю. Определить высоту балкона над землей и скорость мячика в момент удара о землю.
6. Тело, брошенное вертикально вверх, находилось на одной и той же высоте $h = 8,6$ м два раза с интервалом $\Delta t = 3$ с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, вычислить начальную скорость брошенного тела.
7. Вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 20$ м/с брошен камень. Через $\tau = 1$ с после этого брошен вертикально вверх другой камень с такой же скоростью. На какой высоте h встретятся камни?
8. Камень брошен вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 20$ м/с. Через какое время камень будет находиться на высоте $h = 15$ м? Найти скорость v камня на этой высоте. Сопротивлением воздуха пренебречь. Принять $g = 10$ м/с².
9. Камень падает с высоты $h = 1200$ м. Какой путь s пройдет камень за последнюю секунду своего падения?
10. С какой высоты H упало тело, если последний метр своего пути оно прошло за время $t = 0,1$ с?
11. Тело брошено под некоторым углом α к горизонту. Найти величину этого угла, если горизонтальная дальность s полета тела в четыре раза больше максимальной высоты H траектории.

12. Снаряд, выпущенный из орудия под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту, дважды был на одной и той же высоте h : спустя время $t = 10$ с и $t = 50$ с после выстрела. Определить начальную скорость v_0 и высоту h .
13. Пуля пущена с начальной скоростью $v_0 = 200$ м/с под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту. Определить максимальную высоту H подъема, дальность s полета и радиус R кривизны траектории пули в ее наивысшей точке. Сопротивлением воздуха пренебречь.
14. Камень брошен с вышки в горизонтальном направлении с начальной скоростью $v_0 = 30$ м/с. Определить скорость v , тангенциальное a_τ и нормальное a_n ускорения в конце второй секунды после начала движения.
15. Тело брошено под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. Найти тангенциальное a_τ и нормальное a_n ускорения в начальный момент движения.
16. Диск радиусом $r = 10$ см, находившийся в состоянии покоя, начал вращаться с постоянным угловым ускорением $\varepsilon = 0,5$ рад/с². Найти тангенциальное a_τ , нормальное a_n и полное a ускорения точек на окружности диска в конце второй секунды после начала вращения.
17. Диск радиусом $r = 20$ см вращается согласно уравнению $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где $A = 3$ рад; $B = -1$ рад/с; $C = 0,1$ рад/с³. Определить тангенциальное a_τ , нормальное a_n и полное a ускорения точек на окружности диска для момента времени $t = 10$ с.
18. Маховик начал вращаться равноускоренно и за промежуток времени $\Delta t = 10$ с достиг частоты вращения $n = 300$ мин⁻¹. Определить угловое ускорение ε маховика и число N оборотов, которое он сделал за это время.
19. Велосипедное колесо вращается с частотой $n = 5$ с⁻¹. Под действием сил трения оно остановилось через интервал времени $\Delta t = 1$ мин. Определить угловое ускорение ε и число N оборотов, которое сделает колесо за это время.
20. Колесо автомашины вращается равноускоренно. Сделав $N = 50$ полных оборотов, оно изменило частоту вращения от $n_1 = 4$ с⁻¹ до $n_2 = 6$ с⁻¹. Определить угловое ускорение ε колеса.

Практическое занятие 2.

Тема занятия. Динамика материальной точки.

Цель занятия. Изучить законы динамики материальной точки.

Теоретическая часть.

Динамика поступательного движения

Импульс абсолютно твердого тела массой m , движущегося со скоростью v :

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}.$$

Второй закон динамики (Ньютона):

$$d\vec{p} = \vec{F} dt,$$

где $\vec{F}$ – результирующая сила, действующая на материальную точку.

Силы, рассматриваемые в механике:

а) сила упругости $F = -kx$;

где k – коэффициент упругости (в случае пружины – жесткость); x – абсолютная деформация;

б) сила тяжести: $F = mg$;

в) сила трения (скольжения): $F = \mu N$,

где μ – коэффициент трения; N – сила нормального давления.

Закон сохранения импульса: импульс замкнутой системы остается постоянным

$$\sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \text{const}.$$

Для двух тел при абсолютно упругом ударе:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2,$$

где $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$ – скорости тел перед соударением, $\vec{u}_1$ и $\vec{u}_2$ – скорости тел в момент после соударения.

Для абсолютно неупругого удара двух тел:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{u}.$$

Примеры решения задач

Задача 1. На гладком столе лежит брусок массой 3 кг. К бруску привязаны два шнура, перекинутые через неподвижные блоки, прикрепленные к противоположным краям стола. К концам шнуров подвешены гири массами $m_1 = 2$ кг и $m_2 = 3$ кг. Найти ускорение a , с которым движется брусок и силу T натяжения каждого из шнуров. Массой блоков и трением пренебечь. Шнуры считать нерастяжимыми.

Дано:

$m = 3 \text{ кг}$

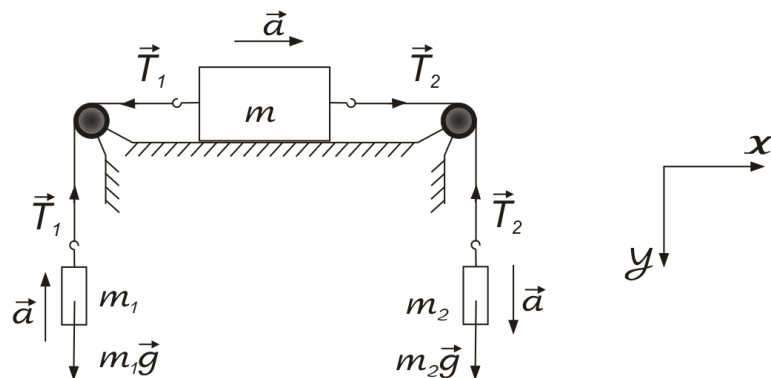
$m_1 = 2 \text{ кг}$

$m_2 = 3 \text{ кг}$.

$a - ?$

$T_1 - ?$

$T_2 - ?$



Распишем силы, действующие на тела. Выберем систему координат, как указано на рисунке (на груз m , лежащий на столе вообще-то действуют еще две силы: сила тяжести $m\vec{g}$ и сила реакции опоры $\vec{N}$. Но так как трением в задаче пренебрегается, то действие этих сил из рассмотрения мы исключаем).

Запишем второй закон Ньютона для каждого участвующего в движении тела:

$$\begin{cases} m_1 \vec{a} = m_1 \vec{g} + \vec{T}_1 \\ m_2 \vec{a} = m_2 \vec{g} + \vec{T}_2 \\ m \vec{a} = \vec{T}_1 + \vec{T}_2 \end{cases}$$

(Поскольку шнуры считаются нерастяжимыми, то все тела движутся с одинаковым ускорением a).

Выбираем направление ускорения, как указано на рисунке (по направлению часовой стрелки). Спроецируем систему уравнений на выбранные оси координат:

$$\begin{cases} -m_1 a = m_1 g - T_1 \\ m_2 a = m_2 g - T_2 \\ m a = T_2 - T_1 \end{cases} \quad (1)$$

Из второго уравнения (1) вычитаем первое:

$$(m_2 + m_1)a = (m_2 - m_1)g - (T_2 - T_1)$$

$$(m_2 + m_1)a = (m_2 - m_1)g - ma$$

$$(m_2 + m_1 + m)a = (m_2 - m_1)g, \text{ тогда}$$

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1 + m} g \quad (2)$$

Подставляем численные значения:

$$a = \frac{3-2}{3+2+3} 10 = \frac{10}{8} = 1,25 \text{ м/с}^2.$$

$$T_1 = m_1 g + m_1 a = m_1 (g + a) = 2(10 + 1,25) = 22,5 \text{ Н},$$

$$T_2 = m_2 (g - a) = 3(10 - 1,25) = 26,2 \text{ Н}.$$

Задача 2. Через блок, укрепленный на конце стола, перекинута нерастяжимая нить, к концам которой прикреплены грузы, один из которых ($m_1 = 400$ г) движется по поверхности стола, а другой ($m_2 = 600$ г) — вдоль вертикали вниз. Коэффициент f трения

груза о стол равен 0,1. Считая нить и блок невесомыми, определить: 1) ускорение a , с которым движутся грузы; 2) силу натяжения T нити.

Решение.

Выбрав оси координат (рис), запишем для каждого груза уравнение движения (второй закон Ньютона) в проекциях на эти оси:

$$m_2 a = m_2 g - T$$

Учитывая, что

, получим систему уравнений:

$$\begin{cases} m_1 a = T - m_1 g, \\ m_2 a = m_2 g - T, \end{cases}$$

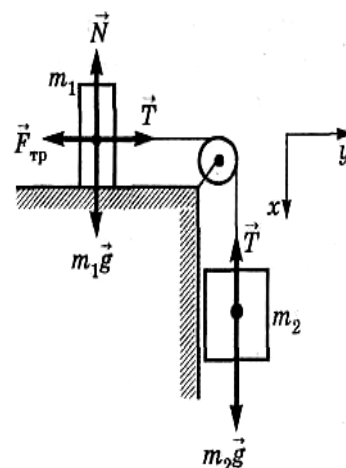
откуда искомое ускорение:

$$a = \frac{(m_2 - m_1)g}{m_1 + m_2}$$

Силу натяжения нити найдем из второго уравнения системы:

$$T = m_2(g - a)$$

Вычисляя, получаем: 1) $a = 5,49 \text{ м/с}^2$; 2) $T = 2,59 \text{ Н}$.



Задача 3. При падении тела с большой высоты его скорость $v_{уст}$ при установившемся движении достигает 80 м/с . Определить время τ , в течение которого, начиная от момента начала падения, скорость становится равной $v_{уст}/2$. Силу сопротивления воздуха принять пропорциональной скорости тела.

Решение.

На падающее тело действуют две силы (рис. а): сила тяжести mg и сила сопротивления воздуха F_c .

Сила сопротивления воздуха по условиям задачи пропорциональна скорости тела и противоположна ей по направлению:

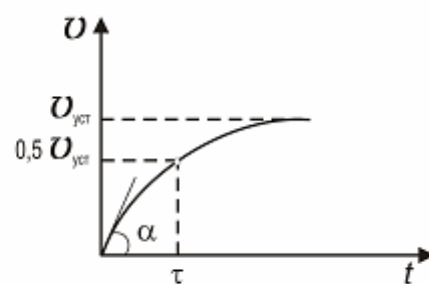
$$\vec{F}_c = -k\vec{v},$$

(1)

где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от размеров, формы тела и от свойств окружающей среды.



а)



б)

Напишем уравнение движения тела в соответствии со вторым законом Ньютона в векторной форме: $m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{g} + \vec{F}_c$. Заменяя $\vec{F}_c$ согласно (1), получим:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{g} - k\vec{v}.$$

(2)

Спроецируем все векторные величины на вертикально вниз направленную ось и напишем уравнение (2) для проекций:

$$m \frac{dv}{dt} = mg - kv.$$

После разделения переменных получим

$$\frac{dv}{mg - kv} = \frac{dt}{m}.$$

Выполним интегрирование, учитывая, что при изменении времени от нуля до τ (искомое время) скорость возрастает от нуля до $\frac{1}{2}v_{уст}$ (рис. 1, б):

$$\int_0^{\frac{1}{2}v_{уст}} \frac{dv}{mg - kv} = \int_0^{\tau} \frac{dt}{m}; \quad -\frac{1}{k} \left| \ln(mg - kv) \right|_0^{\frac{1}{2}v_{уст}} = \frac{\tau}{m}.$$

Из полученного выражения найдем искомое время:

$$\tau = \frac{m}{k} \ln \frac{mg}{mg - \frac{1}{2}kv_{уст}} \quad (3)$$

Входящий сюда коэффициент пропорциональности k определим из следующих соображений. При установившемся движении (скорость постоянна) алгебраическая сумма проекций на вертикальную ось действующих на тело сил равна нулю, т. е.

$$mg - kv_{уст} = 0, \text{ откуда } k = \frac{mg}{v_{уст}}.$$

Подставим найденное значение k в формулу (3):

$$\tau = \frac{mv_{уст}}{mg} \ln \frac{mg}{mg - \frac{1}{2} \frac{mg}{v_{уст}} v_{уст}}$$

После сокращений и упрощений получим: $\tau = \frac{v_{уст}}{g} \ln 2$

Подставив численные значения, получим $\tau = 5,66$ с. Проверка размерности результата в данном случае не обязательна, так как она очевидна.

Вопросы и задания

1. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета.
2. Взаимодействие тел. Сила, масса.
3. Импульс (количество движения).
4. Закон сохранения импульса.
5. Второй закон Ньютона.
6. Третий закон Ньютона.
7. Изолированная система материальных тел.

Задачи для самостоятельного решения

1. Самолет летит в горизонтальном направлении с ускорением $a = 20 \text{ м/с}^2$. Какова перегрузка пассажира самолета? (Перегрузкой называется отношение силы F , действующей на пассажира, к силе тяжести P).
2. Автоцистерна с керосином движется с ускорением $a = 0,7 \text{ м/с}^2$. Под каким углом φ к плоскости горизонта расположен уровень керосина в цистерне?
3. Бак в тендере паровоза имеет длину $l = 4 \text{ м}$. Какова разность Δl уровней воды у переднего и заднего концов бака при движении поезда с ускорением $a = 0,5 \text{ м/с}^2$?
4. Катер массой $m = 2 \text{ т}$ трогается с места и в течение времени $\tau = 10 \text{ с}$ развивает при движении по спокойной воде скорость $v = 4 \text{ м/с}$. Определить силу тяги F мотора, считая ее постоянной. Принять силу сопротивления F_c движению пропорциональной скорости; коэффициент сопротивления $k = 100 \text{ кг/с}$.
5. Начальная скорость v_0 пули равна 800 м/с . При движении в воздухе за время $t = 0,8 \text{ с}$ ее скорость уменьшилась до $v = 200$. Масса m пули равна 10 г . Считая силу сопротивления воздуха пропорциональной квадрату скорости, определить коэффициент сопротивления k . Действием силы тяжести пренебречь.
6. Материальная точка массой $m = 2 \text{ кг}$ движется под действием некоторой силы F согласно уравнению $x = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $C = 1 \text{ м/с}^2$, $D = -0,2 \text{ м/с}^3$. Найти значения этой силы в моменты времени $t_1 = 2 \text{ с}$ и $t_2 = 5 \text{ с}$. В какой момент времени сила равна нулю?
7. Наклонная плоскость, образующая угол $\alpha = 25^\circ$ с плоскостью горизонта, имеет длину $l = 2 \text{ м}$. Тело, двигаясь равноускоренно, соскользнуло с этой плоскости за время $t = 2 \text{ с}$. Определить коэффициент трения μ тела о плоскость.
8. На гладком столе лежит брусок массой $m = 4 \text{ кг}$. К бруску привязаны два шнура, перекинутые через неподвижные блоки, прикрепленные к противоположным краям стола. К концам шнуров подвешены гири, массы которых $m_1 = 1 \text{ кг}$ и $m_2 = 2 \text{ кг}$. Найти ускорение a , с которым движется брусок, и силу T натяжения каждого из шнуров. Массой блоков и трением пренебречь.
9. Два бруска массами $m_1 = 1 \text{ кг}$ и $m_2 = 4 \text{ кг}$, соединенные шнуром, лежат на столе. С каким ускорением a будут двигаться бруски, если к одному из них приложить силу $F = 10 \text{ Н}$, направленную горизонтально? Какова будет сила T натяжения шнура, соединяющего

бруску, если силу 10 Н приложить к первому бруску? Ко второму бруску? Трением пренебречь.

10. К пружинным весам подвешен блок. Через блок перевешен шнур, к концам которого привязали грузы массами $m_1 = 1,5$ кг и $m_2 = 3$ кг. Каково будет показание весов во время движения грузов? Массой блока и шнура пренебречь.

Практическое занятие 3.

Тема занятия. Понятие о магнитном поле. Закон Био – Савара – Лапласа.

Цель занятия. Изучить основные проявления магнитного поля постоянного тока.

Теоретическая часть.

Магнитная индукция и напряженность магнитного поля.

Поток вектора магнитной индукции. Теорема Гаусса для вектора $\vec{B}$

Термин магнитное поле ввел в 1845 году английский физик М.Фарадей, считавший, что как электрическое, так и магнитное взаимодействия осуществляются посредством единого материального поля.

Источниками макроскопического магнитного поля являются намагниченные тела, проводники с током и движущиеся электрически заряженные тела. Природа этих источников едина: магнитное поле возникает в результате движения заряженных микрочастиц.

Магнитное поле – силовое поле, действующее на движущиеся электрические заряды и на тела, обладающие магнитным моментом. Магнитное поле характеризуется вектором магнитной индукции $\vec{B}$. Значение $\vec{B}$ определяет силу, действующую в данной точке поля на движущийся электрический заряд и на тела, имеющие магнитный момент.

Вектор $\vec{B}$ можно ввести одним из трех эквивалентных способов:

- а) исходя из силового действия магнитного поля на движущуюся в нем заряженную частицу;
- б) основываясь на силовом действии магнитного поля на малый элемент проводника с током;
- в) исходя из силового действия магнитного поля на небольшую рамку с током.

Например, **магнитная индукция** – векторная величина, модуль которой определяется отношением максимальной силы $F_{\max}$, действующей со стороны магнитного поля на участок проводника с током, к силе этого тока I и длине участка Δl проводника

$$B = \frac{F_{\max}}{I \cdot \Delta l}, \quad [B] = T/l \quad (1)$$

Для графического изображения стационарного магнитного поля пользуются методом линий индукции. Линиями магнитной индукции (силовыми линиями магнитного поля) называются линии, проведенные в магнитном поле так, что в каждой точке поля касательная к линии магнитной индукции совпадает с направлением вектора $\vec{B}$ магнитной индукции в этой точке поля. Линии магнитной индукции нигде не обрываются, т. е. не начинаются и не кончаются. Они либо замкнуты, либо идут из бесконечности на бесконечность.

Магнитное поле называется однородным, если во всех его точках вектор магнитной индукции $\vec{B}$ имеет одно и то же значение. В противном случае магнитное поле называется неоднородным.

Для магнитного поля, как и для электрического, справедлив принцип суперпозиции: магнитное поле $\vec{B}$, создаваемое несколькими источниками, равно векторной сумме полей $\vec{B}_i$, порождаемых каждым источником в отдельности:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i. \quad (2)$$

Отсутствие в природе магнитных зарядов приводит к тому, что линии магнитной индукции не имеют ни начала, ни конца. Поэтому поток вектора $\vec{B}$ через любую замкнутую поверхность S равен нулю. Следовательно, **теорема Гаусса для вектора $\vec{B}$** формулируется следующим образом:

$$\Phi_B = \oint \vec{B} d\vec{S} = 0. \quad [\Phi_B] = B\sigma \quad (3)$$

Наряду с индукцией $\vec{B}$ используется понятие напряжённости магнитного поля $\vec{H}$, как меры воздействия на проводники с током и магнитную стрелку (размерность её - А/м). Напряженность $\vec{H}$ характеризует магнитное поле, создаваемое макроскопическими токами и поэтому определяется их величинами, конфигурацией в пространстве и не зависит от свойств среды. Вектор индукции магнитного поля $\vec{B}$ связан с напряженностью магнитного поля $\vec{H}$ соотношением

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}, \quad (4)$$

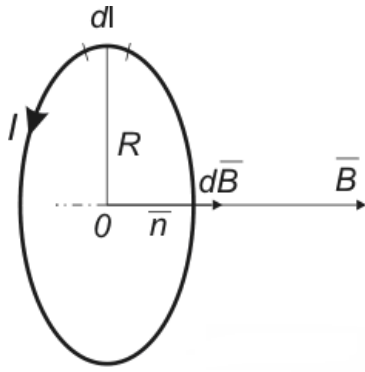
где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магнитная постоянная, μ – магнитная проницаемость среды.

Закон Био – Савара - Лапласа для элемента тока.

