Областное государственное бюджетное
образовательное учреждение
среднего профессионального образования
«Иркутский авиационный техникум»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ОГБОУ СПО «ИАТ»
_____ В.Г. Семенов

Комплект методических указаний по выполнению лабораторных работ по дисциплине ОДП.17 Физика

образовательной программы (ОП)
по специальности СПО

230113 Компьютерные системы и комплексы

базовой подготовки

Иркутск 2013

Перечень лабораторных работ

№ работы	Название работы (в соответствии с рабочей программой)	Объём часов на выполнение работы	Страница
	Решение задач на равномерное прямолинейное движение.	2	
	Решение задач на ПРУД.	2	
	Решение задач на движение по окружности	1	
	Контрольная работа по теме «Кинематика	1	
	задач по теме «законы Ньютона и закон всемирного тяготения».	2	
	Решение задач на Гука и вес тела	2	
	Решение задач на силу трения	1	
	Решение задач на динамику движения по окружности.	1	
	Решение задач динамике.	1	
	Решение задач на законы сохранения.	2	
	Решение задач на тему «Статика».	2	
	Решение задач на механические колебания.	2	
	Контрольная работа по теме «Кинематика».	1	
	Решение задач на основное уравнение МКТ	2	
	Решение задач на уравнение состояния идеального газа.	1	
	Решение задач по основам МКТ.	2	
	Решение задач по термодинамике.	1	
	Контрольная работа по теме «Молекулярной физике и термодинамике».	1	
	Решение задач на закон Кулона и расчет напряженности.	2	
	Решение задач на расчет потенциала и емкость конденсатора.	2	
	Решение задач по теме «Электростатика».	2	
	Применение закон Ома к цепям с последовательным и параллельным	2	

	соединением проводников.		
	Решение задач на расчет работы и мощности в цепи постоянного тока.	1	
	Решение задач на законы постоянного тока.	1	
	Решение задач на электрический ток в электролитах.	2	
	Решение задач по магнитному полю.	1	
	Решение задач на силу Лоренца и силу Ампера.	1	
	Решение задач на ЭМИ, самоиндукцию и энергию магнитного поля .	2	
	Контрольная работа по теме «Электродинамика».	1	
	Решение задач на ЭМК и формулу Томсона.	1	
	Решение задач на мощность в цепи переменного тока.	2	
	Резистор, катушка и конденсатор в цепи переменного тока.	1	
	Решение задач на закон Ома в цепи переменного тока.	2	
	Контрольная работа по теме «Электромагнитные колебания и волны».	1	
	Решение задач на закон отражения и преломления, построение в линзах и формулу тонкой линзы.	2	
	Решение задач по оптике.	1	
	Решение задач по волновой оптике.	2	
	Решение задач на элементы СТО.	1	
	Контрольная работа по теме «Оптика».	2	
	Решение задач квантовой физике.	2	
	Решение задач на дефект массы и энергия связи ядра.	2	
	Решение задач на ядерные и термоядерные реакции	1	
	Контрольная работа по теме «Квантовая физика и физика атома и атомного ядра».	1	
	Итоговое занятие по предмету	1	

Практическая работа №2

Тема: Решение задач на равномерное прямолинейное движение.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Равномерное прямолинейное движение». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Равномерным прямолинейным движением называют движение, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения.

При равномерном движении быстрота изменения положения тела в пространстве может быть различной. «Быстрота» движения характеризуется физической величиной, называемой скоростью.

Скоростью равномерного прямолинейного движения называют векторную физическую величину, равную отношению перемещения тела ко времени, за которое это перемещение произошло.

Если за время t тело совершило перемещение s, то скорость его движения v равна

$$v = \frac{S}{t}$$

Единица скорости в СИ — метр в секунду (**1 м/с**).

Зная скорость равномерного движения, можно найти перемещение тела за любой промежуток времени:

$$s = vt.$$

Векторы скорости и перемещения при равномерном прямолинейном движении направлены в сторону движения тела.

Запишем уравнение зависимости координаты тела от времени при равномерном прямолинейном движении. Это уравнение называют **уравнением движения**.

Пусть тело совершило перемещение s. Направим координатную ось X по направлению перемещения тела (рис. 8, *а*). Запишем уравнение для проекции перемещения s_x на ось X. На рисунке x_0— начальная координата тела, x — конечная координата тела. Проекция перемещения равна разности конечной и начальной координат тела:

$$s_x = x - x_0.$$

С другой стороны, проекция перемещения на ось X равна произведению проекции скорости на эту ось на время:

$$s_x = v_x t.$$

Отсюда координата тела тела x в любой момент времени t:

$$x - x_0 = v_x t$$

или

$$x = x_0 + v_x t.$$

Исходные данные:

1. Два самолета одновременно вылетают из одного места по двум взаимно перпендикулярно направлениям. Один со скоростью V_1=300 км/ч, а другой со скоростью V_2=400 км/ч. Как возрастает со временем расстояние между самолетами? Чему равно это расстояние S в момент, когда первый самолет пролетел путь S_1=900 км/ч?
2. Из пунктов A и B, расстояние между которыми l=22 км, одновременно навстречу друг другу начали двигаться два автомобиля: первый со скоростью V_1=50 км/ч, а второй со скоростью V_2=60 км/ч. Определить, через сколько времени они встретятся и расстояние от точки Aдо места их встречи.
3. Движения двух велосипедистов заданы уравнениями: x_1=5t, x_2=150-10t.
   Здесь x_1 и x_2 выражены в метрах, а t - в секундах. Найти время и место встречи.
4. Один автомобиль, двигаясь по прямой равномерно со скоростью V_1=12 м/с в течение t_1=10 с, проехал такой же путь, что и другой автомобиль за t_2=15 с. Какова скорость V_2 второго автомобиля?
5. Из двух точек, расположенных на расстоянии l=100 м друг от друга, одновременно в одном направлении начали движение два тела. Одно имело скорость V_2=2 м/с, а другое - V_1=7 м/с. Через какое время второе тело догонит первое? Какое перемещение совершит при этом каждое тело?

Порядок выполнения:

1. Кратко записать условие задачи.
2. Проанализировать ситуацию, описанную в условии задачи:
— выяснить, можно ли принять движущиеся тела за материальные точки;
— сделатьрисунок, изобразив на нем векторы скорости;
— выбрать систему отсчета — тело отсчета, направления координатных осей, начало отсчета координат, начало отсчета времени; записать начальные условия (значения координат в начальный момент времени) для каждого тела.
3. Записать уравнение движения в векторной форме и для проекций на координатные оси.
4. Записать уравнение движения для каждого тела с учетом начальных условий и знаков проекций скорости.
5. Решить задачу в общем виде.
6. Подставить в формулу значения величин и выполнить вычисления.
7. Проанализировать ответ.

Вопросы для самопроверки:
1. Какое движение называют равномерным прямолинейным?
2. Что называют скоростью равномерного прямолинейного движения?
3. Какова единица скорости в СИ?
4. Каково уравнение зависимости координаты равномерно движущегося тела от времени?
5. Что представляет собой график зависимости координаты тела от времени при равномерном прямолинейном движении?
6. Почему равномерное движение является моделью?
Задачи
1. Скоростной поезд, отходя от станции, разгоняется и, находясь на расстоянии 2 км от станции, начинает двигаться равномерно и прямолинейно со скоростью 108 км/ч. Чему равно время равномерного движения поезда, если на расстоянии 11 км от станции скорость поезда стала уменьшаться?
2. Два поезда движутся равномерно навстречу друг другу: один со скоростью 72 км/ч, другой — 90 км/ч. Определите время и координату места встречи поездов, если расстояние между ними в момент начала равномерного движения составляло 270 м. Решите задачу аналитически и графически.
3. Велосипедист движется по прямолинейному гладкому участку дороги. Каковы траектории движения относительно велосипедиста и относительно стоящего на обочине человека рамы велосипеда; точки на ободе колеса; руля; точки на конце педали?

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:
Два автомобиля движутся навстречу друг другу равномерно и прямолинейно: один — со скоростью 10 м/с, другой — со скоростью 20 м/с. Определите время и координату места встречи автомобилей, если в начальный момент времени расстояние между ними равно 120 м.

Дано:	Решение
v_1 = 10 м/с	Автомобили можно считать материальными точками,
v_2 = 20 м/с	поскольку расстояние между ними много больше их
l = 120 м	размеров.
t ?	
x ?	

1-й способ. Свяжем систему отсчета с Землей, ось *OX* направим в сторону движения первого автомобиля, за начало отсчета координаты выберем точку *O* — положение первого автомобиля в начальный момент времени.
В начальный момент времени координаты каждого тела равны: $x_{01} = 0$; $x_{02} = l$.
Запишем уравнение движения: $x = x_0 + v_x t$.
Уравнения движения для каждого тела с учетом начальных условий имеют вид:
$x_1 = v_1 t$; $x_2 = l - v_2 t$.
В момент встречи тел $x_1 = x_2$, следовательно: $v_1 t = l - v_2 t$.
Отсюда

$$t = 4 \text{ с}.$$

Подставив значение времени в уравнение для координаты первого автомобиля, получим значение координаты места встречи автомобилей: $x = 10 \cdot 4 \text{ с} = 40$ м.
Ответ: $t = 4$ с, $x = 40$ м.

