

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Иркутский государственный университет путей сообщения»

Сибирский колледж транспорта и строительства

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО СОПРОВОЖДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

ПД.03 Физика

для специальности

23.02.07 Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей  
*базовая подготовка*  
*среднего профессионального образования*

Иркутск 2022

ОДОБРЕНО:  
Цикловой методической  
комиссией естественных дисциплин  
Председатель ЦМК: Бурда  
«08» июня 2022 г.

Разработчики:

Бурдина О.В. преподаватель высшей квалификационной категории Сибирский колледж транспорта и строительства ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения».

Подгорнов С.В. преподаватель высшей квалификационной категории Сибирский колледж транспорта и строительства ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения».

Методические указания разработаны на основе рабочей программы учебной дисциплины ПД. 03 Физика специальности среднего профессионального образования.

## Содержание

Введение.....	4
Практическая работа №1 Равномерное и равноускоренное движение.....	6
Практическая работа №2 Динамика и законы Ньютона .....	12
Практическая работа №3 Движение в гравитационном поле .....	16
Практическая работа №4 Законы сохранения в механике .....	20
Практическая работа №5 Решение задач по разделу «Механика».....	24
Практическая работа №6 Решение задач по теме МКТ.....	26
Практическая работа №7 Решение задач по теме «Электрическое поле» .....	32
Практическая работа №8 Решение задач по теме «Законы постоянного тока».....	37
Практическая работа №9 Решение задач по теме «Магнитное поле. Электромагнитная индукция» .....	40
Практическая работа №10 Решение задач по теме «Механические колебания. Упругие волны»....	44
Практическая работа №11 Решение задач по теме «Электромагнитные колебания» .....	46
Практическая работа №12 Решение задач по теме «Электромагнитные волны».....	50
Практическая работа №13 Решение задач по теме «Природа света. Волновые свойства света».....	52
Практическая работа №14 Решение задач по теме «Элементы квантовой физики» .....	54
Информационное обеспечение обучения .....	57

## **Введение**

Учебная дисциплина ПД.03 Физика входит в состав цикла профильных дисциплин основной образовательной профессиональной программы. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине ПД.03 Физика составлены в соответствии с рабочей программой по данной дисциплине.

Целями выполнения практических работ является:

- обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний по конкретным темам дисциплины;
- формирование умений применять полученные знания на практике, реализация единства интеллектуальной и практической деятельности;
- развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов; аналитических, проектировочных, конструктивных и др.
- выработку при решении поставленных задач таких профессионально значимых качеств, как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

В процессе изучения физики очень большое значение имеет решение задач, так как оно позволяет закрепить теоретический материал курса, разобраться в различных законах и границах их применения, способствует их запоминанию. Кроме того, при этом развиваются навыки использования этих законов для выяснения конкретных практических вопросов. Таким образом, выполнение задач в практических работах является проверкой степени усвоения студентами теоретического материала и может служить критерием знания курса.

Предлагаемое пособие содержит материал 14 практических работ по физике (согласно рабочей программе), краткую теорию, предлагаемые студентам для теоретической подготовки к занятиям вопросы; подробные методические указания по решению задач; примеры решения задач; задачи для самостоятельного решения по вариантам. Условие каждой задачи представлено одновременно в 10 вариантах.

Приложение к сборнику задач включает в себя справочный материал, необходимый для решения задач.

Практическая работа рассчитана на выполнение в течение двух учебных часов.

Примерный план решения задачи:

1. Работа над условием:

- 1) Краткая запись условия и выяснение смысла терминов (рисунки, чертежи).

- 2) Анализ физических явлений, процессов, описанных в задаче.
  - 3) Запись упрощающих предположений.
2. Поиск необходимых уравнений, связывающих физические величины, которые характеризуют рассматриваемое явление, процесс.
3. Решение задачи в общем виде.
4. Анализ полученного результата (действие с наименованиями, проверка на частных случаях, решение другим способом).
5. Приведение всех данных к СИ (если это необходимо).
6. Получение числового ответа.

В процессе выполнения практической работы студенты в отчёт должны внести:

- 1) название практической работы;
- 2) цель работы;
- 3) решение выполненных заданий практической работы.

Оценка за выполнение практических работ выставляется по пятибалльной системе и учитывается как показатель текущей успеваемости студентов.

## Практическое работы №1 Равномерное и равноускоренное движение

Цель работы:

закрепить умение:

применять формулы скорости при равномерном движении, ускорения и уравнения движения при различных видах движения при решении задач;

применять формулы центростремительного ускорения, связывающей линейную и угловую скорости при решении задач.

### Основные понятия и формулы

Механическое движение - изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени.

Материальная точка представляет собой тело, которое обладает массой, а его размерами можно пренебречь в сравнении с пройденным этим телом расстоянием.

Тело отсчета - это некоторое тело, относительно которого определяют положение других тел в любой момент времени.

Система отсчета - это тело отсчета, связанная с ним система координат и прибор для измерения времени.

Траектория – линия, описываемая материальной точкой при движении.

Путь - длина траектории. Путь обозначают символом  $l$ , единица в СИ – метр (м).

Путь - скалярная величина.

Перемещение – вектор, направленный отрезок, соединяющий начальную точку траектории с конечной. Перемещение обозначается символом  $S$ , в СИ измеряется (м).

Скорость – мера механического состояния тела. Она характеризует быстроту изменения положения тела относительно данной системы отсчета и является векторной величиной. Скорость обозначается символом  $v$ , ее единица измерения (м/с).

Средняя скорость – это векторная величина, которая определяется отношением вектора перемещения к промежутку времени, за которое данное перемещение произошло:

$$\overrightarrow{v}_{cp} = \frac{\vec{s}}{t}$$

Мгновенная скорость тела – скорость тела в данный момент времени или в данной точке траектории, равная отношению перемещения к малому промежутку времени, за который это перемещение произошло:

$$\overrightarrow{v} = \frac{\vec{s}}{\Delta t}$$

Ускорение – векторная величина, характеризующая быстроту изменения скорости. Оно показывает, на какую величину изменяется скорость тела за единицу времени. Ускорение обозначается символом  $a$ , ее единица измерения  $\text{м/с}^2$ .

Среднее ускорение – физическая величина, численно равная отношению изменения скорости ко времени, за которое оно произошло:

$$\overrightarrow{a}_{cp} = \frac{\overrightarrow{v}}{\Delta t}$$

По характеру скорости выделяют следующие виды движения:

- равномерным называется движение, при котором за одинаковые промежутки времени тело проходит одинаковые расстояния, то есть скорость тела остается постоянной;

- равноускоренным называется движение, при котором за равные промежутки времени скорость тела изменяется одинаково, т.е. ускорение остается постоянным.

Итак, при равномерном прямолинейном движении  $\overrightarrow{v} = \text{const}$  и  $\overrightarrow{a} = 0$ .

$x = x_0 + v_x t$  – кинематическое уравнение равномерного движения (уравнение зависимости координаты от времени).

$s = \vartheta_x t$  - уравнение пути.

При равноускоренном прямолинейном движении  $\ddot{a} = const.$

$\vartheta = \vartheta_0 + at$  - уравнение скорости.

Движение с возрастающей по модулю скоростью называют ускоренным движением, а движение с убывающей скоростью – замедленным движением.

$S = \vartheta_0 t + \frac{a \cdot t^2}{2}$  - уравнение перемещения при равноускоренном движении.

Между путем, ускорением и временем имеет место следующее соотношение:  $S = \frac{a \cdot t^2}{2}$

Между скоростью, ускорением и путем имеет место следующее соотношение  $S = \frac{v^2}{2a}$  или  $v = \sqrt{2a \cdot S}$ .

$x = x_0 + \vartheta_0 t + \frac{a \cdot t^2}{2}$  - кинематическое уравнение равноускоренного движения.

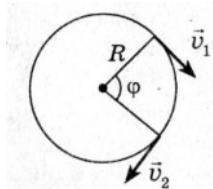
Формулы, применяемые для равномерно ускоренного движения, годятся и для свободного падения. Заменяют эти формулы:  $v = g \cdot t$ ,  $S = \frac{g \cdot t^2}{2}$ ,  $v^2 = 2g \cdot S$ .

Равномерное движение по окружности – это движение, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения, т.е. проходит дуги равной длины.

Линейная, или мгновенная скорость – это скорость, с которой тело движется по окружности.

Модуль линейной скорости можно определить отношением длины дуги окружности ко времени, за которое эта дуга пройдена.

Угловая скорость – это скорость, модуль которой равен отношению угла поворота радиуса, соединяющего материальную точку с центром окружности, ко времени этого поворота. Угловая скорость обозначается символом  $\omega$ ; измеряется в СИ в рад/с.



$$\omega = \frac{\varphi}{t}, \text{ где } \varphi - \text{ угол поворота радиуса.}$$

Период – это время, за которое тело совершает один полный оборот.

$$T = \frac{t}{N}$$

Период – величина скалярная, в СИ измеряется в секундах (с).

Частота – число вращений за единицу времени.

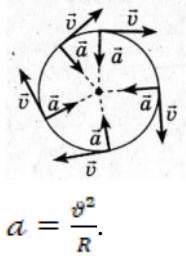
$$v = \frac{N}{t}.$$

Частота – скалярная величина, в СИ измеряется в ( $\text{с}^{-1}$ ).

Величины, которые связывает формула	Формула
-------------------------------------	---------

Период и частота	$T = \frac{1}{\nu}; \nu = \frac{1}{T}$
Угловая скорость и период	$\omega = \frac{2\pi}{T}$
Угловая скорость и частота	$\omega = 2\pi\nu$
Линейная скорость, период и радиус окружности	$v = \frac{2\pi R}{T}$
Линейная скорость, частота и радиус окружности	$v = 2\pi R\nu$
Линейная скорость, угловая скорость и радиус окружности	$v = \omega R$

Центростремительное ускорение - это векторная величина, которая в каждой точке окружности направлена вдоль радиуса к центру окружности и численно равна отношению квадрата скорости и радиуса окружности.



$$a = \frac{\omega^2}{R}.$$

Ускорение в СИ измеряется в ( $\text{м}/\text{с}^2$ ).

Задание 1. Ответьте на вопросы:

- Что называется механическим движением и какие величины являются его характеристиками?
- Какие виды движения вам известны?
- Какими характеристиками описывается неравномерное прямолинейное движение?
- Что такое траектория движения? Приведите примеры прямолинейной и криволинейной траекторий движений.
- Чем отличается путь от перемещения?
- Как определяется перемещение при равноускоренном движении?
- Что из себя представляет криволинейное движение?
- Что такое центростремительное ускорение?
- Что такое период и частота обращения и какими соотношениями связаны эти величины?

### Методические указания

Несмотря на большое разнообразие задач по кинематике, можно предложить следующий алгоритм их решения:

- Сделать схематический рисунок, изобразив начальное положение тел и их начальное состояние, т.е.  $\vartheta_0$  и  $\dot{\vartheta}_0$ .
- Выбрать систему отсчёта на основании анализа условий задачи. Для этого нужно выбрать тело отсчёта и связать с ним систему координат, указав начало отсчёта координат, направление осей координат, момент начала отсчёта времени. При

выборе положительных направлений руководствуются направлением движения (скорости) или направлением ускорения.

3. Составить на основании законов движения систему уравнений в векторном виде для всех тел, а затем в скалярной форме, спроектировав на координатные оси эти векторные уравнения движения. При записи этих уравнений следует обратить внимание на знаки "+" и "-" проекций входящих в них векторных величин.
4. Ответ необходимо получить в виде аналитической формулы (в общем виде), а в конце произвести числовые расчёты.
5. При решении задач на движение материальной точки по окружности необходимо дополнительно учитывать связь между угловыми и линейными характеристиками.

### Примеры решения задач

Задача 1. Велосипедист, едущий со скоростью 18 км/ч, начинает спускаться с горы. Определить скорость велосипедиста через 6 с, если ускорение равно 0,8 м/с<sup>2</sup>.

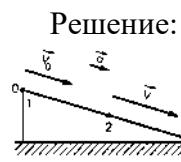
Дано:

$$\vartheta_0 = 18 \text{ км/ч} = 5 \text{ м/с}$$

$$t = 6 \text{ с}$$

$$\alpha = 0,8 \text{ м/с}^2$$

Найти:  
 $\vartheta$  - ?



Движение велосипедиста равноускоренное, т.е.  $\alpha > 0$ .  
 Ось Ox направим по направлению движения велосипедиста.

Скорость можно определить по формуле  $\vec{\vartheta} = \vec{\vartheta}_0 + \vec{\alpha}t$ .

С учётом знаков проекций на ось Ox формула скорости примет вид:  $\vartheta_x = \vartheta_{0x} + \alpha_x t$ .

Вычислим значение скорости:  
 $\vartheta = 5 + 0,8 \cdot 6 = 9,8 \text{ м/с}$

Ответ:  $\vartheta = 9,8 \text{ м/с}$

Задача 2. Поезд через 20 с после начала движения приобретает скорость 0,6 м/с. Через сколько времени от начала движения скорость поезда станет 3 м/с?

Дано:

$$t_1 = 20 \text{ с}$$

$$\vartheta_0 = 0$$

$$\vartheta_1 = 0,6 \text{ м/с}$$

$$\vartheta_2 = 3 \text{ м/с}$$

Найти:

$$t_2 - ?$$

Решение:

Движение поезда носит равноускоренный характер, скорость Увеличивается, ускорение постоянно и положительно.

Найдём ускорение движения:  $\alpha = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_0}{t_1}$ , т. к.  $\vartheta_0 = 0$ , то  $\alpha = \frac{\vartheta_1}{t_1}$ .

Пользуясь формулой ускорения, найдём второй промежуток времени:

$$t_2 = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_0}{\alpha} = \frac{\vartheta_2}{\alpha} = \frac{\vartheta_2 \cdot t_1}{\vartheta_1}$$

$$t_2 = \frac{3 \cdot 20}{0,6} = 100 \text{ с}$$

Ответ:  $t_2 = 100 \text{ с}$

Задача 3. Скорость автомобиля за 10 с уменьшилась с 10 до 6 м/с. Написать формулу зависимости  $\vartheta_x(t)$  скорости от времени, построить график этой зависимости и по графику определить скорость через 20 с.

Дано:

$$t_1 = 10 \text{ с}$$

$$\vartheta_0 = 10 \text{ м/с}$$

$$\vartheta_1 = 6 \text{ м/с}$$

$$t_2 = 20 \text{ с}$$

Найти:

$$\alpha_x = \frac{10 - 6}{10} = 0,4 \text{ м/с}^2$$

$$\vartheta_x(t) - ?$$

$$\vartheta_2 - ?$$

Решение:

Скорость автомобиля уменьшается, следовательно, движение равнозамедленное, т.е.  $\alpha_x < 0$ . Направление скорости движения противоположно направлению ускорения. Уравнение проекции скорости примет вид:  $\vartheta_x = \vartheta_{0x} - \alpha_x t$ .

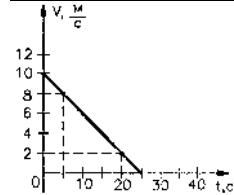
Ускорение автомобиля найдём по формуле:  $\alpha_x = \frac{\vartheta_{0x} - \vartheta_{1x}}{t_1}$ .

$$\alpha_x = \frac{10 - 6}{10} = 0,4 \text{ м/с}^2$$

$$\text{Уравнение скорости движения: } \vartheta_x = 10 - 0,4t.$$

Построим график зависимости. Достаточно определить две точки, т.к. Графиком скорости является прямая линия. Можно составить таблицу:

t	0	5
$\vartheta$	10	8



Через 20 с скорость автомобиля будет равна 2 м/с.

Ответ:

$$\vartheta_2 = 2 \text{ м/с}, \vartheta_x = 10 - 0,4t.$$

Задача 4. Поезд движется со скоростью 20 м/с. При торможении до полной остановки он прошёл расстояние в 200 м. Определите время, в течение которого происходило торможение.

Дано:

$$\vartheta_0 = 20 \text{ м/с}$$

$$\vartheta = 0$$

$$S = 200 \text{ м}$$

Найти:

$$t - ?$$

Решение:

Движение поезда равнозамедленное, следовательно, в уравнениях для проекции скорости и проекции перемещения перед проекцией ускорения берётся знак "-".