Расчет магнитных полей

На основании анализа опытных данных для магнитных полей постоянных токов бы установлен **закон Био – Савара – Лапласа** вида:

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl \sin \varphi}{r^2}, \quad (5)$$



где $\vec{r}$ – радиус-вектор, проведенный из элемента проводника в рассматриваемую точку поля; φ – угол между векторами $d\vec{l}$ и $\vec{r}$.

Направление вектора $d\vec{B}$ можно найти по правилу Максвелла (правилу буравчика): если ввинчивать буравчик с правой резьбой по направлению вектора плотности тока в элементе проводника, то направление движения рукоятки буравчика укажет направление вектора $d\vec{B}$ магнитной индукции.

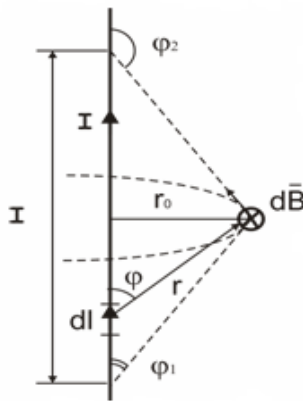
I. Магнитное поле прямого тока.

Найдем с помощью закона Био-Савара-Лапласа магнитное поле прямолинейного проводника с током I (рисунок 1). Пусть r_0 – расстояние от точки, в которой определяется поле, до проводника с током. Тогда расстояние r от участка проводника dl можно выразить так: $r = r_0 / \sin \varphi$, где φ – угол между векторами

$d\vec{l}$ и $\vec{r}$. Длина dl связана с углом φ , под которым виден этот участок проводника из рассматриваемой точки:

$$dl = \frac{r d\varphi}{\sin \varphi} = \frac{r_0 d\varphi}{\sin^2 \varphi}. \quad (6)$$

Подставим эти значения в формулу (5)



$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot r_0 \cdot d\varphi \cdot \sin \varphi \cdot \sin^2 \varphi}{r_0^2 \cdot \sin^2 \varphi} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r_0} \cdot \sin \varphi d\varphi. \quad (7)$$

В соответствии с принципом суперпозиции (2) магнитная индукция для участка проводника $\vec{B}$ равна:

$$B = \int dB = \int \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r_0} \cdot \sin \varphi d\varphi = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r_0} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2), \quad (8)$$

где φ_1 и φ_2 – углы между вектором плотности тока в проводнике и радиус-векторами, проведенными в рассматриваемую точку из начала и конца участка проводника.

Если проводник бесконечно длинный, то $\varphi_1 = 0$, $\varphi_2 = \pi$ и индукция магнитного поля, как следствие закона Био – Савара – Лапласа, в любой точке пространства вычисляется по простой формуле вида:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I}{r_0} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{r_0}. \quad (9)$$

Линии магнитной индукции поля прямого тока представляют собой систему охватывающих провод концентрических окружностей.

2. Магнитное поле в центре кругового проводника с током.

Как следует из рисунка 2, все элементы кругового проводника с током создают в его центре магнитное поле одинакового направления – вдоль нормали от витка. Поэтому сложение векторов $d\vec{B}$ можно заменить сложением их модулей. Так как все элементы проводника перпендикулярны радиус-вектору ($\sin\varphi=1$) и расстояния всех элементов проводника до центра кругового тока одинаковы и равны R , то согласно (5)

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{R^2} dl. \quad (10)$$

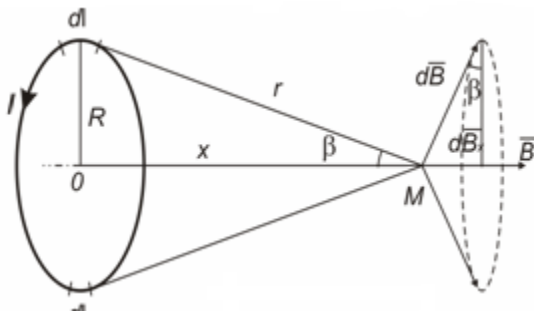
Тогда интеграл, взятый по контуру проводника,

$$B_0 = \oint_L \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R^2} dl = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \oint_L dl,$$

Так как $\oint_L dl = 2\pi R$, то магнитная индукция в центре кругового проводника с током в вакууме равна

$$B_0 = \mu_0 \frac{I}{2R}. \quad (11)$$

3. Магнитное поле на оси кругового витка с током.



Индукция магнитного поля вдоль оси, проведенной через центр кругового тока перпендикулярно его плоскости, будет уменьшаться по мере удаления от кругового тока. Если на оси выбрать точку M (рис. 3), то результирующая индукция $\vec{B}$ определяется как сумма проекций dB_x , выраженных формулой.

$$dB_x = \sin\beta dB = \frac{R}{r} dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IR}{r^3} dl. \quad (12)$$

Откуда несложно получить, интегрируя (16.12)

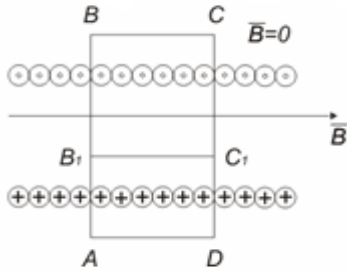
$$B_x = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IR}{r^3} \oint_L dl = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{IR}{r^3} \cdot 2\pi R. \quad (13)$$

Циркуляция вектора $\vec{B}$. Магнитное поле соленоида и тороида

В целях упрощения в вычислении магнитных полей используется теорема о циркуляции результирующего вектора $\vec{B}$, которая формулируется на основании определения циркуляции с учетом индукций магнитных полей $\vec{B}_k$, создаваемых каждым из токов по (16.9) в соответствии с законом Био – Савара – Лапласа, в виде:

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_{k=1}^m I_k, \quad (14)$$

где индексом "k" обозначены лишь токи, охватываемые контуром. Следовательно, **теорема: циркуляция вектора магнитной индукции $\vec{B}$ по произвольному замкнутому контуру равна алгебраической сумме токов, охватываемых контуром, умноженной на μ_0 .**



Характерным примером использования теоремы о циркуляции $\vec{B}$ (или напряжённости $\vec{H}$; закона полного тока) для получения расчётных формул являются поле бесконечно длинного соленоида, а также тороида.

Соленоид – свёрнутый в спираль изолированный проводник, по которому течёт электрический ток.

Поле бесконечного соленоида аксиально симметрично и может иметь лишь компоненту, параллельную оси соленоида (витки намотаны очень плотно, рис. 4).

Для определения $\vec{B}$ внутри соленоида применим закон полного тока к контуру AB_1C_1DA , в нём N витков. Интеграл не равен нулю только на участке B_1C_1 и поэтому

$$B_{B_1C_1} \cdot l = n \cdot l \cdot I \cdot \mu_0, \quad (13)$$

Из (13) видно, что **поле внутри соленоида** однородно и его индукция равна:

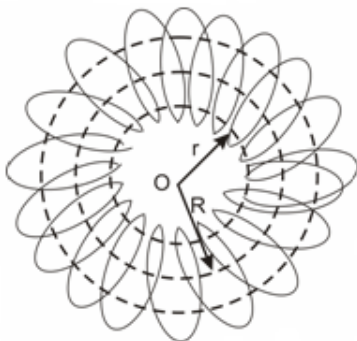
$$B = \mu_0 n I, \text{ где } n = N/l \quad (14)$$

Произведение nI называется числом ампер-витков на метр.

В магнитную индукцию на оси соленоида симметрично расположенные витки вносят одинаковый вклад. Поэтому у конца полубесконечного соленоида на его оси магнитная индукция равна половине значения (16.14)

$$B = \frac{1}{2} \mu_0 n I. \quad (15)$$

Практически, если длина соленоида значительно больше, чем его диаметр, формула (14) будет справедлива для точек в средней части соленоида, а формула (15) - для точек на оси вблизи его концов.



Тороид представляет собой провод, навитый на каркас, имеющий форму радиально изогнутого цилиндра, у которого входное и выходное сечения совпадают (рис.5).

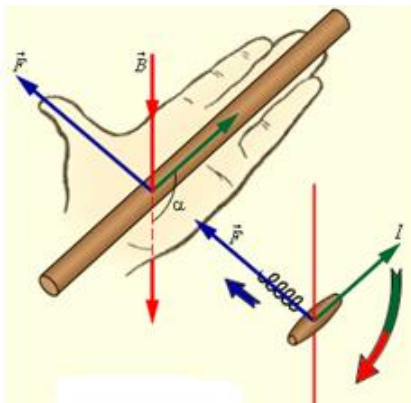
Формула для определения магнитной индукции внутри тороида получается на основании теоремы о циркуляции $\vec{B}$ аналогичным образом, и имеет вид:

$$B = \mu_0 nI \cdot \frac{R}{r}. \quad (16)$$

Вне тороида магнитная индукция равна нулю.

С помощью теоремы о циркуляции вектора $\vec{B}$ можно решить и ряд других задач, например, найти индукцию в коаксиальном кабеле, который используется для передачи постоянного тока. Кроме того, этот закон используется при расчете магнитных цепей, где выполняет роль второго правила Кирхгофа.

Сила Ампера. Сила Лоренца



Ампер на опыте установил, что на проводник с током **в магнитном поле действует сила**

$$\vec{F} = I[\vec{l}\vec{B}], \quad (17)$$

модуль которой определяется по формуле:

$$F = I \cdot B \cdot \ell \cdot \sin \alpha,$$

а направление, по правилу правого винта или правилу «левой руки» (рис. 6).

Возникновение этой силы связано с тем, что магнитное поле действует на заряженные частицы, движущиеся в проводнике с некоторой скоростью $\vec{v}$. Сила, действующая на заряд в этом случае, называется **силой Лоренца**, и определяется по формуле:

$$\vec{F} = q[\vec{v}\vec{B}], \quad (18)$$

а ее модуль

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha,$$

где α – угол между направлениями скорости частицы и вектора магнитной индукции.

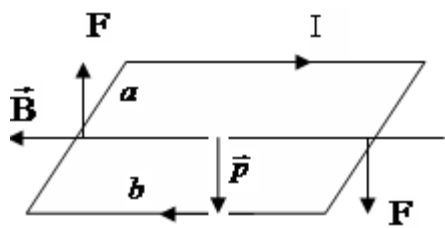
Магнитное поле не действует на покоящийся заряд и в этом состоит существенное отличие магнитного поля от электрического. Сила Лоренца всегда перпендикулярна скорости частицы (ее перемещению) и поэтому работы не совершает, а, следовательно, не изменяет кинетическую энергию частицы. Выражение для силы Лоренца (18) позволяет определить характер движения заряженной частицы в магнитном поле. При $\alpha = 90^\circ$ частица движется по окружности радиуса $R = \frac{mv}{qB}$. Если угол α удовлетворяет условию

$0 < \alpha < 90^\circ$, то частица движется по спирали с радиусом R и шагом h . Если скорость частицы $\vec{v}$ составляет угол α с вектором магнитной индукции $\vec{B}$ неоднородного магнитного поля, индукция которого возрастает в направлении движения частицы, то

R и h уменьшаются. На этом основано явление фокусировки заряженных частиц в магнитном поле.

Контур с током в магнитном поле. Работа по перемещению проводника и контура с током в магнитном поле

Рассмотрим контур с током, находящийся в однородном магнитном поле. Выделим элемент контура $d\vec{\ell}$. На него в магнитном поле будет действовать сила, согласно (17), равная $d\vec{F} = I[d\vec{\ell} \cdot \vec{B}]$. Результирующая сила, действующая на контур, будет равна геометрической сумме сил, действующих на отдельные элементы контура, т.е.



$$\vec{F} = \oint_L I[d\vec{\ell} \cdot \vec{B}] = I \cdot \vec{B} \oint_L d\vec{\ell} = 0 . \quad (19)$$

Следовательно, в однородном магнитном поле результирующая сила, действующая на контур с током, будет равна нулю, и контур

перемещаться не будет.

Рис.7.

Для простоты рассуждений возьмем прямоугольный контур со сторонами «а» и «b» (рис. 7). В магнитном поле на него будет действовать вращающий момент пары сил $\vec{F}$ и поэтому, контур будет вращаться. Вращающий момент пары сил $M = F \cdot b \cdot \sin \alpha$, но $F = I \cdot B \cdot a$, и, следовательно, $M = a \cdot b \cdot I \cdot B \cdot \sin \alpha$. Так как $a \cdot b = S$ – площадь контура, то $M = I \cdot B \cdot S \cdot \sin \alpha$. Введем вектор $\vec{p} = I \cdot S$ называемый **вектором магнитного момента** контура. Его направление совпадает с направлением положительной нормали к контуру, которая определяется с помощью правила правого винта. Тогда для вращающего момента, действующего на контур с током в магнитном поле, получим выражение:

$$M = pB \sin \alpha = [\vec{p} \vec{B}]. \quad (20)$$

Очевидно, что $M = 0$ при $\sin \alpha = 0$, т.е. контур с током в магнитном поле ориентируется так, чтобы его вектор магнитного момента был параллелен вектору магнитной индукции.

Рассмотрим контур, находящийся в неоднородном поле. Работа, совершаемая при повороте контура на угол $d\alpha$, определяется по формуле $dA = M \cdot d\alpha$. С учетом (20) получим:

$$dA = p \cdot B \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha .$$

Полная механическая работа

$$A = \int dA = \int p \cdot B \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = -pB \cos \alpha . \quad (21)$$

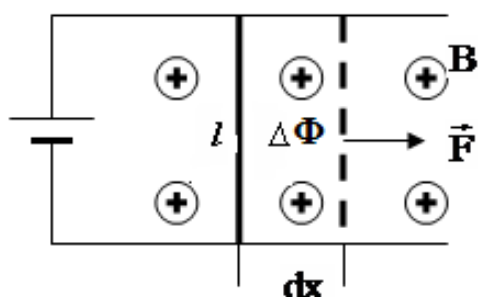
Механическая потенциальная энергия контура с током в магнитном поле будет определяться этим же выражением.

Ранее мы показали, что связь между силой и энергией $F_x = -\frac{dW}{dx}$ и, следовательно, на контур с током в неоднородном магнитном поле будет действовать сила

$$F_x = p \cdot \frac{dB}{dx} \cdot \cos \alpha. \quad (22)$$

При $\alpha < 90^\circ$, $F_x > 0$ контур втягивается в поле, при $\alpha > 90^\circ$, $F_x < 0$ контур выталкивается из поля.

В результате перемещения проводника с током или контура произвольной формы в магнитном поле совершается работа по преодолению сил поля. Не сложно получить формулу, определяющую эту работу.



Рассмотрим проводник длиной ℓ , с током I , способный свободно перемещаться в магнитном поле с индукцией $\vec{B}$, направленной перпендикулярно проводнику (рис. 8).

Рис.8.

В этом случае на проводник будет действовать сила Ампера $F = B \cdot I \cdot \ell$ и при перемещении проводника на расстояние dx , будет совершена работа $dA = I \cdot B \cdot \ell \cdot dx$, но $I \cdot dx = dS$, а элементарный магнитный поток $B \cdot dS = d\Phi$ и тогда элементарная работа $dA = I \cdot d\Phi$. Интегрируя данное выражение, получим, что работа по перемещению проводника с током в магнитном поле будет определяться выражением

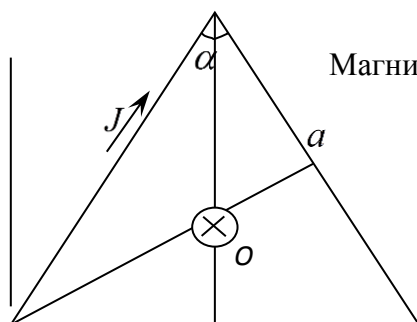
$$A = I \cdot \Delta\Phi, \quad (23)$$

где $\Delta\Phi$ – магнитный поток, пересеченный проводником.

Примеры решения задач

Задача 1. По тонкому проводу, изогнутому в виде равностороннего треугольника, течет ток силой $I = 40\text{A}$. Длина стороны треугольника $a = 30\text{ см}$. Определить индукцию $\vec{B}$ в точке пересечения высот треугольника.

Дано:

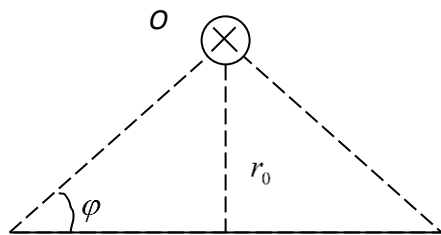


Магнитную индукцию в точке O найдем,

используя принцип суперпозиции для $I=40 \text{ А}$
 магнитных полей: $\vec{B} = \sum \vec{B}_1$. В нашем $a=30 \text{ см}=0,3 \text{ м}$ случае
 весь контур можно разбить на 3
 одинаковых части, индукция каждой из $B = ?$
 которых $\vec{B}_1$ в точке O имеет

Рис. 1. одинаковые величину и направление -

вертикально вниз (определяемое по правилу правого винта). Поэтому индукция в точке O будет равной $B=3B_1$ и направленной вниз перпендикулярно рис 1.



Магнитную индукцию стороны треугольника B_1 найдем используя формулу для индукции, отрезка проводника при симметричном расположении его концов относительно точки O (рис.2). Треугольник токов равносторонний и его высоты являются также и медианами и биссектрисами. Таким образом, имеем

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_0} \cos \varphi \text{ и, } \varphi = \frac{\alpha}{2} = 30^\circ, r_0 = \frac{a}{2} \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{a}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}.$$

Следовательно,

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi \frac{a}{2\sqrt{3}}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{3\mu_0 I}{2\pi a} \text{ и } B = 3B_1 = \frac{9\mu_0 I}{2\pi a} = 240 \text{ мкТл.}$$

Задача 2. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,03 \text{ Тл}$ по окружности радиусом $r=10 \text{ см}$. Определить скорость электрона.

Дано:

$$B=0,03 \text{ Тл}$$

$$r=10 \text{ см}=0,1 \text{ м}$$

$$e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m=9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

В магнитном поле на движущийся электрон действуют сила

Лоренца. Величина этой силы равна

$$F = e \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha.$$

Так как траектория электрона – окружность, то сила Лоренца $v = ?$ является центростремительной силой, и угол $\alpha = \pi/2$.

Следовательно,

$$F = \frac{mv^2}{r} = evB.$$

Откуда имеем

$$v = \frac{eBr}{m}. \quad (1)$$

Подставив численные значения, получим

$$v = \frac{eBr}{m} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^{-31}} = \frac{1,6}{3} \cdot 10^8 \text{ м/с} \approx 0,533 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

То есть скорость v сравнима со скоростью света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Это означает, что при расчетах необходимо использовать элементы специальной теории относительности (СТО).

Формулы классической механики применимы в СТО, если считать, что масса тела зависит от его скорости по закону, $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$, где m_0 - масса покоя тела и $\beta = v/c$.

Подставим эти выражения в (1). После несложных преобразований получим

релятивистское выражение для скорости электрона $v_p = \frac{v}{\sqrt{1 + \beta^2}}.$

Таким образом, релятивистское значение скорости равно $v_p = 0,525 \cdot 10^8$ м/с.

Задача 3. В магнитном поле с индукцией 0,1 Тл вращается рамка, содержащая 1000 витков площадью 150 см^2 каждый. Максимальное ЭДС, индуцируемое в рамке равно 94 В. Определить частоту вращения рамки.