Практическая работа №3

Тема: Решение задач на ПРУД.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Прямолинейное равноускоренное движение». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Движение, при котором скорость тела за любые равные промежутки времени изменяется на одно и то же значение, называют равноускоренным.

Пусть в начальный момент времени $t_0 = 0$ скорость тела равна v_0. В некоторый момент времени t она стала равной v. Тогда изменение скорости за промежуток времени $t - t_0 = t$ равно $v - v_0$, а за единицу времени — . Это отношение называется **ускорением**. Ускорение характеризует быстроту изменения скорости .

Ускорением тела при равноускоренном движении называют векторную физическую величину, равную отношению изменения скорости тела к промежутку времени, за который это изменение произошло.

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

Единица ускорения в СИ — *метр на секунду в квадрате* (**1м/с^2**)

Если начальная скорость тела равна нулю, т. е. в начальный момент времени оно покоилось, то эта формула приобретает вид:

$$v = at.$$

При вычислении скорости или ускорения пользуются формулами, в которые входят не векторы, а проекции этих величин на координатную ось. Поскольку проекция суммы векторов равна сумме их проекций, то формула для проекции скорости на ось X имеет вид:

$$v_x = v_{0x} + a_x t,$$

где v_x — проекция скорости в момент времени t, v_{0x} — проекция начальной скорости, a_x — проекция ускорения.

Исходные данные:

1. Автомобиль, двигавшийся со скоростью 30 м/с, начал тормозить. Чему будет равна его скорость через 1 минуту, если ускорение при торможении равно 0,3 м/с2 ?
   Обратите внимание! Проекция вектора ускорения на ось t отрицательна.
2. Санки начинают двигаться с горы с ускорением 2 м/с2. Какое расстояние они пройдут за 2 секунды?.
3. Поезд, двигавшийся с ускорением 0,4 м/с2, через 20 секунд торможения остановился. Чему равен тормозной путь, если начальная скорость поезда 20 м/с ?
   Внимание! В задаче поезд тормозит, не забудьте о минусе при подстановке числового значения проекции вектора ускорения.
4. Автобус, отходя от остановки, движется с ускорением 0,2 м/с2. На каком расстоянии от начала движения его скорость станет равной 10 м/с ?
5. Какую скорость разовьет катер, пройдя из состояния покоя 200 метров с ускорением 2 м/с2 ?
   Не забудьте, что не всегда все данные в задаче задаются числами!
   Здесь надо обратить внимание на слова "из состояния покоя" - это соответствует начальной скорости, равной 0.

Порядок выполнения:

1. Кратко записать условие задачи.
2. Проанализировать ситуацию, описанную в условии задачи:
— выяснить, можно ли принять движущиеся тела за материальные точки;
— сделатьрисунок, изобразив на нем векторы скорости;
— выбрать систему отсчета — тело отсчета, направления координатных осей, начало отсчета координат, начало отсчета времени; записать начальные условия (значения координат в начальный момент времени) для каждого тела.
3. Записать уравнение движения в векторной форме и для проекций на координатные оси.
4. Записать уравнение движения для каждого тела с учетом начальных условий и знаков проекций скорости.
5. Решить задачу в общем виде.
6. Подставить в формулу значения величин и выполнить вычисления.
7. Проанализировать ответ.

Вопросы для самопроверки:
1. Какое движение называют равноускоренным?
2. Что называют ускорением равноускоренного движения?
3. По какой формуле вычисляется ускорение при равноускоренном движении?
4. Какова единица ускорения в СИ?
5. По какой формуле вычисляется скорость тела при равноускоренном прямолинейном движении?
6. Каков знак проекции ускорения на ось *X* по отношению к проекции скорости тела на эту же ось, если модуль его скорости увеличивается; уменьшается?
Задачи
1. Чему равно ускорение автомобиля, если через 2 мин после начала движения из состояния покоя он приобрел скорость 72 км/ч?
2. Поезд, начальная скорость которого равна 36 км/ч, разгоняется с ускорением 0,5 м/ $с^2$. Какую скорость приобретет поезд через 20 с?
3. Автомобиль, движущийся со скоростью 54 км/ч, останавливается у светофора в течение 15 с. Чему равно ускорение автомобиля?
4. Какую скорость приобретет велосипедист через 5 с после начала торможения, если его начальная скорость равна 10 м/с, а ускорение при торможении составляет 1,2 м/$с^2$?

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Скорость автомобиля при торможении уменьшилась от 23 до 15 м/с. Каково ускорение тела, если торможение длилось 5 с?

Дано:	Решение
v_0 = 23 м/с	Автомобиль движется равноускоренно и
v = 15 м/с	прямолинейно; модуль его скорости уменьшается.
t = 5 с	Систему отсчета свяжем с Землей, ось *X* направим в
	сторону движения автомобіля, за начало отсчета
	времени примем начало торможения.
a ?	

Запишем формулу для нахождения скорости при равноускоренном прямолинейном движении:
$v = v_0 + at$.

В проекциях на ось X получим
$v_x = v_{0x} + a_x t$.
Учитывая, что проекция ускорения тела на ось X отрицательна, а проекции скоростей на эту ось положительны, запишем: $v = v_0 - at$.
Откуда:
a = ;
a = = 1,6 м/с^2.
Ответ: a = 1,6 м/с^2.

Практическая работа №4

Тема: Решение задач на движение по окружности.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Движение тела по окружности». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Движение тела по окружности с постоянной по модулю скоростью — это движение, при котором тело за любые равные промежутки времени описывает одинаковые дуги.

Положение тела на окружности определяется **радиусом-вектором** $\vec{r}$, проведенным из центра окружности. Модуль радиуса-вектора равен радиусу окружности *R* (рис. 1).

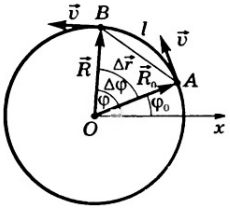


Рис. 1

За время Δt тело, двигаясь из точки *A* в точку *B*, совершает перемещение $\Delta\vec{r}$, равное хорде *AB*, и проходит путь, равный длине дуги *l*.

Радиус-вектор поворачивается на угол $\Delta\varphi$. Угол выражают в радианах.

Скорость $\vec{\upsilon}$ движения тела по траектории (окружности) направлена по касательной к траектории. Она называется **линейной скоростью**. Модуль линейной скорости равен отношению длины дуги окружности *l* к промежутку времени Δt за который эта дуга пройдена:

$$\upsilon = l\Delta t.$$

Скалярная физическая величина, численно равная отношению угла поворота радиуса-вектора к промежутку времени, за который этот поворот произошел, называется **угловой скоростью**:

$$\omega = \Delta\varphi\Delta t.$$

В СИ единицей угловой скорости является радиан в секунду (рад/с).

При равномерном движении по окружности угловая скорость и модуль линейной скорости — величины постоянные: ω = const; υ = const.

Положение тела можно определить, если известен модуль радиуса-вектора $\vec{r}$ и угол φ, который он составляет с осью *Ox* (угловая координата). Если в начальный момент времени $t_0 = 0$ угловая координата равна φ_0, а в момент времени *t* она равна φ, то угол поворота $\Delta\varphi$ радиуса-вектора за время $\Delta t = t - t0 = t$ равен $\Delta\varphi = \varphi - \varphi 0$. Тогда из последней формулы можно получить **кинематическое уравнение движения материальной точки по окружности**:

$$\varphi = \varphi 0 + \omega t.$$

Оно позволяет определить положение тела в любой момент времени *t*. Учитывая, что $\Delta\varphi = lR$, получаем

$$\omega = lR\Delta t = \upsilon R \Rightarrow$$

$\upsilon = \omega R$ — формула связи между линейной и угловой скоростью.

Промежуток времени *T*, в течение которого тело совершает один полный оборот, называется **периодом вращения**:

$$T = \Delta t N,$$

где *N* — число оборотов, совершенных телом за время Δt.

За время $\Delta t = T$ тело проходит путь $l = 2\pi R$. Следовательно,

$$\upsilon = 2\pi RT;\ \omega = 2\pi T.$$

Величина ν, обратная периоду, показывающая, сколько оборотов совершает тело за единицу времени, называется **частотой вращения**:

$$\nu=1T=N\Delta t.$$

Следовательно,

$$\upsilon=2\pi\nu R;\ \omega=2\pi\nu.$$

Исходные данные:

1.Минутная стрелка в 1,5 раза длиннее часовой. Определите, во сколько раз скорость конца часовой стрелки меньше скорости конца минутной стрелки.

2. Определите центростремительное ускорение точек колеса автомобиля, соприкасающихся с дорогой, если автомобиль движется со скоростью Збкм/ч и при этом частота вращения колеса равна 4е'.

3. Две материальные точки движутся по окружности радиусами R_1 и R_T причем $R^{2}R_2$. Сравните их центростремительные ускорения, если равны их периоды обращения.

4. Какое расстояние пройдет велосипедист при 60 оборотах педалей, если диаметр колеса 70 см, ведущая зубчатка имеет 48 зубцов, а ведомая - 18 зубцов?