Запишем систему из двух уравнений и решим её относительно промежутка

времени  $t$ , учитывая, что  $\vartheta = 0$ :

$$\begin{cases} S = \vartheta_0 t + \frac{\alpha t^2}{2} \\ \vartheta = \vartheta_0 + \alpha t \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 0 = \vartheta_0 - \alpha t \\ S = \vartheta_0 t - \frac{\alpha t^2}{2} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \alpha = \frac{\vartheta_0}{t} \\ S = \vartheta_0 t - \frac{\vartheta_0 t^2}{2t} \end{cases}$$

$$S = \frac{\vartheta_0 t}{2} \rightarrow t = \frac{2S}{\vartheta_0}$$

Вычислим время торможения:

$$t = \frac{2 \cdot 200}{20} = 20 \text{ с}$$

Ответ:

Время торможения поезда 20 секунд.

Задача 5. Каков радиус кривизны закругления дороги, если по ней автомобиль движется с центростремительным ускорением  $2 \text{ м/с}^2$  при скорости 72 км/ч?

Дано: СИ:  
 $\alpha_{цс}=2 \text{ м/с}^2$   
 $v=72 \text{ км/ч} = 20 \text{ м/с}$

Найти:  
R-?

Ответ: R=200 м

Решение:  
Из формулы центростремительного ускорения определим радиус кривизны закругления дороги:

$$\alpha_{цс} = \frac{v^2}{R} \rightarrow R = \frac{v^2}{\alpha_{цс}}$$
$$R = \frac{20^2}{2} = 200 \text{ м}$$

### Задание 2. Решите количественные задачи.

Задача 1. Прямолинейное движение двух тел задано уравнениями  $x_1(t) = k_1 t + b_1$  и  $x_2(t) = k_2 t + b_2$ , где  $x_1(t)$  и  $x_2(t)$  - координаты в момент времени  $t$  первого и второго тел соответственно. Охарактеризуйте движение тел. Определите время и координату их встречи. Численные значения величин приведены в Международной системе единиц (СИ).

Задача 2. Материальная точка с начальной скоростью  $v_0$  движется с ускорением  $a$  и через время  $t$  имеет скорость  $v$ . Определите значение величины, обозначенной «?». Движение прямолинейное, вдоль одной координатной оси.

Задача 3. Автомобиль, имевший начальную скорость  $v_0$ , разгоняется с ускорением  $a$  до скорости  $v$  на пути длиной  $l$ . Определите значение величины, обозначенной «?». Сколько времени длится разгон?

Задача 4. По имеющимся в таблице данным укажите значения ускорения и начальной скорости, а также постройте графики зависимости перемещения, скорости и координаты от времени за первые 20 секунд. Определите значение величины, обозначенной «?».

Задача 5. Материальная точка движется со скоростью  $v$  по окружности радиусом  $R$ , имея при этом центростремительное ускорение  $a_{ц}$ . За время  $t$  материальная точка проходит расстояние  $S$ , при этом совершая поворот на угол  $\phi$ . Угловая скорость  $\omega$ . Определите значение величины, обозначенной «?».

## Практическая работа №2 Динамика и законы Ньютона

Цель работы: закрепить умение применять законы Ньютона при решении задач.

### Основные понятия и законы

Существуют такие системы отсчета, относительно которых поступательно движущееся тело сохраняет свою скорость постоянной, если на него не влияют другие тела (или влияния других тел компенсируются).

Математически этот закон записывается в виде  $a = 0$ , если  $F_{\text{рез}} = 0$ , где  $a$  – ускорение  $\left[\frac{m}{c^2}\right]$ ,  $F_{\text{рез}}$  – векторная сумма всех сил, действующих на тело. Первый закон Ньютона выполняется только в инерциальных системах отсчета. Системы отсчета, относительно которых тело при компенсации внешних воздействий движется равномерно и прямолинейно, называются инерциальными системами.

Само явление сохранения скорости тела или состояния покоя при компенсации внешних воздействий на тело называют инерцией. Поэтому первый закон Ньютона называют законом инерции.

При воздействии одних тел на другие тела изменяют свою скорость – приобретают ускорение. При этом разные тела при данном воздействии приобретают разное ускорение.

Свойство тел приобретать определённое ускорение при данном воздействии называется инертностью. Инертность – это свойство, присущее всем телам. Масса тела – количественная мера его инертности. Чем большей массой обладает тело, тем меньшее ускорение оно получает при взаимодействии. Поэтому в физике принято, что отношение масс взаимодействующих тел равно обратному отношению модулей ускорений.

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

Ньютон сформулировал важнейший закон движения, то есть II закон Ньютона, который гласит: в инерциальной системе отсчета ускорение тела прямо пропорционально векторной сумме всех действующих на тело сил и обратно пропорционально массе тела:

$$\bar{a} = \frac{\bar{F}}{m}$$

Третий закон Ньютона: тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению.

Этот закон свидетельствует о том, что силы в природе всегда возникают парами, как результат взаимодействия между двумя телами.

Итак, третий закон можно записать математически следующим образом:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Силы, входящие в третий закон Ньютона, приложены к разным телам. Сила  $F_1$  называется силой реакции по отношению к  $F_2$ , а сила  $F_2$  – силой реакции по отношению к  $F_1$ .

Задание 1. Ответьте на вопросы:

1. Какие основные законы динамики вы знаете?
2. Какие системы называются инерциальными системами отсчета?
3. Что такое инерция?
4. Что называется инертностью?
5. Что такое масса тела?

### Примеры решения задач

Задача 1. Человек массой 80 кг поднимается в лифте равнозамедленно, вертикально вверх, с ускорением 2 м/с<sup>2</sup>. Определите силу давления человека на пол кабины лифта.

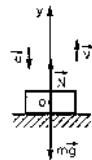
Дано:

$$\begin{aligned} m &= 80 \text{ кг} \\ \alpha &= 2 \text{ м/с}^2 \\ g &= 9,8 \text{ м/с}^2 \end{aligned}$$

Найти:

P -?

Решение:



Сила давления человека на пол кабины лифта равна весу человека.

На человека, находящегося в кабине лифта, действует сила тяжести mg и сила реакции пола кабины -N.

Т.к. движение лифта равнозамедленное, то ускорение движения направлено вертикально вниз.

Запишем в векторном виде уравнение второго закона Ньютона:

$$\vec{N} + \vec{mg} = m\vec{a}$$

Выберим ось y в направлении движения лифта. Начало координат совместим с центром тяжести человека.

Запишем уравнение второго закона Ньютона в проекциях на ось y:

$$N - mg = -ma \rightarrow N = mg - ma = m(g - \alpha)$$

На основании третьего закона Ньютона вес человека по модулю силе реакции пола кабины: P=N.

$$\text{Тогда } P = m(g - \alpha) = 80(9,8 - 2) = 624 \text{ Н}$$

Ответ: P=624 Н

Задача 2. Автомобиль массой 5 т трогается с места с ускорением 0,6 м/с<sup>2</sup>. Найти силу тяги, если коэффициент сопротивления движению равен 0,04.

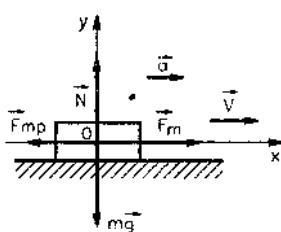
Дано:

$$\begin{aligned} m &= 5 \text{ т} \\ \vartheta_0 &= 0 \\ a &= 0,6 \text{ м/с}^2 \\ g &= 9,8 \text{ м/с}^2 \\ \mu &= 0,04 \end{aligned}$$

СИ:

$$5000 \text{ кг}$$

Решение:



Найти:

F<sub>тяги</sub> -?

По второму закону Ньютона:  $\vec{N} + \vec{F}_t + \vec{mg} + \vec{F}_{tp} = m\vec{a}$

$$\text{Ox: } F_t - F_{tp} = ma$$

$$\text{Oy: } N - mg = 0 \rightarrow N = mg$$

$$F_t = F_{tp} + ma$$

$$\text{По определению: } F_{tp} = \mu N = \mu mg.$$

$$\text{Тогда: } F_t = \mu mg + ma = m(\mu g + a)$$

$$F_t = 5000 (0,04 \cdot 9,8 + 0,6) \approx 5000 \text{ Н} = 5 \text{ кН}$$

Ответ: F<sub>тяги</sub>=5 кН

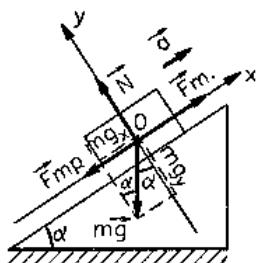
Задача 3. Автомобиль массой 1 т поднимается по шоссе с уклоном 30° под действием силы тяги 7 кН. Найти ускорение автомобиля, считая, что сила сопротивления не зависит от скорости движения. Коэффициент сопротивления равен 0,1. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с<sup>2</sup>.

Дано:

СИ:

Решение:

$$\begin{aligned}
 m &= 1 \text{ т} & 1000 \text{ кг} \\
 F_{\text{тяги}} &= 7 \text{ кН} & 7000 \text{ Н} \\
 \alpha &= 30^\circ \\
 \mu &= 0,1 \\
 g &= 10 \text{ м/с}^2
 \end{aligned}$$



Найти:

$\alpha$ ?

$$\text{По второму закону Ньютона: } \vec{N} + \vec{F}_t + m\vec{g} + \vec{F}_{tp} = m\vec{a}$$

$$\text{Ox: } -mg\sin\alpha + F_t - F_{tp} = ma$$

$$\text{Oy: } N - mg\cos\alpha = 0 \rightarrow N = mg\cos\alpha$$

$$\text{По определению: } F_{tp} = \mu N = \mu mg \cos\alpha$$

$$\text{Отсюда: } -mg\sin\alpha + F_t - \mu mg \cos\alpha = ma$$

$$\alpha = \frac{F_t - mg(\sin\alpha + \mu \cos\alpha)}{m} \approx 1,13 \text{ м/с}^2$$

Ответ:  $\alpha \approx 1,13 \text{ м/с}^2$

Задача 4. Тележка массой 5 кг движется по горизонтальной поверхности под действием гири массой 21 кг, прикреплённой к концу нерастяжимой нити, перекинутой через неподвижный блок. Определить натяжение нити и ускорение движения тележки, если коэффициент трения тележки о плоскость 0,1. Массами блока и нити, а также трением в блоке пренебречь.

Дано:

$$m_1 = 5 \text{ кг}$$

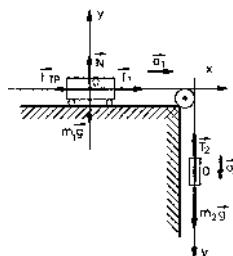
$$m_2 = 21 \text{ кг}$$

$$\mu = 0,1$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

Найти:

Решение:



T-?

В данном случае рассматривают движение каждого тела отдельно.

$\alpha$ -?

- 1) На тележку действуют силы: сила тяжести, сила реакции плоскости, сила натяжения, сила трения.

Выберем прямоугольную систему координат xOy; направим ось x по направлению движения тележки, а ось y – вертикально вверх.

Запишем для тележки второй закон Ньютона в векторной форме:

$$\vec{N} + \vec{T}_1 + m_1 \vec{g} + \vec{F}_{tp} = m_1 \vec{a}_1$$

В проекциях на оси x и y это уравнение примет вид:

$$\text{Ox: } T_1 - F_{tp} = m_1 a_1$$

$$\text{Oy: } N - m_1 g = 0 \rightarrow N = m_1 g$$

$$\text{T.к. } F_{tp} = \mu N = \mu m_1 g. \text{ Тогда } T_1 - \mu m_1 g = m_1 a_1.$$

- 2) На гирю  $m_2$  действуют две силы: сила тяжести и сила натяжения нити.

$$\text{По второму закону Ньютона: } \vec{T}_2 + m_2 \vec{g} = m_2 \vec{a}_2$$

Вектор ускорения  $\vec{a}_2$  направлен вниз, по направлению движения гири. Для описания движения гири достаточно выбрать одну ось y, направление которой удобно выбрать вертикально вниз.

Тогда проекция векторов на ось y и второй закон Ньютона примет вид:

$$-T_2 + m_2 g = m_2 a_2 \text{ или } m_2 g - T_2 = m_2 a_2$$

Получилась система из двух уравнений:

$$\begin{cases} T_1 - \mu m_1 g = m_1 \alpha_1 \\ m_2 g - T_2 = m_2 \alpha_2 \end{cases}$$

Учитывая, что нить, связывающая тележку и гирю, нерастяжима и невесома, То сила натяжения нити в каждой точке одинакова, т.е.  $T_1=T_2=T$  и, следовательно,  $\alpha_1=\alpha_2=\alpha$ .

Складывая уравнения системы, получим:  $T - \mu m_1 g + m_2 g - T = m_1 \alpha + m_2 \alpha$

$$\text{Откуда } \alpha = \frac{g \cdot (m_2 - \mu m_1)}{m_1 + m_2}$$

$$\alpha = \frac{9,8(2 - 0,1 \cdot 5)}{2 + 5} = 2,1 \text{ м/с}^2$$

$$T = m_1 \alpha + \mu m_1 g \rightarrow T = 5 \cdot 2,1 + 0,1 \cdot 5 \cdot 9,8 = 15,4 \text{ Н}$$

Ответ:  $\alpha = 2,1 \text{ м/с}^2$ ,  $T = 15,4 \text{ Н}$

## Задание 2. Решите количественные задачи

Задача 1. Координата  $x$  тела, движущегося прямолинейно, изменяется с течением времени по закону  $x=x(t)$ . Масса тела  $m$ . Вычислите модуль равнодействующей сил, приложенных к телу.

Задача 2. Пассажирский лифт начинает движение из состояния покоя и двигаясь равноускоренно вверх (вниз), за время  $t$  проходит путь  $s$ . При таком движении лифта вес пассажира массой  $m$  равен  $P$ . Определите значение величины, обозначенной «?». Ускорение свободного падения примите равным  $10 \text{ м/с}^2$ .

Задача 3. Тепловоз массой  $M$  тянет вагон массой  $m$  с ускорением  $\alpha$ . Сила тяги тепловоза  $F_t$ , сила натяжения сцепки между тепловозом и вагоном  $F_k$ . Определите значения величин, обозначенных «?». Силой сопротивления можно пренебречь.

Задача 4. Два тела массами  $m_1$  и  $m_2$  подвешены на нерастяжимой нити через блок. Найти значения и направления ускорений грузов  $a_1$  и  $a_2$  и силу натяжения нити  $T$ . Определите значения величин, обозначенных «?».

Задача 5. По гладкой наклонной плоскости длиной  $L$  и высотой  $h$  небольшой брускок соскальзывает с ускорением  $\alpha$ . Определите значения величин, обозначенных «?». Ускорение свободного падения примите равным  $10 \text{ м/с}^2$ .

## Практическая работа №3 Движение в гравитационном поле

Цель работы: закрепить умение применять формулы силы трения, силы тяжести, закон Гука и закон всемирного тяготения при решении задач.

### Методические указания

При решении задач по теме «Динамика материальной точки» следует придерживаться следующего алгоритма:

1. Сделать схематический рисунок, изобразить все силы, действующие на каждое тело рассматриваемой системы.
2. Выбрать систему координат хОу с таким расположением осей, чтобы наибольшее количество векторов сил было направлено вдоль осей. В случае движение тела по окружности ось Ох должна быть направлена к центру окружности (как и центростремительное ускорение).
3. Записать для каждого тела в отдельности второй закон Ньютона в векторной форме:  $m\ddot{a} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$ .
4. Спроецировать эти уравнения на выбранные оси координат.
5. Дополнить полученную систему в случае необходимости кинематическими и динамическими соотношениями и решить её относительно искомой величины.

### Основные понятия и формулы

Динамика - раздел механики, в котором исследуется влияние взаимодействия тел на их механическое движение.

Сила - векторная физическая величина, мера воздействия на тело со стороны других тел или полей. В системе СИ единицей силы является ньютон.

Результат действия силы зависит от направления, модуля силы и от точки приложения силы. Результатом действия силы являются изменение скорости тела или деформация.

Сила притяжения тела Землей называется весом тела.

Вес тела обозначим буквой  $\vec{P}$ , по модулю равен силе тяжести:  $\vec{P} = m\vec{g}$ .

Но это не значит, что вес тела и сила тяжести, приложенная к нему, одно и тоже.

Сила тяжести – это гравитационная сила, приложенная к телу.

Вес тела – это сила упругости, приложенная к подъему.