Дано:	
$B=0,1 \text{ Тл}$	По закону Фарадея для электромагнитной индукции имеем
$N=1000=10^3$	$\mathcal{E}_i = -\frac{d\psi}{dt}, \quad (1)$
$S=150 \text{ см}^2=1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$	где ψ – потокосцепление. $\mathcal{E}_i^{\max}=94 \text{ В}$
$\psi = N \cdot \Phi,$	
$n = ?$	где $\Phi = BS \cos \alpha$ – магнитный поток.
	В условиях данной задачи $\alpha = 2\pi \cdot n \cdot t$, где n - частота вращения рамки. Таким образом, закон Фарадея (1), после процедуры дифференцирования имеет вид

$$\mathcal{E}_i = NBS 2\pi n \cdot \sin(2\pi n \cdot t).$$

Из полученного выражения следует, что максимальное значение ЭДС

$$\mathcal{E}_i^{\max} = NBS \cdot 2\pi n, \text{ возникает когда угол } \alpha = \pi/2. \text{ Отсюда имеем}$$

$$n = \frac{\mathcal{E}_i^{\max}}{NBS \cdot 2\pi} = \frac{94}{10^3 \cdot 0,1 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 3,14} = 10 \text{ с}^{-1}.$$

Вопросы и задания.

1. Магнитное поле и его основные характеристики.
2. Закон Био - Савара - Лапласа и его применение.
3. Закон Ампера.- Взаимодействие параллельных токов.
4. Магнитное поле движущегося заряда. Сила Лоренца.
5. Движение заряженных частиц в магнитном поле.
6. Теорема о циркуляции вектора $\vec{B}$. Магнитные поля соленоида и тороида.
7. Поток вектора магнитной индукции. Теорема Гаусса для магнитного поля.
8. Работа по перемещению проводника в магнитном поле.
9. Электромагнитная индукция. Закон Фарадея.
10. Правило Ленца. Вращение рамки в магнитном поле. Вихревые токи.
11. Индуктивность контура. Самоиндукция.
12. Токи при размыкании и замыкании цепи.
13. Взаимная индукция.
14. Трансформаторы. Энергия магнитного поля.
15. Магнитные свойства вещества. Диа- и парамагнетики.
16. Магнитное поле в веществе.
17. Закон полного тока.
18. Ферромагнетики и их свойства.

Задачи для самостоятельного решения

1. Расстояние d между двумя длинными параллельными проводами равно 5 см. По проводам в одном направлении текут одинаковые токи силой $I = 30 \text{ А}$ каждый. Найти напряженность H магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии $r_1 = 4 \text{ см}$ от одного и $r_2 = 3 \text{ см}$ от другого провода.
2. По тонкому проводящему кольцу радиусом $R = 15 \text{ см}$ течет ток силой $I = 60 \text{ А}$. Найти магнитную индукцию B в точке, равноудаленной от центра кольца на $r = 20 \text{ см}$.
3. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам текут токи силой $I_1 = 20 \text{ А}$ и $I_2 = 30 \text{ А}$ в противоположных направлениях. Расстояние d между проводами равно 20

см. Вычислить магнитную индукцию B в точке, удаленной на $r_1 = 25$ см от первого и на $r_2 = 40$ см от второго провода.

4. По двум бесконечно длинным параллельным проводам текут токи силой $I_1 = 20$ А и $I_2 = 30$ А в одном направлении. Расстояние d между проводами равно 10 см. Вычислить магнитную индукцию B в точке, удаленной от обоих проводов на одинаковое расстояние $r = 10$ см.

5. По контуру в виде равностороннего треугольника идет ток силой $I = 40$ А. Длина a стороны треугольника равна 30 см. Определить магнитную индукцию B в точке пересечения высот.

6. По контуру в виде квадрата идет ток силой $I = 50$ А. Длина a стороны квадрата равна 20 см. Определить магнитную индукцию B в точке пересечения диагоналей.

7. По тонкому проводу, изогнутому в виде прямоугольника, течет ток силой $I = 60$ А. Длины сторон прямоугольника равны $a=30$ см и $b=40$ см. Определить магнитную индукцию B в точке пересечения диагоналей.

8. По двум одинаковым квадратным контурам со стороной $a=20$ см текут токи силой $I = 10$ А в каждом. Определить силу F взаимодействия контуров, если расстояние d между соответственными сторонами контуров равно 2 мм.

9. По двум тонким проводам, изогнутым в виде кольца радиусом $R = 10$ см, текут одинаковые токи силой $I = 10$ А в каждом. Найти силу F взаимодействия этих колец, если плоскости, в которых лежат кольца, параллельны, а расстояние d между центрами колец равно 1 мм.

10. По трем прямым параллельным проводам, находящимся на одинаковом расстоянии $a = 10$ см друг от друга, текут одинаковые токи силой $I = 100$ А. В двух проводах направления токов совпадают. Вычислить силу F , действующую на отрезок длиной $l = 1$ м каждого провода.

11. По двум параллельным проводам длиной $l = 1$ м каждый текут токи одинаковой силы. Расстояние d между проводами равно 1 см. Токи взаимодействуют с силой $F = 1$ мН. Найти силу тока I в проводах.

12. По двум параллельным прямым проводам длиной $l = 2,5$ м каждый, находящимся на расстоянии $d = 20$ см друг от друга, текут одинаковые токи силой $I = 1$ кА. Вычислить силу взаимодействия токов.

13. Прямой провод длиной $l = 10$ см, по которому течет ток силой $I = 20$ А, находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,01$ Тл. Найти угол α между направлениями вектора B и тока, если на провод действует сила $F = 10$ мН.

14. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,01$ Тл находится прямой провод длиной $l = 8$ см, расположенный перпендикулярно линиям индукции. По проводу течет ток силой $I = 2$ А. Под действием сил поля провод переместился на расстояние $s = 5$ см. Найти работу A сил поля.

15. Соленоид индуктивностью $L = 4$ мГн содержит $N = 600$ витков. Определить магнитный поток Φ , если сила тока I , протекающего по обмотке, равна 12 А.

16. С помощью реостата равномерно увеличивают силу тока в катушке на $\Delta I = 0,1$ А в 1 с. Индуктивность L катушки равна 0,01 Гн. Найти среднее значение ЭДС самоиндукции $\langle \mathcal{E}_i \rangle$.

Практическое занятие 4.

Тема занятия. Электромагнитное поле

Цель занятия. Изучить действие магнитного поля на движущийся заряд.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции. Сила Лоренца. Модуль силы Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Владеет способностью применять соответствующий физико-математический аппарат при решении профессиональных задач.

Актуальность темы. Действие магнитного поля на движущийся заряд применяется при решении инженерных задач.

Теоретическая часть.

Сила Лоренца

На проводник с током в магнитном поле действует сила Ампера:

$$d\vec{F} = id\vec{l} \times \vec{B}. \quad (1)$$

Сила Ампера обусловлена суммарным действием магнитного поля на все движущиеся в проводнике заряды. Определим силу, действующую на единичный движущийся в магнитном поле заряд.

Возьмем элемент длины проводника $d\vec{l}$. Обозначим N - число заряженных частиц, движущихся в элементе $d\vec{l}$, q - заряд каждой частицы, $\vec{v}$ - среднюю скорость их направленного движения. Тогда

$$id\vec{l} = Nq\vec{v}. \quad (2)$$

Подставим выражение (4.46) в формулу для силы Ампера (4.45), получим:

$$d\vec{F} = Nq\vec{v} \times \vec{B}. \quad (3)$$

Здесь $d\vec{F}$ - суммарная сила, действующая со стороны магнитного поля на N носителей заряда. На одиночный электрический заряд в магнитном поле действует сила, равная

$$\vec{F}_n = \frac{d\vec{F}}{N}. \quad (4)$$

Подставим в это выражение формулу (4.47), получим:

$$\vec{F}_n = q\vec{v} \times \vec{B}. \quad (5)$$

Эта сила называется *силой Лоренца*.

Свойства силы Лоренца определяются свойствами векторного произведения, поэтому она перпендикулярна плоскости, в которой лежат векторы $\vec{v}$ и $\vec{B}$.

Для положительных зарядов ($q > 0$) направление силы Лоренца совпадает с направлением векторного произведения $\vec{v} \times \vec{B}$. Если заряд частицы отрицателен ($q < 0$), то направления векторов $\vec{F}_L$ и $\vec{v} \times \vec{B}$ противоположны.

Модуль силы Лоренца равен:

$$F_L = qvB \sin \alpha, \quad (6)$$

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

Из формулы (6) следует, что магнитное поле не действует на заряженную частицу в двух случаях:

- когда частица покоится ($v = 0$);
- когда частица движется вдоль линий магнитного поля ($\vec{v} \parallel \vec{B}$).

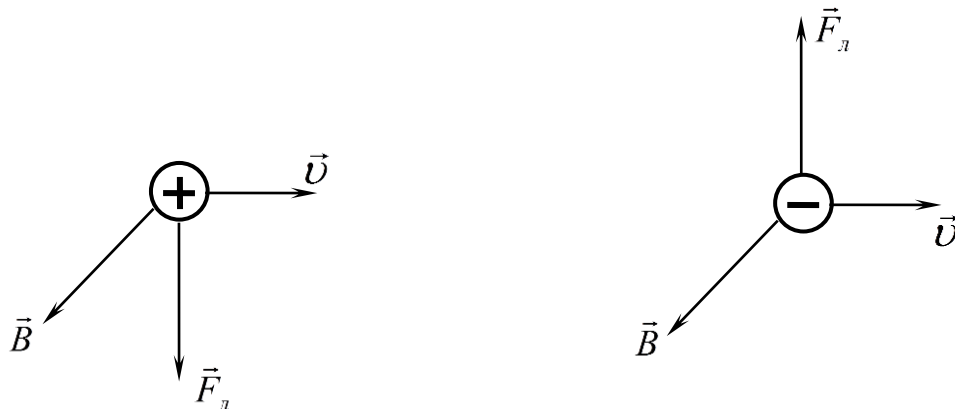


Рис.1 . Взаимная ориентация векторов $\vec{v}$, $\vec{B}$ и $\vec{F}_L$.

Так как сила Лоренца всегда направлена перпендикулярно вектору скорости, то она не совершает работы над частицей. Следовательно, постоянное магнитное поле не изменяет кинетическую энергию частицы.

Движение заряженных частиц в магнитном поле

Пусть заряженная частица влетает в однородное поле с индукцией $\vec{B}$.

Рассмотрим наиболее простой случай, когда скорость частицы перпендикулярна вектору магнитной индукции. На частицу будет действовать сила Лоренца, перпендикулярная к направлению ее движения. Так как

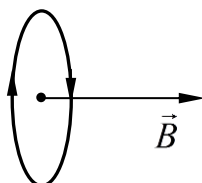


Рис. 2.

$\vec{v} \perp \vec{B}$ ($\alpha=\pi/2$), то модуль силы Лоренца равен: $F_{\text{л}} = qvB$. В результате траекторией заряженной частицы будет окружность (рис.4.14).

Сила Лоренца сообщает частице нормальное ускорение и играет роль центростремительной силы. Нормальное ускорение определяется выражением:

$$a_n = \frac{v^2}{R}, \quad (7)$$

где R - радиус окружности.

Запишем второй закон Ньютона для этого случая:

$$ma_n = F_{\text{л}}, \quad (8)$$

или

$$\frac{mv^2}{R} = qvB. \quad (9)$$

Для радиуса окружности получим выражение:

$$R = \frac{mv}{qB}. \quad (10)$$

Формулу (10) также можно записать в виде:

$$R = \frac{v}{\frac{q}{m}B}. \quad (11)$$

Здесь $\frac{q}{m}$ - удельный заряд частицы.

Период обращения частицы по окружности равен:

$$T = \frac{2\pi R}{v}. \quad (12)$$

Подставляя в (12) выражение для радиуса траектории и производя сокращения, получим:

$$T = \frac{2\pi}{\left(\frac{q}{m}\right)B}. \quad (13)$$

Из выражений (11) и (13) следует:

- радиус окружности тем меньше, чем больше магнитная индукция;
- период обращения частицы в магнитном поле не зависит от её скорости, а зависит от величины удельного заряда и от магнитной индукции поля.

Изменяется лишь направление скорости, а это означает, что заряженная частица в однородном магнитном поле должна двигаться точно по окружности, если нет составляющей скорости вдоль магнитного поля.

Рассмотрим случай, когда скорость частицы составляет с магнитным полем угол α , отличный от $\pi/2$.

Разложим вектор скорости на две составляющие: перпендикулярную магнитному полю $\vec{v}_\perp$ и параллельную полю $\vec{v}_\parallel$ (рис.3).

Модули этих составляющих равны:

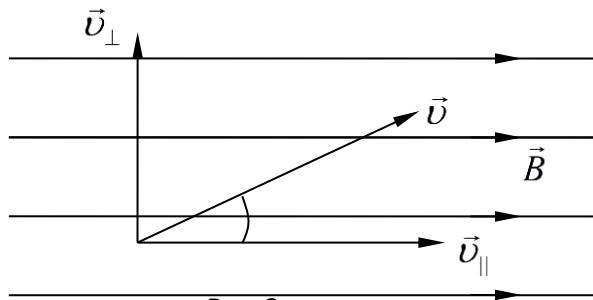


Рис. 3.

$$v_\perp = v \cdot \sin \alpha,$$

$$v_\parallel = v \cdot \cos \alpha.$$

Сила Лоренца обусловлена только составляющей $\vec{v}_\perp$ и равна (по модулю):

$$F_L = qvB \sin \alpha. \quad (14)$$

Заряженная частица будет участвовать в двух движениях:

- в равномерном движении в направлении вектора $\vec{B}$ со скоростью $\vec{v}_\parallel$;
- в движении по окружности в плоскости, перпендикулярной направлению вектора $\vec{B}$, со скоростью $\vec{v}_\perp$.

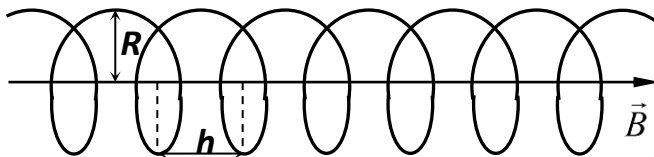


Рис. 4. Винтовая линия

В результате наложения этих двух движений траекторией частицы будет винтовая линия (рис.4.).

Определим параметры траектории частицы. Радиус винтовой линии будет равен:

$$R = \frac{v_\perp}{\left(\frac{q}{m}\right)B} = \frac{v \sin \alpha}{\left(\frac{q}{m}\right)B}. \quad (15)$$

Шаг винтовой линии

$$h = v_\parallel T = v \cos \alpha \frac{2\pi}{\left(\frac{q}{m}\right)B}. \quad (16)$$

Рассмотрим случай, когда заряженная частица влетает в неоднородное магнитное поле. Пусть магнитная индукция возрастает в направлении x (рис.3). Тогда заряженная частица будет двигаться по винтовой линии, радиус и шаг которой уменьшаются.

Таким образом, заряженные частицы, влетающие в постоянное магнитное поле, изменяют направление своего движения и "навиваются" на линии вектора $\vec{B}$. Этим свойством пользуются в некоторых приборах, чтобы удерживать пучки заряженных частиц от распыливания.

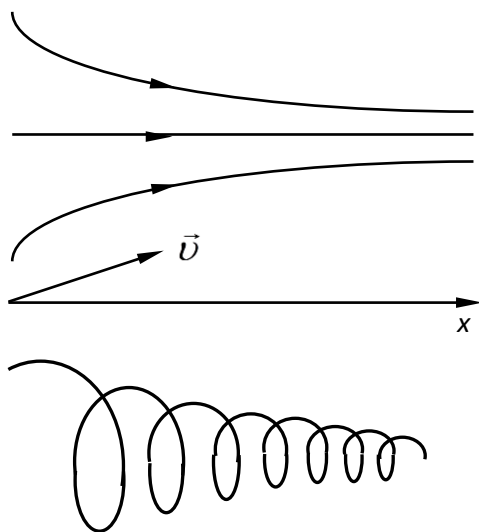


Рис.5. Движение заряженной частицы в неоднородном магнитном поле

Сущность метода магнитной фокусировки (в кратком варианте) состоит в следующем. Если частица движется точно вдоль линии вектора $\vec{B}$, то магнитное поле не оказывает на нее никакого воздействия. Если частица по каким-то причинам получит составляющую скорости, перпендикулярную к линиям поля, то она все равно не уйдет далеко в сторону от основной траектории и будет двигаться по винтовой линии.

Примеры решения задач

Задача 1. α -частица, ускоренная разностью потенциалов 250 В, влетает в однородное магнитное поле индукцией 25 мТл, перпендикулярно линиям магнитной индукции и движется по окружности. Найдите радиус окружности и период обращения α -частицы.

Запишем краткое условие задачи.

Дано:	СИ
$e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	
$m_p=1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$	
$U=250 \text{ В}$	
$B=25 \text{ мТл}$	$=25 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$
$\alpha=90^\circ$	
$R, T=?$	

Решение:

Работа электрического поля затрачивается на увеличение кинетической энергии частицы:

$$qU = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}.$$

В магнитном поле на движущуюся заряженную частицу действует сила Лоренца: $F_L = qBv \sin \alpha$, угол $\alpha=90^\circ$ и $\sin \alpha = 1$. Согласно второму закону Ньютона $F_L = ma_n$, где $a_n = \frac{mv^2}{R}$ - центростремительное ускорение частицы, движущейся по окружности

радиуса R . Получаем $qBv = \frac{mv^2}{R}$. Окончательно радиус окружности:

$$R = \frac{mv}{qB} = \frac{m\sqrt{\frac{2qU}{m}}}{qB} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}.$$

Период обращения частицы найдем, разделив длину окружности на скорость частицы:

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi \frac{mv}{qB}}{v} = \frac{2\pi m}{qB}.$$

Заряд α -частицы: $q = 2e = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, ее масса

$$m = 4m_p = 4 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 6,68 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

Проведем проверку размерности:

$$[R] = \frac{1}{\text{Тл}} \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{В}}{\text{Кл}}} = \frac{1}{\frac{\text{Н}}{(\text{А} \cdot \text{м})}} \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \cancel{\text{Дж}} / \text{Кл}}{\text{Кл}}} = \frac{\text{А} \cdot \text{м}}{\text{Н}} \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{Дж}}{\text{Кл}^2}} =$$

$$\frac{\text{А} \cdot \text{м}}{\text{Н} \cdot \text{Кл}} \sqrt{\text{кг} \cdot \text{Дж}} = \frac{\text{А} \cdot \text{м}}{\text{Н} \cdot \text{А} \cdot \text{с}} \sqrt{\text{кг} \cdot \text{Н} \cdot \text{м}} = \frac{\text{м}}{\text{Н} \cdot \text{с}} \sqrt{\text{Н}^2 \cdot \text{с}^2} = \text{м}$$

$$[c] = \frac{\text{кг}}{\text{Кл} \cdot \text{Тл}} = \frac{\text{кг}}{\text{А} \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{Н}}{(\text{А} \cdot \text{м})}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с} \cdot \text{Н}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{Н}} = \text{с}$$

$$\text{Произведем вычисления: } R = \frac{1}{25 \cdot 10^{-3}} \sqrt{\frac{2 \cdot 6,68 \cdot 10^{-27} \cdot 250}{3,2 \cdot 10^{-19}}} = 0,13 \text{ м}$$

$$T = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6,68 \cdot 10^{-27}}{3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 25 \cdot 10^{-3}} = 5,2 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

Ответ: 0,13 м; $5,2 \cdot 10^{-6} \text{ с}$.

Вопросы и задания.

1. Сила Лоренца.
2. Модуль силы Лоренца
3. Движение заряженных частиц в магнитном поле.

Задачи для самостоятельного решения

1. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 3 В, движется параллельно длинному проводу на расстоянии 4 мм от него. Какая сила будет на него действовать, если по проводнику пропустить ток силой 5А?

2. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 5В, движется параллельно длинному проводу на расстоянии 4 мм от него. Какое ускорение приобретет электрон, если по проводнику пропустить ток силой 10А?
3. Протон и электрон, двигаясь с одинаковой скоростью, попадают в однородное магнитное поле. Во сколько раз радиус кривизны траектории протона больше радиуса кривизны траектории электрона?
4. Протон и электрон, ускоренные одинаковой разностью потенциалов, впадают в однородное магнитное поле. Во сколько раз радиус кривизны траектории протона больше радиуса кривизны траектории электрона?
5. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 10В, влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям. Индукция поля равна 0,01 Тл. Определить радиус кривизны траектории электрона.
6. Электрон влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям. Индукция поля равна 0,001 Тл. Определить период и частоту обращения электрона по окружности.
7. Протон и альфа-частица, двигаясь с одинаковой скоростью, попадают в однородное магнитное поле. Во сколько раз радиус кривизны траектории альфа-частицы больше радиуса кривизны траектории протона?
8. Протон и альфа-частица, двигаясь с одинаковой скоростью, попадают в однородное магнитное поле. Во сколько раз период обращения альфа- частицы больше периода обращения протона?
9. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 10В, влетает в однородное магнитное поле так, что направление его скорости составляет угол 30° с направлением силовых линий. Индукция поля равна 0,01 Тл. Определить радиус кривизны траектории электрона.
10. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 10В, влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям. Индукция поля равна 0,01 Тл. Чему равны тангенциальное и нормальное ускорения электрона?
11. Протон, ускоренный разностью потенциалов 1000В, влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям. Индукция поля равна 0,01 Тл. Определить тангенциальное и нормальное ускорение протона.
12. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 10В, влетает в однородное магнитное поле так, что угол между направлением скорости и силовыми линиями составляет 30° . Индукция поля равна 0,01 Тл. Определить тангенциальное и нормальное ускорение электрона.
13. Протон, ускоренный разностью потенциалов 5000В, влетает в однородное магнитное поле так, что угол между направлением скорости и силовыми линиями составляет 45° . Индукция поля равна 0,005 Тл. Определить тангенциальное и нормальное ускорение протона.
14. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 60 В, влетает в однородное магнитное поле так, что угол между направлением скорости и силовыми линиями составляет 30° . Индукция поля равна 0,01 Тл. Определить радиус кривизны траектории электрона и шаг винтовой линии, по которой движется электрон.

15. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 30В, влетает в магнитное поле соленоида под углом 30° к его оси. Число ампер-витков соленоида равно 5000. Длина соленоида 25 см. Определить шаг винтовой траектории электрона в магнитном поле соленоида.
16. Протон влетает в однородное магнитное поле так, что угол между направлением скорости и силовыми линиями составляет 30° . Индукция поля равна 0,1 Тл. Определить кинетическую энергию протона, если радиус кривизны его траектории 1,5 см.
17. В однородное магнитное поле с индукцией $B = 10$ мТл перпендикулярно линиям индукции влетает электрон с кинетической энергией $K = 30$ эВ. Определить радиус кривизны траектории электрона.
18. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 71 В, влетает в однородное магнитное поле так, что угол между направлением скорости и силовыми линиями составляет 37° , и описывает спираль радиусом 54 мм. Определить индукцию магнитного поля и шаг винтовой линии, по которой движется электрон.
19. Электрон, ускоренный разностью потенциалов 10 В, влетает в однородное магнитное поле так, что угол между направлением скорости и силовыми линиями составляет 53° . Индукция поля равна 0,1 Тл. Определить радиус кривизны траектории и шаг винтовой линии, по которой движется электрон.
20. Определить кинетическую энергию протона, движущегося по дуге окружности радиусом 60 см в магнитном поле, индукция которого $2 \cdot 10^{-3}$ Тл.
21. Заряженная частица движется в магнитном поле по окружности со скоростью 106 м/с. Индукция магнитного поля 0,3 Тл. Радиус окружности 4 см. Определить заряд частицы, если известно, что ее энергия равна 12 кэВ.
22. В однородное магнитное поле с индукцией 0,01 Тл перпендикулярно линиям индукции влетает электрон с кинетической энергией 30 кэВ. Определить радиус кривизны траектории движения частицы.
23. Протон и альфа-частица попадают в однородное магнитное поле, двигаясь перпендикулярно линиям индукции. Сравнить радиусы кривизны их траекторий, если они имеют одинаковую энергию.
24. Электрон, влетевший в однородное магнитное поле с индукцией 0,02 Тл перпендикулярно направлению магнитного поля, движется в нем по окружности радиусом 2 см. Определить разность потенциалов, которую прошел электрон перед тем, как влетел в магнитное поле.
25. Электрон, прошедший некоторую разность потенциалов, влетает в однородное магнитное поле с индукцией $1,5 \cdot 10^{-2}$ Тл перпендикулярно магнитным силовым линиям. В магнитном поле электрон описывает окружность радиусом 114 мм. Определить разность потенциалов, которую прошел электрон перед тем, как влетел в магнитное поле.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.2 Перечень основной литературы:

1. Физика для вузов: механика и молекулярная физика [Электронный ресурс]: учебник / В.А. Никеров. - Москва: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2017. - 136 с. : табл., граф., схем. - ISBN 978-5-394-00691-3;-URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=450772>
2. Ташлыкова-Бушкевич, И.И. Физика: в 2 ч. / И.И. Ташлыкова-Бушкевич. – 2-е изд., испр. – Минск : Вышэйшая школа, 2014. – Ч. 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Электричество и магнетизм. – 304 с. : ил., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=235732>
3. Ташлыкова-Бушкевич, И.И. Физика: в 2 ч. / И.И. Ташлыкова-Бушкевич. – 2-е изд., испр. – Минск: Вышэйшая школа, 2014. – Ч. 2. Оптика. Квантовая физика. Строение и физические свойства вещества. – 232 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=460883>

5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Лекции по учебной дисциплине «Основы теоретической физики». Электродинамика. [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е.И. Кухарь. — Электрон. текстовые данные. — Волгоград: Волгоградский государственный социально-педагогический университет, 2017. — 57 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/70731.html>
2. Никеров, В.А. Физика: современный курс / В.А. Никеров. – 2-е изд. – Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2016. – 452 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=453287>.

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

08.03.01 Строительство, направленность (профиль) «Городское строительство и хозяйство»

Пятигорск, 2026

Содержание

№		Стр.
п/п		
	Введение	
1.	Цель и задачи изучения дисциплины	
2.	Оборудование и материалы	
3.	Наименование лабораторных работ	
4.	Содержание лабораторных работ	
4.1	Лабораторная работа № 1. Простейшие физические модели, положение материальной точки. Обработка результатов физического эксперимента. Изучение движения тела брошенного под углом к горизонту	
4.2	Лабораторная работа № 2. Скорость. Вычисление пройденного пути. Изучение законов динамики поступательного и вращательного движений с помощью машины Атвуда	
4.3	Лабораторная работа №3. Магнитное поле тока. Закон Био – Савара-Лапласа. Характеристики магнитного поля. Закон Био – Савара – Лапласа и его применение к расчету магнитного поля. Теорема о циркуляции магнитного поля. Закон Ампера. Взаимодействие параллельных токов	
4.4	Лабораторная работа №4. Электромагнитное поле. Закон полного тока. Ток смещения. Единая теория электрических и магнитных явлений Максвелла. Система уравнений Максвелла. Скорость распространения электромагнитного поля Релятивистская трактовка магнитных явлений	
5	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
5.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
5.2	Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	
5.3	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины	

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.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Физика» является формирование у студентов компетенций позволяющий выработать навыки физических исследований в сферах академической, профессиональной и общенаучной деятельности.

Задачи освоения дисциплины:

- изучение законов окружающего мира в их взаимосвязи;
- овладение фундаментальными принципами и методами решения научно-технических задач;
- формирование навыков по применению положений фундаментальной физики к грамотному научному анализу ситуаций, с которыми инженеру приходится сталкиваться при создании новых технологий;
- освоение основных физических теорий, позволяющих описать явления в природе, и пределов применимости этих теорий для решения современных и перспективных технологических задач.

2. Оборудование и материалы

Лабораторный стенд «Скамья Жуковского». Лабораторный стенд «Машина Атвуда». Лабораторный стенд «Маятник Максвелла». Набор демонстрационный «Механические явления». Набор лабораторный «Механика» (расширенный).

Весы технические настольные с разновесами демонстрационный. Набор демонстрационный «Динамика вращательного движения». Трубка Ньютона. Набор демонстрационный «Газовые законы и свойства насыщенных паров». Набор демонстрационный «Молекулярная физика и тепловые явления». Набор демонстрационный «Звуковые колебания и волны». Набор демонстрационный «Динамика вращательного движения». Набор демонстрационный «Газовые законы и свойства насыщенных паров». Набор демонстрационный «Молекулярная физика и тепловые явления».

Комплект учебной мебели.

3. Наименование практических работ

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
1	Лабораторная работа № 1. Простейшие физические модели, положение материальной точки. Обработка результатов физического эксперимента. Изучение движения тела брошенного под углом к горизонту	2	
2	Лабораторная работа № 2. Скорость. Вычисление пройденного пути. Изучение законов динамики поступательного и вращательного движений с помощью машины Атвуда	2	
Итого за 1 семестр		4	
10	Лабораторная работа № 3. Электромагнитные колебания в колебательном контуре. Изучение явления электромагнитной индукции. Изучение электрических токов возникающих при	2	

	явлении электромагнитной индукции.		
11	Лабораторная работа № 4. Магнитное поле тока. Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли. Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли.	2	
Итого за 2 семестр		4	
Итого		8	

4. Содержание лабораторных работ

Лабораторная работа № 1

Тема работы. Обработка результатов физического эксперимента. Изучение движения тела, брошенного под углом к горизонту.

Цель работы. Изучить методы количественного и графического представления экспериментальных результатов. Подтвердить на опыте справедливость формул кинематики.

Теоретическая часть.

Классификация погрешностей

Истинное значение физической величины абсолютно точно определить нельзя. При измерениях физических величин под действием самых разнообразных причин возникают *погрешности* измерений. Все погрешности принято разделять на *систематические, случайные и промахи* (ошибки).

Систематической называют такую погрешность, которая остается постоянной или закономерно изменяется при повторных измерениях одной и той же величины. Такие погрешности появляются вследствие неисправности приборов, неточности метода исследования, каких-либо упущений экспериментатора, а также при использовании для вычислений неточных зависимостей (формул), констант и т.д.

Случайной называется погрешность, которая вызывается действием не поддающихся контролю многочисленных, независимых друг от друга факторов. Значение случайной погрешности колеблется от одного измерения к другому, что делает невозможным точное предсказание результата в каждом отдельном измерении. Однако при рассмотрении повторных измерений обнаруживается характерная закономерность результатов, их определенная устойчивость, которая и служит основой для математической обработки опытных данных, вычисления случайных погрешностей.

Промахом или *ошибкой* называют такую погрешность измерения, которая оказывается значительно больше ожидаемой при данных условиях. Ошибка обязательно должна быть исключена из результатов измерений.

Определение погрешностей при прямых измерениях

Прямыми называют такие измерения, при которых физическая величина измеряется непосредственно при помощи прибора.

Пусть x – действительное значение измеряемой величины, а x_1 – показания прибора. Абсолютной погрешностью называется величина

$$|\Delta x| = |x_1 - x|. \quad (1)$$

Точность измерения характеризуется отношением абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины

$$\varepsilon = \frac{|\Delta x|}{x}. \quad (2)$$

Это отношение называется *относительной погрешностью* и выражается в процентах.

Погрешности, допускаемые при прямых измерениях, нередко называются *приборными*, так как обусловлены классом точности прибора, который указывается либо на самом приборе, либо в паспорте. В тех случаях, когда на приборе класс точности не указан, абсолютная погрешность принимается равной половине цены деления.

Случайные погрешности имеют статистический характер, их математическая обработка производится с помощью теории вероятностей. При многократном измерении равновероятно получить результат как больший, так и меньший, чем истинное значение измеряемой величины.

Пусть проведено n измерений величины x и в результате получено n значений: $x_1, x_2, \dots, x_n$. Величина

$$\langle x \rangle = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3)$$

называется *средним арифметическим* значением, является хорошим приближением к истинному значению измеряемой величины и, как правило, используется как окончательный итог серии измерений.

Рассмотрим несколько основных этапов упрощенной математической обработки результатов измерений.

1. Находим среднее арифметическое значение измеряемой величины $\langle x \rangle$.
2. Вычисляем абсолютные погрешности результатов отдельных измерений

$$|\Delta x_i| = |x_i - \langle x \rangle| \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (4)$$

Абсолютная погрешность имеет размерность измеряемой величины и характеризует качество отдельных измерений.

3. Вычисляем среднюю абсолютную погрешность

$$|\langle \Delta x \rangle| = \frac{|\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \dots + |\Delta x_n|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta x_i|}{n}. \quad (5)$$

4. Вычисляем относительную погрешность

$$\varepsilon = \left| \frac{\langle \Delta x \rangle}{\langle x \rangle} \right| \cdot 100\%. \quad (6)$$

5. Записываем окончательный результат $x = \langle x \rangle \pm \langle \Delta x \rangle$. (7)

Определение погрешностей при косвенных измерениях

В большинстве случаев при проведении физических экспериментов исследуемая физическая величина не может быть измерена непосредственно, для ее определения требуется измерить ряд других величин, а искомую найти, подставив найденные значения

в формулу, выражающую зависимость искомой величины от непосредственно измеряемых величин. Такие измерения называют косвенными.

Для определения погрешностей косвенных измерений можно воспользоваться формулами дифференцирования, т.к. формулы погрешностей получаются в том же приближении, что и формулы для дифференциала функции. Во многих случаях, когда формула удобна для логарифмирования, оказывается более удобной формула относительной погрешности. Относительная погрешность $\varepsilon = \frac{\Delta x}{x}$, но $d(\ln x) = \frac{dx}{x}$ и, следовательно, $\Delta(\ln x) = \frac{\Delta x}{x}$.

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	$y\Delta x + x\Delta y$	$\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$
xyz	$yz\Delta x + xz\Delta y + xy\Delta z$	$\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y} + \frac{\Delta z}{z}$
x/y	$\frac{y\Delta x - x\Delta y}{y^2}$	$\frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$
x^n	$nx^{n-1} \cdot \Delta x$	$n \frac{\Delta x}{x}$
$\sqrt[n]{x}$	$\frac{1}{n} x^{\frac{1}{n}-1} \Delta x$	$\frac{1}{n} \frac{\Delta x}{x}$
$\frac{x}{1 \pm x}$	$\frac{\Delta x}{(1 \pm x)^2}$	$\frac{\Delta x}{x(1 \pm x)}$
e^x	$e^x \Delta x$	Δx
$\ln x$	$\frac{\Delta x}{x}$	$\frac{\Delta x}{x \ln x}$

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

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).

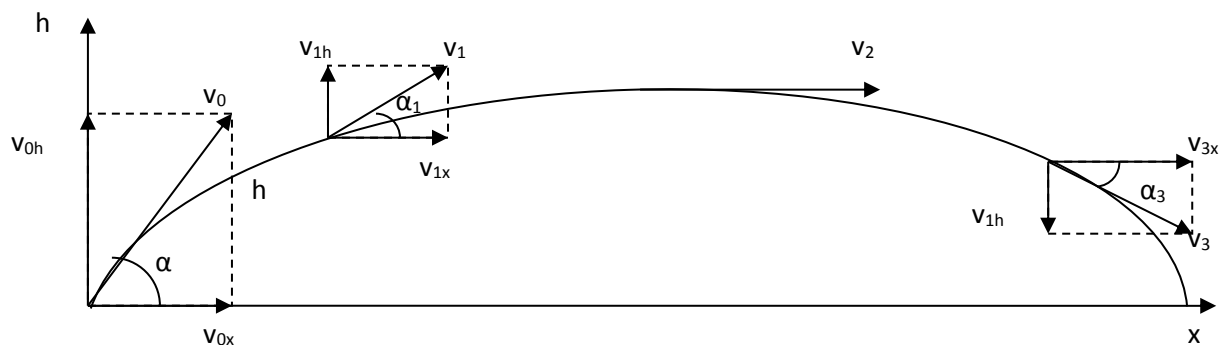


Рис.1.

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

$$\begin{aligned} v_x &= v_0 \cdot \cos \alpha \\ v_y &= v_0 \cdot \sin \alpha - gt \end{aligned} \quad (1)$$

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.

$$\begin{aligned} x &= v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \\ y &= h = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} \end{aligned} \quad (2)$$

Траектория тела, брошенного под углом к горизонту, представляет собой параболу. В вершине этой параболы вертикальная составляющая скорости равна нулю. В точке падения скорость тела равна по абсолютной величине скорости тела в точке бросания, а направление ее составляет тот же угол, что и в точке бросания. Это следует из симметрии параболы и имеет место в отсутствие сопротивления воздуха.

Начальную скорость тела, брошенного под углом к горизонту можно определить из уравнения (1).

$$v_0 = \frac{\ell}{\cos \alpha \cdot t} \quad (3)$$

Где ℓ - дальность полета - изменение положения тела по оси x.

Время полета можно определить из уравнения (2). В наивысшей точке траектории движения тела скорость $v_y=0$. Время, соответствующее этому моменту, составляет половину всего времени полета тела, тогда

$$0 = v_0 \cdot \sin \alpha - \frac{gt}{2},$$

отсюда время полета тела

$$t = \frac{2v_0 \cdot \sin \alpha}{g}. \quad (4)$$

Подставляя (4) в (3) получим

$$v_0 = \sqrt{\frac{\ell \cdot g}{\sin 2\alpha}} \quad (5)$$

Основной задачей механики является определение положения тела в пространстве в любой момент времени. Зная координаты тела всегда можно найти его скорости и ускорения (по определению этих величин). Основными законами, связывающими эти величины, силы и массу тела являются законы Ньютона и законы сохранения.

Оборудование и материалы.

Установка, состоящая из пружинного пистолета с шариком и линейки.

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. При выполнении лабораторных работ с применением полетов баллистических тел не следует находиться в области полета тела.
5. Не держите на рабочем столе предметы, не требующиеся для выполнения задания.
6. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

1. Определите взвешиванием массу шарика m . Вычислите относительную погрешность массы m .

2. Закрепите пистолет на высоте h под углом α . Вычислите относительные погрешности высоты h и угла α .

3. Растянув пружину пистолета на X см, определите по динамометру силу F . Вычислите относительные погрешности X и F .

4. Выстрелите 5-7 раз при одних и тех же значениях X и F . При каждом выстреле измеряйте дальность полета S . Вычислите относительную погрешность непосредственного измерения дальности S .

5. Вычислите:

- а) коэффициент жесткости пружины пистолета k ;
- б) начальную скорость полета шарика v_0 ;
- в) вертикальную составляющую начальной скорости v_{0y} ;
- г) вертикальную составляющую конечной скорости v_y ;
- д) горизонтальную составляющую начальной скорости v_{0x} ;
- е) горизонтальную составляющую конечной скорости v_x .

6. Вычислите дальность полета по и сравните со значением, полученным в пункте 4.

7. Вычислите изменение импульса шарика за время полета $|\Delta \vec{p}|$. Вычислите силу, изменившую импульс шарика за время полета.

8. Сравните значения потенциальной энергии сжатой пружины, начальной кинетической энергии шарика и конечной энергии шарика.

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. Сформулируйте принцип суперпозиции движений. Где он применяется?
2. Выведите уравнение для определения полета шарика, брошенного под углом α к горизонту с начальной скоростью v_0 .
3. Выведите максимальную высоту подъема шарика, брошенного под углом α к горизонту с начальной скоростью v_0 .
4. Выведите уравнение дальности полета шарика, брошенного под углом α к горизонту с начальной скоростью v_0 .
5. Под каким углом надо бросить тело, чтобы дальность полета была максимальна? При каком угле бросания высота полета равна его дальности?

Лабораторная работа № 2

Тема работы. Изучение законов динамики поступательного движения с помощью машины Атвуда

Цель работы. Проверка законов поступательного движения с помощью машины Атвуда.

Теоретическая часть.

Поступательным движением называют движение, при котором любая линия, проведенная в теле, остается параллельной самой себе. При таком движении траектории, скорость и ускорения точек тела совпадают. Следовательно, движение тела можно заменить движением его одной точки. Чаще всего, выбирают движение центра тяжести тела.