Порядок выполнения:

1. Кратко записать условие задачи.
2. Проанализировать ситуацию, описанную в условии задачи:
— выяснить, можно ли принять движущиеся тела за материальные точки;
— сделатьрисунок, изобразив на нем векторы скорости;
— выбрать систему отсчета — тело отсчета, направления координатных осей, начало отсчета координат, начало отсчета времени; записать начальные условия (значения координат в начальный момент времени) для каждого тела.
3. Записать уравнение движения в векторной форме и для проекций на координатные оси.
4. Записать уравнение движения для каждого тела с учетом начальных условий и знаков проекций скорости.
5. Решить задачу в общем виде.
6. Подставить в формулу значения величин и выполнить вычисления.
7. Проанализировать ответ.

Вопросы для самопроверки:
1. Какое движение называют равномерным движением по окружности?
2. Что называют периодом обращения?
3. Что называют частотой обращения? Как связаны между собой период и частота обращения?
4. Что называют линейной скоростью? Как она направлена?
5. Что называют угловой скоростью? Что является единицей угловой скорости?
6. Как связаны угловая и линейная скорости движения тела?
7. Как направлено центростремительное ускорение? По какой формуле оно рассчитывается?
Задачи
1. Чему равна линейная скорость точки обода колеса, если радиус колеса 30 см и один оборот она совершает за 2 с? Чему равна угловая скорость колеса?
2. Скорость автомобиля 72 км/ч. Каковы угловая скорость, частота и период обращения колеса автомобиля, если диаметр колеса 70 см? Сколько оборотов совершит колесо за 10 мин?
3. Чему равен путь, пройденный концом минутной стрелки будильника за 10 мин, если ее длина 2,4 см?
4. Каково центростремительное ускорение точки обода колеса автомобиля, если диаметр колеса 70 см? Скорость автомобиля 54 км/ч.

5. Точка обода колеса велосипеда совершает один оборот за 2 с. Радиус колеса 35 см. Чему равно центростремительное ускорение точки обода колеса?

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Частота обращения карусели 0,05 $с^{-1}$. Человек, вращающийся на карусели, находится на расстоянии 4 м от оси вращения. Определите центростремительное ускорение человека, период обращения и угловую скорость карусели.

Дано: n = 0,05 $с^{-1}$ R = 4 м	Решение Центростремительное ускорение равно: a = w2R=(2pn)2R=4p2n2R. Период обращения: T = . Угловая скорость карусели: w = 2pn.
a ? T ? w ?	

a = 4•(3,14)^2•(0,05$с^{-1}$)^2 •4 м 0,4 м/$с^2$;

T = = 20 с;

w = 2•3,14•0,05 $с^{-1}$ 0,3 рад/с.

Ответ: a 0,4 м/$с^2$; T = 20 с; w 0,3 рад/с.

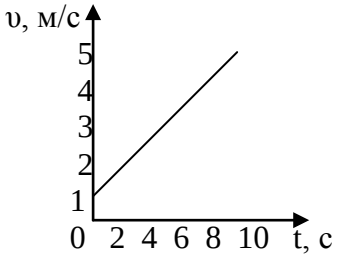
Практическая работа №5

Тема: Контрольная работа по теме «Кинематика».

Цель: проконтролировать знания учащихся и их умения самостоятельно применять полученные знания при решении задач.

Исходные данные:

1. По графику проекции скорости, изображенному на рисунке, определите ускорение, с которым двигалось тело, и перемещение, совершенное им за время 8 с.



2. Определите начальную скорость и ускорение автомобиля, если его прямолинейное движение описывается уравнением: $x=5-12t+t^2$

3. За какое время можно остановить автомобиль, движущийся со скоростью 72 км/ч, если при быстром торможении ускорение равно 5 м/с^2. Каков при этом тормозной путь автомобиля?

4. Самолет при скорости 360 км/ч делает мертвую петлю радиусом 400 м. Определите центростремительное ускорение самолета.

Порядок выполнения:

1. Необходимо выбрать систему отсчёта с указанием начала отсчёта времени и обозначить на схематическом чертеже все кинематические характеристики движения (перемещение, скорость, ускорение и время).
2. Записать кинематические законы движения для каждого из движущихся тел в векторной форме.
3. Спроецировать векторные величины на оси x и y и проверить, является ли полученная система уравнений полной.
4. Используя кинематические связи, геометрические соотношения и специальные условия, данные в задаче, составить недостающие уравнения.
5. Решить полученную систему уравнений относительно неизвестных.
6. Перевести все величины в одну систему единиц и вычислить искомые величины.
7. Проанализировать результат и проверить его размерность.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Практическая работа №6

Тема: Решение задач по теме «законы Ньютона и закон всемирного тяготения».

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по пройденному материалу. Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения только в определенных системах отсчета, на существование которых указывает **первый закон Ньютона**. Существуют такие системы отсчета, относительно которых поступательно движущееся тело сохраняет свою скорость постоянной, если на него не действуют другие тела или действия других тел компенсируются.

Явление сохранения скорости тела (в том числе и равной нулю) называют **явлением инерции**. Системы отсчета, относительно которых тела движутся с постоянной скоростью при компенсации внешних воздействий, называют **инерциальными**. Существуют также системы отсчета, которые движутся с ускорением относительно инерциальной системы отсчета. Такие системы отсчета называют **неинерциальными**.

Второй закон Ньютона:

ускорение, с которым движется тело, прямо пропорционально действующей на тело силе и обратно пропорционально его массе.

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

Из этого равенства следует, что направление ускорения тела всегда совпадает с направлением действующей на него силы. Если на тело действуют несколько сил, то вектор ускорения направлен так же, как и вектор равнодействующей силы.

Из второго закона Ньютона можно найти равнодействующую всех сил, действующих на тело:

$$F = ma.$$

Единица силы в СИ:

$[F] = [m][a] = 1$ кг•1 м/с^2 = 1 кг • м/с^2 = 1 Н.

За единицу силы принимают такую силу, которая сообщает телу массой 1 кг ускорение 1 м/с^2

Третий закон Ньютона:

тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и направленными в противоположные стороны

$$F_1 = -F_2.$$

Третий закон Ньютона так же, как первый и второй законы, выполняется в инерциальных системах отсчета.

Закон всемирного тяготения был установлен Ньютоном, и он утверждает, что

сила всемирного тяготения прямо пропорциональна произведению масс взаимодействующих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

где m_1 и m_2 — массы тел, r — расстояние между ними, G — гравитационная постоянная.

Гравитационная постоянная численно равна силе притяжения двух тел массой 1 кг *каждое, находящихся на расстоянии* 1 м *друг от друга.*

Значение гравитационной постоянной установлено опытным путем, оно равно

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

Закон всемирного тяготения справедлив для тел, которые можно считать материальными точками. Также закон применим к телам, имеющим форму шара. В этом случае расстоянием между телами является расстояние между центрами шаров.

Исходные данные:

1. Чему равна сила тяготения между Землей и Луной, если масса Земли $6 \cdot 10^{24}$ кг, масса Луны $7{,}4 \cdot 10^{22}$ кг
2. Чему равна сила, действующая на автомобиль массой 1000 кг, если он движется с ускорением 2 м/с^2?

3. С каким ускорением начинает двигаться стартующая ракета массой 3000 т, если на нее действует реактивная сила тяги 39 000 кН?
4. Автомобиль массой 1 т разгоняется из состояния покоя до скорости 20 м/с. Чему равно время разгона автомобиля, если на него действуют сила тяги 2 кН, и сила сопротивления движению 1 кН
5. Вам известно, что Земля и Луна притягиваются друг к другу. Сравните силу, действующую со стороны Земли на Луну, с силой, действующей со стороны Луны на Землю.?

Порядок выполнения:
1. Прочитайте внимательно условие задачи. Выясните, какое тело движется. Под действием, каких сил? Каков характер движения?
2. Запишите краткое условие задачи. Одновременно выразите все величины в единицах СИ.
3. Сделайте чертеж. Изобразите оси координат, тело и все действующие на тело силы.
4. Запишите уравнение второго закона Ньютона в векторном виде.
5. Запишите основное уравнение динамики для проекций на оси координат.
6. Найдите все величины, входящие в эти уравнения. Подставьте их в уравнения.
7. Решите уравнение (или систему уравнений) относительно неизвестной величины, т.е. решите задачу в общем виде.
8. Найдите искомую величину.
9. Определите единицу величины. Проверьте, подходит ли она по смыслу.
10. Рассчитайте число.
11. Проверьте ответ и запишите его.