Невесомость объясняется тем, что сила всемирного тяготения, а значит и сила тяжести, сообщают всем телам (в нашем случае – грузу и пружине) одинаковое ускорение  $\vec{g}$ . Поэтому всякое тело, на которое действует только сила тяжести или вообще сила всемирного тяготения, находится в состоянии невесомости.

Закон всемирного тяготения формулируется следующим образом: всякие тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорционально произведению их масс и обратно пропорционально квадрату расстояния между ними.

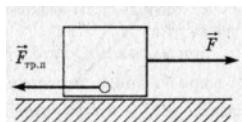
Или на языке математики:  $F \approx \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$  введя коэффициент пропорциональности

$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$  – гравитационную постоянную, получим  $F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$ .

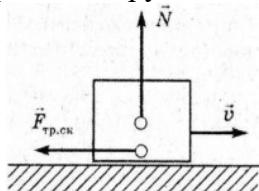
Сила трения — это сила, возникающая при движении одного тела по поверхности другого и препятствующая этому движению.

Трение может быть нескольких видов: трение покоя, трение скольжения и трение качения.

Трение покоя мешает началу движения тела по некоторой поверхности. Сила трения покоя по величине равна силе, которая прикладывается к телу.



Сила трения скольжения  $F_{\text{тр.ск}}$  возникает при скольжении одного тела по поверхности другого. Её направление противоположно скорости движения тела.



Модуль силы трения скольжения прямо пропорционален силе нормальной реакции опоры  $N$ :  $F_{\text{тр.ск}} = \mu N$ , где  $\mu$  — безразмерная величина.

Коэффициент пропорциональности  $\mu$  — коэффициент трения скольжения, зависящий от вида веществ соприкасающихся тел, состояния их поверхностей и скорости скольжения одного тела относительно другого.

Модуль силы трения скольжения при движении по горизонтальной поверхности  $F_{\text{тр.ск}} = \mu m g$ , поскольку  $m = mg$ .

Трение качения возникает при качении одного тела по поверхности другого.

Модуль силы трения качения равен отношению произведения коэффициента трения качения  $R$ , модуля силы нормальной реакции опоры  $N$  к радиусу  $R$  катящегося тела.

$$F_{\text{тр.кн.}} = \frac{kN}{R}.$$

Сила, возникающая в результате деформации тела и направленная в сторону, противоположную перемещению частиц тела при деформации, называется силой упругости. По своему происхождению силы упругости — это электромагнитные силы.

Закон Гука: сила упругости, возникающая при деформации тела, пропорциональна удлинению тела и направлена в сторону, противоположную направлению перемещений частиц тела при деформации:

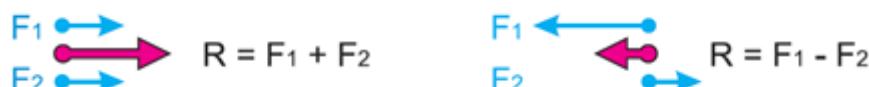
$$(F_{\text{упр}})_x = -kx$$

Здесь  $x$  — удлинение тела (пружины),  $k$  — коэффициент пропорциональности, который называется жёсткостью тела (пружины).

Жёсткость зависит от размеров тела, формы и материала. Единица измерения жёсткости в СИ:  $[k] = \left[ \frac{H}{m} \right]$

Силу упругости, действующую на тело со стороны отпоры (нити) или подвеса (пружины), называют силой реакции опоры.

Две силы можно заменить равнодействующей силой (см. рис.).



Если силы сонаправлены, то равнодействующая сила равна их сумме и направлена в ту же сторону. Если силы противоположно направлены, то равнодействующая сила равна их разности и направлена в сторону большей силы. Следствие: равнодействующая уравновешенных сил равна нулю.

Задание 1. Ответьте на вопросы:

1. Что называется силой?
2. Какие силы вам известны?

3. От чего зависит сила трения, действующая на тело?
4. Когда возникает сила упругости?
5. Объясните происхождение знака "-" в законе Гука?
6. Что называется весом тела?

### Примеры решения задач

Задача 1. На сколько удлиниться пружина под нагрузкой 12,5 Н, если под нагрузкой в 10 Н пружина удлинилась на 4 см?

Дано: СИ:

$$F_1 = 10 \text{ Н}$$

$$x_1 = 4 \text{ см}$$

$$F_2 = 12,5 \text{ Н}$$

Решение:  
При растяжении пружины возникает сила упругости, для которой справедлив закон Гука:  $F_{\text{упр}} = -kx$ .

Жёсткость пружины можно определить по формуле:  $k = \frac{|F_{\text{упр}}|}{x}$ .

Найти:

$$\text{Тогда } k = \frac{F_1}{x_1}$$

$$x_2 - ?$$

$$\text{Определим удлинение пружины } x_2 = \frac{F_2}{k} = \frac{F_2 \cdot x_1}{F_1}$$

$$x_2 = \frac{12,5 \cdot 0,04}{10} = 0,05 \text{ м} = 5 \text{ см}$$

Ответ:  $x_2 = 5 \text{ см}$

Задача 2. На каком расстоянии сила притяжения двух шариков массами по 1 г равна  $6,7 \cdot 10^{-17} \text{ Н}$ ?

Дано:

$$m_1 = m_2 = 1 \text{ г}$$

$$F = 6,7 \cdot 10^{-17} \text{ Н}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$$

СИ:

$$= 0,001 \text{ кг}$$

Решение:

$$\text{По закону всемирного тяготения сила притяжения} \\ \text{шаров } F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$

Найти:

$$R^2 = \frac{G \cdot m_1^2}{F} \rightarrow R = \sqrt{\frac{G \cdot m_1^2}{F}}$$

$$R - ?$$

$$R = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 0,001 \cdot 0,001}{6,7 \cdot 10^{-17}}} = 1 \text{ м}$$

Ответ:  $R = 1 \text{ м}$

Задача 3. Велосипедист, ехавший со скоростью 36 км/ч, увидел примерно в 10 м от себя препятствие и резко затормозил. Успеет ли велосипедист остановиться до препятствия? Коэффициент трения скольжения шин по сухому асфальту 0,7. Как изменится тормозной путь при увеличении скорости движения в 2 раза?

Дано: СИ:

$$v_0 = 36 \text{ км/ч} = 10 \text{ м/с}$$

$$\mu = 0,7$$

$$S = 10$$

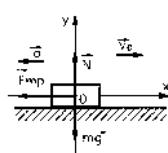
$$\mu = 0,7$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

Найти:

$$l - ?$$

Решение:



Чтобы ответить на вопрос задачи, необходимо найти тормозной путь велосипедиста и сравнить его с расстоянием  $S$  до препятствия.  
 $F_{\text{тр}} = \mu mg = ma$

Формула скорости в общем виде:  $\vec{\vartheta} = \vec{\vartheta}_0 + \vec{\alpha}t$

Учитывая, что движение равнозамедленное и  $\vartheta = \theta_0$ , имеем  $0 = \theta_0 - \alpha t \rightarrow t = \frac{\theta_0}{\alpha}$

Перемещение  $S = \theta_0 t - \frac{\alpha t^2}{2} \rightarrow S = \frac{\theta_0^2}{2\alpha} = l$

$$l = \frac{10^2}{2 \cdot 10 \cdot 0,7} = 7 \text{ м}$$

Ответ: Велосипедист успеет остановиться до препятствия, т.к.  $S=10$  м, а тормозной путь велосипедиста 7 м. Если скорость возрастёт вдвое, то тормозной путь увеличится в 4 раза.

### Задание 2. Решите количественные задачи

Задача 1. К крючку динамометра прикрепили полоску резины жесткостью  $k$ . При растяжении полоски на длину  $x$  показания динамометра составили  $F$ . Определите значение величины, обозначенной «?». Как изменятся показания динамометра, если деформация полоски резины увеличится в  $\alpha$  раз?

Задача 2. Когда резиновая шайба находится на горизонтальной поверхности льда, то сила тяжести, действующая на шайбу уравновешивается силой реакции  $N$  со стороны поверхности льда. Если, ударив по шайбе, заставить ее скользить по поверхности льда, то возникнет сила трения скольжения  $F_{тр}$ . Коэффициент трения скольжения между шайбой и поверхностью льда равен  $\mu$ . Определите значение величины, обозначенной «?». Во сколько раз изменится сила трения скольжения, если сверху на шайбу положить  $n$  таких же шайб?

Задача 3. Металлический брускок прямоугольной формы размером  $a \times b \times c$  подвешен к динамометру. Показания динамометра  $F$ . Плотность металла  $\rho$ . Определите значение величины, обозначенное «?». Во сколько раз изменятся показания динамометра, если все размеры бруска увеличить в  $\alpha$  раз?

Задача 4. Два тела массами  $m_1$  и  $m_2$ , находящиеся на расстоянии  $r$  друг от друга, взаимодействуют с силой гравитационного притяжения  $F$ . Определите значение величины, обозначенной «?». Как изменится сила гравитационного взаимодействия, если расстояние между телами увеличить в  $\beta$  раз?

## Практическая работа №4 Законы сохранения в механике

Цель работы: способствовать закреплению изученного материала, научиться применять закон сохранения импульса при решении задач.

### Методические указания

При решении задач на закон сохранения импульса необходимо:

1. Указать, какие тела входят в рассматриваемую систему.
2. Изобразить на чертеже векторы импульсов тел системы непосредственно перед и после взаимодействия.
3. Необходимо проверить систему взаимодействующих тел на замкнутость. Если система замкнута или выполняется одно из следующих условий:
  - 1) Внешние силы уравновешиваются
  - 2) Время взаимодействий мало
  - 3) Проекция равнодействующей внешних сил на какое-то направление равно нулю, то записать закон сохранения импульса  $\sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \text{const}$   
или для последнего случая  $\sum_{i=1}^n p_{ix} = \text{const}$ .

Если система незамкнута, то записать  $\Delta \vec{p} = \vec{F} \Delta t$  рассматривая движение всех тел системы в одной и той же инерциальной системе отсчета.

4. Записать закон сохранения импульса в векторной форме.
5. Спроецировать векторные величины на оси x и y (выбираются произвольно, но так, чтобы было удобно проецировать).
6. Решить полученную систему скалярных уравнений относительно неизвестных в общем виде. Дополнить при необходимости систему полученных уравнений кинематическими и динамическими уравнениями
7. Проверить размерность и сделать числовoy расчёт.

### Основные понятия и законы

Импульс тела (количество движения) определяется как произведение массы тела на скорость движения.

Математически это можно записать так:  $\vec{p} = m\vec{v} [\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}]$ .

Запомните! Поскольку масса величина скалярная, а скорость – векторная, то величина  $\vec{p} = m\vec{v}$  является вектором, направление которого совпадает с направлением скорости.

Пусть на тело массой m в течение некоторого малого промежутка времени  $\Delta t$  действовала сила  $\vec{F}$ . Под действием этой силы скорость тела изменилась на  $\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ . Следовательно, в течение времени  $\Delta t$  тело двигалось с ускорением  $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$

Из основного закона динамики (второго закона Ньютона) следует:

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} \text{ или } \vec{F} \Delta t = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = m\Delta \vec{v} = \Delta(m\vec{v})$$

Физическая величина, равная произведению силы на время ее действия, называется импульсом силы. Импульс силы также является векторной величиной.

В новых терминах второй закон Ньютона может быть сформулирован следующим образом: изменение импульса тела (количества движения) равно импульсу силы.

Обозначив импульс тела буквой  $\vec{p}$ , второй закон Ньютона можно записать в виде

$$\vec{F} \Delta t = \Delta \vec{p}.$$

Именно в таком общем виде сформулировал второй закон сам Ньютон. Сила  $\vec{F}$  в этом выражении представляет собой равнодействующую всех сил, приложенных к телу.

При взаимодействии тел импульс одного тела может частично или полностью передаваться другому телу. Если на систему тел не действуют внешние силы со стороны других тел, такая система называется замкнутой.

В замкнутой системе векторная сумма импульсов всех тел, входящих в систему, остается постоянной при любых взаимодействиях тел этой системы между собой.

Этот фундаментальный закон природы называется законом сохранения импульса. Он является следствием из второго и третьего законов Ньютона.

Рассмотрим какие-либо два взаимодействующих тела, входящих в состав замкнутой системы. Силы взаимодействия между этими телами обозначим через  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$ . По третьему закону Ньютона  $\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$ . Если эти тела взаимодействуют в течение времени  $t$ , то импульсы сил взаимодействия одинаковы по модулю и направлены в противоположные стороны:  $\vec{F}_2 t = -\vec{F}_1 t$ . Применим к этим телам второй закон Ньютона:

$$\vec{F}_1 t = m_1 \vec{\vartheta}'_1 - m_1 \vec{\vartheta}_1; \quad \vec{F}_2 t = m_2 \vec{\vartheta}'_2 - m_2 \vec{\vartheta}_2$$

где  $m_1 \vec{\vartheta}_1$  и  $m_2 \vec{\vartheta}_2$  – импульсы тел в начальный момент времени,  $m_1 \vec{\vartheta}'_1$  и  $m_2 \vec{\vartheta}'_2$  – импульсы тел в конце взаимодействия. Из этих соотношений следует:

$$m_1 \vec{\vartheta}_1 + m_2 \vec{\vartheta}_2 = m_1 \vec{\vartheta}'_1 + m_2 \vec{\vartheta}'_2$$

Это равенство означает, что в результате взаимодействия двух тел их суммарный импульс не изменился. Рассматривая теперь всевозможные парные взаимодействия тел, входящих в замкнутую систему, можно сделать вывод, что внутренние силы замкнутой системы не могут изменить ее суммарный импульс, то есть векторную сумму импульсов всех тел, входящих в эту систему.

Задание 1. Ответьте на вопросы:

1. Что называется импульсом?
2. Сформулируйте закон сохранения импульса.

### Примеры решения задач

Задача 1. Автомобиль массой 2 т начинает разгоняться из состояния покоя по горизонтальному пути под действием постоянной силы. В течение 10 с он приобретает скорость 43,2 км/ч. Определить величину импульса, полученного автомобилем; величину действующей силы.

Дано: СИ:

$m=2$  т      2000 кг      Определим величину импульса, полученного автомобилем:

$$\vartheta_0=0 \quad m\vartheta=2000 \cdot 12=2,4 \cdot 10^4 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{с}$$

$t=10$  с

$\vartheta=43,2$  км/ч      12 м/с      Величину действующей силы можно определить, учитывая, что

Импульс равен изменению импульса тела (второй закон Ньютона)

Найти:       $Ft=m\vartheta - m\vartheta_0$ , т.к.  $\vartheta_0=0$ , то  $Ft=m\vartheta \rightarrow F=\frac{m\vartheta}{t}$

$$m\vartheta=? \quad F=\frac{2,4 \cdot 10^4}{10}=2,4 \cdot 10^3 \text{ Н}=2,4 \text{ кН}$$

$F=?$

Ответ:  $m\vartheta=2,4 \cdot 10^4 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{с}$ ,  $F=2,4 \text{ кН}$

Задача 2. Электровоз массой 180 т, движущийся по инерции с выключенным двигателем со скоростью 0,5 м/с, подъезжает к неподвижному вагону и продолжает движение с ним вместе. Какова масса вагона, если скорость локомотива уменьшилась до 0,4 м/с? Трением

локомотива и вагона о рельсы пренебрегаем.

Дано:  
 $m_1=180 \text{ т}$   
 $\vartheta_1=0,5 \text{ м/с}$   
 $\vartheta_2=0$   
 $\vartheta'=0,4 \text{ м/с}$   
 Найти:  
 $m_2=?$

СИ:  
 $1,8 \cdot 10^5 \text{ кг}$

Решение:  
 Систему тел можно считать замкнутой.  
 По закону сохранения импульса:

$$m_1 \vec{\vartheta}_1 + m_2 \vec{\vartheta}_2 = m_1 \vec{\vartheta}'_1 + m_2 \vec{\vartheta}'_2$$

Выберем направление оси  $x$  вдоль движения состава, тогда проекции векторов скорости на эту ось будут положительны. Учитывая, что  $\vartheta_2=0$ , получим:

$$\begin{aligned} m_1 \vartheta_1 &= (m_1 + m_2) \cdot \vartheta' \rightarrow m_2 = \frac{m_1 \vartheta_1 - m_1 \vartheta'}{\vartheta'} = \frac{m_1 (\vartheta_1 - \vartheta')}{\vartheta'} \\ m_2 &= \frac{1,8 \cdot 10^5 \cdot (0,5 - 0,4)}{0,4} = 0,45 \cdot 10^5 = 45 \cdot 10^3 \text{ кг} = 45 \text{ т} \end{aligned}$$

Ответ:  $m_2 = 45 \text{ т}$

Задача 3. С лодки массой 200 кг, движущейся со скоростью 1 м/с, прыгает мальчик массой 50 кг в горизонтальном направлении со скоростью 7 м/с (относительно берега). Какова скорость лодки после прыжка мальчика, если мальчик прыгает: а) с кормы в сторону, противоположную движению лодки? б) с носа по ходу движения?