Основное уравнение поступательного движения, (второй закон Ньютона) имеет вид:

$$m \cdot \vec{a} = \sum \vec{F}$$

где m – масса, $\vec{a}$ – ускорение тела, $\sum \vec{F}$ – сумма сил, действующих на тело.

Вращательным движением называют движение, при котором точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной прямой, называемой осью вращения. Основное уравнение вращательного движения (второй закон Ньютона) имеет вид:

$$I \cdot \vec{\varepsilon} = \sum \vec{M},$$

Где $I_i = m_i \cdot r_i^2$ – момент инерции материальной точки, момент инерции вращающегося тела, равен сумме моментов инерции всех материальных точек этого тела:

$I = \sum I_i$ $\sum \vec{M}$ – сумма моментов сил, действующих на тело. Момент силы – величина равная произведению модуля силы на плечо этой силы. Плечом силы называют кратчайшее расстояние от оси (центра) вращения до линии действия силы.

Машина Атвуда (рис.1) представляет собой блок радиуса R , через который перекинута нить с грузами m_1 и m_2 . Если $m_2 > m_1$, то, учитывая, что нить нерастяжима, грузы придут в движение с одинаковым ускорением $\vec{a}$. Блок будет вращаться с угловым ускорением $\vec{\varepsilon}$, точки на его ободе будут иметь тангенциальное ускорение равное ускорению грузов. Уравнения движения грузов и блока, принимая направление движения по оси X , будут иметь вид:

$$T_1 - m_1 \cdot g = m_1 \cdot a \quad (1)$$

$$T_2 - m_2 \cdot g = m_2 \cdot a \quad (2)$$

$$T_2 \cdot R - T_1 \cdot R - M_{тр} = I \cdot \varepsilon \quad (3)$$

Где T_1 и T_2 – силы натяжения нити слева и справа от блока, $M_{тр}$ – момент силы трения, угловое ускорение $\varepsilon = a/R$.

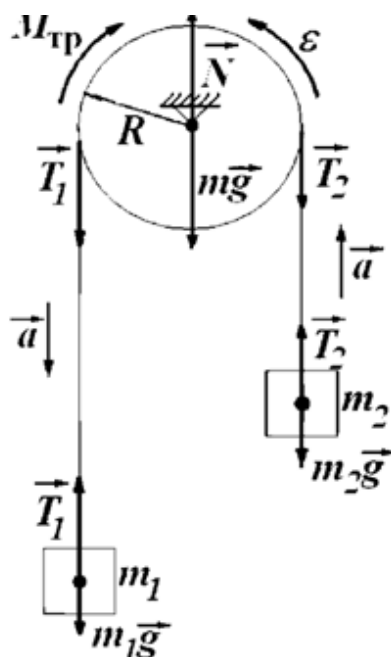


Рисунок 1 - машина Атвуда.

Описание установки, вывод расчетных формул

Общий вид установки приведён на рисунке 2. На вертикальной стойке 1 расположены три кронштейна: нижний 2, средний 3, верхний 4.

На верхнем кронштейне 4 крепится блок, через который перекинута нить с грузами 5, одинаковой массы. Внизу находится электромагнит, который при подаче на него напряжения удерживает систему с грузами в неподвижном состоянии.

На вертикальной стойке 1 укреплена сантиметровая линейка 8, по которой определяют начальное и конечное положение грузов, а, следовательно, и пройденный путь. Начальное положение определяют визуально по нижнему срезу груза, конечное - по индексу (красная метка) среднего кронштейна.

Секундомер с цифровой индикацией времени закреплён на основании прибора. Принцип работы прибора заключается в следующем. Когда на концах нити висят грузы одинаковой массы $m_1 = 100$ г, система находится в равновесии. Если на один из грузов положить перегрузок массой Δm , ($m_2 = m_1 + \Delta m$) система выходит из равновесия и движется равноускоренно. Масса блока равна 102 грамма, радиус блока равен 7 см, момент инерции блока равен половине произведения массы его и квадрата его радиуса (как сплошного диска).

При равноускоренном движении ускорение грузов можно найти из известного соотношения

$$S = \frac{gt^2}{2}$$

$S = h$ - путь, пройденный грузами,

t - время их движения. Экспериментальное значение ускорения найдем через известный

путь и время: $a = 2 \cdot S / t^2$

При проведении опыта с одними значениями пройденного пути S и m массы перегрузки Δm_1 из первых двух уравнений системы можно определить силы натяжения нитей:

$$T_1 = m_1 \cdot (a + g)$$

$$T_2 = m_2 \cdot (a + g)$$

Зная силы натяжения третьего уравнения можно найти момент сил трения:

$$M_{тр} = (T_2 - T_1) \cdot R - I \cdot \varepsilon$$

Опыт с одними перегрузками провести для двух значений S (0,6 м и 0,8 м). Сравнить значения сил натяжения и моменты сил трения для этих двух серий момента.

Оборудование и материалы.

Машина Атвуда, электромагнит, секундомер, набор перегрузов.

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. Проявлять осторожность и аккуратность при непосредственной работе с грузами, пружинами и иными необходимыми для работы приспособлениями.
6. Перед тем, как приступить к работе тщательно изучите её описание, уясните ход выполнения работы.

Задания.

1. Включить в сеть шнур питания прибора.
2. Переместить нить с грузами так, чтобы правый груз занял верхнее положение.
3. Включить электромагнит, удерживающий систему в положении покоя.
4. Положить на правый груз один из перегрузков. Установить средний кронштейн на отметке $h_1 = 0,6$ м, или 0,8 м. Включить секундомер одновременно с выключением электромагнита.
5. Записать по показаниям секундомера время движения груза.
6. Повторить опыт с выбранным перегрузком не менее пяти раз.
7. Повторить опыт при другой высоте. h_2 .
8. Определить по результатам опыта среднее значение времени t_{cp} и рассчитать по формуле значение ускорения.
9. Вычислить силы натяжения нитей и момент силы трения.
10. По данным опыта с одним значением S вычислять кинетическую энергию грузов в конечный момент движения

$$K_{cp} = \frac{(m_1 + m_2) \cdot v^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) \cdot a^2 \cdot t^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) \cdot 2 \cdot S^2}{t^2}$$

11. Вычислить кинетическую энергию блока

$$K_{bl} = \frac{I \cdot \omega^2}{2} = \frac{m \cdot R^2 \cdot v^2}{2 \cdot 2 \cdot R^2} = \frac{m \cdot v^2}{4} = \frac{m \cdot S^2}{t^2}$$

12. Вычислить изменение потенциальной энергии грузов

$$\Delta\Pi = m \cdot g \cdot S$$

13. Найти значение выражения $\Delta\Pi - (K_{cp} + K_{bl})$
14. Объяснить полученный результат.

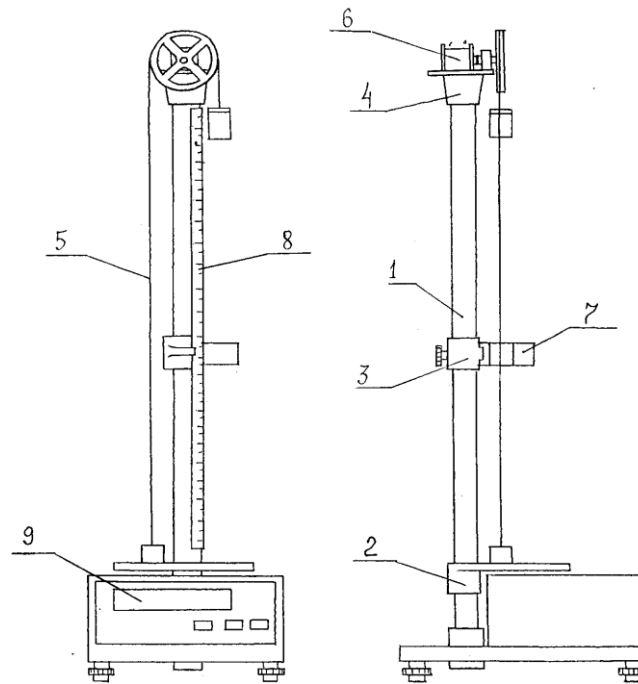


Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки

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. Дайте определение поступательного движения твердого тела.
2. Что такое материальная точка и абсолютно твердое тело?
3. Объясните, что такое система отсчета?
4. Перечислите и объясните основные кинематические характеристики поступательного движения.
5. Сформулируйте первый закон Ньютона.
6. Дайте определения массы и импульса тела.
7. Сформулируйте второй закон Ньютона.

8. Что такое равнодействующая сила?
9. Объясните третий закон Ньютона.
10. Дать определение сил упругости. Что такое упругая деформация ?
11. На чем основывается вывод расчетных формул в данной лабораторной работе?

Лабораторная работа № 3

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 индуцированной ЭДС 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 пересекается силовыми линиями поля, тем большая ЭДС индуцируется в проводнике. И, наконец, чем сильнее магнитное поле, т. е. чем больше его индукция, тем большая ЭДС возникает в проводнике, пересекающем это поле.

Итак, величина ЭДС индукции, возникающей в проводнике при его движении в магнитном поле, прямо пропорциональна индукции магнитного поля, длине проводника и скорости его перемещения.

Зависимость эта выражается формулой $E = Blv$,

где E — ЭДС индукции; B — магнитная индукция; l — длина проводника; v — скорость движения проводника.

Следует твердо помнить, что в проводнике, перемещающемся в магнитном поле, ЭДС индукции возникает только в том случае, если этот проводник пересекается магнитными силовыми линиями поля. Если же проводник перемещается вдоль силовых линий поля, т. е. не пересекает, а как бы скользит по ним, то никакой ЭДС в нем не индуцируется. Поэтому приведенная выше формула справедлива только в том случае, когда проводник перемещается перпендикулярно магнитным силовым линиям поля.

Направление индуцированной ЭДС (а также и тока в проводнике) зависит от того, в какую сторону движется проводник. Для определения направления индуцированной ЭДС существует правило правой руки.

Если держать ладонь правой руки так, чтобы в нее входили магнитные силовые линии поля, а отогнутый большой палец указывал бы направление движения проводника, то вытянутые четыре пальца укажут направление действия индуцированной ЭДС и направление тока в проводнике.

При движении внутри катушки постоянного магнита в ней индуцируется ЭДС за счет того, что магнитный поток магнита пересекает витки катушки, т. е. точно так же, как это было при движении прямолинейного проводника в поле магнита.

Если магнит опускать в катушку медленно, то возникающая в ней ЭДС будет настолько мала, что стрелка прибора может даже не отклониться. Если же, наоборот, магнит быстро ввести в катушку, то отклонение стрелки будет большим. Значит, величина индуцируемой ЭДС, а следовательно, и сила тока в катушке зависят от скорости движения магнита, т. е. от того, насколько быстро силовые линии поля пересекают витки катушки. Если теперь поочередно вводить в катушку с одинаковой скоростью сначала сильный магнит, а затем слабый, то можно заметить, что при сильном магните стрелка прибора будет отклоняться на больший угол. Значит, величина индуцируемой ЭДС, а следовательно, и сила тока в катушке зависят от величины магнитного потока магнита.

И, наконец, если вводить с одинаковой скоростью один и тот же магнит сначала в катушку с большим числом витков, а затем со значительно меньшим, то в первом случае стрелка прибора отклонится на больший угол, чем во втором. Значит, величина индуцируемой ЭДС, а следовательно, и сила тока в катушке зависят от числа ее витков. Те же результаты можно получить, если вместо постоянного магнита применять электромагнит.

Направление ЭДС индукции в катушке зависит от направления перемещения магнита. О том, как определять направление ЭДС индукции, говорит закон, установленный Э. Х. Ленцем.

Закон Ленца для электромагнитной индукции: Всякое изменение магнитного потока внутри катушки сопровождается возникновением в ней ЭДС индукции, причем чем быстрее изменяется магнитный поток, пронизывающий катушку, тем большая ЭДС в ней индуцируется.

Если катушка, в которой создана ЭДС индукции, замкнута на внешнюю цепь, то по виткам ее идет индукционный ток, создающий вокруг проводника магнитное поле, в силу чего катушка превращается в соленоид. Получается таким образом, что изменяющееся внешнее магнитное поле вызывает в катушке индукционный ток, который, в свою очередь, создает вокруг катушки свое магнитное поле — поле тока.

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 индуцирования 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.

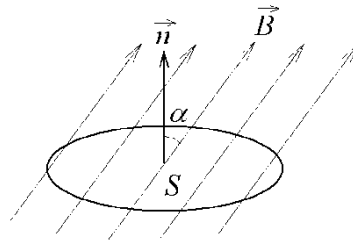


Рис. 1.

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 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; ω – циклическая частота тока $\omega = 2\pi\nu$; ν – частота тока.

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

$$B = \mu\mu_0 nI$$

или с учетом (3)

$$B = \mu\mu_0 nI_0 \cos \omega t \quad (4)$$

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

$$\Phi = \mu\mu_0 nI_0 S \cos \alpha \cos \omega t$$

Отсюда скорость изменения магнитного потока равна,

$$\frac{d\Phi}{dt} = -\mu\mu_0 nI_0 S \omega \cos \alpha \sin \omega t \quad (5)$$

Таким образом, скорость изменения магнитного потока пропорциональна амплитудному значению тока в катушке I_0 и косинусу угла α . Подставив выражение (5) в формулу (1), получаем

$$\varepsilon_{\text{инд}} = CI_0 \cos \alpha \quad (6)$$

где $C = -\mu\mu_0 nS \omega \sin \omega t$.

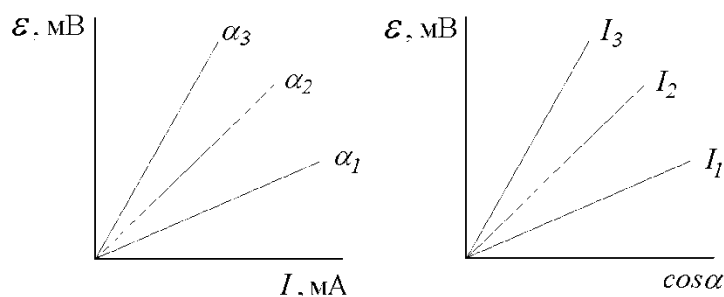


Рис.2.

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 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;
 - 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.

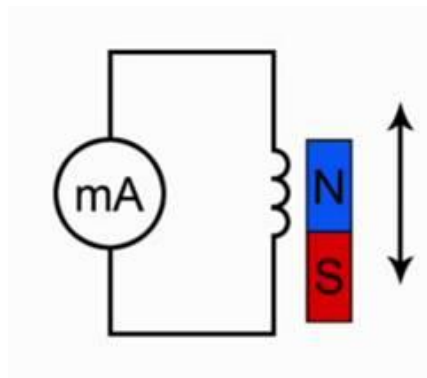


Рис. 1. Эксперимент 1

Подумайте над тем, как объяснить наблюдаемое нами явление. Каким образом влияет магнитный поток на то, что мы видим, в частности происхождение электрического тока. Для этого посмотрите на вспомогательный рисунок.

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.

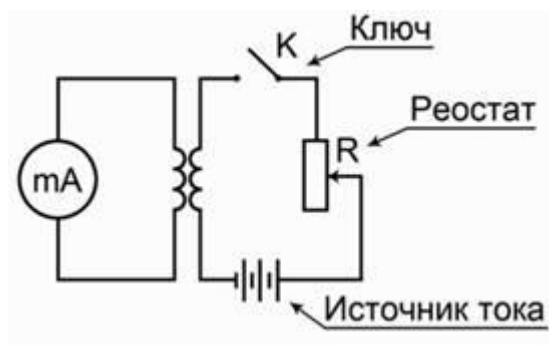


Рис. 2. Эксперимент 2

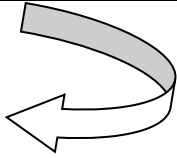
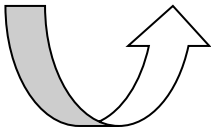
о второй схеме в принципе ничего не изменилось относительно измерения индукционного тока. Тот же самый миллиамперметр, присоединенный к мотку катушки. Остается все, как было в первом случае. Но теперь изменение магнитного потока мы будем получать не за счет движения постоянного магнита, а за счет изменения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

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 мы изменяем 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	ΔФм
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. Какова связь правила Ленца с законом сохранения энергии?

Лабораторная работа № 4

Тема работы. Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли.

Цель работы. Определение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли.

Теоретическая часть.

Земля в целом представляет собой огромный шаровой магнит. Поэтому в любой точке пространства, окружающего Землю, и на ее поверхности существует магнитное поле, силовые линии которого изображены на рисунке 1. При этом северный магнитный полюс N находится вблизи южного географического Ю и наоборот. На экваторе магнитные силовые линии направлены горизонтально, а на полюсах - вертикально.

В остальных точках земной поверхности индукция магнитного поля направлена под некоторым углом к плоскости Земли, т.е. имеет и горизонтальную B_z и вертикальную B_v составляющие.

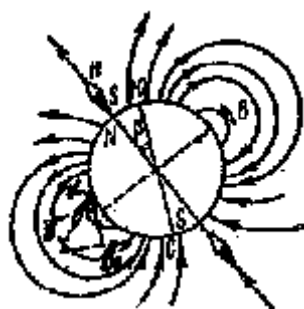


Рис.1.

Направление горизонтальной составляющей принимается за направление магнитного меридиана, т.к. в этом направлении устанавливается стрелка компаса, вращающаяся в горизонтальной плоскости. Целью настоящей работы является измерение величины горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли с помощью тангенс-гальванометра. Тангенс-гальванометр представляет собой вертикально расположенные n круговых витков радиуса R , по которым пропускается постоянный ток силой I . В центре этой совокупности витков (короткой катушки) помещается компас. При отсутствии тока в витках магнитная стрелка компаса установится по

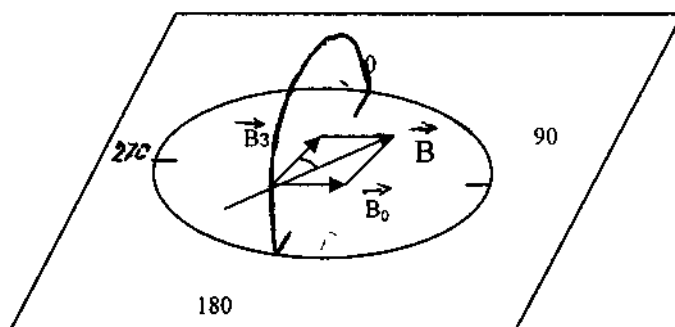


Рис. 2.

магнитному меридиану. При пропускании тока по виткам стрелка повернется на некоторый угол α , т.к. теперь на нее помимо горизонтальной составляющей магнитного поля Земли будет действовать еще магнитное поле, создаваемое током I в n витках. Если 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 $\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_3$, 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 $tg\alpha = \frac{B_0}{B_3}$, откуда

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

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

$$B_0 = \frac{\mu_0 In}{2R} \quad (2)$$

Подставив (2) в (1) получим

$$B_3 = \frac{\mu_0 In}{2R \cdot tg\alpha} \quad (3)$$

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 $\mathcal{E}$, 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.

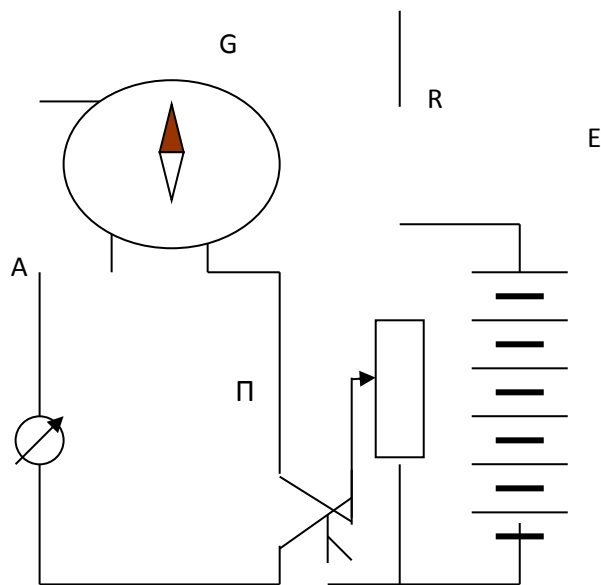


Рис. 3

Оборудование и материалы.