Вопросы для самопроверки:
1. Сформулируйте первый закон Ньютона.
2. Какие системы отсчета называют инерциальными?
3. Сформулируйте второй закон Ньютона.
4. Как направлено ускорение, с которым движется тело?
5. Можно ли найти равнодействующую сил действия и противодействия?
6. Какова природа сил действия и противодействия?
7. В каких системах отсчета выполняется третий закон Ньютона

Задачи
1. В первом случае тело лежит на гладком горизонтальном столе. К нему привязана невесомая нить, перекинутая через блок на краю стола, к другому концу которой подвешено такое же тело. Во втором случае это же тело тянут с горизонтальной силой равной силе тяжести. Во сколько раз отличаются ускорения тела в этих случаях? [$a_2/a_1 = 2$]
2. 1) Два груза, соединенные нитью, движутся по гладкой поверхности. Когда к правому грузу приложили силу, равную 100 Н, натяжение нити равнялось 30 Н. Каким будет натяжение нити, если эту силу приложить к левому грузу.
3. Два одинаковых шарика находятся на расстоянии 0,1м друг от друга и притягиваются с силой6,6 7*10 Н. Какова масса каждого шарика?

Литература:
1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006
Электронные ресурсы:
1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:
Под действием силы в 20 Н материальная точка движется с а=0,4 м/с^2. С каким ускорением будет двигаться точка под действием силы в 50 Н?

Дано:

F_1 = 20 Н

a_1 = 0, 4 м/с

F_2 = 50 Н

Решение:

Движение материальной точки является равноускоренным.

По второму закону Ньютона можно определить массу материальной точки

$m = \frac{F_1}{a_1}$ масса точки при действии силы в 20 Н

$m = \frac{F_2}{a_2}$ масса точки при действии силы в 50 Н

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2}$$

$$a_2 = \frac{a_1 F_2}{F_1}$$

Ответ: a_2 = 1 м/с

Практическая работа №7

Тема: Решение задач на Гука и вес тела.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «закон Гука и вес тела». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

При деформации тела возникает сила, которая стремится восстановить прежние размеры и форму тела. Эта сила возникает вследствие электромагнитного взаимодействия между атомами и молекулами вещества. Ее называют силой упругости.

При малых деформациях ($|x| << l$) сила упругости пропорциональна деформации тела и направлена в сторону, противоположную направлению перемещения частиц тела при деформации:

$$Fx = Fупр = –kx.$$

Это соотношение выражает экспериментально установленный закон Гука.

Коэффициент k называется жесткостью тела. В системе СИ жесткость измеряется в ньютонах на метр (Н/м). Коэффициент жесткости зависит от формы и размеров тела, а также от материала. В физике закон Гука для деформации растяжения или сжатия принято записывать в другой форме.

Отношение $\varepsilon = x / l$ называется относительной деформацией

а отношение $\sigma = F / S = –Fупр / S$,

где S – площадь поперечного сечения деформированного тела, называется напряжением.

Тогда закон Гука можно сформулировать так: *относительная деформация ε пропорциональна напряжению σ: Коэффициент E в этой формуле называется модулем Юнга.* Модуль Юнга зависит только от свойств материала и не зависит от размеров и формы тела.

Для различных материалов модуль Юнга меняется в широких пределах. Для стали, например, $E \approx 2·1011$ Н/м2 , а для резины $E \approx 2·106$ Н/м2 , т. е. на пять порядков меньше.

Вес — сила воздействия тела на опору (или подвес или другой вид крепления), препятствующую падению, возникающая в поле сил тяжести. (В случае нескольких опор под весом понимается суммарная сила, действующая на все опоры; впрочем, для жидких и газообразных опор в случае погружения тела в них часто делается исключение, т. е. тогда силы воздействия тела на них исключают из веса и включают в силу Архимеда).

Единица измерения веса в Международной системе единиц (СИ) — ньютон, иногда используется единица СГС —дина.

Вес **P** тела, покоящегося в инерциальной системе отсчёта $\mathbf{P}$, совпадает с силой тяжести, действующей на тело, и пропорционален массе m и ускорению свободного падения $\mathbf{g}$ в данной точке:

$$\mathbf{P} = m\mathbf{g}$$

Значение веса (при неизменной массе тела) пропорционально ускорению свободного падения, которое зависит от высоты над земной поверхностью (или поверхностью другой планеты, если тело находится вблизи нее, а не Земли, и массы и размеров этой планеты), и, ввиду несферичности Земли, а также ввиду ее вращения (см. ниже), от географических координат точки измерения. Другим фактором, влияющим на ускорение свободного падения и, соответственно, вес тела, являются гравитационные аномалии, обусловленные особенностями строения земной поверхности и недр в окрестностях точки измерения.

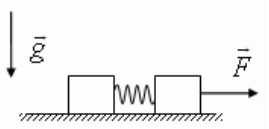
При движении системы тело — опора (или подвес) относительно инерциальной системы отсчёта с ускорением $\mathbf{a}$ вес перестаёт совпадать с силой тяжести:

$$\mathbf{P} = m(\mathbf{g} - \mathbf{a})$$

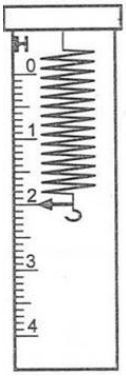
В результате суточного вращения Земли существует широтное уменьшение веса: на экваторе примерно на 0,3 % меньше, чем на полюсах.

Состояние отсутствия веса (невесомость) наступает при удалении тела от притягивающего объекта, либо когда тело находится в свободном падении, то есть $\mathbf{g} - \mathbf{a} = 0$

Исходные данные:



1. Два одинаковых груза массой **M** каждый, соединенные пружиной, лежат на шероховатой горизонтальной плоскости в поле тяжести земли. Какую минимальную горизонтальную силу необходимо приложить к правому грузу, чтобы пришел в движение левый груз? Коэффициент трения грузов о плоскость **μ**. В начальном состоянии пружина не деформирована?
2. К двум пружинам с одинаковой недеформированной длиной и разной жесткости поочерёдно подвешивают груз. Деформации пружин $\mathbf{x}_1$ и $\mathbf{x}_2$. Насколько опустится груз, если его подвешивают к этим пружинам, соединенным последовательно? параллельно? (С общей точкой подвеса и точкой крепления груза.).



3. В комнате высотой **H** к потолку одним концом прикреплена легкая пружина жесткостью **k**, имеющая в недеформированном состоянии длину $\mathbf{l}_o$ ($\mathbf{l}_o < \mathbf{H}$). На полу под пружиной размещают брусок высотой **x** с площадью основания **S**, изготовленный из материала плотностью **ρ**. Построить график зависимости давления бруска на пол от высоты бруска..
4. Если к вертикально расположенному динамометру прикрепить деревянный брусок массой 200 г, то показание динамометра окажется таким, как показано на рисунке 1. Определите ускорение, с которым начнет двигаться тот же брусок, если его оттянуть так, что пружина удлинится еще на 2 см, а затем брусок отпустить?
5. Космическая ракета при старте с поверхности Земли движется вертикально с ускорением 20м/с^2. Найти вес летчика – космонавта в кабине, если его масса 80кг. Какую перегрузку испытывает летчик?

Порядок выполнения:

1.Выбрать систему отсчета.
2. Найти все силы, действующие на тело, и изобразить их на чертеже. Определить (или предположить) направление ускорения и изобразить его на чертеже.
3. Записать уравнение второго закона Ньютона в векторной форме и перейти к скалярной записи, заменив все векторы их проек- циями на оси координат.
4. Исходя из физической природы сил, выразить силы через ве- личины, от которых они зависят.
5. Если в задаче требуется определить положение или скорость точки, то к полученным уравнениям динамики добавить кинема- тические уравнения.
6. Полученную систему уравнений решить относительно искомых.

Вопросы для самопроверки:

1. Что называется абсолютным и относительным сдвигом?
2. Как формулируется закон Гука при сдвиге?
3. Какой модуль упругости больше: E или G?
4.Вес тела – это …
5. Куда обычно направлен вес тела?
6. Сформулируйте условие равенства веса тела и силы тяжести.

Задачи

1. Лифт спускается с ускорением 10 м/с^2 вертикально вниз. В лифте находится человек массой 60 кг. Чему равен вес человека?
2. Через блок перекинута невесомая нерастяжимая нить, к одному концу которой подвешен груз массой 30 г. Другой конец нити соединен с невесомой пружиной, к концу которой прикреплено тело массой 50 г. При движении грузов длина пружины равна 17,5 см. Какова длина пружины в нерастянутом состоянии, если под действием силы 1 Н пружина удлиняется на 20 см.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

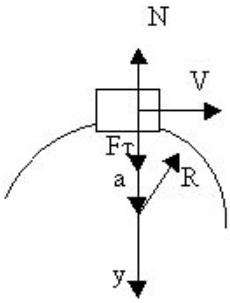
Определить вес автомобиля, идущего со скоростью 72 км/час в верхней точке выпуклого моста. Вблизи этой точки форма моста совпадает с окружностью радиуса 500 м. масса автомобиля 500 кг

Дано:

V = 72 км/ч

R = 500 м

m = 500 кг



Найти:

P

Уравнение, выражающее второй закон Ньютона в векторной форме, имеет вид:

$$\mathbf{mg + N = ma}$$

Направим координатную ось Y вертикально вниз и напишем это уравнение для проекций векторов на эту ось:

$$\mathbf{mg_y + N_y = ma_y}$$

Ясно, что $\mathbf{g_y = g, N_y = -N, a_y = a = v^2 : R}$

$$\mathbf{mg - N = mv^2 : R}$$

Вес автомобиля P по третьему закону Ньютона по модулю равен N.

$$\mathbf{mg - P = mv^2 : R}$$

$$\mathbf{P = mg - mv^2 : R \quad P = m\,(g - v^2 : R)}$$

$$\mathbf{P = 500\ кг\ (10\ м/с^2 - 400\ м^2/с^2 : 500\ м) = 4600\ Н}$$

(Ответ: P = 4600 Н)

Практическая работа №8

Тема: Решение задач на силу трения

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Сила трения». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Трение – один из видов взаимодействия тел. Оно возникает при соприкосновении двух тел. Трение, как и все другие виды взаимодействия, подчиняется третьему закону Ньютона: если на одно из тел действует сила трения, то такая же по модулю, но направленная в противоположную сторону сила действует и на второе тело. Силы трения, как и упругие силы, имеют электромагнитнуюприроду. Они возникают вследствие взаимодействия между атомами и молекулами соприкасающихся тел. Силами сухого трения называют силы, возникающие при соприкосновении двух твердых тел при отсутствии между ними жидкой или газообразной прослойки. Они всегда направлены по касательной к соприкасающимся поверхностям.