Дано:  
 $m_1=200 \text{ кг}$   
 $\vartheta=1 \text{ м/с}$   
 $m_2=50 \text{ кг}$   
 $\vartheta'_2=7 \text{ м/с}$   
 Найти:  
 $\vartheta'_1=?$

Решение:  
 Мальчика и лодку можно принять за замкнутую систему.  
 Воспользуемся законом сохранения импульса:

$$m_1 \vec{\vartheta}_1 + m_2 \vec{\vartheta}_2 = m_1 \vec{\vartheta}'_1 + m_2 \vec{\vartheta}'_2$$

До прыжка мальчик двигался вместе с лодкой со скоростью 1 м/с, и тогда Начальный импульс системы будет  $(m_1 + m_2)\vartheta$ . Выберем направление оси координат по направлению лодки.

$$\begin{aligned} a) (m_1 + m_2)\vartheta &= m_1 \vartheta'_1 - m_2 \vartheta'_2 \quad \text{Отсюда: } \vartheta'_1 = \frac{(m_1 + m_2)\vartheta + m_2 \vartheta'_2}{m_1} \\ \vartheta'_1 &= \frac{(200 + 50) \cdot 1 + 50 \cdot 7}{200} = 3 \text{ м/с} \end{aligned}$$

б) если мальчик прыгает с носа лодки по ходу движения, то

$$\begin{aligned} (m_1 + m_2)\vartheta &= m_1 \vartheta'_1 + m_2 \vartheta'_2 \\ \vartheta'_1 &= \frac{(m_1 + m_2)\vartheta - m_2 \vartheta'_2}{m_1} \\ \vartheta'_1 &= \frac{(200 + 50) \cdot 1 - 50 \cdot 7}{200} = -0,5 \text{ м/с} \end{aligned}$$

Знак "-" означает, что лодка изменила направление своего движения на противоположное.

Ответ: а)  $\vartheta'_1 = 3 \text{ м/с}$ ; б)  $\vartheta'_1 = -0,5 \text{ м/с}$

Задача 4. Какую скорость относительно ракетницы приобретает ракета массой 600 г, если газы массой 15 г вылетают из неё со скоростью 800 м/с?

Дано:  
 $m_1=600 \text{ г}$   
 $m_2=15 \text{ г}$

СИ:

0,6 кг

0,015 кг

Решение:  
 Начальный импульс ракеты с газами равен нулю, т.к. ракета неподвижна, следовательно, согласно закону

$$\vartheta_1 = \vartheta_2 = 0$$

$$\vartheta'_2 = 800 \text{ м/с}$$

Найти:

$$\vartheta'_1 - ?$$

Ответ:  $\vartheta'_1 = -20 \text{ м/с}$

сохранения импульса:  $m_1 \vec{\vartheta}_1 + m_2 \vec{\vartheta}_2 = m_1 \vec{\vartheta}'_1 + m_2 \vec{\vartheta}'_2$

Получим:  $0 = m_1 \vec{\vartheta}'_1 + m_2 \vec{\vartheta}'_2$ , откуда

$$\vartheta'_1 = -\frac{m_2 \vartheta'_2}{m_1}$$

$$\vartheta'_1 = -\frac{0,015 \cdot 800}{0,6} = -20 \text{ м/с}$$

Знак "-" показывает, что газы движутся в сторону, противоположную направлению движения ракетницы.

## Задание 2. Решите количественные задачи

Задача 1. Тело движется прямолинейно, обладая начальным импульсом  $p_0$ . В течение времени  $t$  на тело действует сила  $F$ , в результате чего импульс достигает значения  $p$ . Определите значения величин, обозначенных «?». Направление силы совпадает с направлением начальной скорости.

Задача 2. Тело массой  $m$  движется равноускоренно с ускорением  $a$  и в момент времени  $t$  имеет импульс  $p$ . Начальная скорость тела  $\vartheta_0$ . Определите значения величин, обозначенных «?». Вектор начальной скорости тела и вектор ускорения сонаправлены.

Задача 3. Два шара массами  $m_1$  и  $m_2$  движутся навстречу друг другу со скоростями  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$ . Их скорости после соударения  $\vartheta'_1$  и  $\vartheta'_2$ . Определите значения величин, обозначенных «?».

Задача 4. Модель ракеты массой  $m_1$  заполнена горючим массой  $m_2$ . Горючее вырывается со скоростью  $\vartheta_2$ , при этом ракета приобретает скорость  $\vartheta_1$  и поднимается на высоту  $h$ . Определите значения величин, обозначенных «?».

Задача 5. Рыбак массой  $m$  запрыгивает в неподвижно стоящую на воде у берега озера лодку массой  $M$ . При этом лодка приходит в движение со скоростью  $\vartheta'$ . Горизонтальная составляющая лодки рыбака в момент прыжка равна  $\vartheta$ . Определите значения величин, обозначенных «?».

## Практическая работа №5 Решение задач по разделу «Механика»

Цель работы: закрепить знания по разделу «Механика».

### Методические указания

Каждый вариант проверочной работы состоит из двух частей и включает 15 заданий, различающихся формой и уровнем сложности (см. таблицу 1).

Часть А содержит 10 заданий с выбором ответа. Их обозначение в работе: A1; A2; ... A10.

К каждому заданию приводится 4 варианта ответа, из которых верен только один.

Часть В содержит 5 заданий. Их обозначение в работе: B1; B2; ... B5.

В первом и втором предложены задания на установление соответствия позиций, представленных в двух и трех множествах. Третье, четвертое и пятое задания предполагают краткий ответ.

### I вариант

#### ЧАСТЬ 1

К каждому из заданий А.1. – А.10. даны 4 варианта ответа, из которых только один правильный. Номер этого ответа занесите в таблицу 1.

А.1. Может ли человек на эскалаторе находиться в покое относительно Земли, если эскалатор поднимается со скоростью 1 м/с?

А.2. На рисунке 1 представлен график зависимости скорости грузовика от времени. Ускорение грузовика в момент  $t = 3$  с равно

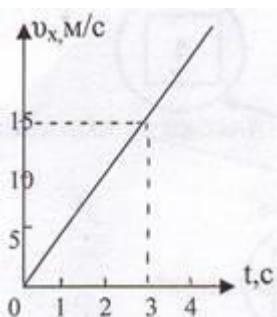


Рис.1.

А.3. Чему равна средняя скорость движения автомобиля на всем пути (в км/ч), если первую половину пути он двигался со скоростью 70 км/ч, а вторую половину пути – со скоростью 30 км/ч?

А.4. Определите путь, пройденный телом от начала движения при свободном падении. Если в конце пути оно имело скорость 20 м/с.

А.5. Как изменится линейная скорость движения точки по окружности, если угловая скорость увеличится в 4 раза, а расстояние от вращающейся точки до оси вращения уменьшится в 2 раза?

A.6. Почему при равномерном движении поезда шарик покоится относительно гладкого стола в купе вагона?

A.7. Какую силу надо приложить к телу массой 200 г, чтобы оно двигалось с ускорением  $1,5 \text{ м/с}^2$ ?

A.8. Чему равно отношение силы гравитационного взаимодействия, действующей со стороны Луны на Землю, к силе гравитационного взаимодействия, действующей со стороны Земли на Луну. Если масса Земли в 81 раз больше массы Луны?

A.9. Какова кинетическая энергия автомобиля массой 1000 кг, движущегося со скоростью 36 км/ч?

A.10. Какую мощность развивает двигатель автомобиля при силе тяги 1000 Н, если автомобиль движется равномерно со скоростью 20 м/с?

## ЧАСТЬ 2

B.1. Установите соответствие между физическими величинами и единицами, в которых они измеряются.

Физические величины	Единицы измерения физических величин
A) импульс тела	1) Дж
B) мощность	2) Вт 3) Н 4) Н · с

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу 2. выбранные цифры под соответствующими буквами.

A	B

B.2. Камень брошен вверх под углом к горизонту. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Как меняются с набором высоты модуль ускорения камня, его кинетическая энергия и горизонтальная составляющая его скорости?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Модуль ускорения камня	Кинетическая энергия камня	Горизонтальная составляющая скорости камня

B.3. На концах невесомой и нерастяжимой нити, перекинутой через блок, подвешены грузы, массы которых равны 600 г и 400 г. Определите ускорение грузов после того, как система будет предоставлена самой себе. Трением в блоке пренебречь.

$\text{м/с}^2$

B.4. Человек и тележка движутся навстречу друг другу, причем масса человека в 2 раза больше массы тележки. Скорость человека 2 м/с, а тележки – 1 м/с. Человек вскакивает на тележку и остается на ней. Какова скорость человека вместе с тележкой?

м/с

B.5. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 20 м/с. На какой высоте кинетическая энергия тела равна его потенциальной энергии?  
Сопротивлением воздуха пренебречь.

м

### Практическая работа №6 Решение задач по теме МКТ

Цель работы: закрепить знания об уравнении состояния идеального газа, научиться применять газовые законы при решении задач.

#### Основные понятия и законы

Состояние некоторой массы газообразного вещества характеризуют зависимыми друг от друга физические величины, называемые параметрами состояния. К ним относятся объём V, давление p, температура T.

Уравнение состояния идеального газа - уравнение, которое связывает между собой пять параметров идеального газа: массу (m), молярную массу (M), температуру (T), давление (P) и объем (V). Это уравнение было получено экспериментально, но т.к. трудно провести эксперимент с изменением пяти параметров, то первоначально были установлены частные газовые законы, когда три параметра фиксировались, и определялась взаимосвязь двух других.

Всякое изменение состояния тела (системы тел) называется термодинамическим процессом.

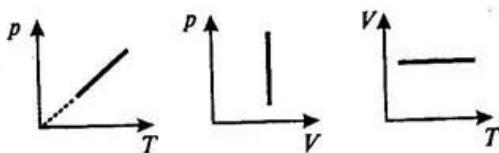
Для изучения и сравнения различных термодинамических процессов их изображают графически.

Изопроцессами называют термодинамические процессы, протекающие в системе с неизменной массой при постоянном значении одного из параметров состояния системы.

Процесс, протекающий в газе, при котором объём остаётся постоянным, называется изохорным.

Закон Шарля: давление газа данной массы при постоянном объёме возрастает линейно с увеличением температуры.

$$\frac{p}{T} = \text{const}; \quad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}; \quad (V=\text{const}, m=\text{const}).$$



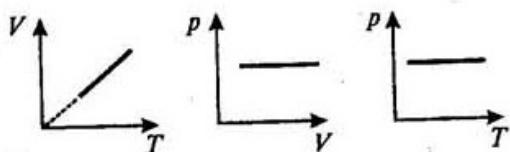
Процесс, протекающий в газе, при котором давление остаётся постоянным, называется изобарным.

Закон Гей-Люссака: объём газа данной массы при постоянном давлении возрастает линейно с увеличением температуры.

$$\frac{V}{T} = \text{const}; \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}; \quad (p = \text{const}, m = \text{const})$$

$$V = V_0(1 + \alpha T)$$

где  $t$  - температура газа по шкале Цельсия;  
 $V_0$ - объем данной массы газа при  $0^\circ\text{C}$ ;  
 $\alpha$  -термический коэффициент объемного расширения.



Процесс, протекающий в газе, при котором температура остаётся постоянным, называется изотермическим.

Закон Бойля-Мариотта: давление газа данной массы при постоянной температуре убывает с увеличением объема.

$$pV = \text{const}; \quad p_1V_1 = p_2V_2; \quad (T=\text{const}, m=\text{const}).$$



Для произвольной массы  $m$  газа с молярной массой  $M$  справедливо уравнение Менделеева - Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{M}RT, \text{ где}$$

$$R=8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}} \text{ молярная (универсальная) газовая постоянная.}$$

В другом виде уравнение состояния идеального газа можно записать в виде:

$$p=nkT,$$

где  $n=\frac{N}{V}$  концентрация газа, то есть число частиц в единице объема газа,

$N_A$  – постоянная Авогадро,  $k$  – постоянная Больцмана.

Закон Дальтона (давление смеси химически не взаимодействующих газов):

$$p = \sum_{i=1}^N P_i$$

где  $P_i$  - парциальное давление,  $N$  - количество газов в смеси.

Задание 1. Ответьте на вопросы:

1. Какой процесс называется изотермическим?
2. Какой процесс называется изобарным?
3. Какой процесс называется изохорным?
4. При каких условиях справедлив закон Бойля – Мариотта? Гей – Льюссака? Шарля?

### Методические указания

При решении задач на газовые законы, нужно установить изменяется ли масса газа при переходе из одного состояния в другое. Если масса газа остаётся постоянной, можно записать уравнение Клапейрона (уравнения объединённого газового закона). Если же при постоянной массе в данном процессе не изменяется какой-либо из параметров  $p$ ,  $V$  или  $T$  (давление, объем, температура), применяются уравнения соответствующего закона (Гей-Люссака, Шарля или Бойля-Мариотта). Если в двух состояниях масса газа разная, для каждого состояния записывают уравнение Менделеева - Клапейрона. Затем систему уравнений решают относительно искомой величины.

Для решения задач всех групп можно рекомендовать такую последовательность:

-внимательно проанализировать условие задачи, установить, какой газ участвует в процессе, какие параметры меняются, какие - остаются постоянными;

-сделать, если возможно, схематический чертеж, указав при этом, какие параметры характеризуют каждое состояние;

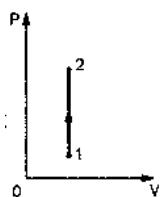
-особое внимание уделить параметрам, заданным неявно; иногда для нахождения объема газа нужно использовать формулы геометрии, для нахождения давления газа на жидкость - закон Паскаля или соотношение  $p = p_0 + \rho gh$

-для каждого состояния записать нужные соотношения и решить полученную систему уравнений относительно искомой величины.

В группу выделены графические задачи, для решения которых следует хорошо знать графическое изображение на плоскости всех изопроцессов в различных координатных осях.

### Примеры решения задач

Задача 1. Дан график изменения состояния идеального газа. Прочитать его и построить график этого процесса на диаграмме  $P, T$ ;  $V, T$ .



Решение:

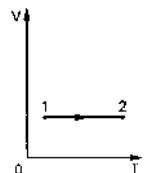
Процесс изменения состояния газа происходит при постоянном объеме:  $V=\text{const}$  – изохорный процесс. Давление возрастает  $P_2 > P_1$ .

Согласно закону Шарля:  $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ . Следовательно,  $T_2 > T_1$ , газ изохорно нагревается.

Построим этот процесс в координатных осях  $V, T$ .

Т.к. объем не изменяется, то изохора изображается прямой линией, параллельной оси  $O T$ .

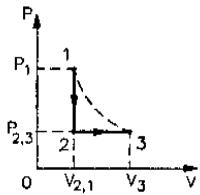
Учитывая, что в результате этого процесса температура увеличивается, расставим точки начала процесса – точка 1 – и окончание процесса – точка 2.



Изохорное нагревание в координатных осях  $P, T$  имеет следующий вид:



Задача 2. На рисунке изображены процессы изменения состояния некоторой массы газа. Назовите эти процессы. Изобразите графики процессов в системе координат  $P, T$  и  $V, T$ .



Решение:

- Газ переходит из состояния 1 в состояние 2.

$V=\text{const}$ , объём не меняется, процесс изохорный. Из графика видно, что давление газа уменьшается, т.е.  $P_1 > P_2$ . Согласно закону Шарля:  $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ , получаем, что температура уменьшается, т.е.  $T_1 > T_2$ .

Следовательно, переход газа из состояния 1 в 2 – изохорное охлаждение.

- Газ переходит из состояния 2 в состояние 3.

$P=\text{const}$  – давление не меняется. Объём газа увеличивается,  $V_3 > V_2$ .