Тангенс-гальванометр, амперметр, реостат, 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. 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;
 - 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.

1. Собирают электрическую цепь по схеме рис.3

2. Поворачивая тангенс- гальванометр, устанавливают его плоскость в плоскости магнитного меридиана, так чтобы магнитная стрелка установилась в направлении 0° - 180° .

3. Устанавливая движком реостата заданную величину тока (задается преподавателем) измерить угол отклонения магнитной стрелки α_1 .

4. Не изменяя величину тока поменять переключателем П направление тока на противоположное. Отсчитать новый угол отклонения стрелки α_2 . Вычислить

$$\alpha_{cp} = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)}{2}.$$

5. Повторить измерения α_1 и α_2 при нескольких других заданных значениях тока.

6. Подставляя последовательно измеренные соответствующие значения тока I_i и усредненные значения угла α_i в формулу (3) найти значения B_z . (Величины n и R указаны на тангенс-гальванометре).

7. Все результаты измерений и вычислений занести в табл.1

Табл.1

$I(A)$	α_1	α_2	α_{cp}	$tg\alpha_{cp}$	B_z	ΔB	δB
(ср)							

8. Оценить погрешность проведенного измерения B_z и результаты занести в табл.1

9. Записать результат в виде

$$B_z = B_{зср} \pm \Delta B_{зср}$$

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. Какой вид имеет магнитное поле Земли?
2. В чем заключается идея измерения горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли?
3. Как устроен тангенс-гальванометр?
4. Выведите формулу индукции B_0 , в центре кругового витка с током.

5. Почему плоскость тангенс-гальванометра следует ориентировать в направлении магнитного меридиана?

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.2 Перечень основной литературы:

1. Физика для вузов: механика и молекулярная физика [Электронный ресурс]: учебник / В.А. Никеров. - Москва: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2017. - 136 с. : табл., граф., схем. - ISBN 978-5-394-00691-3;-URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=450772>
2. Ташлыкова-Бушкевич, И.И. Физика: в 2 ч. / И.И. Ташлыкова-Бушкевич. – 2-е изд., испр. – Минск : Вышэйшая школа, 2014. – Ч. 1. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Электричество и магнетизм. – 304 с. : ил., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=235732>
3. Ташлыкова-Бушкевич, И.И. Физика: в 2 ч. / И.И. Ташлыкова-Бушкевич. – 2-е изд., испр. – Минск: Вышэйшая школа, 2014. – Ч. 2. Оптика. Квантовая физика. Строение и физические свойства вещества. – 232 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=460883>

5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Лекции по учебной дисциплине «Основы теоретической физики». Электродинамика. [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е.И. Кухарь. — Электрон. текстовые данные. — Волгоград: Волгоградский государственный социально-педагогический университет, 2017. — 57 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/70731.html>
2. Никеров, В.А. Физика: современный курс / В.А. Никеров. – 2-е изд. – Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2016. – 452 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=453287>.

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 организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «ФИЗИКА»

для студентов направления подготовки

08.03.01 Строительство, направленность (профиль) «Городское строительство и
хозяйство»

Пятигорск, 2026

Содержание

Введение

- 1 Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «ФИЗИКА»
- 2 План-график выполнения самостоятельной работы
- 3 Контрольные точки и виды отчетности по ним
- 4 Методические указания по изучению теоретического материала
- 5 Список рекомендуемой литературы.

Введение

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Физика»

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- самостоятельное решение задач;
- выполнение курсового проекта.

Цель самостоятельного изучения литературы – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.

Задачами самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов.

Цель самостоятельного решения задач - овладение профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю будущей деятельности.

Задачами самостоятельного решения задач являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Целью самостоятельного выполнения расчетно-графической работы по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

Задачами данного вида самостоятельной работы студента являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовой работы.

В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ОПК-1 Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата	ИД-5 ОПК-1 Демонстрирует понимание физических явлений и умеет применять физические законы механики, молекулярной физики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач; ИД-6 ОПК-1 Демонстрирует знание элементарных основ оптики, квантовой механики и атомной физики.	Знает основные физические явления и законы механики, электротехники, теплотехники, оптики и ядерной физики и их математическое описание; методы анализа физических явлений в технических устройствах и системах; Методы решения практических задач исследования и моделирования физических и химических явлений и процессов в своей предметной области. Умеет применять физические законы механики, молекулярной физики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач. Владеет знаниями физических явлений, элементарных основ оптики, квантовой механики и атомной физики.

План-график выполнения самостоятельной работы

Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
1 семестр					
ОПК-1 ИД-5 _{ОПК-1} ИД-6 _{ОПК-1}	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-9	Конспект	53,01	5,89	58,9
	Подготовка к лекциям	Конспект	0,72	0,08	0,8
	Подготовка к практическим занятиям	Решенная задача	1,35	0,15	1,5
	Подготовка к лабораторным занятиям	отчет	1,62	0,18	1,8
	Контрольная работа	Решенная задача	13,5	1,5	15
Итого за 1 семестр:			70,2	7,8	78
2 семестр					
ОПК-1 ИД-5 _{ОПК-1} ИД-6 _{ОПК-1}	Самостоятельное изучение литературы по темам №10-17	Конспект	53,01	5,89	58,9
	Подготовка к лекциям	Конспект	0,72	0,08	0,8
	Подготовка к практическим занятиям	Решенная задача	1,35	0,15	1,5
	Подготовка к лабораторным занятиям	отчет	1,62	0,18	1,8
	Контрольная работа	Решенная задача	13,5	1,5	15
Итого за 2 семестр:			70,2	7,8	70,2
Итого:			140,4	15,6	156

Методические указания по изучению теоретического материала

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие ее содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию логической связки содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или разъяснительного характера, а также исторического экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути понятийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия изучаемых проблем.

Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение рекомендованных источников предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.

Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Развернутый план — неоценимый помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции;

— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

Составление конспектов

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

Самостоятельно изученные темы предоставляются преподавателю в форме конспекта, по которому происходит собеседование. Теоретические темы курса (отдельные вопросы), выносимые на самостоятельное изучение, представлены ниже.

Методические указания по подготовке к экзамену

Изучение дисциплины «Физика» завершается экзаменом. Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых, в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. Готовясь к экзамену, студент ликвидирует имеющиеся пробелы в знаниях, углубляет, систематизирует и упорядочивает свои знания. На экзамене студент демонстрирует то, что он приобрел в процессе обучения по конкретной учебной дисциплине.

На консультации перед экзаменом студентов познакомят с основными требованиями, ответят на возникшие у них вопросы. Поэтому посещение консультаций обязательно.

При подготовке к экзамену необходимо использовать конспекты лекций по дисциплине, учебники и учебные пособия (из списка основной и дополнительной литературы) или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение семестра.

Вначале следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения.

Систематическая подготовка к занятиям в течение семестра позволит использовать время экзаменационной сессии для систематизации знаний.

Вопросы к экзамену

1. Основные понятия кинематики. Уравнения движения материальной точки.
2. Угловая скорость и угловое ускорение.
3. Тангенциальное, нормальное и полное ускорения.
4. Законы Ньютона.
5. Принцип относительности Галилея.
6. Упругие силы, относительная деформация, механическое напряжение, закон Гука.
7. Закон сохранения импульса.
8. Центр масс инерции. Движение центра инерции
9. Работа, мощность, энергия: понятия и взаимосвязь.
10. Кинетическая, потенциальная и полная механическая энергия тела.
11. Закон сохранения энергии.
12. Связь потенциальной энергии и силы.
13. Кинематика вращательного движения.
14. Момент силы. Уравнение динамики вращательного движения твердого тела.
15. Момент импульса и закон его сохранения.
16. Кинетическая энергия при вращательном движении. Момент инерции. Теорема Штейнера.
17. Колебательные процессы в механике. Механические гармонические колебания.
18. Энергия материальной точки, совершающей гармонические колебания.
19. Свободные затухающие колебания.
20. Вынужденные колебания. Резонанс.
21. Уравнение состояния идеального газа.
22. Основы молекулярно-кинетической теории. Изопроцессы в газах.
23. Закон Максвелла о распределении молекул идеального газа по скоростям.
24. Барометрическая формула.
25. Распределение Больцмана.
26. Внутренняя энергия идеального газа
27. Внутренняя энергия многоатомного газа Работа в термодинамике.
28. Работа газа при изотермическом процессе.
29. Первое начало термодинамики.
30. Работа газа при изменении его объема.
31. Адиабатный и политропный процессы.
32. Теплоемкость. Уравнение Майера.
33. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам.
34. Энтропия. Неравенство Клаузиуса.
35. Второе начало термодинамики.
36. Тепловой двигатель. Теорема Карно.
37. Межмолекулярное взаимодействие.
38. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
39. Внутренняя энергия реального газа.

40. Жидкости и их описание.
41. Смачивание. Капиллярные явления.
42. Диаграмма состояния. Тройная точка.
43. Понятие электрического заряда. Закон Кулона. Закон сохранения заряда.
44. Электрический диполь.
45. Электрическое поле. Напряженность поля.
46. Теорема Гаусса для напряженности электрического поля.
47. Разность потенциалов. Связь напряженности и разности потенциалов.
48. Основные уравнения электростатики в вакууме.
49. Диэлектрики в электрическом поле.
50. Проводники в электрическом поле.
51. Емкость уединенного проводника.
52. Конденсаторы. Емкость конденсатора.
53. Энергия заряженного проводника. Энергия заряженного конденсатора.
54. Энергия электрического поля.
55. Электродвижущая сила. Закон Ома для однородного и неоднородного участка цепи.
56. Сопротивление проводников.
57. Правила Кирхгофа и их применение к расчету электрических цепей.
58. Закон Джоуля – Ленца.
59. Работа и мощность тока.
60. Классическая электронная теория проводимости металлов. Эффект Холла.
61. Находить скорость и ускорение, среднюю, среднюю путевую, мгновенную скорости.
62. Нормальное, тангенциальное и полное ускорение.
63. Находить угловую скорость и угловое ускорение.
64. Применять законы Ньютона.
65. Применять закон сохранения энергии.
66. Применять закон сохранения импульса
67. Момент силы относительно точки и относительно оси вращения.
68. Момент импульса материальной точки относительно точки и относительно оси вращения.
69. Основные параметры макросистем.
70. Уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона-Менделеева).
71. Количество теплоты. Теплоемкость. Связь удельной и молярной теплоемкостей.
72. Уравнение состояния реального газа (уравнение Ван-дер-Ваальса).
73. Применение первого начала термодинамики к адиабатическому процессу.
74. Уравнение Пуассона.
75. Диаграмма состояния. Тройная точка.
76. Работа по перемещению заряда в электростатическом поле.
77. Потенциал поля точечного заряда.
78. Сила тока и плотность тока.
79. Закон Ома в обобщенной форме.
80. Работа и мощность тока. Закон Джоуля – Ленца
81. Методами решения задач по кинематике.
82. Методами решения задач по динамике.
83. Нормальное, тангенциальное и полное ускорение.
84. Находить угловую скорость и угловое ускорение.
85. Применять законы Ньютона.
86. Применять закон сохранения энергии.
87. Применять закон сохранения импульса
88. Момент силы относительно точки и относительно оси вращения.
89. Момент импульса материальной точки относительно точки и относительно оси вращения.

90. Уравнение состояния идеального газа.
91. Количество теплоты. Теплоемкость.
92. Связь удельной и молярной теплоемкостей.
93. Уравнение состояния реального газа.
94. Применение первого и второго начала термодинамики.
95. Тепловой двигатель. Теорема Карно.
96. Межмолекулярное взаимодействие.
97. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
98. Внутренняя энергия реального газа.
99. Сила тока и плотность тока. Закон Ома в обобщенной форме.
100. Вывод закона Джоуля - Ленца.

Вопросы к экзамену 2 семестр

1. Магнитное поле и его основные характеристики.
2. Закон Био - Савара - Лапласа и его применение.
3. Закон Ампера. Взаимодействие параллельных токов.
4. Магнитная индукция.
5. Сила Лоренца.
6. Движение заряженных частиц в однородном магнитном поле.
7. Некоторые применения магнитного поля. Эффект Холла.
8. Теорема о циркуляции вектора. Магнитные поля соленоида и тороида.
9. Поток вектора магнитной индукции. Теорема Гаусса для магнитного поля.
10. Электромагнитная индукция. Закон Фарадея.
11. Индукционный ток. Правило Ленца.
12. Природа ЭДС индукции. ЭДС индукции в неподвижных проводниках.
13. Циркуляция вектора напряжённости вихревого электрического поля.
14. Токи Фуко. Скин-эффект.
15. Уравнения Максвелла.
16. Явление самоиндукции. Индуктивность проводников.
17. Явления при замыкании и размыкании токов в цепи с индуктивностью.
18. Взаимная индукция. Энергия магнитного поля
19. Колебательный контур.
20. Описание электромагнитных колебаний в колебательном контуре.
21. Свободные колебания. Вынужденные колебания.
22. Закон полного тока. Ток смещения.
23. Единая теория электрических и магнитных явлений Максвелла.
24. Система уравнений Максвелла.
25. Скорость распространения электромагнитного поля.
26. Релятивистская трактовка магнитных явлений (общие положения).
27. Переменный электрический ток: основные понятия и законы.
28. Вихревое электрическое поле.
29. Мощность, выделяемая в цепи переменного тока
30. Фотометрия. Основы геометрической оптики.
31. Законы отражения и преломления света.
32. Явление полного внутреннего отражения. Принцип Ферма.
33. Линзы, формула тонкой линзы.
34. Оптическая сила линзы.
35. Изображение предметов с помощью линз. Зеркала.
36. Система линз как основа оптических приборов.
37. Явление интерференции световых волн.
38. Дифракция световых волн. Дифракционная решетка.

39. Взаимодействие электромагнитных волн с веществом.
40. Дисперсия света. Поглощение света.
41. Рассеяние света. Эффект Доплера.
42. Поляризация света.
43. Законы теплового излучения. Закон Стефана-Больцмана.
44. Закон Вина.
45. Фотоэффект.
46. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
47. Масса, энергия и импульс фотона.
48. Давление света. Эффект Комптона и его элементарная природа.
49. Модели атома Томсона и Резерфорда.
50. Линейчатый спектр атома водорода. Постулаты Бора.
51. Спектр атома водорода по Бору.
52. Корпускулярно-волновой дуализм свойств вещества.
53. Некоторые свойства волн де Бройля.
54. Общее уравнение Шредингера.
55. Элементы современной физики атомов и молекул.
56. Состав, заряд атомного ядра. Массовое и зарядовое числа.
57. Дефект массы и энергия связи ядра. Спин ядра и его магнитный момент.
58. Ядерные силы, их свойства, модели ядра. Закон радиоактивного распада.
59. Элементарные частицы. Космическое излучение.
60. Классификация элементарных частиц. Физическая картина мира.
61. Закон Ампера.- Взаимодействие параллельных токов.
62. Движение заряженных частиц в магнитном поле.
63. Работа по перемещению проводника в магнитном поле.
64. Правило Ленца. Вращение рамки в магнитном поле. Вихревые токи.
65. Токи при размыкании и замыкании цепи.
66. Взаимная индукция.
67. Уравнение свободных колебаний.
68. Затухающие колебания в колебательном контуре.
69. Вынужденные электромагнитные колебания.
70. Переменный ток. Переменный ток через резистор
71. Переменный ток через катушку индуктивности.
72. Переменный ток через конденсатор.
73. Цепь переменного тока, содержащая R-L-C.
74. Резонанс напряжений.
75. Резонанс токов.
76. Шкала электромагнитных волн.
77. Линзы и их характеристики.
78. Методы наблюдения интерференции света.
79. Полосы равного наклона.
80. Полосы равной толщины.
81. Кольца Ньютона.
82. Дифракция Френеля.
83. Дифракция Фраунгофера.
84. Дифракция на пространственной решетке.
85. Различия в дифракционном и призматическом спектрах.
86. Естественный и поляризованный свет.
87. Прохождение света через два поляризатора. Поляризация света при отражении и преломлении на границе двух диэлектриков.
88. Двойное лучепреломление.
89. Искусственная оптическая анизотропия, вращение плоскости поляризации.

90. Частица в одномерной прямоугольной «потенциальной яме» с бесконечно высокими «стенками».
91. Туннельный эффект.
92. Спектр атома водорода.
93. Спин электрона. Спиновое квантовое число.
94. Молекулы: химические связи, понятие об энергетических уровнях. Молекулярные спектры. Поглощение.
95. Спонтанное и вынужденное излучение.
96. Волны Де-Бройля и квантовые условия Бора.
97. Вероятность нахождения микрочастицы.
98. Уравнение Шредингера в операторной форме.
99. Потенциальный ящик и потенциальный барьер.
100. Принцип Паули.

Методические указания по подготовке к контрольной работе

Контрольная работа – это самостоятельная письменная работа студента, которая должна показать не только его владение теоретическим материалом, но и продемонстрировать практические умения проводить расчеты.

Цели выполнения контрольной работы заключаются:

- закрепить и систематизировать теоретические знания и практические навыки студента;
- научить работать с литературой – изучать, анализировать информацию из научных источников;

В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ОПК-1 Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата	ИД-5 ОПК-1 Демонстрирует понимание физических явлений и умеет применять физические законы механики, молекулярной физики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач; ИД-6 ОПК-1 Демонстрирует знание элементарных основ оптики, квантовой механики и атомной физики.	Знает основные физические явления и законы механики, электротехники, теплотехники, оптики и ядерной физики и их математическое описание; методы анализа физических явлений в технических устройствах и системах; Методы решения практических задач исследования и моделирования физических и химических явлений и процессов в своей

		предметной области. Умеет применять физические законы механики, молекулярной физики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач. Владеет знаниями физических явлений, элементарных основ оптики, квантовой механики и атомной физики.
--	--	---

Список рекомендуемой литературы

Перечень основной литературы:

1. Дмитриева Е.И. Физика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.И. Дмитриева. — 2-е изд. — Электрон. текстовые данные. — Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2019. — 143 с. — 978-5-4486-0445-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/79822.html>
2. Никеров, В.А. Физика: современный курс : учебник / В.А. Никеров. - 2-е изд. - Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2016. - 452 с. : ил. - ISBN 978-5-394-02349-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=453287>

Перечень дополнительной литературы:

1. Романова, В.В. Физика: примеры решения задач : учебное пособие / В.В. Романова. - Минск : РИПО, 2017. - 348 с. : схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-985-503-737-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=487974>

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 контрольной работы

по дисциплине «ФИЗИКА» для студентов направления подготовки

08.03.01 Строительство, направленность (профиль) «Городское строительство и
хозяйство»

Пятигорск, 2026

Содержание

№		Стр.
п/п		
	Введение	
1.	Цель и задачи изучения дисциплины	
2.	Оборудование и материалы	
3.	Наименование контрольных работ	
4.	Список контрольных работ	
5.	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины	

Введение

Контрольная работа создаёт оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины «Физика». Контрольные работы проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью контрольных работ 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.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Физика» является формирование у студентов компетенций позволяющий выработать навыки физических исследований в сферах академической, профессиональной и общенаучной деятельности.

Задачи освоения дисциплины:

- изучение законов окружающего мира в их взаимосвязи;
- овладение фундаментальными принципами и методами решения научно-технических задач;
- формирование навыков по применению положений фундаментальной физики к грамотному научному анализу ситуаций, с которыми инженеру приходится сталкиваться при создании новых технологий;
- освоение основных физических теорий, позволяющих описать явления в природе, и пределов применимости этих теорий для решения современных и перспективных технологических задач.