Сухое трение, возникающее при относительном покое тел, называют трением покоя. Сила трения покоя всегда равна по величине внешней силе и направлена в противоположную сторону (рис. 1.13.1).

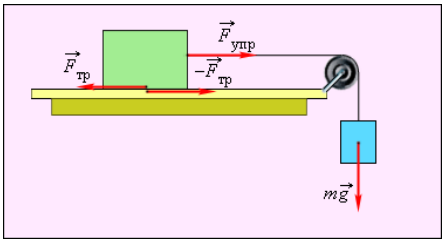


Рисунок 1.13.1.

Сила трения покоя (υ = 0).

$$\vec{F}_{тр} = -\vec{F}_{упр}$$

Сила трения покоя не может превышать некоторого максимального значения $(F_{тр})_{max}$. Если внешняя сила больше $(F_{тр})_{max}$, возникает относительное проскальзывание. Силу трения в этом случае называют силой трения скольжения. Она всегда направлена в сторону, противоположную направлению движения и, вообще говоря, зависит от относительной скорости тел.

Опыт показывает, что сила трения скольжения пропорциональна силе нормального давления тела на опору, а следовательно, и силе реакции опоры $\vec{N}$.

$$F_{тр} = (F_{тр})_{max} = \mu N.$$

Коэффициент пропорциональности μ называют коэффициентом трения скольжения.

Коэффициент трения μ – величина безразмерная. Обычно коэффициент трения меньше единицы. Он зависит от материалов соприкасающихся тел и от качества обработки поверхностей. При скольжении сила трения направлена по касательной к соприкасающимся поверхностям в сторону, противоположную относительной скорости (рис. 1.13.3).

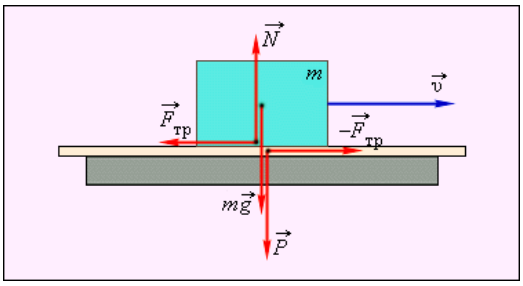


Рисунок 1.13.3.

Силы трения при скольжении

$$F_{тр} = \mu N \quad (\upsilon \neq 0).$$

$\vec{N}$ – сила реакции опоры,

$\vec{P} = -\vec{N}$ вес тела,

При движении твердого тела в жидкости или газе возникает сила вязкого трения. Сила вязкого трения значительно меньше силы сухого трения. Она также направлена в сторону, противоположную относительной скорости тела. При вязком трении нет трения покоя.

Сила вязкого трения сильно зависит от скорости тела. При достаточно малых скоростях $F_{тр} \sim \upsilon$, при больших скоростях $F_{тр} \sim \upsilon^2$. При этом коэффициенты пропорциональности в этих соотношениях зависят от формы тела.

Силы трения возникают и при качении тела. Однако силы трения качения обычно достаточно малы. При решении простых задач этими силами пренебрегают.

Исходные данные:

1. При помощи динамометра ученик перемещал деревянный брусок массой 200 г по горизонтально расположенной доске. Каков коэффициент трения, если динамометр показывал 0,6 Н
2. С какой максимальной скоростью может двигаться автомобиль на повороте радиусом закругления 205 м,чтобы его не занесло,если коэффициент трения скольжения шин о дорогу равен 0,31?
3. Два металлических шарика, одинаковых по размеру и различных по массе, падают без начальной скорости с одной и той же большой высоты. Какой из шариков быстрее упадёт на землю — лёгкий или тяжёлый?
4. К бруску массой 10 кг, находящемуся на наклонной плоскости с углом наклона α ($\sin\alpha = 0,6$), дважды приложили силу, направленную вверх вдоль плоскости: один раз величиной 44 Н, второй раз – величиной 132 Н. Во сколько раз сила трения в первом случае меньше, чем во втором, если коэффициент трения равен 0,8?
5. Треугольную призму с углом при основании α двигают вдоль горизонтальной поверхности с ускорением *a*. На призме лежит брусок. При каком коэффициенте трения между бруском и призмой брусок будет покоиться относительно призмы?

Порядок выполнения:

1.Выбрать систему отсчета.

2. Найти все силы, действующие на тело, и изобразить их на чертеже. Определить (или предположить) направление ускорения и изобразить его на чертеже.

3. Записать уравнение второго закона Ньютона в векторной форме и перейти к скалярной записи, заменив все векторы их проек- циями на оси координат.

4. Исходя из физической природы сил, выразить силы через ве- личины, от которых они зависят.

5. Если в задаче требуется определить положение или скорость точки, то к полученным уравнениям динамики добавить кинема- тические уравнения.

6. Полученную систему уравнений решить относительно искомых.

Вопросы для самопроверки:

1. Какова физическая природа возникающих сил трения?

2.Какова физическая природа возникновения упругих сил?

3.Что называется деформацией тела?

4.Перечислите виды упругой деформации.

5.От чего зависит величина коэффициента трения скольжения?

6.В каком интервале значений могут находиться коэффициенты трения покоя, скольжения и качения?

Задачи

1. С горы с углом наклона к горизонту α скатывается без проскальзывания колесо, вся масса которого сосредоточена в ободе. При каком коэффициенте трения это возможно?

2. Чтобы определить коэффициент трения k между деревянными поверхностями, брусок положили на доску и стали поднимать один конец доски до тех пор , покабрусок не начал по ней скользить. Это произошло при угле наклона доски =14 градусов. Чему равен k?

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

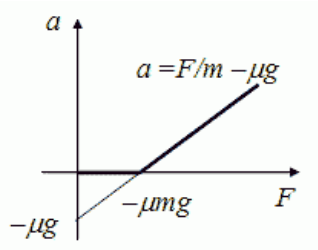
1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

К бруску массой **10 кг**, находящемуся на горизонтальной поверхности, приложена сила. Учитывая, что коэффициент трения равен **0,7**, определите:

- силу трения для случая, если **F = 50 Н** и направлена горизонтально;
- силу трения для случая, если **F = 80 Н** и направлена горизонтально;
- построить график зависимости ускорения бруска от горизонтально приложенной силы;
- с какой минимальной силой нужно тянуть за веревку, чтобы равномерно перемещать брусок?

Решение:



1. Определим максимальную силу трения покоя. Она будет равна:

μmg = 0,7×10×10 = 70 (Н).

Приложенной силы будет недостаточно для того, чтобы сдвинуть тело. По третьему закону Ньютона **F = F$_{тр}$ = 50 Н**.

2. В случае приложенной силы **F = 80 Н** тело приобретает ускорение, равное:

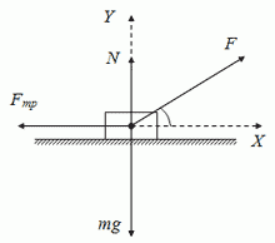
$$a = \frac{F - F_{тр}}{m} = 1 \text{ м/с}^2.$$

3. Для построения зависимости **a(F)** воспользуемся функцией:

$$a = \frac{F - F_{тр}}{m} = \frac{F - \mu mg}{m} = \frac{F}{m} - \mu g. \quad (1)$$

Из уравнения **(1)** можно сделать вывод, что зависимость ускорения от горизонтально приложенной силы линейная.

При **F = 0** **a = −μg**, а при **a = 0** **F = μmg**. Построим график зависимости **a(F)**, см. рисунок.