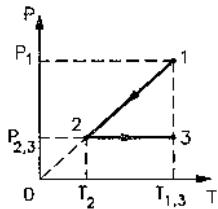
Согласно закону Гей-Люссака:  $\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3}$ , получаем, что  $T_3 > T_2$ . Это изобарное расширение газа.

По рисунку видно, что  $T_1 = T_3$  – точки лежат на изотерме, т.е. в состояниях 1 и 3; температура газа одинакова.

- Координатные оси  $P, T$ .

Переход 1→2. Отметим точки  $P_1$  и  $P_2$ , учитывая, что  $P_1 > P_2$ . Построим изохору 1-2. Отрезок 2-0 изображён пунктиром вблизи абсолютного нуля температур.

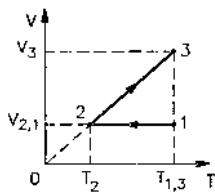
Переход 2→3. Изобарный процесс 2-3 изобразится прямой линией, параллельной оси  $OT$ , при этом температура газа увеличивается. Учтём, что температура газа в состояниях 1 и 3 одинакова, то  $T_1 = T_3$ . Поэтому точки 1 и 3 должны находиться на одной вертикальной линии.



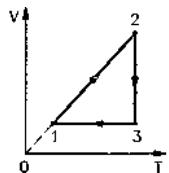
- Координатные оси  $V, T$ .

Переход 1→2. Изохорный процесс 1-2 изобразится прямой, параллельной оси  $OT$ , учитывая, что температура уменьшается. Отметим точку  $V_2$ , причём  $V_2 < V_3$ .

Переход 2→3. Изобара проходит через точки 0 и 2 до пересечения с прямой  $T_{1,3}-1$ . Часть изобары 0-2 изображена пунктиром. Учтём также, что  $T_1 = T_3$ .



Задача 3. На рисунке дан график изменения состояния идеального газа в координатных осях  $V$ ,  $T$ . Представьте этот процесс на графиках в координатных осях  $P$ ,  $V$  и  $P$ ,  $T$ .

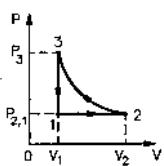


Решение:

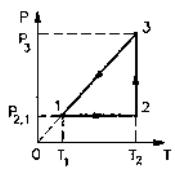
- 1)  $1 \rightarrow 2$ :  $P=\text{const}$  – изобарный процесс.  $V_1 < V_2$  – объём увеличивается.  $T_1 < T_2$  – температура увеличивается. Это изобарное расширение газа.
- $2 \rightarrow 3$ :  $T=\text{const}$  – изотермический процесс.  $V_2 > V_3$  – объём уменьшается.  $P_2 < P_3$  – давление увеличивается. Это изотермическое сжатие.
- $3 \rightarrow 1$ :  $V=\text{const}$ , объём не меняется, процесс изохорный.  $T_3 > T_1$  – температура уменьшается.  $P_3 > P_1$  – давление уменьшается. Это изохорное охлаждение газа.

- 2) Представим этот замкнутый процесс в координатных осях  $P$ ,  $V$ .

Изобарный процесс  $1 \rightarrow 2$  изобразится прямой линией, параллельной оси  $0V$ . Значения  $V_1$  и  $V_2$  определим по заданному графику. Значение  $P_1$  можно взять произвольно. Изотерма  $2 \rightarrow 3$  – это гипербола, при построении которой учтём, что объём газа уменьшается. Изохорный процесс при уменьшении температуры сопровождается уменьшением давления, поэтому на графике он изображён вертикальной линией  $3 \rightarrow 1$ , параллельной оси  $0P$ .



- 3) При построении графика в координатных осях  $P$ ,  $T$  сначала отметим точки  $T_1$  и  $T_2$ , значение  $P_1$  выберем произвольно. Изобарный процесс  $1 \rightarrow 2$  изобразится прямой линией, параллельной оси  $0T$ . Изотерма  $2 \rightarrow 3$  изобразится вертикальной линией, причём объём уменьшается, а давление увеличивается. Точка 3 должна находиться на изотерме  $T_2$  – 2 и на изохоре, часть которой  $0 \rightarrow 1$  изображена пунктиром. Продолжая прямую  $0 \rightarrow 1$  до пересечения с прямой  $T_2$  – 2, найдём точку 3. После этого ясно, что изохорный процесс изобразится отрезком  $3 \rightarrow 1$ .



**Задание 2. Решите количественные задачи**

Задача 1. На рисунке изображены в одной из трёх возможных систем координат ( $pV$ ,  $VT$ ,  $pT$ ) графики процессов с газом некоторой массы. Начертите графики процессов в двух других системах координат. Номера вариантов указаны под графиками.

Задача 2. На рисунке изображены в одной из трёх возможных систем координат ( $pV$ ,  $VT$ ,  $pT$ ) графики процессов с газом некоторой массы. Начертите график процесса, приведённый в вашем варианте, в двух других системах координат. Номера вариантов указаны под графиками.

Задача 3. Представьте заданный график в недостающих координатах ( $PV$ ,  $PT$ ,  $VT$ ).

## Практическая работа №7 Решение задач по теме «Электрическое поле»

Цель работы:

- закрепить умение применять формулу напряжённости электрического поля, закон Кулона, закон сохранения электрического заряда и принцип суперпозиции полей при решении задач;
- способствовать развитию умения логического мышления;
- способствовать развитию познавательных способностей, самостоятельности, ответственности.

### Основные понятия и формулы

Электростатика – раздел физики, изучающий неподвижные электрические заряды.

Электрический заряд – величина, характеризующая способность частицы вещества к электрическому взаимодействию.

Закон сохранения электрического заряда: в замкнутой (электрически изолированной) системе алгебраическая сумма зарядов всех частиц останется неизменной.

Закон Кулона: сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов прямо пропорциональна произведению модулей зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{\epsilon r^2}, \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}, \text{ где } k - \text{коэффициент пропорциональности в СИ};$$

$\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость среды;  $\epsilon_0$  - электрическая постоянная:

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{Ф/м}$$

Напряженностью в данной точке электростатического поля называют векторную физическую величину, равную отношению силы, действующей, в данной точке на точечный пробный заряд, к этому заряду.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0},$$

где  $F$  - сила, с которой поле действует на положительный точечный заряд  $q_0$ , помещенный в эту точку.

Принцип суперпозиции полей: если в данной точке пространства различные заряженные частицы создают поля, напряженности которых  $E_1, E_2, E_n$ , то результирующая напряженность поля в этой точке

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n.$$

Поверхностная плотность электрического заряда

$$\sigma = q/S, \text{ где } q - \text{заряд, равномерно распределенный по поверхности тела площадью } S.$$

Напряженность электростатического поля точечного заряда  $q$  на расстоянии  $r$  от него

$$E = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}, \text{ где } \epsilon - \text{диэлектрическая проницаемость среды.}$$

Напряженность электростатического поля бесконечной равномерно заряженной плоскости

$$E = \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0\epsilon}, \text{ где } \sigma - \text{поверхностная плотность электрического заряда.}$$

Напряженность электростатического поля металлической заряженной сферы радиуса  $R$  на расстоянии  $r > R$  от центра сферы

$$E = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}, \text{ где } q - \text{заряд сферы. Внутри сферы } (r < R) E = 0.$$

Задание 1. Ответьте на вопросы.

1. Что такое электрический заряд? Единица измерения электрического заряда?
2. Сформулируйте закон Кулона.

3. Сформулируйте закон сохранения электрического заряда.
4. Что называется напряжённостью электрического поля? Каково направление напряжённости электрического поля? Как рассчитывается напряжённость поля точечного заряда?
5. В чём состоит принцип суперпозиции полей?

### Методические указания

Задачи по электростатике удобно разделить на две группы. К первой группе можно отнести задачи на расчёт силовых и энергетических характеристик электростатического поля, ко второй – все задачи на равновесие либо движение заряженных тел (частиц) в электростатическом поле.

Задачи первой группы связаны с представлениями о существовании электростатического поля вокруг неподвижных заряженных тел и сводятся к нахождению основных характеристик поля. При их решении необходимо:

- 1) сделать рисунок, изобразив линии напряжённости электростатического поля и заряженные тела, помещённые в это поле;
- 2) при нахождении напряжённости поля в некоторой точке следует помнить, что это векторная величина и направлена по касательной к линии напряжённости. Если поле образовано точечным зарядом, то она направлена вдоль прямой, соединяющей заряд и точку, в которой определяют  $\vec{E}$ , от заряда, если  $q>0$ , и к заряду, если  $q<0$ ;
- 3) если поле создано системой точечных зарядов, то напряжённость поля рассчитывают согласно принципу суперпозиции:  $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$ , не забывая, что это геометрическая сумма. Следует правильно определить направление  $\vec{E}$ : для положительного точечного заряда вектор  $\vec{E}$  направлен по радиальной линии от заряда, для отрицательного – к заряду;
- 4) если при взаимодействии заряженных тел происходит перераспределение зарядов, то запишите закон сохранения зарядов.

Решение задач второй группы основано на применение законов механики с учётом закона Кулона и вытекающих из него следствий. Такие задачи рекомендуется решать в следующем порядке:

- 1) сделайте рисунок, изобразив все силы, действующие на заряженное тело, и запишите для него условие равновесия или основное уравнение динамики;
- 2) выразите силы электростатического взаимодействия через заряды или характеристики поля и подставьте эти выражения в исходное уравнение. При этом надо помнить, что между одноимёнными зарядами действуют силы отталкивания, а между разноимёнными – силы притяжения. При вычислении в формулу закона Кулона подставляют абсолютные значения зарядов, знаки зарядов учитывают только при определении направления сил. Если известна напряжённость поля, то силу можно определить по формуле  $\vec{F} = q\vec{E}$ , учитывая, что  $\vec{F} \uparrow\downarrow \vec{E}$ , если  $q>0$  и  $\vec{F} \uparrow\downarrow \vec{E}$ , если  $q<0$ ;
- 3) при рассмотрении движения заряженных частиц в электростатическом поле следует выяснить характер движения и использовать кинематические и динамические уравнения движения или закон сохранения энергии;
- 4) запишите вспомогательные формулы, а полученную систему уравнений решите относительно неизвестной величины.

### Примеры решения задач

Задача 1. Два одинаковых маленьких шарика, обладающих зарядом  $q_1=6 \text{ мКл}$  и зарядом  $q_2=-12 \text{ мКл}$ , находятся на расстоянии 60 см друг от друга. Определите силу

взаимодействия между ними. Чему будет равен заряд каждого шарика, если их привести в соприкосновение и затем разъединить?

Дано:

$$q_1 = 6 \text{ мКл}$$

$$q_2 = -12 \text{ мКл}$$

$$r = 60 \text{ см}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$$

Найти:

$$F - ?$$

$$q' - ?$$

СИ:

$$6 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$-12 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$0,6 \text{ м}$$



Решение:

Согласно закону Кулона сила взаимодействия:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

Разноимённые заряды притягиваются.

В результате соприкосновения шариков происходит перераспределение зарядов, после чего заряд каждого из шариков равен  $q' = \frac{q_1 + q_2}{2}$ . Заряд второго шарика увеличится на  $\Delta q_2 = q' - q_2$ ; заряд первого шарика уменьшится при этом на  $\Delta q_1 = q' - q_1$

Вычислим силу взаимодействия

$$F = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{6 \cdot 10^{-6} \cdot 12 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^{-12}} = 1,8 \text{ Н}$$

$$q' = \frac{6 \cdot 10^{-6} - 12 \cdot 10^{-6}}{2} = -3 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

Ответ:  $F = 1,8 \text{ Н}$ ;

$$q' = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}.$$

Задача 2. Маленький шарик массой  $2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ , подвешенный на тонкой шёлковой нити, несёт на себе заряд  $3 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$ . На какое расстояние снизу к нему следует поднести другой маленький шарик с зарядом  $5 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$ , чтобы натяжение нити уменьшилось в 2 раза?

Дано:

$$m_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$q_1 = 3 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$$

$$q_2 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$$

$$T_2 = \frac{T_1}{2}$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

Найти:

$$r - ?$$

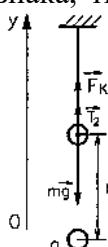
Решение:

На шарик, подвешенный на нити, действуют две силы: сила тяжести  $m\vec{g}$  и сила натяжения нити  $\vec{T}_1$ . Направления сил противоположны.

Шар неподвижен, следовательно,  $\vec{T}_1 = m\vec{g}$ .

Если на расстоянии  $r$  помещён заряд  $q_2$ , то на шарик действует ещё одна сила – Кулона, направленная вверх и равная  $F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$

Чтобы сила натяжения нити уменьшилась, заряд  $q_2$  должен быть того же знака, что и заряд  $q_1$ .



Запишем условие равновесия шарика в этом случае:

$$m\vec{g} + \vec{T}_2 + \vec{F}_k = 0$$

Выберем направление оси Оу вертикально вверх и запишем это уравнение в проекциях на ось Оу.

$$-mg + T_2 + F_k = 0$$

Подставим данные задачи:  $-mg + \frac{T_1}{2} + k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = 0$ , но  $T_1=mg$ , то

$$-mg + \frac{mg}{2} + k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = 0 \rightarrow r = \sqrt{\frac{2k \cdot |q_1| \cdot |q_2|}{mg}}$$

Ответ:  $r=37$  см

**Задача 3.** Два точечных заряда 6,7 и -13,3 нКл находятся на расстоянии 5 см друг от друга. Найти напряжённость электрического поля в точке, расположенной на расстоянии 3 см от положительного и 4 см от отрицательного.

Дано:

$$q_1 = 6,7 \text{ нКл}$$

$$q_2 = -13,3 \text{ нКл}$$

$$r = 5 \text{ см}$$

$$r_1 = 3 \text{ см}$$

СИ:

$$6,7 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$-13,3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$r_2 = 4 \text{ см}$$

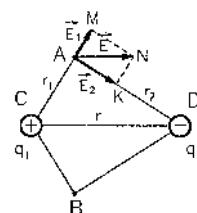
$$4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$$

Найти:

$$E?$$

Решение:



Согласно принципу суперпозиции полей напряжённость

$$\text{поля в точке } A \text{ равна } \vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

Т.к. заряды  $q_1$  и  $q_2$  точечные, то

$$E_1 = k \cdot \frac{|q_1|}{r_1^2}, \quad E_2 = k \cdot \frac{|q_2|}{r_2^2}$$

Из рисунка видно, что  $\angle MAK = 90^\circ$ ,  $AMNK$  – прямоугольник.

Рассмотрим треугольник  $AMN$ :  $\angle AMT = 90^\circ$ , сторона  $MN = |\vec{E}|$ , тогда модуль напряжённости поля в точке  $A$

$$\text{Найдём по теореме Пифагора: } E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$

$$E = k \cdot \sqrt{\frac{|q_1|^2}{r_1^4} + \frac{|q_2|^2}{r_2^4}}$$

$$E = 9 \cdot 10^9 \cdot \sqrt{\frac{(6,7 \cdot 10^{-9})^2}{(3 \cdot 10^{-2})^4} + \frac{(13,3 \cdot 10^{-9})^2}{(4 \cdot 10^{-2})^4}} = 100 \cdot 10^3 \frac{\text{н}}{\text{Кл}}$$

Ответ:  $E = 100 \text{ кН/Кл}$

## Задание 2. Решите количественные задачи.

**Задача 1.** Два неподвижных точечных заряда  $q_1$  и  $q_2$ , находясь на расстоянии  $r$  друг от друга, взаимодействуют с силой  $F$ . Определите значение величины, обозначенной «?». Во сколько раз изменится сила взаимодействия зарядов, если расстояние между ними увеличить в  $\alpha$  раз?

**Задача 2.** Двум одинаковым шарикам сообщили заряды  $q_1$  и  $q_2$ . Шарики приблизили друг к другу до соприкосновения и затем развели на расстояние  $l$ . При этом сила их

кулоновского взаимодействия составила F. Определите значение величины, обозначенной «?». Расстояние между шариками существенно больше их размеров.

Задача 3. В вершинах А и В прямоугольного треугольника ABC (угол С – прямой) находятся заряды  $q_A$  и  $q_B$ . Длины катетов AC и BC равны соответственно  $a$  и  $b$ . Напряжённость электрического поля в вершине С равна E. Определите значение величины, обозначенной «?».

Задача 4. Шарик массой  $m$  и зарядом  $q$  подвешен на тонкой невесомой нити. Под ним расположен заряд  $q_0$  на расстоянии  $r$ . Сила натяжения нити равна  $T$ . Определите значение величины, обозначенной «?».