При выполнении контрольной работы реализуются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ОПК-1 Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата	ИД-5 опк-1 Демонстрирует понимание физических явлений и умеет применять физические законы механики, молекулярной физики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач	Знает основные физические явления и законы механики, электротехники, теплотехники, оптики и ядерной физики и их математическое описание; методы анализа физических явлений в технических устройствах и системах; Умеет применять физические законы механики, молекулярной физики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач.
	ИД-6 опк-1 Демонстрирует знание элементарных основ оптики, квантовой механики и атомной физики	Владеет знаниями физических явлений, элементарных основ оптики, квантовой механики и атомной физики.

Для оценивания контрольной работы студент должен выполнить 2 задачи: по последней цифре студенческого билета и последняя цифра студенческого билета +10.

А также привести ответы на вопросы

2. Формулировка задания и ее объем

Вопросы и задания.

1. Постоянный электрический ток и его характеристики. Закон Ома для участка цепи.

2. Сторонние силы. Электродвижущая сила (ЭДС). Закон Ома для замкнутой цепи.
3. Работа и мощность тока. Закон Джоуля - Ленца.
4. Классическая электронная теория электропроводимости металлов и ее недостаточность
5. Обобщенный закон Ома. Правила Кирхгофа.
6. Электрический ток в металлах. Объяснить как протекает ток в металлах

Задачи для самостоятельного решения

1. Три батареи с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 12 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 5 \text{ В}$ и $\mathcal{E}_3 = 10 \text{ В}$ и одинаковыми внутренними сопротивлениями r , равными 1 Ом , соединены между собой одноименными полюсами. Сопротивление соединительных проводов ничтожно мало. Определить силы токов I , идущих через каждую батарею.
2. Две группы из трех последовательно соединенных элементов соединены параллельно. ЭДС $\mathcal{E}$ каждого элемента равна $1,2 \text{ В}$, внутреннее сопротивление $r = 0,2 \text{ Ом}$. Полученная батарея замкнута на внешнее сопротивление $R = 1,5 \text{ Ом}$. Найти силу тока I во внешней цепи.
3. Внутреннее сопротивление r батареи аккумуляторов равно 3 Ом . Сколько процентов от точного значения ЭДС составляет погрешность, если, измеряя разность потенциалов на зажимах батареи вольтметром с сопротивлением $R_B = 200 \text{ Ом}$, принять ее равной ЭДС?
4. Зашунтированный амперметр измеряет токи силой до $I = 10 \text{ А}$. Какую наибольшую силу тока может измерить этот амперметр без шунта, если сопротивление R_a амперметра равно $0,02 \text{ Ом}$ и сопротивление $R_{ш}$ шунта равно 5 мОм ?
5. Сила тока в проводнике равномерно нарастает от $I_0 = 0$ до $I = 3 \text{ А}$ в течение времени $t = 10 \text{ с}$. Определить заряд Q , прошедший в проводнике.
6. Даны 12 элементов с ЭДС $\mathcal{E} = 1,5 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r = 0,4 \text{ Ом}$. Как нужно соединить эти элементы, чтобы получить от собранной из них батареи наибольшую силу тока во внешней цепи, имеющей сопротивление $R = 0,3 \text{ Ом}$? Определить максимальную силу тока $I_{\max}$.
7. Два элемента ($\mathcal{E}_1 = 1,2 \text{ В}$, $r_1 = 0,1 \text{ Ом}$; $\mathcal{E}_2 = 0,9 \text{ В}$, $r_2 = 0,3 \text{ Ом}$) соединены одноименными полюсами. Сопротивление R соединительных проводов равно $0,2 \text{ Ом}$. Определить силу тока I в цепи.
8. Определить силу тока короткого замыкания источника тока, если при внешнем сопротивлении $R_1 = 50 \text{ Ом}$ сила тока в цепи $I_1 = 0,2 \text{ А}$, а при $R_2 = 110 \text{ Ом}$ сила тока в цепи $I_2 = 0,1 \text{ А}$.
9. Катушка и амперметр соединены последовательно и подключены к источнику тока. К зажимам катушки присоединен вольтметр сопротивлением $R_B = 1 \text{ кОм}$. Показания амперметра $I = 0,5 \text{ А}$, вольтметра $U = 100 \text{ В}$. Определить сопротивление R катушки. Сколько процентов от точного значения сопротивления катушки составит погрешность, если не учитывать сопротивления вольтметра?
10. К источнику тока с ЭДС $\mathcal{E} = 1,5 \text{ В}$ присоединили катушку с сопротивлением $R = 0,1 \text{ Ом}$. Амперметр показал силу тока, равную $I_1 = 0,5 \text{ А}$. Когда к источнику тока присоединили последовательно еще один источник тока с такой же ЭДС, то сила тока I в той же катушке оказалась равной $0,4 \text{ А}$. Определить внутренние сопротивления r_1 и r_2 первого и второго источников тока.
11. По проводнику сопротивлением $R = 3 \text{ Ом}$ течет ток, сила которого возрастает. Количество теплоты Q , выделившееся в проводнике за время $\tau = 8 \text{ с}$, равно 200 Дж . Определить количество электричества q , протекающее за это время по проводнику. В начальный момент времени сила тока в проводнике равна нулю.
12. Сила тока в проводнике сопротивлением $R = 12 \text{ Ом}$ равномерно убывает от $I_0 = 5 \text{ А}$ до $I = 0$ в течение времени $t = 10 \text{ с}$. Какое количество теплоты Q выделяется в этом проводнике за указанный промежуток времени?

13. Сила тока в проводнике сопротивлением $r = 100$ Ом равномерно нарастает от $I_0 = 0$ до $I_{\max} = 10$ А в течение времени $\tau = 30$ с. Определить количество теплоты Q , выделившееся за это время в проводнике.
14. При силе тока $I_1 = 3$ А во внешней цепи батареи аккумуляторов выделяется мощность $P_1 = 18$ Вт, при силе тока $I_2 = 1$ А – соответственно $P_2 = 10$ Вт. Определить ЭДС $\mathcal{E}$ и внутреннее сопротивление r батареи.
15. Обмотка электрического кипятильника имеет две секции. Если включена только первая секция, то вода закипает через $t_1 = 15$ мин, если только вторая, то через $t_2 = 30$ мин. Через сколько минут закипит вода, если обе секции включить последовательно? Параллельно?
16. К зажимам батареи аккумуляторов присоединен нагреватель. ЭДС $\mathcal{E}$ батареи равна 24 В, внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом. Нагреватель, включенный в цепь, потребляет мощность $P = 80$ Вт. Вычислить силу тока I в цепи и КПД η нагревателя.
17. ЭДС $\mathcal{E}$ батареи равна 20 В. Сопротивление R внешней цепи равно 2 Ом, сила тока $I = 4$ А. Найти КПД батареи. При каком значении внешнего сопротивления R_1 КПД будет равен 99%?
18. К батарее аккумуляторов, ЭДС $\mathcal{E}$ которой равна 2 В и внутреннее сопротивление r равно 0,5 Ом, присоединен проводник. Определить: 1) сопротивление R проводника, при котором мощность, выделяемая в нем, максимальна; 2) мощность P , которая при этом выделяется в проводнике.
19. ЭДС батареи аккумуляторов $\mathcal{E} = 12$ В, сила тока I короткого замыкания равна 5 А. Какую наибольшую мощность $P_{\max}$ можно получить во внешней цепи, соединенной с такой батареей?
20. Лампочка и реостат, соединенные последовательно, присоединены к источнику тока. Напряжение U на зажимах лампочки равно 40 В, сопротивление R реостата равно 10 Ом. Внешняя цепь потребляет мощность $P = 120$ Вт. Найти силу тока в цепи.
21. В медном проводнике длиной $l = 2$ м и площадью S поперечного сечения, равной 0,4 мм², идет ток. При этом каждую секунду выделяется количество теплоты $Q = 0,35$ Дж. Сколько электронов N проходит за 1 секунду через поперечное сечение этого проводника?
22. Плотность тока j в медном проводнике равна 3 А/мм². Найти напряженность E электрического поля в проводнике.
23. Плотность тока j в алюминиевом проводе равна 1 А/мм². Найти среднюю скорость $\langle v \rangle$ упорядоченного движения электронов, предполагая, что число свободных электронов, предполагая, что число свободных электронов в 1 см³ алюминия равно числу атомов.
24. Определить среднюю скорость $\langle v \rangle$ упорядоченного движения электронов в медном проводнике при силе тока $I = 10$ А и сечении S проводника, равном 1 мм². Принять, что каждый атом меди приходится два электрона проводимости.
25. Сила тока I в металлическом проводнике равна 0,8 А, сечение проводника $S = 4$ мм². Принимая, что в каждом кубическом сантиметре металла содержится $n = 22,5 \cdot 10^{22}$ свободных электронов, определить среднюю скорость $\langle v \rangle$ их упорядоченного движения.
26. В медном проводнике объемом $V = 6$ см³ при прохождении по нему постоянного тока за время $t = 1$ мин выделилось количество теплоты $Q = 216$ Дж. Вычислить напряженность E электрического поля в проводнике.
27. Металлический проводник движется с ускорением $a = 100$ м/с². Используя классическую теорию электропроводности металлов, определить напряженность E электрического поля в проводнике.
28. Медный диск радиусом $R = 0,5$ м равномерно вращается ($\omega = 10^4$ рад/с) относительно оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через его центр. Определить разность потенциалов U между центром диска и его крайними точками.
29. Металлический стержень движется вдоль своей оси со скоростью $v = 200$ м/с. Определить заряд Q , который протечет через гальванометр, подключаемый к концам

стержня, при резком его торможении, если длина l стержня равна 10 м, а сопротивление R всей цепи (включая цепь гальванометра) равно 10 мОм.

30. Удельная проводимость γ металла равна 10 МСм/м. Вычислить среднюю длину $\langle l \rangle$ свободного пробега электронов в металле, если концентрация n свободных электронов равна 10^{28} м^{-3} . Среднюю скорость u хаотического движения электронов принять равной 10^6 м/с .

3. Общие требования к написанию и оформлению работы

Основные требования к работе

При выполнении и оформлении контрольной по ГОСТу надо учитывать общие требования, которые предъявляются к работе:

- студент должен придерживаться заданной тематики;
- запрещено менять тему самостоятельно без обращения к преподавателю;
- при оформлении работы нужно учитывать нормы и ГОСТы;
- контрольная выполняется на основании не менее семи источников, выбранных автором;
- работа должна быть авторской, в ней должны содержаться собственные выводы студента;
- текст контрольной должен иметь объем не менее 7 листов.

Оформление по ГОСТу текста контрольной

Когда работа выполнена, ее необходимо привести в соответствующий вид согласно ГОСТам:

- контрольную набирают в Word или другом текстовом редакторе с аналогичным функционалом;
- при наборе нужно использовать шрифт Times New Roman;
- интервал между строк — полуторный;
- размер шрифта — 14;
- текст выравнивается по ширине;
- в тексте делают красные строки с отступом в 12,5 мм;
- нижнее и верхнее поля страницы должны иметь отступ в 20 мм;
- слева отступ составляет 30 мм, справа — 15 мм;
- контрольная всегда нумеруется с первого листа, но на титульном листе номер не ставят;
- номер страницы в работе всегда выставляется в верхнем правом углу;
- заголовки работы оформляются жирным шрифтом;
- в конце заголовков точка не предусмотрена;

- заголовки набираются прописными буквами;
- все пункты и разделы в работе должны быть пронумерованы арабскими цифрами;
- названия разделов размещаются посередине строки, подразделы – с левого края;
- работа распечатывается в принтере на листах А4;
- текст должен располагаться только на одной стороне листа.

Работа имеет такую структуру:

1. Титульный лист;
2. Оглавление и введение;
3. Основной текст и расчет контрольной;
4. Заключительная часть работы;
5. Перечень использованной литературы и источников;
6. Дополнения и приложения.

Если в работе есть приложения, о них надо упоминать в оглавлении.

Ссылки нумеруются арабскими цифрами, при этом учитывают структуру работы (разделы и подразделы).

4. Указания по выполнению задания

Законы постоянного тока.

Цель занятия. Изучить законы постоянного тока

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции. Электрический ток. Сила тока. Плотность тока. Закон Ома для участка цепи. Сопротивление проводников. Источники тока. Электродвижущая сила (ЭДС). Закон Ома для участка цепи, содержащего ЭДС. Закон Ома для полной цепи. Разветвленные цепи. Законы Кирхгофа. Работа и мощность тока. Закон Джоуля - Ленца. Тепловое действие электрического тока и его применение в технике. Элементарная классическая теория электропроводности металлов. Границы применимости классической теории электропроводности. Контактные явления. Владеет способностью применять соответствующий физико-математический аппарат при решении профессиональных задач.

Актуальность темы. Основные понятия и законы постоянного тока применяется при решении инженерных задач.

Теоретическая часть.

Характеристики электрического тока и условия его существования

В электростатике изучались явления, обусловленные неподвижными зарядами. Если по какой-либо причине возникает упорядоченное движение зарядов и через поверхность переносится заряд, отличный от нуля, то говорят, что возникает электрический ток.

Количественной характеристикой электрического тока служит сила тока – величина заряда, переносимого через рассматриваемую поверхность в единицу времени. Если за время dt через поверхность переносится заряд dq , то сила тока равна:

$$I = \frac{dq}{dt}$$

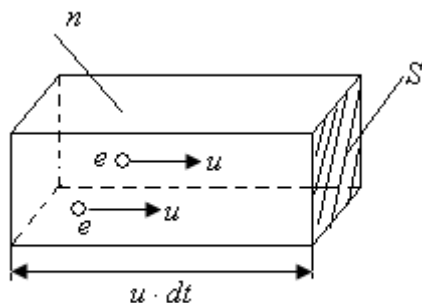
Единицей силы тока является ампер (А). За направление тока принимается направление, в котором перемещаются положительные заряды или направление, противоположное направлению движения отрицательных зарядов. Свободные заряды, которые перемещаются в среде, называются носителями тока.

Электрический ток может быть распределен неравномерно по поверхности, через которую он течет. Более детально ток можно охарактеризовать с помощью вектора плотности тока $\vec{j}$. Пусть заряженные частицы движутся в определенном направлении со скоростью $\vec{u}$. Вектором плотности тока $\vec{j}$ называется вектор, по направлению совпадающий с направлением скорости положительных зарядов (или против направления скорости отрицательных зарядов), а по абсолютной величине равный отношению силы тока dI через элементарную площадку $dS_{\perp}$, расположенную в данной точке пространства перпендикулярно к направлению движения носителей, к ее площади.

$$j = \frac{dI}{dS_{\perp}}$$

Число носителей тока в единице объема n называется плотностью носителей тока. Заряд отдельного носителя будет обозначаться e .

Если свободными зарядами являются, например, электроны, а положительные заряды неподвижны (это имеет место в металлах), то плотность носителей будет совпадать с числом свободных электронов в единице объема.



Вектор плотности тока можно выразить через плотность носителей тока и скорость их движения. Количество заряда, перенесенного за время dt через некоторую поверхность S , перпендикулярную к вектору скорости (рис. 20.1), равно $dq = n \cdot e \cdot u \cdot dt \cdot S$. За время dt площадку S пересекут все свободные заряды в параллелепипеде с основанием S и длиной $u dt$. Если площадка S достаточно мала, то плотность тока в её пределах можно считать постоянной и тогда:

$$j = \frac{I}{S} = \frac{dq}{S dt} = \frac{n \cdot e \cdot u \cdot dt \cdot S}{S \cdot dt} = n \cdot e \cdot u.$$

В векторной форме:

$$\vec{j} = n \cdot e \cdot \vec{u}$$

Сила тока через произвольную поверхность

$$I = \int_S \vec{j} d\vec{S}$$

Электрический ток, обусловленный движением свободных зарядов в проводниках различной природы, называется током проводимости.

Свободные заряды в проводнике испытывают столкновения с атомами проводника. За время «свободного пробега» τ между двумя столкновениями заряд в проводнике приобретает направленную скорость вдоль внешнего электрического поля:

$$\vec{u} = \vec{w}\tau = \frac{e\vec{E}}{m_0}\tau$$

где $\vec{E}$ напряженность электрического поля в проводнике. После очередного столкновения скорость теряется. Затем, до следующего столкновения, происходит новое наращивание направленной скорости.

Из вышеизложенного следует, что условиями существования тока является:

- а) Наличие свободных зарядов;
- б) Наличие электрического поля внутри проводника, чтобы поддерживать перемещение зарядов.

Электродвижущая сила, напряженность

Если бы на носитель тока действовали только силы электростатического поля, то под действием этих сил положительные носители перемещались бы из места с большим потенциалом к месту с меньшим потенциалом, а отрицательные носители двигались бы в обратном направлении. Это привело бы к выравниванию потенциалов, и в результате ток бы прекратился. Чтобы этого не произошло, должны иметься участки на которых перенос положительных зарядов происходит в сторону возрастания φ , т.е. против сил электростатического поля. Перенос носителей на этих участках возможен лишь с помощью сил не электростатического происхождения, называемых сторонними силами. Физическая природа сторонних сил может быть различна. Например, химическая (как в аккумуляторах), механическая, магнитная и другие.

Величина, равная отношению работы сторонних сил по перенесению заряда к величине этого заряда называется электродвижущей силой (ЭДС).

ЭДС измеряется в тех же единицах что и потенциал, т.е. в вольтах (В).

Стороннюю силу, действующую на заряд, можно представить в виде $\vec{F}_{стор} = \vec{E}_{стор}q$, где $\vec{E}_{стор}$ - напряженность поля сторонних сил. Работа сторонних сил над зарядом на некотором участке 1-2:

$$A_{стор}^{1-2} = q \int_1^2 \vec{E}_{стор} d\vec{l}$$

Разделив обе части согласно определению ЭДС на заряд, получим:

$$\varepsilon_{12} = \frac{A_{стор}^{1-2}}{q} = \int_1^2 \vec{E}_{стор} d\vec{l}$$

Для замкнутой цепи:

$$\varepsilon = \oint \vec{E}_{стор} d\vec{l}$$

ЭДС, действующая в замкнутой цепи, может быть определена как циркуляция вектора напряженности сторонних сил.

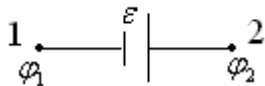
Кроме сторонних сил на заряд действуют силы электростатического поля $\vec{F}_E = q\vec{E}$.
Результирующая сила, действующая в каждой точке цепи на заряд, равна:

$$\vec{F} = \vec{F}_E + \vec{F}_{стор} = q(\vec{E} + \vec{E}_{стор})$$

Работа, совершаемая этой силой над зарядом q на участке цепи 1-2, определяется

выражением $A_{12} = q \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} + q \int_1^2 \vec{E}_{стор} d\vec{l}$. Т.к. $q \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = q(\varphi_1 - \varphi_2)$, а $q \int_1^2 \vec{E}_{стор} d\vec{l} = q\varepsilon_{12}$, тогда работа равна $A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2) + q\varepsilon_{12}$.

Разделим обе части на q . В левой части отношение $\frac{A_{12}}{q}$ обозначим U_{12} . Величина, численно равная отношению работы и электростатических и сторонних сил по перемещению заряда к величине этого заряда называется падением напряжения или просто напряжением на данном участке цепи U_{12} .



Таким образом (рис. 20.2),

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}$$

~~Заметим~~ **рис. 20.2** что если на участке отсутствует ЭДС, то $U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$. (Для замкнутой цепи точки 1 и 2 совпадают, $\varphi_1 = \varphi_2$ и, тогда $U_{12} = \varepsilon_{12}$.) Можно показать, что $U_{12} = IR$, где R - полное сопротивление цепи и тогда

$$IR = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}$$

Это уравнение выражает закон Ома для неоднородного участка цепи (с ЭДС).