4. Запишем уравнение движения санок в проекциях на горизонтальное и вертикальное направления:

$$-F_{тр} + F\cos\alpha = 0$$

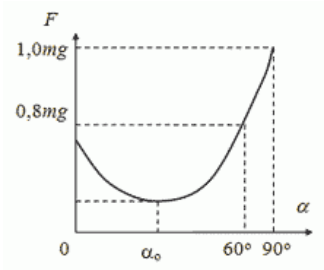
и

$-mg + N + F \sin \alpha = 0,$

где **α** — угол между веревкой и горизонтом, а сила трения равна $\mathbf{F_{тр} = \mu N}$. Из записанных уравнений найдем силу натяжения веревки:

$$F = \frac{\mu mg}{\cos \alpha + \mu \cdot \sin \alpha}. \quad (2)$$

Ее значение зависит от угла **α**. Проанализируем эту зависимость. Тело будет двигаться равномерно, если горизонтальная составляющая силы натяжения веревки**Fcos α** равна силе трения $\mathbf{F_{тр}}$. Поэтому для обеспечения минимальной силы **F** веревку, казалось бы, надо тянуть горизонтально, т. е. под углом **α = 0°**. Но с другой стороны, желательно, чтобы угол **α** был побольше, так как в этом случае за счет увеличения вертикальной составляющей **Fsin α**, стремящейся приподнять санки, уменьшается их давление на опору, и соответственно уменьшается сила трения.



Таким образом, на результат влияют два конкурирующих фактора. Для выяснения, при каких **α** превалирует первый из них, а при каких — второй, представим зависимость **F = F(α)** в виде графика. Из него видно, что исследуемая функция при $\boldsymbol{\alpha = \alpha_o}$ имеет минимум. Для нахождения значений $\boldsymbol{\alpha_o}$ и $\mathbf{F_{min}}$ воспользуемся аналитическим методом.
Функция **(2)**минимальна, когда знаменатель максимален. Обозначим знаменатель буквой **y**. Найдем производную **y'** по **α** и приравняем ее к нулю:

$y' = -\sin \alpha + \mu \cos \alpha = 0.$

Отсюда, обозначив соответствующий угол как $\boldsymbol{\alpha_o}$, получим:

$\operatorname{tg} \alpha_o = \mu$

и

$\alpha_o + \operatorname{arctg} \mu = 35°.$

Тогда:

$$F_{min} = \frac{\mu mg}{\cos \alpha_o + \mu \sin \alpha_o}.$$

Используя тригонометрические соотношения и предыдущее равенство, найдем:

$$\cos \alpha_o = \frac{1}{\sqrt{(\operatorname{tg}^2\alpha_o + 1)}} = \frac{1}{\sqrt{(\mu^2 + 1)}},$$

$$\sin \alpha_o = \frac{\operatorname{tg} \alpha_o}{\sqrt{(\operatorname{tg}^2\alpha_o + 1)}} = \frac{\mu}{\sqrt{(\mu^2 + 1)}}.$$

Следовательно:

$$F_{min} = \frac{\mu mg}{\sqrt{(\mu^2 + 1)}} = 56 \text{ Н}.$$

Практическая работа №2

Тема: Решение задач на динамику движения по окружности.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Динамика движения тела по окружности». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Вращательным движением тела вокруг фиксированной оси называют движение, при котором произвольная точка тела, кроме тех, что лежат на оси вращения, движется по окружности в плоскости, перпендикулярной оси вращения, с центром, лежащим на этой оси.

Равноускоренное вращательное движение — это движение по окружности, при котором угловая скорость тела за каждые равные отрезки времени изменяется на одно и тоже значение.

Угловое ускорение — это физическая величина, которая характеризует быстроту изменения угловой скорости тела, которая равна первой производной от угловой скорости по времени:

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

При равноускоренном вращении ($\varepsilon = Const$), если $t_0 = 0$:

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

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 + \frac{\varepsilon t^2}{2};$$

$\omega > 0$ — тело вращается против часовой стрелки; $\omega < 0$ — тело вращается по часовой стрелке; $\varepsilon > 0$ — тело разгоняется при вращении против часовой стрелки.

Скорость тела при равноускоренном вращении меняется не только по направлению, но и по модулю.

Нормальное ускорение — ускорение, которое характеризует изменение скорости по направлению, которое направлено по радиусу к центру окружности перпендикулярно касательной.

Тангенциальное ускорение — ускорение, которое характеризует изменение модуля скорости, направленное по касательной.

Модуль тангенциального ускорения определяется отношением изменения модуля скорости к промежутку времени, за которое это изменение произошло, т. е.

$$a_\tau = \frac{d\upsilon}{dt} = \frac{Rd\omega}{dt} = R\varepsilon.$$

Модуль полного ускорения точки, которое направлено по се- кущей в сторону вогнутости траектории, определяется с помощью теоремы Пифагора:

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

Силу, действующую на тело при равноускоренном вращении, можно представить в виде суммы двух составляющих: тангенци- альной и нормальной, т. е. $F_\tau = ma_\tau$ и $F_n = ma_n$ соответственно.

Линия действия силы — линия, вдоль которой происходит действие силы.

Плечо силы — это расстояние от оси вращения до линии действия силы.

Момент силы относительно оси — это скалярная величина, ко- торая является характеристикой

вращательного действия силы, равная произведению модуля силы, действующей на твердое тело, на плечо силы этой силы относительно данной оси:

$M = Fd$.

Момент силы, которая вызывает вращение тела вокруг данной оси по часовой стрелке, является отрицательным, а момент силы, вращающей тело против часовой стрелки, — положительным.

Момент инерции тела относительно оси — это физическая величина, которая является мерой инертности тела во вращательном движении вокруг этой оси, равна сумме произведений масс всех частиц тела на квадраты их расстояний.

Исходные данные:

1. Шарик, подвешенный на нити длины L, описывает окружность в гори- зонтальной плоскости. Нить составляет с вертикалью угол α. Найдите период τ об- ращения шарика, если маятник находится в лифте, движущемся с постоянным уско- рением $a < g$, направленным вниз.
2. С какой минимальной угловой скоростью ω нужно вращать ведро в вер- тикальной плоскости, чтобы из него не выливалась вода? Расстояние от оси враще- ния до поверхности воды L
3. Автомобиль массы $m = 1000$ кг движется со скоростью $v = 36$ км/ч по выпуклому мосту, имеющему радиус кривизны $R = 50$ м. С какой силой F давит ав- томобиль на мост в его верхней точке? С какой минимальной скоростью vmin должен двигаться автомобиль по мосту, чтобы в верхней точке моста он перестал оказывать на него давление?.
4. Велосипедист при повороте по закруглению радиуса R наклоняется к центру закругления так, что угол между плоскостью велосипеда и поверхностью земли равен α. Найдите скорость v велосипедиста.

Порядок выполнения:

1.Выбрать систему отсчета.
2. Найти все силы, действующие на тело, и изобразить их на чертеже. Определить (или предположить) направление ускорения и изобразить его на чертеже.
3. Записать уравнение второго закона Ньютона в векторной форме и перейти к скалярной записи, заменив все векторы их проек- циями на оси координат.
4. Исходя из физической природы сил, выразить силы через ве- личины, от которых они зависят.
5. Если в задаче требуется определить положение или скорость точки, то к полученным уравнениям динамики добавить кинема- тические уравнения.
6. Полученную систему уравнений решить относительно искомых.

Вопросы для самопроверки:
1. Что называется плечом силы?
2. Что характеризует момент инерции?
3. Напишите формулу основного закона вращательного движения.
4. Почему, при вращении на перекладине, сгибание рук или ног приводит к ускорению вращения?
5. Как направлен вектор момента силы?
Задачи
1. Горизонтальная платформа массой 80 кг и радиусом 1 м вращается с угловой скоростью, соответствующей 20 об/мин. В центре платформы стоит человек и держит в расставленных руках гири. Какое число оборотов в минуту будет делать платформа, если человек, опустив руки, уменьшить свой момент инерции от 2,94 кг.м^2 до 0,98 кг·м^2? Считать платформу круглым однородным диском.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org

2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Шар массой 2 кг и радиусом 0,2 м вращается вокруг оси, проходящей через его центр. Уравнение вращения шара имеет вид q=5+6t2-t3. По каким законам меняются угловая скорость ω, угловое ускорение ε, момент сил M и мощность N? Чему равны ω, ε, M и N в момент времени t = 3 с?

Решение.