## Практическая работа №8 Решение задач по теме «Законы постоянного тока»

Цель работы: закрепить умение применять законы параллельного и последовательного соединения проводников при решении задач.

### Основные законы и формулы

Электрический ток – это упорядоченное движение заряженных частиц. За направление тока принимают направление движения положительно заряженных частиц.

Сила постоянного электрического тока:

$$I = \frac{q}{t}$$

где  $q$  – заряд, переносимый через поперечное сечение проводника за время  $t$ .

Закон Ома для участка цепи, не содержащего ЭДС:

$$I = \frac{U}{R}$$

где  $I$  – сила тока,  $U$  – напряжение на этом участке;  $R$  – сопротивление.

Электрическое сопротивление проводника длиной  $l$  с постоянной площадью поперечного сечения  $S$

$$R = \frac{\rho l}{S},$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление проводника.

Последовательным называется такое соединение резисторов, когда конец одного проводника соединяется с началом другого и т.д. При последовательном соединении сила тока на любом участке электрической цепи одинакова

$$I = I_1 = I_2$$

Напряжение при последовательном соединении равно сумме напряжений на отдельных участках цепи

$$U = U_1 + U_2$$

Общее сопротивление при последовательном соединении проводников

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n,$$

где  $R_1, R_2, \dots, R_n$  – сопротивления отдельных проводников.

Если  $R_1 = R_2 = \dots = R_n$ , то  $R = n \cdot R_1$

Параллельным называется такое соединение резисторов, когда одни концы всех резисторов соединены в один узел, другие концы – в другой узел. Узлом называется точка разветвлённой цепи, в которой сходятся более двух проводников.

При параллельном соединении

$$U = U_1 = U_2, \quad I = I_1 + I_2$$

Общее сопротивление при параллельном соединении проводников удовлетворяет соотношению

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Если  $R_1 = R_2 = \dots = R_n$ , то  $R = R_1 / n$ .

Задание 1. Ответьте на вопросы.

1. Что называют электрическим током? Что принимают за направление электрического тока?
2. Что такое сила тока? Назовите единицу измерения силы тока.
3. От чего зависит электрическое сопротивление проводника?
4. Сформулируйте закон Ома для участка цепи.
5. Какое соединение называется последовательным? параллельным?
6. Как найти общее сопротивление двух резисторов, соединённых последовательно? параллельно?

## Методические указания

При решении задач рекомендуется:

- 1) начертить схему и указать на ней все элементы цепи: источники тока, резисторы и др., установить предварительно, о какой цепи говорится в условии задачи: замкнутой или о каком-либо участке цепи;
- 2) установить, какие элементы цепи включены последовательно, какие параллельно;
- 3) на каждом участке цепи определить направления токов и записать для каждой точки разветвления (если они есть), уравнения токов и уравнения, связывающие напряжения на участках цепи;
- 4) используя закон Ома, установить связь между токами, напряжениями;
- 5) решить полученную систему уравнений относительно искомой величины.

## Примеры решения задач

Задача 1. Два проводника сопротивлением  $R_1=2 \text{ Ом}$ ,  $R_2=3 \text{ Ом}$  соединены последовательно. Сила тока в цепи 1 А. Определить сопротивление цепи, напряжение на каждом проводнике и полное напряжение всего участка цепи.

Дано:

$R_1=2 \text{ Ом}$  Сила тока во всех последовательно соединенных проводниках одна и  $R_2=3 \text{ Ом}$  та же и равна силе тока в цепи, т.е.:  $I_1=I_2=I=1 \text{ А}$ .

$I=1 \text{ А}$  Общее сопротивление цепи:  $R=R_1+R_2$ ,  $R=2 \text{ Ом}+3 \text{ Ом}=5 \text{ Ом}$ .

Найти: Напряжение на каждом из проводников найдем по закону Ома:

$R - ?$   $U_1=IR_1$ ;  $U_1=1 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом}=2 \text{ В}$ ;

$U_1 - ?$   $U_2=IR_2$ ;  $U_2=1 \text{ А} \cdot 3 \text{ Ом}=3 \text{ В}$ .

$U_2 - ?$  Полное напряжение в цепи:

$U - ?$   $U=U_1+U_2$ , или  $U=IR$

$U=2 \text{ В}+3 \text{ В}=5 \text{ В}$ , или  $U=1 \text{ А} \cdot 5 \text{ Ом}=5 \text{ В}$ .

Ответ:  $R=5 \text{ Ом}$ ,  $U_1=2 \text{ В}$ ,  $U_2=3 \text{ В}$ ,  $U=5 \text{ В}$ .

Решение:

Задача 2. В осветительную сеть комнаты включены две электрические лампы, сопротивления которых 200 и 300 Ом. Напряжение в сети 120 В. Определить силу тока в каждой лампе, силу тока в подводящих проводах (т.е. силу тока до разветвления), общее сопротивление участка, состоящего из двух ламп.

Дано:

$R_1=200 \text{ Ом}$  Напряжение на каждой лампе равно напряжению в сети, так

$R_2=300 \text{ Ом}$  как лампы соединены параллельно, т.е.  $U_1=U_2=120 \text{ В}$ . Силу тока в

$U=120 \text{ В}$  В каждой лампе определяем, пользуясь законом Ома:  $I = \frac{U}{R}$ .

Найти:  $I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{120 \text{ В}}{200 \text{ Ом}} = 0,6 \text{ А}$

$I_1 - ?$   $I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{120 \text{ В}}{300 \text{ Ом}} = 0,4 \text{ А}$

$I_2 - ?$  Сила тока в подводящих проводах равна сумме сил тока в лампах:

$R - ?$   $I=I_1+I_2$ ,  $I=0,6 \text{ А}+0,4 \text{ А}=1 \text{ А}$ .

Решение:

Общее сопротивление участка цепи, состоящего из двух параллельно соединенных ламп, находим по закону Ома:

$R=U/I$ ,  $R=120 \text{ В}/1 \text{ А}=120 \text{ Ом}$ .

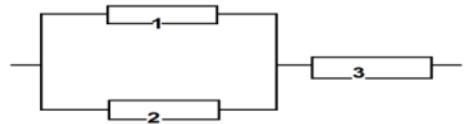
Ответ:  $I_1=0.6$  А,  $I_2=0.4$  А,  $I=1$  А,  $R=120$  Ом.

Задание 2. Решите количественные задачи:

Задача 1. Три резистора сопротивлениями  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  соединены последовательно так, что общее сопротивление данного участка цепи составляет  $R$ , а значения напряжения на резисторах и силы тока в них равны  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  и  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  соответственно. Определите значения величин, обозначенных «?».

Задача 2. Три резистора сопротивлениями  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  соединены параллельно так, что общее сопротивление данного участка цепи составляет  $R$ , а значения напряжения на резисторах и силы тока в них равны  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  и  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  соответственно. Определите значения величин, обозначенных «?».

Задача 3. В данной схеме  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  – сопротивления соответствующих резисторов, а  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$ ;  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_3$  – силы токов и напряжения на соответствующих участках. Определите значения величин, обозначенных «?».



## Практическая работа №9 Решение задач по теме «Магнитное поле.

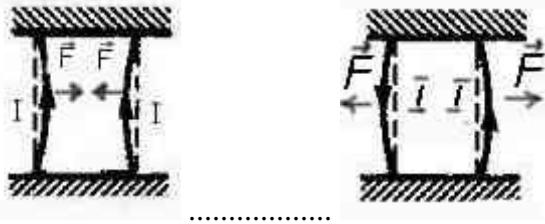
### Электромагнитная индукция»

Цель работы: углубить и закрепить понятия о магнитной индукции, силе Ампера, уметь применять законы магнитного взаимодействия параллельных токов и Ампера при решении задач.

#### Основные понятия и формулы

Магнитное поле - это особый вид материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между движущимися электрически заряженными частицами.

Проводники с током действуют друг на друга. Токи направлены противоположно – проводники при этом отталкиваются. Токи сонаправлены – при этом проводники притягиваются. При взаимодействии двух проводников с током, возникают силы, которые отталкивают или притягивают проводники



Взаимодействие токов вызывается их магнитными полями: магнитное поле одного тока действует силой на другой ток и наоборот.

Опыты показали, что модуль силы, действующей на отрезок длиной  $\Delta l$  каждого из проводников, прямо пропорционален силам тока  $I_1$  и  $I_2$  в проводниках, длине отрезка  $\Delta l$  и обратно пропорционален расстоянию  $R$  между ними:

$$F = k \frac{I_1 I_2 \Delta l}{R}$$

В Международной системе единиц СИ коэффициент пропорциональности  $k$  принято записывать в виде:

$$k = \mu_0 / 2\pi,$$

где  $\mu_0$  – постоянная величина, которую называют магнитной постоянной. Введение магнитной постоянной в СИ упрощает запись ряда формул. Ее численное значение равно

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2 \approx 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Н/А}^2.$$

Формула, выражающая закон магнитного взаимодействия параллельных токов, принимает вид:

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2 \Delta l}{R}$$

Магнитным моментом контура с током называется вектор  $\vec{P}_m$ , равный

$$\vec{P}_m = I \cdot S \cdot \vec{n}$$

где  $I$  — сила тока в контуре;  $S$  — площадь поверхности, охватываемой контуром;  $\vec{n}$  — единичный вектор нормали к плоскости контура.

Направление магнитного момента совпадает с направлением индукции магнитного поля, создаваемого в центре контура текущим по нему током.

На контур с током, помещенный в магнитное поле, действует пара сил с вращательным моментом

$$M = p_m \cdot B \cdot \sin \alpha,$$

где  $p_m$  — модуль магнитного момента контура с током;  $B$  — магнитная индукция;  $\alpha$  — угол между направлением вектора индукции и нормали к плоскости контура.

В однородном магнитном поле на малый отрезок проводника с током действует сила Ампера, модуль которой определяется законом Ампера:

$$F_A = I \cdot B \cdot \Delta l \cdot \sin \alpha,$$

где  $I$  — сила тока в проводнике;  $B$  — магнитная индукция;  $\alpha$  — угол между направлением тока и вектора магнитной индукции;  $\Delta l$  — длина проводника.

Направление силы Ампера определяется по правилу левой руки: если ладонь левой руки расположить так, чтобы перпендикулярная к проводнику составляющая вектора магнитной индукции  $\vec{B}$  входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца указывали бы направление тока, то отогнутый  $90^\circ$  большой палец покажет направление действующей на проводник силы Ампера.

Задание 1. Ответьте на вопросы:

1. Что такое магнитное поле?
2. Какими величинами описывается магнитное поле?
3. Что называется линией магнитной индукции?
4. Какая сила называется силой Ампера? Чему она равна?
5. По какому правилу находят направление силы Ампера?

### Методические указания

При решении задач необходимо:

- 1) сделать схематический чертёж, указав на нём линии индукции магнитного поля. Часто линии индукции изображают в плоскости чертежа, в некоторых случаях удобно их изображать перпендикулярно плоскости чертежа («» - от наблюдателя, «» - к наблюдателю);
- 2) изобразить контур с током, находящийся в этом поле;
- 3) используя правило левой руки, определить направление силы Ампера, действующих на каждый элемент контура, и изобразить их на чертеже;
- 4) записать формулы для сил Ампера или врачающего момента, создаваемого этими силами и найти из них искомую величину;
- 5) если в задаче рассматривается равновесие проводника, то кроме силы Ампера, нужно указать все остальные силы, действующие на проводник, и записать условия его равновесия или основное уравнение динамики и, спроектировав векторные величины на оси  $x$  и  $y$ , найти искомую величину.

Задача 1. Проводник длиной 2 м в форме квадрата расположен в магнитном поле с индукцией 2 Тл. Определить момент сил, действующих на проводник, если по нему течет ток 4 А, а силовые линии магнитного поля параллельны плоскости квадрата.

Дано:

Решение.

$$l = 2 \text{ м}$$

Вращательный момент, действующий на контур с током в

$$B = 2 \text{ Тл}$$

магнитном поле, равен

$$I = 4 \text{ А}$$

$M = p_m \cdot B \cdot \sin \alpha$ . В данной задаче  $\alpha = 90^\circ$ , т.к. вектор нормали к плоскости

| | Найти:

контура перпендикулярен вектору  $\vec{B}$ . Магнитный момент равен

$$M - ?$$

$$p_t = I \cdot S,$$

где  $S$  — площадь квадрата.

Отсюда

$$M = I \cdot \left( \frac{l}{2} \right)^2 \cdot B = 2 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Ответ:  $M = 2 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Задача 2. Проводник длиной 20 см и массой 5 г подвешен горизонтально на двух нитях в однородном магнитном поле. (Направление вектора магнитной индукции приведено на рисунке.) Какой величины ток надо пропустить по проводнику, чтобы нити разорвались, если каждая из них выдерживает нагрузку до 0,04 Н? Индукция магнитного поля 0,5 Тл.

Дано:

$$l = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$m = 5 \text{ г} = 0,005 \text{ кг}$$

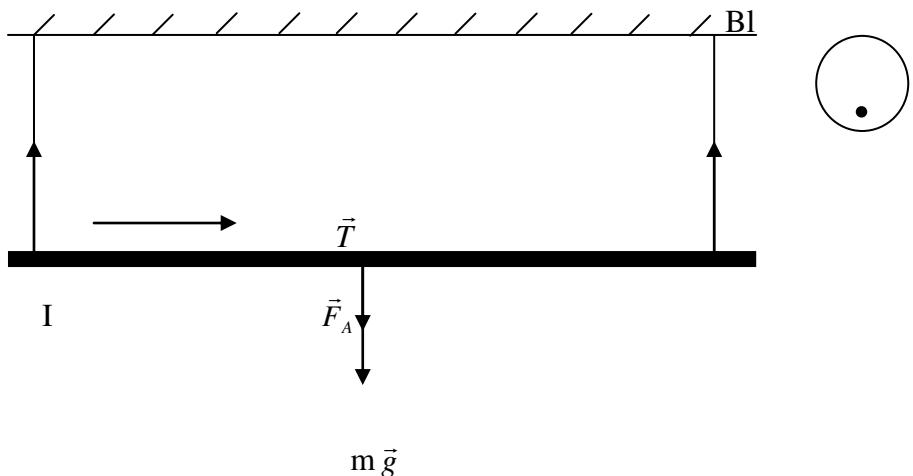
$$T = 0,04 \text{ Н}$$

$$B = 0,5 \text{ Тл}$$

Найти:

$$I - ?$$

Решение.



Чтобы нити разорвались, сила Ампера должна быть направлена вниз. В соответствии с правилом левой руки ток направлен так, как показано на рисунке. На проводник с током действует четыре силы и, так как он находится в равновесии,

$$m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{T} + \vec{T} = 0$$

В проекциях на вертикальную ось

$$F_A + mg = 2T$$

Подставляя выражение для силы Ампера и учитывая, что угол между направлением тока и вектором магнитной индукции равен  $90^\circ$  окончательно получим:

$$I = \frac{2T - mg}{Bl} = 0,3 \text{ А.}$$

Ответ:  $I \geq 0,3 \text{ А.}$

Задача 3. На проводник длиной 50 см, находящийся в однородном магнитном поле с магнитной индукцией 0,1 Тл, действует сила 0,05 Н. Вычислите угол между направлением силы тока и вектором магнитной индукции, если сила тока равна 2 А.

Дано:

$$l=50 \text{ см}$$

$$B=0,1 \text{ Тл}$$

$$F_A=0,05 \text{ Н}$$

СИ:

$$0,5 \text{ м}$$

Решение:

На проводник в магнитном поле действует сила Ампера, модуль которой:

$$F_A = I \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha$$

$$I=2 \text{ A}$$

$$\text{Отсюда } \sin \alpha = \frac{F_A}{I \cdot l \cdot B}$$

Найти:

$$\sin \alpha = \frac{0,05}{2 \cdot 0,5 \cdot 0,1} = 0,5.$$

$\alpha$ -?

Следовательно,  $\alpha=30^0$

Ответ:  $\alpha=30^0$

Задание 2. Решите количественные задачи.

Задача 1. По прямоугольной рамке течет ток  $I$ . Длина рамки  $L$ , ширина  $d$ . Рамка помещена в магнитное поле с индукцией  $B$ . На рамку действует вращающий момент пары сил  $M$ . Определите значения величин, обозначенных «?».