Классическая электронная теория электропроводимости металлов и ее недостаточность

Внутренняя структура металлов характеризуется кристаллической решеткой. В узлах кристаллической решетки находятся положительные ионы; в пространстве между ними практически свободно движутся обобществленные электроны. Немецкий физик П. Друде предположил, что электроны ведут себя как частицы идеального газа, и предложил использовать для описания их поведения известные формулы кинетической теории газов.

Система свободных обобществленных в кристаллической решетке электронов называется электронным газом. В отличие от молекул газа, пробег которых определялся соударением молекул друг с другом, электроны сталкиваются преимущественно не между собой, а с ионами образующими кристаллическую решетку металла. Этими столкновениями обусловлено в частности, сопротивление металла электрическому току.

Хаотическое тепловое движение электронов в металлах можно характеризовать средней скоростью $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi \cdot m_e}}$ (для комнатных температур $\langle v \rangle \sim 10^3 \text{ м/с}$). При наличии внешнего поля электроны обладают еще некоторой средней скоростью направленного движения $\vec{u}$. Обычно $u \sim 10^{-2} \div 10^{-3} \text{ м/с}$, то есть $u \ll \langle v \rangle$.

Вывод законов Ома и Джоуля-Ленца из электронных представлений

Закон Ома.

Средний путь, проходимый свободно движущимися электронами между двумя последовательными столкновениями с ионами решетки называется средней длиной свободного пробега λ . Среднее время между двумя столкновениями $\tau = \frac{\lambda}{v}$ (определяется скоростью хаотического движения). При наличии поля $\vec{E}$ направленная скорость электронов накапливается за время свободного пробега и к моменту следующего соударения достигает максимальной величины:

$$\vec{u}_{max} = \vec{w} \tau = \frac{e\vec{E}}{m} \frac{\lambda}{v}.$$

Скорость $\vec{u}$ изменяется за время пробега линейно. Поэтому ее среднее за пробег значение равно половине максимального значения.

$$\langle \vec{u} \rangle = \frac{1}{2} \vec{u}_{max} = \frac{1}{2} \frac{e\vec{E}}{m} \frac{\lambda}{v}$$

Плотность тока:

$$\vec{j} = n \cdot e \cdot \langle \vec{u} \rangle = \frac{n \cdot e^2 \cdot \lambda}{2mv} \vec{E}$$

Коэффициент пропорциональности между $\vec{j}$ и $\vec{E}$ обозначим $\sigma = \frac{n \cdot e^2 \cdot \lambda}{2mv}$ (σ - проводимость). В результате получим закон Ома в локальной форме (параметры относятся к данной точке сечения проводника).

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}$$

Плотность тока в проводнике пропорциональна напряженности электрического поля $\vec{E}$. Коэффициентом пропорциональности является проводимость. (Замечание. Сравним полученную формулу с известной $I = \frac{U}{R}$. Проводимость σ обратно пропорциональна удельному сопротивлению ρ $\sigma = \frac{1}{\rho}$. Плотность тока $j = \frac{I}{S}$.

Напряженность поля $E = \frac{U}{l}$ (l - длина проводника). Тогда $\frac{I}{S} = \frac{1}{\rho} \frac{U}{l}$, или

$$I = \frac{U}{\rho \cdot l} S = \frac{U}{R}, \text{ что и требовалось.)}$$

Закон Джоуля – Ленца.

К концу свободного пробега электрон приобретает дополнительную кинетическую энергию, среднее значение которой равно:

$$\langle \Delta E_k \rangle = \frac{m \cdot u_{\max}^2}{2} = \frac{e^2 \lambda^2}{2m\nu^2} E^2$$

(Напомним: $u_{\max} = \frac{eE\lambda}{m\nu}$).

Столкнувшись с атомом, электрон, по предположению, полностью передает приобретенную им энергию кристаллической решетке. Сообщенная решетке энергия идет на увеличение внутренней энергии металла, проявляясь в его нагревании.

Каждый электрон претерпевает за секунду в среднем $z = \frac{\nu}{\lambda}$ соударений. Обозначим число электронов проводимости в единице объема n , тогда полная энергия, переданная электронами за единицу времени в единице объема будет равняться:

$$W = n \cdot z \langle \Delta E_k \rangle = n \cdot z \cdot \frac{e^2 \lambda^2}{2m\nu^2} E^2 = \frac{ne^2 \lambda}{2m\nu} \frac{\lambda}{\nu} \frac{\nu}{\lambda} E^2 = \frac{ne^2 \lambda}{2m\nu} E^2.$$

Зная, что $\sigma = \frac{ne^2 \lambda}{2m\nu}$ в результате получим закон Джоуля – Ленца в локальной форме:

$$W = \sigma \cdot E^2$$

Тепловая мощность, выделяющаяся в единице объема при протекании электрического тока пропорциональна квадрату напряженности поля.

Переходя от σ и E к ρ и j : ($\sigma = \frac{1}{\rho}$, $E = \frac{j}{\sigma}$), получим $W = \frac{1}{\rho} \left(\frac{j}{\sigma} \right)^2 = \rho \cdot j^2$, или

$$W = \rho \cdot j^2$$

Получили другую форму закона Джоуля – Ленца. (Объемная плотность тепловой мощности равна произведению удельного сопротивления на квадрат плотности тока).

Затруднения классической электронной теории электропроводности металлов

Классическая теория смогла объяснить полученные ранее экспериментально законы Ома и Джоуля – Ленца, но есть и существенные затруднения. Основными являются следующие:

1. Теоретическое значение проводимости изменяется с температурой

$$\sigma_{\text{теор}} \sim \frac{1}{\sqrt{T}}, \text{ экспериментальная же зависимость } \sigma = \frac{1}{T}.$$

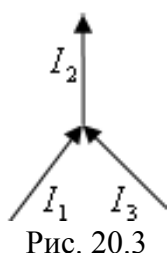
2. Классическая теория не в состоянии объяснить такое явление как сверхпроводимость.

Имеются и другие затруднения и в этом недостаточность классической теории.

Современная квантовая теория электропроводимости металлов показывает, что все трудности классической теории связаны с тем, что представление об электронах как идеальном газе является грубым приближением. На самом деле электроны внутри металла не являются такими свободными, как это следует из классической теории.

В современной квантовой теории показывается, что электроны внутри металла, как и электроны в атоме не могут иметь любую энергию, а лишь вполне дискретные значения энергии – энергия электронов квантуется.

5. Законы Кирхгофа



1. Первый закон Кирхгофа:

Алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле, равна нулю.

$$\sum I_k = 0$$

При этом токи, идущие к узлу, принято считать положительными, а от узла – отрицательными (можно и наоборот – это несущественно).

Заметим, что узел – это точка, где сходятся три и более тока. Например, для рис. 20.3 первый закон запишется так:

$$I_1 - I_2 + I_3 = 0.$$

2. Второй закон Кирхгофа (он относится к любому выделенному в цепи замкнутому контуру):

Алгебраическая сумма произведений сил токов в отдельных участках произвольного замкнутого контура на их сопротивления (сумма падений напряжений) равна алгебраической сумме ЭДС, действующих в этом контуре.

$$\sum I_k R_j = \sum \varepsilon_i$$

Примеры решения задач

Задача 1. Даны 12 элементов с ЭДС $\mathcal{E} = 1,5$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,4$ Ом. Как нужно соединить эти элементы, чтобы получить от собранной из них батареи наибольшую силу тока во внешней цепи, имеющей сопротивление $R = 0,3$ Ом? Определить максимальную силу тока I_{max} .

Дано:

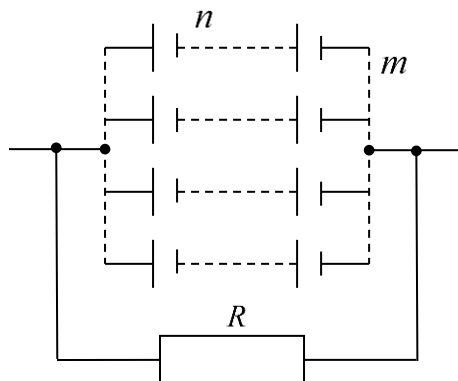
$$N = 12$$

$$\mathcal{E} = 1,5 \text{ В}$$

$$r = 0,4 \text{ Ом}$$

$$R = 0,3 \text{ Ом}$$

$$I_{max} = ?$$



Предположим, что соединение состоит из m параллельно соединенных ветвей по n последовательно соединенных элементов в каждой (см. рис.). Очевидно, $N = m \cdot n$, При последовательном соединении ЭДС и внутреннего сопротивления элементов

складываются; поэтому ЭДС каждой ветви $\mathcal{E}_B = n \cdot \mathcal{E}$, а внутреннее сопротивление $r_B = n \cdot r$.

При параллельном соединении $\mathcal{E}$ системы равна $\mathcal{E}$ отдельного элемента и $\frac{1}{r_c} = \sum_{i=1}^m \frac{1}{r_i}$. Следовательно, ЭДС соединения равна ЭДС отдельной ветви $\mathcal{E}_C = \mathcal{E}_B$, а

внутреннее сопротивление соединения $r_c = \frac{r_B}{m}$.

Таким образом, для батареи элементов имеем $\mathcal{E}_C = n \cdot \mathcal{E}$, и $r_c = \frac{nr}{m}$.

По закону Ома для замкнутой цепи получим

$$I = \frac{\mathcal{E}_C}{r_c + R} = \frac{n \cdot \mathcal{E}}{\frac{nr}{m} + R} = \frac{n \cdot m \mathcal{E}}{nr + mR} = \frac{N \cdot \mathcal{E}}{n \cdot r + mR} \quad (1)$$

Так как $N = m \cdot n$ и $n = \frac{N}{m}$, то окончательно получим

$$I = \frac{N \cdot \mathcal{E}}{\frac{N}{m}r + mR} = \frac{N \mathcal{E} \cdot m}{Nr + m^2 R} \quad (2)$$

Исследуем на экстремум функцию $I(m)$, представленную формулой (2).

$$I'(m) = \left(\frac{N \mathcal{E} \cdot m}{Nr + m^2 R} \right)' = \frac{N \cdot \mathcal{E} \cdot (Nr + m^2 R) - N \cdot \mathcal{E} \cdot m \cdot (2mR)}{(Nr + m^2 R)^2} \quad (3)$$

Приравнявая (3) к нулю

$$\frac{N \mathcal{E} (Nr + m^2 R) - 2N \mathcal{E} \cdot m^2 R}{(Nr + m^2 R)^2} = 0,$$

найдем максимальное значение m . В результате получим

$$m = \sqrt{\frac{Nr}{R}} = \sqrt{\frac{12 \cdot 0,4}{0,3}} = 4, \text{ и } n = \frac{N}{m} = \frac{12}{4} = 3.$$

Таким образом:

$$I_{\max} = \frac{N \mathcal{E}}{nr + mR} = \frac{12 \cdot 1,5}{3 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,3} = 7,5 \text{ A}.$$

Ответ: соединение состоит из четырех ветвей по 3 последовательно соединенных элементов, максимальный ток 7,5 А.

Задача 2. При силе тока $I_1=3$ А во внешней цепи батареи аккумуляторов выделяется мощность $P_1=18$ Вт, при силе тока $I_2=1$ А – соответственно $P_2=10$ Вт. Определить ЭДС $\mathcal{E}$ и внутреннее сопротивление r батареи.

Дано:

$I_1=3$ А	Так как мощность $P = I \cdot U$, то напряжение в первом случае $U_1 = \frac{P_1}{I_1}$, а во втором $U_2 = \frac{P_2}{I_2}$. Из закона Ома для замкнутой цепи - $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$. Из приведенных выше равенств следует
$P_1=18$ Вт	
$I_2=1$ А	
$P_2=10$ Вт	
$\mathcal{E} = ?$	
$r = ?$	$\begin{cases} \mathcal{E} = I_1 r + U_1 \\ \mathcal{E} = I_2 r + U_2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \mathcal{E} = I_1 r + \frac{P_1}{I_1} \\ \mathcal{E} = I_2 r + \frac{P_2}{I_2} \end{cases}$ $I_1 r + \frac{P_1}{I_1} = I_2 r + \frac{P_2}{I_2} \Rightarrow r = \frac{P_2 I_1 - P_1 I_2}{I_1 I_2 (I_1 - I_2)} = 2 \text{ Ом},$ и $\mathcal{E} = I_1 r + \frac{P_1}{I_1} = 12 \text{ В}.$

Задача 3. По железному проводнику, диаметром $d = 0,6$ мм, течет ток 16 А. Определить среднюю скорость $\langle v \rangle$ направленного движения электронов, считая, что концентрация n свободных электронов равна концентрации n' атомов проводника.

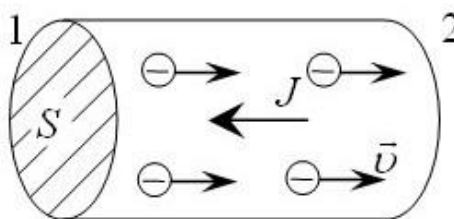
Дано:

$$d = 0,6 \text{ мм} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$I = 16 \text{ А}$$

$$n = n'$$

$$\langle v \rangle = ?$$



Средняя скорость упорядоченного движения электронов

$$\langle v \rangle = \frac{l}{t} \quad (1)$$

где t – время, в течение которого все свободные электроны, находящиеся между сечениями 1 и 2, пройдя сечение 2 (см. рис.), перенесут заряд $Q = e \cdot N$, создавая ток силой

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{eN}{t} \quad (2)$$

где e – элементарный заряд, N – число электронов проводника, l – его длина.

Очевидно число электронов $N = n \cdot V = n \cdot l \cdot S$ (3)

где V – объем, а S – площадь сечения проводника. По условию, $n = n'$, следовательно

$$n = n' = \frac{N_A}{V_m} = \frac{N_A}{M/\rho} = \frac{N_A \cdot \rho}{M}, \quad (4)$$

где N_A – число Авогадро, ρ – плотность железа $\left(\rho = 7,87 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$,

M – молярная масса железа $\left(M = 56 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \right)$.

Подставляя (4) в (3), а затем в (2), окончательно получим

$$I = \frac{N_A \cdot \rho \cdot l \cdot S \cdot e}{M \cdot t},$$

откуда

$$l = \frac{IMt}{N_A \rho S e}.$$

Подставим полученное выражение в (1), считая, что $S = \frac{\pi d^2}{4}$,

После преобразования найдем, что

$$\langle v \rangle = \frac{4IM}{\pi d^2 N_A \cdot \rho \cdot e} = \frac{4 \cdot 16 \cdot 56 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot (6 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 6,0 \cdot 10^{23} \cdot 7,87 \cdot 10^3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ м/с} = 4,2 \text{ мм/с}.$$

5. План-график выполнения задания

Работа над расчетно-графической работой может быть представлена в виде выполнения следующих этапов:

№ п/п	Наименование этапа	Сроки выполнения
Очно-заочная форма обучения		
1.	Получения задания	На первом практическом занятии
2.	Первичная консультация с преподавателем	На первом практическом занятии
3.	Работа с информационными источниками	В течении семестра
4.	Написание контрольной работы	В течении семестра
5.	Предоставление контрольной работы на кафедру	В течении семестра
6.	Защита контрольной работы	На последнем практическом занятии

6. Критерии оценивания работы

В целях повышения качества выполняемых контрольных работ преподаватель руководствуется следующими критериями оценивания письменных работ студентов.

Оценка «зачтено (отлично)» выставляется, если студент:

- представил контрольную работу в установленный срок и оформил ее в строгом соответствии с изложенными требованиями;
- использовал рекомендованную и дополнительную учебную и страноведческую литературу;
- при выполнении упражнений показал высокий уровень знания лексико-грамматического и страноведческого материала по заданной тематике, проявил творческий подход при ответе на вопросы, умение глубоко анализировать проблему и делать обобщающие выводы;
- выполнил работу грамотно с точки зрения поставленной задачи, т.е. без ошибок и недочетов или допустил не более одного недочета.

Оценка «зачтено (хорошо)» выставляется, если студент:

- представил контрольную работу в установленный срок и оформил ее в соответствии с изложенными требованиями;
- использовал рекомендованную и дополнительную литературу;
- при выполнении упражнений показал хороший уровень знания лексико-грамматического и страноведческого материала по заданной тематике, практически правильно сформулировал ответы на поставленные вопросы, представил общее знание информации по проблеме;
- выполнил работу полностью, но допустил в ней: а) не более одной негрубой ошибки и одного недочета б) или не более двух недочетов.

Оценка «зачтено (удовлетворительно)» выставляется, если студент:

- представил работу в установленный срок, при оформлении работы допустил незначительные отклонения от изложенных требований;
- показал достаточные знания по основным темам контрольной работы;
- использовал рекомендованную литературу;
- выполнил не менее половины работы или допустил в ней а) не более двух грубых ошибок, б) или не более одной грубой ошибки и одного недочета, в) или не более двух-трех негрубых ошибок, г) или одной негрубой ошибки и трех недочетов, д) или при отсутствии ошибок, но при наличии 4-5 недочетов.

Оценка «незачтено (неудовлетворительно)» выставляется:

– когда число ошибок и недочетов превосходит норму, при которой может быть выставлена оценка «зачтено (удовлетворительно)» или если правильно выполнено менее половины работы;

– если студент не приступал к выполнению работы или правильно выполнил не более 10 процентов всех заданий.

7. Порядок защиты работы

Написанная студентом контрольная работа сдается на кафедру в срок для рецензирования. Студент защищает контрольную работу до экзамена (зачета) перед преподавателем. Без защиты КР студент к экзамену (зачету) не допускается.

Работа не допускается к защите, если она не носит самостоятельного характера, списана из литературных источников или у других авторов, если основные вопросы не раскрыты, изложены схематично, фрагментарно, в тексте содержатся ошибки, научный аппарат оформлен неправильно, текст написан небрежно.

В ходе защиты контрольной работы задача студента — показать углубленное понимание вопросов конкретной темы, хорошее владение материалом по теме.

Защита контрольной работы может проходить в различных формах по усмотрению преподавателя:

– в форме индивидуальной беседы студента с руководителем по основным положениям работы;

– в форме индивидуальной защиты в присутствии всей группы студентов;

– в форме групповой защиты – одновременной защиты контрольной работы по одному направлению. В этом случае каждый следит за ходом рассуждений товарищей, дополняет, уточняет их, что, несомненно, усиливает работу мысли и способствует развитию экономического мышления.

Любая форма защиты контрольной работы учит отстаивать свою точку зрения, убедительно аргументировать ее, что способствует перерастанию знаний в убеждения.

Рекомендуемая литература

Основная литература:

1. Физика для вузов: механика и молекулярная физика [Электронный ресурс]: учебник / В.А. Никеров. - Москва: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2017. - 136 с. : табл., граф., схем. - ISBN 978-5-394-00691-3;-URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=450772>
2. Ташлыкова-Бушкевич, И.И. Физика: в 2 ч. / И.И. Ташлыкова-Бушкевич. – 2-е изд., испр. – Минск : Вышэйшая школа, 2014. – Ч. 1. Механика. Молекулярная физика и

термодинамика. Электричество и магнетизм. – 304 с. : ил., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=235732>

3. Ташлыкова-Бушкевич, И.И. Физика: в 2 ч. / И.И. Ташлыкова-Бушкевич. – 2-е изд., испр. – Минск: Вышэйшая школа, 2014. – Ч. 2. Оптика. Квантовая физика. Строение и физические свойства вещества. – 232 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=460883>

Дополнительная литература:

1. Лекции по учебной дисциплине «Основы теоретической физики». Электродинамика. [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е.И. Кухарь. — Электрон. текстовые данные. — Волгоград: Волгоградский государственный социально-педагогический университет, 2017. — 57 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/70731.html>
2. Никеров, В.А. Физика: современный курс / В.А. Никеров. – 2-е изд. – Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2016. – 452 с. : ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=453287>.