Находим уравнение угловой скорости ω по формуле

$$\omega = \frac{dq}{dt} = (5 + 6t^2 - t^3)' = 12t - 3t^2$$

Находим уравнение углового ускорения ε по формуле

$$\varepsilon = \frac{d^2q}{dt^2} = \frac{d\omega}{dt} = (12t - 3t^2)' = 12 - 6t$$

Находим уравнение момент сил M по формуле

$$M = I\varepsilon$$

$I = \frac{2}{5}mr^2$ – момент инерции шара

Тогда

$$M = I\varepsilon = \frac{2}{5}mr^2 * (12 - 6t) = \frac{2}{5} * 2 * 0.2^2 * (12 - 6t) = 0.032(12 - 6t)$$

Находим уравнение мощность N по формуле

$$N = M\omega = 0.032(12 - 6t) * (12t - 3t^2)$$

Находим ω, ε, M и N в момент времени t = 3 с:

$$\omega(3) = 12 * 3 - 3 * 3^2 = 9$$

$$\varepsilon(3) = 12 - 6 * 3 = -6$$

$$M(3) = 0.032(12 - 6 * 3) = -0{,}192$$

$$N(3) = 0.032(12 - 6 * 3) * (12 * 3 - 3 * 3^2) = -1{,}728$$

Практическая работа №2

Тема: Решение задач динамике.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Динамика». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Исходные данные:

1. К бруску массой 200г, лежащему на гладком столе, прикреплена пружина жёсткостью 100Н/м. Придерживая брусок, пружину растянули на 2см. С каким ускорением начнёт двигаться брусок, если его отпустить?
2. Два корабля массой 50 000т каждый стоят на рейде на расстоянии 1км один от другого. Какова сила притяжения между ними?
3. Бетонную плиту весом 120кН равномерно тащат по горизонтальной поверхности. Прилагая силу 54кН. Определить коэффициент трения.
4. Изобразить все силы, действующие на тело, которое ускоренно втаскивают по наклонной плоскости.
5. Клеть массой 200кг опускается в шахту. Движение равноускоренное. За 12с она проходит 72м. Определить силу натяжения каната, удерживающего клеть.
6. На самолет, летящий в горизонтальном направлении, действует в направлении полета сила тяги двигателя F = 15000 Н, сила сопротивления воздуха F_C = 11000 Н и сила давления бокового ветраF_B = 3000 Н, направленная под углом α = 90° к курсу. Найти равнодействующую этих сил. Какие еще силы действуют на самолет в полете и чему равна их равнодействующая?
7. Определите силу, с которой притягиваются друг к другу два корабля массой по 10^7 кг каждый, находящиеся на расстоянии 500 м друг от друга.
8. Между всеми телами существует взаимное притяжение. Почему же мы наблюдаем притяжение тел к Земле и не замечаем взаимного тяготения окружающих нас предметов друг к другу?
9. Пружину детского пистолета сжали на 3 см. Определите возникшую в ней силу упругости, если жесткость пружины равна 700 Н/м.
10. Какой силой можно сдвинуть ящик массой 60 кг, если коэффициент трения между ним и полом равен 0,27? Сила действует под углом 30° к полу (горизонту).
11. Какую начальную скорость нужно сообщить сигнальной ракете, выпущенной под углом α = 45° к горизонту, чтобы она вспыхнула в наивысшей точке траектории, если запал ракеты горитt = 6 с?
12. Вычислить первую космическую скорость у поверхности Луны, если радиус Луны R= 1760 км, а ускорение свободного падения на Луне составляет 0,17 земного.

Порядок выполнения:

1.Выбрать систему отсчета.

2. Найти все силы, действующие на тело, и изобразить их на чертеже. Определить (или предположить) направление ускорения и изобразить его на чертеже.

3. Записать уравнение второго закона Ньютона в векторной форме и перейти к скалярной записи, заменив все векторы их проек- циями на оси координат.

4. Исходя из физической природы сил, выразить силы через ве- личины, от которых они зависят.

5. Если в задаче требуется определить положение или скорость точки, то к полученным уравнениям динамики добавить кинема- тические уравнения.

6. Полученную систему уравнений решить относительно искомых.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Практическая работа №11

Тема: Решение задач на законы сохранения.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Равномерное прямолинейное движение». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Законы сохранения

Импульс тела *(материальной точки) - физическая векторная величина, равная произведению массы тела на его скорость.*

$\vec{p} = m \cdot \vec{\upsilon}$ [p] = кг·м/с $\vec{p} \uparrow\uparrow \vec{\upsilon}$

Импульс силы *– векторная физическая величина, равная произведению среднего значения силы на время ее действия* $\vec{F} \cdot \Delta t$. [F·Δt] = Н·м.

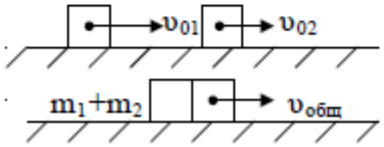
Второй закон Ньютона *изменение импульса тела равно импульсу действующей на него силы:* т.к. $\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta \vec{p}$ $m\vec{\upsilon}_2 - m\vec{\upsilon}_1 = \vec{F} \cdot \Delta t$

Ударом **(или столкновением) принято называть кратковременное взаимодействие тел, в результате которого их скорости испытывают значительные изменения.**

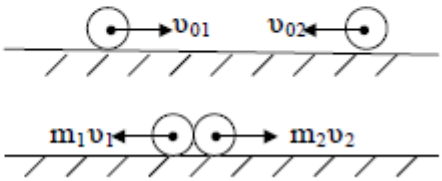
Удар

Абсолютно неупругим ударом **называют такое ударное взаимодействие, при котором тела соединяются друг с другом и движутся дальше как одно тело.**

Механическая энергия не сохраняется (она частично или полностью переходит во внутреннюю энергию тел)



Абсолютно упругим ударом **называется столкновение, при котором сохраняется механическая энергия системы тел.**



Закон сохранения импульса.

Замкнутая (изолированная) система *– система тел, взаимодействующих только между собой и не взаимодействующих с телами, не входящими в эту систему.*

Закон сохранения импульса: *векторная сумма импульсов тел, составляющих замкнутую систему, не изменяется.*

$$m\vec{\upsilon}_{01} + m\vec{\upsilon}_{02} + m\vec{\upsilon}_{03} + \ldots = m\vec{\upsilon}_1 + m\vec{\upsilon}_2 + m\vec{\upsilon}_3 + \ldots$$

Энергия *– скалярная физическая величина, являющаяся мерой способности тела (или системы тел) совершить работу.*

Энергия

Кинетическая энергия - *энергия движущегося тела.*

$$E_к = \frac{m\upsilon^2}{2}$$

Теорема о кинетической энергии *– изменение кинетической энергии тела при переходе из одного положения в*

Потенциальная энергия – *обусловлена взаимодействием различных тел или частей тела*

Потенциальная энергия тела поднятого над землей

E=mgh

m-масса тела

g-ускорение свободного падения

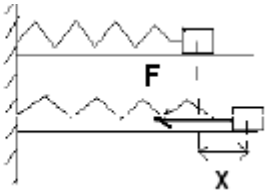
Потенциальная энергия упругодеформированного тела

$$E_п = \frac{kx^2}{2}$$

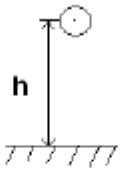
k - коэффициент жесткости пружины

x- величина деформации

другое равно работе всех сил, действующих на тело.



h- высота тела над землей



Закон сохранения энергии в механических процессах – *сумма кинетической и потенциальной энергии тел, составляющих замкнутую систему и взаимодействующих между собой силами тяготения и силами упругости, остается неизменной.*

$$\mathbf{E = E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2} = const} \qquad \text{при } F_{тр} = 0$$

Если $F_{тр} \neq 0$, механическая энергия переходит во внутреннюю (тепловую) энергию тела:

$$Q = E_2 - E_1, \text{ где } Q = A_{тр}$$

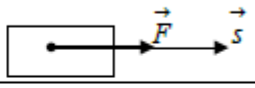
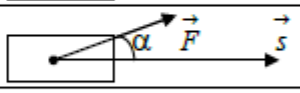
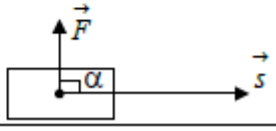
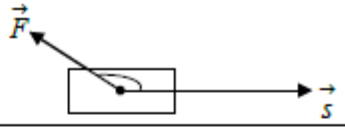
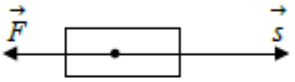
Понятие потенциальной энергии можно ввести только для сил, работа которых не зависит от траектории движения тела и определяется только начальным и конечным положениями. Такие силы называются **консервативными** (силы тяжести и силы упругости)

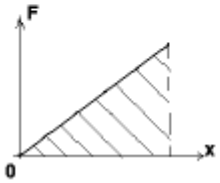
Работа силы.

Механической работой **A**, *совершаемой постоянной силой, называется скалярная физическая величина, равная произведению модулей силы и перемещения, умноженному на*

$$\mathbf{A = F \cdot s \cdot \cos\alpha} \qquad [A] = Дж \qquad 1Дж = 1Н \cdot 1м$$

Работа в зависимости от угла α:

№	α	формула	рисунок
1	$\alpha = 0°$	$\cos\alpha = 1$ $A = F \cdot s$ (υ↑)	
2	$0° < \alpha < 90°$	$\cos\alpha > 0$ $A = F \cdot s \cdot \cos\alpha > 0$ (υ↑)	
3	$\alpha = 90°$	$\cos\alpha = 0$ $A = 0$ $\upsilon = 0$	
4	$90° < \alpha < 180°$	$\cos\alpha < 0$ $A = F \cdot s \cdot \cos\alpha < 0$ (υ↓)	
5	$\alpha = 180°$	$\cos\alpha = -1$ $A = -F \cdot s < 0$ (υ↓)	



Графически работа определяется по площади фигуры под графиком $F_s(x)$: $\mathbf{A = S_{фиг}}$

Работа силы равна изменению его кинетической или потенциальной энергии: $\mathbf{A = |\Delta E_к| = |\Delta E_п|}$

Работа силы тяжести не зависит от формы траектории и равна изменению потенциальной энергии тела, взятому с противоположным знаком.

$A_{тяж.} = mg(h_1 - h_2) = -(mgh_1 - mgh_2) = -(E_{p2} - E_{p1})$

Работа силы тяжести по замкнутой траектории равна нулю.