Задача 2.  $I_1$  и  $I_2$  - сила тока в двух параллельных проводниках, расстояние между которыми  $R$ .  $L$  – длина проводников,  $B_1$  и  $B_2$  - магнитная индукция магнитных полей на расстоянии  $R$  от соответствующих проводников,  $F$  – сила взаимодействия проводников, ( $\mu = 1$ ). Определите значение величины, обозначенной «?».

Задача 3. Сила тока в горизонтально расположенным проводнике длиной  $L$  и массой  $m$  равна  $I$ . Если поместить проводник в магнитное поле, то при некотором направлении вектора магнитной индукции, в случае когда индукция магнитного поля составит  $B$ , сила тяжести будет уравновешена силой Ампера. Определите значение величины, обозначенной «?». Сделайте чертёж к задаче, укажите на чертеже направление тока и направление вектора магнитной индукции, соответствующие условию задачи.

Задача 4. Проводник длиной  $L$ , по которому течет ток  $I$  помещен в магнитное поле с индукцией  $B$ . Под действием силы Ампера  $F_A$  он перемещается на расстояние  $X$ , при этом поле совершают работу  $A$ . ( $I \perp B$ ) Определите значение величины, обозначенной «?».

Задача 5. Проводник длиной  $L$  и массой  $m$ , по которому течет ток  $I$  помещен в магнитное поле с индукцией  $B$ . Проводник подвешен на невесомых нитях. Натяжение нитей равно нулю. Определите значение величины, обозначенной «?».

## Практическая работа №10 Решение задач по теме «Механические колебания. Упругие волны»

Цель работы: применить формулы для нахождения характеристик гармонических механических колебаний, объяснить качественные задачи, основываясь на закономерностях волновых и колебательных движений.

### Методические указания

Приведём общий алгоритм решения расчётной задачи по физике.

1. Прочтите текст физической расчётной задачи.
2. Запишите кратко условие и требование задачи с помощью общепринятых условных обозначений.
3. Проверить все ли физические величины приведены в систему единиц.
4. выполнить четкий, понятный рисунок, не загромождая его лишними, не принципиальными деталями; если задача может быть решена без рисунка, его делать не следует (в целях экономии времени).
5. Составьте физические формулы, уравнения в соответствии с содержанием расчётной задачи и её требованиям.
6. Составьте рациональный план решения задачи
7. Продумайте, какие дополнительные данные можно извлечь из формул, уравнений для реализации требований задачи.
8. Произведите все необходимые в данной задаче действия с заданной математической точностью.
9. Запишите полученный ответ.

Пример решения задачи: Вычислите массу груза подвешенного на пружине жесткостью 250 Н/м, если он совершает 20 колебаний за 16 с.

Анализ условия. Количественная сторона задачи - дано время 16с и число колебаний 20. Коэффициент жесткости пружины 250 Н\м. Вычислить массу груза. Качественная сторона задачи – пружинный маятник совершает колебания.

### Алгоритм решения:

- 1) Пружинный маятник совершает колебания с определенной частотой и периодом
- 2) Зная период колебания пружинного маятника (Формулу Томсона) можно выразить массу груза.

Дано:  
 $K = 250 \text{ Н/м}$   
 $t=16\text{с}$   
 $N=20$

Н а й т и:  
 $m=?$

Решение:

$1. v = N/t, \quad T=1/v$	$2. \text{Формула Томсона } T=2\pi$
	$3. \text{Приравняем}$
	$4. \text{Чтобы избавиться от корня возведем левые и}$
	$\text{правые части в квадрат}$

5. Выразим из формулы массу груза	
6. Подставляем числа и считаем $\nu = N/t = 20/16 = 1,25 \text{ Гц}$ , $m = 1 \cdot 250 / 1,25^2 = 4 \cdot 3,14^2$ $= 250 / 1,56 \cdot 4 \cdot 9,86 = 5 \text{ кг}$	

Ответ: 5 кг

Решите следующие задачи самостоятельно.

1 вариант.

1. Рассчитайте период колебаний иглы, если вал электрической швейной машины вращается с частотой 920 об./мин. За один оборот вала игла совершает одно вынужденное колебание.
2. Игла швейной машинки совершает гармонические колебания по закону  $X = 20 \sin \pi t$ . Определите амплитуду, период колебания и частоту.
3. Вычислите частоту свободных колебаний тела на пружине, если тело массой 200 г. совершает колебания на пружине, жесткость которой 2 кН/м.
4. Вычислите длину ультразвукового генератора в алюминии, если частота ультразвука равна 3 М Гц, а скорость в алюминии  $5,1 \cdot 10^3 \text{ м/с}$

2 вариант.

1. Вычислите частоту колебания иглы швейной машинки, совершившей 30 полных колебаний за 60 с.
2. Игла швейной машинки совершает гармонические колебания по закону  $X = 100 \sin 2\pi t$ . Определите амплитуду, период колебания и частоту.
3. Вычислите период свободных колебаний тела на пружине, если тело массой 500 г. совершает колебания на пружине, жесткость которой 5 кН/м.
4. Вычислите длину инфразвука в воздухе, если скорость звука в воздухе равна 340 м/с

Приведём общий алгоритм решения качественной задачи по физике

- 1) Прочтите текст физической задачи.
- 2) Проанализируй условие задачи.
- 3) Выпиши перечень явлений, о которых идет речь в задаче и их взаимосвязи.
- 4) Запиши основные теоретические положения, необходимые для решения задачи (качественная сторона задачи).
- 5) Проанализируй и сделай сравнения характеристик явлений.
- 6) Сделай вывод.

Пример решения задачи: Объясните, кто в полете машет крыльями чаще: муха или комар? Анализ условия. Качественная сторона задачи – во время движения насекомые совершают колебательные движения крыльями, тем самым создавая звуковую волну. Чем выше частота колебаний, тем выше звук. Значит, комар чаще машет крыльями.

Решите следующие задачи самостоятельно.

1 вариант.

5. Объясните, почему при проведении влажным пальцем по стеклу получается звук.
6. Объясните на какую величину - частоту или длину волны реагирует человеческое ухо.

2 вариант.

5. Объясните, почему звуковые волны распространяются быстрее в соленой воде, чем в пресной.  
 6. Объясните, в какой машине меньше трясет - в пустой или нагруженной.

### **Практическая работа №11 Решение задач по теме «Электромагнитные колебания»**

Цель работы: закрепить умение решать задачи на вычисление индуктивного, емкостного сопротивлений, действующего значения силы тока и его амплитудного значения.

#### **Основные понятия и формулы**

Электромагнитные колебания – это периодические изменения со временем электрических и магнитных величин (заряда, силы тока, напряжения, напряжённости, магнитной индукции и др.) в электрической цепи.

Период свободных электромагнитных колебаний в контуре

$$T=2\pi\sqrt{LC}$$
 - формула Томсона,

где  $\omega=\frac{1}{\sqrt{LC}}$  - циклическая частота свободных электромагнитных колебаний.

Если в CL - контур последовательно с L, C и R включить источник переменного напряжения, то в цепи возникнут вынужденные электрические колебания. Такие колебания принято называть переменным электрическим током. Источником переменного тока является генератор переменного тока, в основе работы которого лежит явление электромагнитной индукции.

Если проволочную рамку площадью S поместить в однородное магнитное поле индукции B и начать вращать рамку вокруг её оси, то за счет явления электромагнитной индукции в рамке возникает ЭДС, а если к концам рамки подключить резистор, то через рамку и резистор потечет ток; и ток, и ЭДС будут переменными.

$$\Phi = BS \cos \alpha; \alpha = \omega t \quad \Phi = BS \cos \omega t$$

$$\varepsilon = -(\Phi)' = B \cdot S \omega \cos \omega t$$

В цепь переменного тока можно включать три вида нагрузки — конденсатор, резистор и катушку индуктивности. Резистор оказывает переменному току такое же сопротивление, как и постоянному. Сопротивление резистора не зависит от частоты. Ток, текущий через резистор, меняется синхронно с напряжением резистора.

$$I = I_0 \cos \omega t; U_R = I_0 R \cos \omega t = U_0 R \cos \omega t$$

Конденсатор оказывает переменному току сопротивление, которое можно посчитать по формуле:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

Ток, текущий через конденсатор, по фазе опережает на напряжение на  $\pi/2$  или на четверть периода, а напряжение отстает от тока на такой же фазовый угол.

$$I = I_0 \cos \omega t; U_C = I_0 / \omega C \cos (\omega t - \pi/2)$$

Катушка индуктивности оказывает переменному току сопротивление, которое можно посчитать по формуле

$$X_L = \omega L$$

Ток, текущий через катушку индуктивности, по фазе отстает от напряжения на  $\pi/2$  или на четверть периода. Напряжение опережает ток на такой же фазовый угол,

$$I = I_0 \cos \omega t; I = I_0 \omega \cdot L \cos (\omega t + \frac{\pi}{2})$$

Меняя соотношения между индуктивностью, емкостью и частотой, можно менять амплитуду силы тока в цепи:

$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

Наибольшего значения сила тока достигает тогда, когда  $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ , тогда  $I_0 = \frac{U_0}{R}$ . В

этом случае говорят, что в цепи наступает резонанс напряжений.

Задание 1. Ответьте на вопросы.

1. Какие колебания называют электромагнитными?
2. Что называют переменным электрическим током?
3. Из каких элементов состоит колебательный контур?
4. От чего зависит период электромагнитных колебаний?
5. Чему равно ёмкостное сопротивление?
6. Чему равно индуктивное сопротивление?

### Методические указания

Решение задач об электромагнитных колебаниях в колебательном контуре связано с нахождением периода (или собственной частоты) колебаний контура с использованием формулы Томсона. При решении некоторых задач используются законы сохранения и превращения энергии в колебательном контуре.

- 1) Записать заданное уравнение и уравнение гармонических колебаний в общем виде;
- 2) сопоставив эти уравнения, определить величины, характеризующие колебания (амплитуду, частоту, период, фазу) и другие величины в соответствии с условием задачи;
- 3) в некоторых задачах, наоборот, по известным величинам, характеризующим колебательную систему, следует записать уравнение гармонических колебаний.

При решении задач по теме «Переменный ток» следует помнить, что это вынужденные электрические колебания, необходимо учитывать отличие действующего значения силы тока (напряжения) от амплитудного.

### Примеры решения задач

Задача 1. Заряд на пластинах конденсатора колебательного контура изменяется с течением времени  $t$  в соответствии с уравнением  $q = 50 \cos 100\pi t$ . Найти период и частоту колебаний в контуре, циклическую частоту, амплитуду колебаний заряда и амплитуду колебаний силы тока. Записать уравнение  $i = i(t)$ , выражающее зависимость силы тока от времени.

Дано:

$$q = 50 \cos 100\pi t$$

Найти:

$T$ -?

$v$ -?

$\omega$ -?

Решение:

Запишем уравнение изменения заряда с течением времени и сравним его с данным уравнением:

$$q = q_m \cos \omega t, \quad q = 50 \cos 100\pi t.$$

Из уравнения видно, что множитель перед косинусом является амплитудой заряда  $q_m = 50$  Кл; циклическая частота  $\omega = 100\pi$  рад/с

По определению циклической частоты  $\omega = 2\pi v = \frac{2\pi}{T}$ , отсюда

$$T = \frac{2\pi}{\omega}; \text{ частота колебаний } v = \frac{1}{T} \text{ или } v = \frac{\omega}{2\pi}. \text{ Следовательно,}$$

$$T = \frac{2\pi}{100\pi} = 0,02 \text{ с}; \quad v = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ Гц.}$$

Зависимость силы тока от времени имеет вид:  $i = q' = -q_m \omega \cdot \sin \omega t$  или  $i = -50 \cdot 100\pi \cdot \sin 100\pi t = -5000\pi \cdot \sin 100\pi t$

Тогда амплитуда силы тока  $I_m = 5000\pi$  А.

Ответ:  $q_m = 50$  Кл;  $T=0,02$  с;  $v=50$  Гц;  $\omega = 100\pi$  рад/с;  
 $I_m = 5000\pi A$ ;  $i = -5000\pi \cdot \sin 100\pi t$ .

Задача 2. Индуктивность и ёмкость колебательного контура соответственно равны 70 Гн и 70 мкФ. Определить период колебаний в контуре.

Дано:	СИ:	Решение:
$L=70$ Гн		Период колебаний определим по формуле Томсона:
$C=70$ мкФ	$70 \cdot 10^{-6}$ Ф	$T=2\pi\sqrt{LC}$
Найти:		Частоту колебаний найдём по формуле $v = \frac{1}{T}$
$T$ -?		$T = 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{70 \cdot 70 \cdot 10^{-6}} \approx 0,44$ с.
$v$ -?		$v = \frac{1}{0,44} \approx 2,3$ Гц.
Ответ: $T \approx 0,44$ с; $v \approx 2,3$ Гц.		

Задача 3. Каково индуктивное сопротивление проводника с индуктивностью 0,05 Гн в цепи переменного тока с частотой 50 Гц?

Дано:	Решение:
$L=0,05$ Гн	По определению индуктивное сопротивление $X_L=\omega L$ , где
$v=50$ Гц	$\omega=2\pi v$ , тогда $X_L=2\pi v L$
Найти:	$X_L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,05 \approx 15,7$ Ом
$X_L$ -?	
Ответ: $X_L \approx 15,7$ Ом.	

Задача 4. Конденсатор включён в цепь переменного тока стандартной частоты. Напряжение в сети 220 В. Сила тока в цепи этого конденсатора 2,5 А. Какова ёмкость конденсатора?

Дано:	Решение:
$U=220$ В	Стандартная частота переменного тока 50 Гц.
$I=2,5$ А	Воспользуемся законом Ома для участка цепи и определим сопротивление конденсатора в цепи переменного тока: $X_C = \frac{U}{I}$ .
Найти:	По определению сопротивление конденсатора $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi v C}$ . Отсюда
$C$ -?	$C = \frac{1}{2\pi v X_C}$ .
С учётом ёмкостного сопротивления $C = \frac{I}{2\pi v U}$ .	
$C = \frac{2,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 220} = 36 \cdot 10^{-6} = 36$ мкФ.	
Ответ: $C=36$ мкФ.	

Задание 2. Решите количественные задачи.

Задача 1. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L$  и конденсатора ёмкостью  $C$ . Период колебаний в контуре равен  $T$ , частота колебаний  $v$ . Максимальные

значения силы тока в цепи, напряжения и заряда на конденсаторе равны соответственно  $I_m$ ,  $U_m$  и  $q_m$ . Максимальные значения энергии электрического и магнитного поля равны  $W_{Em}$  и  $W_{Bm}$ . Определите значения величины, обозначенной «?».

Задача 2. Уравнение зависимости заряда на обкладках конденсатора колебательного контура от времени имеет вид:  $q = q_m \cos(\omega_0 t)$ ; где  $q$  - заряд в момент времени  $t$ ,  $q_m$  - максимальный заряд,  $\omega_0$  - циклическая частота колебаний. Максимальная сила тока в цепи  $I_m$ , период колебаний  $T$ , Зависимость силы тока в контуре от времени описывается уравнением  $I(t)$ . Определите значения величин, обозначенных «?».

Задача 3. На резистор сопротивлением  $R$  подано переменное напряжение, изменяющееся с течением времени по закону  $U=U(t)$ . Определите действующие значения напряжения и силы тока, а также значение мгновенной мощности в момент времени  $t$ .

Задача 4. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C$  и катушки индуктивностью  $L$ , частота переменного тока в цепи  $\omega$ . Активное сопротивление в цепи  $R$ , индуктивное  $X_L$ , ёмкостное  $X_C$ , полное  $Z$ . Максимальное значение силы тока  $I_m$ , напряжения  $U_m$ , резонансная частота  $\omega_p$ . Определите значения величин, обозначенных «?».

## Практическая работа №12 Решение задач по теме «Электромагнитные волны»

Цель работы: закрепить умение применять формулы Томсона и длины волны при решении задач.

### Основные понятия и формулы

Совокупность неразрывно связанных друг с другом изменяющихся электрического и магнитного полей представляет собой электромагнитное поле.

Распространяющиеся в пространстве периодически изменяющееся электромагнитное поле и представляет собой электромагнитную волну.

Скорость распространения электромагнитного поля в вакууме равна скорости света  $c=3 \cdot 10^8$  м/с.

Период электромагнитной волны (частота) равен периоду (частоте) колебаний источника электромагнитных волн. Для электромагнитных волн справедливо соотношение

$$\lambda = \frac{c}{\nu}; \quad \nu = \frac{c}{\lambda}.$$

$\omega = 2\pi\nu$  - циклическая частота.

Задание 1. Ответьте на вопросы.

- Что представляет собой электромагнитное поле?
- Что такое электромагнитная волна?
- Чему равна длина электромагнитной волны?
- Чему равна скорость распространения электромагнитной волны?

### Примеры решения задач

Задача 1. Определите частоту и длину волны радиопередатчика, если период его электрических колебаний равен  $10^{-6}$  с.

Дано:

$$T = 10^{-6} \text{ с}$$

Решение:

$$\text{Частота колебаний и период связаны соотношением: } \nu = \frac{1}{T}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$\text{Длина волны радиопередатчика равна: } \lambda = \frac{c}{\nu} \text{ или } \lambda = c \cdot T.$$

Найти:

$$\nu - ?$$

Вычислим:

$$\nu = \frac{1}{10^{-6}} = 10^6 \text{ Гц} = 1 \text{ МГц.}$$

$$\lambda - ?$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{10^6} = 300 \text{ м.}$$

Ответ:  $\nu = 1 \text{ МГц}$ ,  $\lambda = 300 \text{ м.}$

Задача 2. Определить электроёмкость конденсатора, включенного в колебательный контур, индуктивность которого  $1,5 \text{ мГн}$ , если он излучает электромагнитные волны длиной  $500 \text{ м}$ .

Дано:

$$L = 1,5 \text{ мГн}$$

СИ:

$$1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

Решение:

По определению длины волны  $\lambda = c \cdot T$ , где  $T = 2\pi\sqrt{LC}$

$$\lambda = 500 \text{ м}$$

$$\text{Отсюда } \lambda = c \cdot 2\pi\sqrt{LC}.$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Возведём обе части выражения в квадрат и выразим ёмкость в

Найти:

$$\text{квадрат: } \lambda^2 = c^2 \cdot 4\pi^2 \cdot LC \rightarrow C = \frac{\lambda^2}{c^2 \cdot 4\pi^2 L}$$

$$C - ?$$

$$C = \frac{500^2}{(3 \cdot 10^8)^2 \cdot 4 \cdot 3,14^2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}} = 140 \cdot 10^{-12} = 140 \text{ пФ.}$$

Ответ:  $C=140 \text{ пФ}$

Задача 3. Сила тока в открытом колебательном контуре изменяется в зависимости от времени по закону:  $i=0,1\cos 6 \cdot 10^5 \pi t$ . Найти длину излучаемой волны.

Дано:

$$i=0,1\cos 6 \cdot 10^5 \pi t$$

$$c=3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Найти:

$$\lambda=?$$

Решение:

$$\text{Длина волны } \lambda = \frac{c}{v} \text{ или } \lambda=c \cdot T.$$

Запишем закон изменения силы тока и сравним его с данным уравнением:  $i = I_m \cdot \cos 2\pi v t$  и  $i=0,1\cos 6 \cdot 10^5 \pi t$

Отсюда циклическая частота  $\omega=6 \cdot 10^5 \pi \text{ рад/с.}$

Частота колебаний  $v = \frac{\omega}{2\pi}$ , следовательно

$$v = \frac{6 \cdot 10^5 \pi}{2\pi} = 3 \cdot 10^5 \text{ Гц.}$$

$$\text{Длина волны } \lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^5} = 10^3 \text{ м} = 3 \text{ км.}$$

Ответ:  $v=3 \cdot 10^5 \text{ Гц}$ ,  $\lambda=3 \text{ км.}$

Задание 2. Решите количественные задачи.

Задача 1. В идеальном колебательном контуре происходят свободные электрические колебания с амплитудой силы тока  $I_m$ , заряда  $q_m$ , напряжения на конденсаторе  $U_m$ . В рассматриваемый момент времени сила тока в контуре  $I$ , заряд конденсатора  $q$ , напряжение на конденсаторе  $U$ . Рассчитайте значения величин, обозначенных «?».

Задача 2. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C$  и катушки индуктивностью  $L$ . Частота колебаний  $v$ , период  $T$ , длина излучаемой волны  $\lambda$ . Определите значения величины, обозначенной «?».

Задача 3. Для настройки детекторного радиоприёмника на определённую волну, как правило, изменяют ёмкость конденсатора в колебательном контуре, поворачивая пластины конденсатора относительно друг друга. При приёме радиоволны длиной волны  $\lambda$  ёмкость конденсатора в контуре составляет  $C$ , индуктивность катушки  $L$ . Определите значение величины, обозначенной «?».

Задача 4. Радиосигнал, пущенный на расстояние  $S_1$  вернулся через время  $t_1$ , а радиосигнал пущенный на расстояние  $S_2$  вернулся через время  $t_2$ . Определите значение величины, обозначенной «?».

## **Практическая работа №13 Решение задач по теме «Природа света. Волновые свойства света»**

### **Основные понятия и формулы**

Интерференция света – перераспределение интенсивности света в результате наложения (суперпозиции) нескольких световых волн.

Дифракция света – огибание электромагнитной волной препятствий соизмеримых с длиной волны.

Дифракционная решётка – оптический прибор, применяющийся для разложения светового излучения в спектр.

Поляризация света – выделение из пучка естественного света лучей с определенной ориентацией вектора напряженности электрического поля.

Полное внутреннее отражение – явление возврата светового луча в исходную среду после попадания на границу раздела двух сред при падении его из более оптически плотной среды в менее плотную.

Поляризатор – прибор, превращающий естественный свет в линейно-поляризованный.

Оптоволокно (оптические световоды) – нить из оптически прозрачного материала (стекло, пластик), используемая для переноса света внутри себя посредством полного внутреннего отражения.

Спектральный анализ – совокупность методов качественного и количественного определения состава объекта, основанная на изучении спектров взаимодействия материи с излучением, включая спектры электромагнитного излучения.

Естественный свет – оптическое излучение с быстро и беспорядочно изменяющимися направлениями напряженности электромагнитного поля.

Линейно-поляризованный свет – это электромагнитная волна, поляризованная таким образом, что направление вектора напряженности электрического поля остается неизменным

### **Задание. Решите задачи.**

1 Разложение белого света в спектр при прохождении через призму обусловлено  
А преломлением света Б отражением света В поляризацией света

2 Зелёная трава обладает способностью

А поглощать лучи зелёного цвета Б отражать лучи зелёного цвета В отражать лучи всех цветов

3 Наложение когерентных волн называют

А дисперсией Б интерференцией В дифракцией

4 В случае каких волн невозможна интерференция?

А световых Б звуковых В электромагнитных Г среди ответов АБВ нет правильного

5 Появление радуги на небе объясняется

А интерференцией света Б дифракцией света В различной преломляемостью лучей разного цвета

6 Явление поляризации свойственно

А любым волнам Б только поперечным волнам В только продольным волнам

7 Зависимость показателя преломления света в данной среде от длины волны называется

А интерференцией света Б дифракцией света В дисперсией света

8 Белые предметы обладают способностью

А поглощать лучи всех цветов Б отражать лучи всех цветов В пропускать лучи того или иного цвета

9 Огибание волнами препятствий, сравнимых по размерам с длиной волны, называют

А интерференцией Б дифракцией В поляризацией

10 Интерференцию света от двух ламп накаливания наблюдать нельзя, так как световые волны, излучаемые ими

А неполяризованы    Б некогерентны    В слишком малой интенсивности

11 Цветная окраска различных тонких плёнок объясняется

А только дифракцией света    Б только интерференцией света    В интерференцией и дифракцией света

16балл

12 Поляризацией света называют процесс

А изменение направления света    Б изменение интенсивности света

В ориентации колебаний вектора напряжённости световой волны в определённом направлении

13 Задача

Свет с длиной волны 500нм падает на дифракционную решётку с периодом 2мкм. Найти наибольший порядок максимума.

14 Задача

Длина волны жёлтых лучей в вакууме равна 580нм. Какова длина волны этих лучей в воде, если показатель преломления воды равен  $n=1,33$ ?

15 Задача

В некоторую точку пространства приходят волны длиной 700нм. Разность хода волн равна 3,5мкм. Усиление или ослабление света будет наблюдаться в данной точке?

16 Задача

У дифракционной решётки максимум второго порядка для света с длиной волны 400нм наблюдается под углом, для которого  $\sin\phi=0,04$ . Найти период этой решётки.  $d=?$

17 Задача

Какова ширина всего спектра второго порядка, полученному на экране, отстоящем на 2м от дифракционной решётки, на которой нанесены 500 штрихов на 1мм? Длины волн света от 0,4мкм до 0,8мкм.

18 Задача

Какова длина световых волн в вакууме, если в стекле длина волн 680нм, а показатель преломления стекла равен  $n=1,5$ ?

19 Задача

Что будет наблюдаться – усиление или ослабление света – в точке схождения двух световых волн с длиной волны 600нм, если разность хода волн составляет 1,5мкм?

20 Задача

Сколько штрихов на 1мм содержит дифракционная решётка, если на экране, отстоящем от решётки на 1м, расстояние между спектрами первого порядка равно 7,6см, а длина световых волн равна 0,38мкм?

## Практическая работа №14 Решение задач по теме «Элементы квантовой физики»

Цель работы: закрепить умение применять формулу красной границы фотоэффекта и уравнение Эйнштейна при решении задач.

### Основные понятия и формулы

Стремясь преодолеть затруднения классической теории при объяснении излучения чёрного тела, М. Планк в 1900 г. Высказал гипотезу: атомы испускают электромагнитную энергию отдельными порциями – квантами.

Энергия Е каждой порции прямо пропорциональна частоте излучения:

$$E=h\nu$$

где  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постоянная Планка.

Фотон – материальная, электрически нейтральная частица – квант электромагнитного поля.

Энергия фотона  $E=h\nu$ .

$$\text{Масса фотона } m = \frac{h\nu}{c^2}.$$

$$\text{Импульс фотона } p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

Фотоэффектом называется испускание электронов с поверхности металла под действием света.

Согласно закону сохранения энергии

$$eU = \frac{mv^2}{2}, \text{ где } m - \text{ масса электрона, } v - \text{ максимальная скорость фотоэлектрона.}$$

Законы фотоэффекта:

- Число электронов, выбиваемых за 1 с из вещества, пропорционально интенсивности света.
- Кинетическая энергия фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего света, а зависит от его частоты.
- Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т.е. существует наименьшая частота, при которой ещё фотоэффект.

Уравнение Эйнштейна: энергия кванта тратится на работу выхода электрона из металла и сообщение электрону кинетической энергии.

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2},$$

где А – работа выхода электронов из металла.

Работа выхода – это характеристика металла (табличная величина). Она показывает, какую работу должен совершить электрон, чтобы преодолеть поверхностную разность потенциалов и выйти за пределы металла.

Задание 1. Ответьте на вопросы.

- Как излучается и поглощается свет атомами вещества?
- Что называется фотоэффектом?
- Что такое красная граница фотоэффекта?
- Что называется работой выхода?
- Что такое фотон?
- Как определить энергию и импульс фотона?

### Методические указания

При решении задач необходимо:

- помнить о взаимосвязи между волновыми и квантовыми характеристиками частиц;
- знать, что взаимодействие фотонов с веществом подчиняется законам сохранения энергии и импульса. Уравнение Эйнштейна является следствием закона сохранения энергии.

### Примеры решения задач

Задача 1. Определите красноволновую границу фотоэффекта для натрия, если работа выхода электрона из фотокатода  $A=2,3 \text{ эВ}$ .

Дано:

$$h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$c=3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$A=2,3 \text{ эВ}$$

СИ:

$$3,68 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Решение:

Запишем уравнение для «красной границы» фотоэффекта и вычислим из него искомую длину волны  $h\nu=A_{\text{вых}}$  или  $\frac{h \cdot c}{\lambda}=A_{\text{вых}}$ , откуда

$$\lambda = \frac{hc}{A_{\text{вых}}}$$

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3,68 \cdot 10^{-19}} = 5,4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

Найти:

$$\lambda_{\text{кр}} - ?$$

Ответ:  $\lambda=5,4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$

Задача 2. Работа выхода электронов из пластины  $A_{\text{вых}}=6,3 \text{ эВ}$ . Определить, произойдет ли внешний фотоэффект, если на пластину падает свет с частотой  $v_1=8 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$ ,  $v_2=3 \cdot 10^{16} \text{ Гц}$ .

Дано:

$$A_{\text{вых}}=6,3 \text{ эВ}$$

$$v_1=8 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$v_2=3 \cdot 10^{16} \text{ Гц}$$

СИ:

$$1 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$$

Решение:

Внешний фотоэлектрический эффект

произойдет в том случае, если  $v > v_{\text{кр}}$ .

Уравнение для красной границы фотоэффекта

$$hv_{\text{кр}}=A_{\text{вых}} \quad (1)$$

Из (1) определяем  $v_{\text{кр}}=A_{\text{вых}}/h$ .

$$\text{Вычисления дают } v_{\text{кр}}=1,5 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$$

При этой частоте фотоэффекта не произойдет.

Во втором случае вычисления покажут, что фотоэффект произойдет.

Задача 3. При облучении фотоэлемента светом с частотой  $1,6 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$  фототок прекращается при задерживающем напряжении  $U=4,1 \text{ В}$ . Определить  $A$ - работу выхода электрона с поверхности фотокатода,  $\lambda$ - красную границу фотоэффекта.

Дано:

$$v=1,6 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$$

Решение:

Электрон может пролететь через тормозящее поле, разность потенциалов которого  $U$ , если

$$U=4,1 \text{ В}$$

$$eU \leq \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

$$h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта в данном случае имеет вид:

$$e \cdot U = A_{\text{вых}} + eU \quad (2), \text{ откуда } A = hv - eU \quad (3)$$

Найти:

$$A_{\text{вых}} - ?$$

$$\lambda_{\text{кр}} - ?$$

$$\frac{h \cdot c}{\lambda} = A_{\text{вых}}, \text{ откуда } \lambda = \frac{hc}{A_{\text{вых}}}$$

$$A = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 1,6 \cdot 10^{15} - 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4,1 = 4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-19}} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Ответ:  $A=4 \cdot 10^{-19}$  Дж,  $\lambda=5 \cdot 10^{-7}$  м.

**Задание 2. Решите количественные задачи.**

Задача 1. Длина волны света  $\lambda$ , частота  $v$ , масса фотона  $m_f$ , импульс  $P_f$ , энергия  $E_f$ . Определите значение величин, обозначенных «?».

Задача 2. Работа выхода электронов с поверхности металла равна  $A_b$ . Металл облучается светом с длиной волны  $\lambda$  и частотой  $v$ . Скорость электронов выбитых с поверхности металла  $\vartheta$ . Красная граница  $\lambda_k$ . Определите значение величин, обозначенных «?».

Задача 3. Задерживающая разность потенциалов в опыте по фотоэффекту равна  $U_3$ . Скорость фотоэлектронов  $\vartheta$ , энергия -  $E$ . Определите значение величин, обозначенных «?».

Задача 4. Работа выхода электронов с поверхности металла  $A_b$ , задерживающая разность потенциалов  $U_3$ , частота падающего света  $v$ , масса фотонов  $m_f$ . Определите значение величин, обозначенных «?».

Задача 5. При торможении электронов, проходящих разность потенциалов  $U$  образуется рентгеновское излучение с частотой  $v$ , и длиной волны  $\lambda$ . Определите значение величин, обозначенных «?».

## **Информационное обеспечение обучения**

### **1.Основная литература:**

Мякишев Г.Я. Физика. 10 кл.: учеб. для общеобразоват. организаций: базовый и углубленный уровни / Г.Я Мякишев, Б.Б.Буховцев, Н.Н.Сотский; под ред. Н.А.Парфентьевой. – М.: Просвещение, 2022. - 432 с.: ил. - (Классический курс)

Мякишев Г.Я. Физика. 11 кл.: учеб. для общеобразоват. организаций: базовый и углубленный уровни / Г.Я Мякишев, Б.Б.Буховцев, В.М.Чаругин; под ред. Н.А.Парфентьевой. – М.: Просвещение, 2022. - 432 с.: ил. - (Классический курс)

### **2.Дополнительная литература:**

Жданов Л.С. Физика для средних специальных заведений: учебник/. Л.С. Жданов, Г. Л. Жданов – М.: Альянс, 2017, 572 с.