Мощность *– скалярная физическая величина, равная отношению совершенной работы к промежутку времени, за который она совершена.*

$N = \frac{A}{t}$ $\quad N = F \cdot \upsilon \quad [N] = Вт \quad 1\ Вт = \frac{1 Дж}{1 с}$

Коэффициент полезного действия механизмов КПД *– величина, равная отношению полезной работы к полной работ, выраженная в процентах.* $\eta = \frac{A_{полезная}}{A_{полная}} 100\%$

Исходные данные:

1. Пуля массой 10 г, летящая горизонтально со скоростью 400 м/с, ударяется в преграду и останавливается. Чему равен импульс, полученный пулей от преграды? Куда он направлен?
2. Космический корабль массой 4800 кг двигался по орбите со скоростью 8000 м/с. При торможении из него тормозными двигателями было выброшено 500 кг продуктов сгорания со скоростью 800 м/с относительно его корпуса в направлении движения. Определите скорость корабля после торможения.
3. Снаряд, летевший горизонтально со скоростью 480 м/с, разорвался на два осколка равной массы. Один осколок полетел вертикально вверх со скоростью 400 м/с относительно Земли. Определите скорость второго осколка.
4. Охотник, плывя по озеру на легкой надувной лодке, стреляет в уток. Какую скорость приобретает лодка в момент выстрела из двух стволов ружья (дуплетом)? Масса охотника с лодкой и ружьем 80 кг, масса пороха и дроби в одном патроне 40 г, начальная скорость дроби 320 м/с, ствол ружья во время выстрела направлен под углом 60° к горизонту.
5. Стоящий на коньках человек массой 60 кг ловит мяч массой 500 грамм, летящий горизонтально со скоростью 72 км/ч, определите расстояние на которое откатится при этом человек, если коэффициент трения 0,05.

Порядок выполнения:

Внимательно прочти условие задачи.

2. Произведи краткую запись условия задачи с помощью общепринятых буквенных обозначений (СИ).
3. Выполни рисунки или чертежи задачи.
4. Определи, каким методом будет решаться задача, составь план решения.
5. Запиши основные уравнения, описывающие процессы, предложенные задачной системой.
6. Найди решение в общем виде, выразив искомые величины через заданные.
7. Проверь правильность решения задачи в общем виде, произведя действия с наименованием величин.
8. Произведи вычисления.
9. Произведи оценку реальности полученного решения.
10. Запиши ответ.

Вопросы для самопроверки:

1. Что Как импульс силы связан с импульсом тела?
2. Могут ли внутренние силы изменить импульс системы тел? импульсы тел системы?
3. Какие два фактора обязательны для совершения механической работы?
4. Какая энергия является мерой взаимодействия тел?
5. Может ли потенциальная энергия быть отрицательной?

Задачи

1. Футбольный мяч массой 400 г падает на Землю с высоты 6 м и отскакивает на высоту 2,4 м. Какое количество механической энергии мяча превращается в другие виды энергии?

2. Автомобиль массой 5000 кг при движении в горной местности поднялся на высоту 400 м над уровнем моря. Определите потенциальную энергию автомобиля относительно уровня моря.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Стоящий на коньках человек массой 60 кг ловит мяч массой 500 грамм, летящий горизонтально со скоростью 72 км/ч, определите расстояние на которое откатится при этом человек, если коэффициент трения 0,05.

Дано:

$m_1 = 60$ кг

$m_2 = 0,5$ кг

$v_2 = 20 \frac{м}{с}$

$k = 0,05$

$s - ?$

Решение:

Применим закон сохранения импульса.

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$$

$$m_1 \cdot 0 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot 0$$

$$v_1' = \frac{m_2}{m_1} \cdot v_2$$

подставляя значения в СИ, получим:

$$v_1' = \frac{0,5}{60} \cdot 20 = 0,17 \left(\frac{м}{с}\right)$$

Получая такую скорость (начальную для следующего движения) $v_0 = v_1$, человек останавливается под действием силы трения, т.е. двигается с ускорением a.

$F_{тр} = -m \cdot a$.

В то же время $F_{тр} = k \cdot N = k \cdot a \cdot g$, где N - сила нормального давления, k – коэффициент трения, g – ускорение свободного падения.

Приравнивая правые части последних уравнений, получим:

$-m \cdot a = k \cdot a \cdot g$, откуда $a = -k \cdot g$

Для определения расстояния, на которое откатывается человек, применим формулу кинематики

$$v^2 - v_0^2 = 2a \cdot s$$

$$0 - v_0^2 = 2a \cdot s$$

где конечная скорость человека v =0.

Отсюда находим перемещение человека после ловли мяча:

$$s = -\frac{v_0^2}{2a} = -\frac{v_1^2}{2a} = \frac{v_1^2}{2k \cdot g}$$

подставляя значения, получим

$$s = -\frac{(0,17)^2}{2 \cdot 0,05 \cdot 10} = 0,06 \, (м)$$

Практическая работа №12

Тема: Решение задач на тему «Статика».

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Статика». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Условие равновесия тела, *не имеющего оси вращения*:

$$\vec{F}_1+\vec{F}_2+\ldots=0,$$

где $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \ldots$ – силы, действующие на тело (Н).

Плечо l – это наименьшее расстояние между точкой (осью) вращения и линией действия силы.

$$M=F\cdot l,$$

где M – момент силы (Н·м); F – модуль силы (Н); l – плечо силы (м).

Условимся:

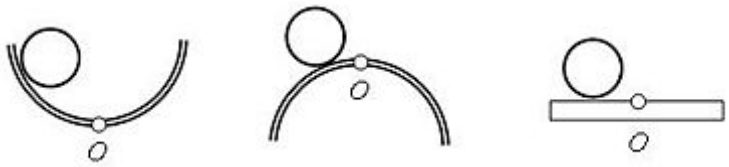
- если момент силы вращает (пытается вращать) тело *по часовой стрелке*, будем считать такой момент силы *положительным*;
- если вращает *против часовой стрелки – отрицательным*.

Условие равновесия тела, *имеющего закрепленную ось вращения*:

$$M_1+M_2+\ldots=0,$$

где M_1, M_2, … – моменты сил, приложенных к телу (Н·м).

Виды равновесия	**Признаки**
Устойчивое	при любых малых отклонениях от положения равновесия (точка *O*) тело будет стремиться возвратиться в начальное положение (рис. 1 а).
Неустойчивое	при любых малых отклонениях от положения равновесия (точка *O*) тело будет стремиться еще больше отклониться от начального положения (рис. 1 б).
Безразличное	при любых малых отклонениях от положения равновесия (точка *O*) тело не будет стремиться возвратиться в начальное положение или еще больше отклониться от начального положения (рис. 1 в).



а б в

Рис. 1

Пусть на тело действует параллельные силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, точки приложения которых *A* и *B* соответственно. Тогда равнодействующая $\vec{R}=\vec{F}_1+\vec{F}_2$ будет направлена вдоль параллельной этим силам прямой *a* (линии действия равнодействующей), а точка приложения *O* равнодействующей $\vec{R}$ будет лежать на пересечении прямой *AB* и *a* (рис. 2). Кроме того, тело будет находиться в равновесии относительно точки *O*.

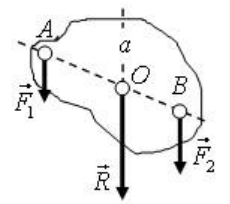


Рис. 2

С учетом этого при нахождении *равнодействующей* $\vec{R}$ *параллельных сил* $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, действующих на тело, воспользуемся следующим способом:

1. проведите прямую, проходящую через точки *A* и *B* приложения сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$;
2. используя условие равновесия тела $M_1 + M_2 + \ldots = 0$, найдите местоположение точки *O* на прямой *AB*, относительно которой тело будет находиться в равновесии. Точка*O* – точка приложения равнодействующей силы;

3. равнодействующая:
   - $R = F_1 + F_2$ и направлена в ту же сторону, что и силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, если силы направлены *в одну сторону*;
   - $R = |F_1 - F_2|$ и направлена в сторону большей силы, если силы направлены *в противоположные стороны*.

При равновесии твердого тела сумма моментов всех внешних сил, действующих на него относительно *любой оси*, равна нулю. Поэтому в задачах можно выбирать ось вращения таким образом, чтобы уменьшить в уравнении число неизвестных величин.

Сила тяжести системы тел – это равнодействующая сил тяжести частей этой системы. Тогда поиск центра тяжести системы сводится к нахождению точки приложения равнодействующей параллельных сил, направленных в одну сторону.

Для равновесия тела, стоящего на плоскости, необходимо, чтобы вертикаль, проходящая через центр тяжести тела, пересекала поверхность, ограниченную опорой (AO), т.к. в этом случае момент силы тяжести стремится повернуть тело вокруг точки O против часовой стрелки (рис. 3 а), и тело находится в устойчивом равновесии. В противном случае (т.е. вертикаль, проходящая через центр тяжести тела, не пересекает поверхность, ограниченную опорой (AO)) момент силы тяжести стремится повернуть тело вокруг точки Oпо часовой стрелке (рис. 3 б), и тело опрокидывается.

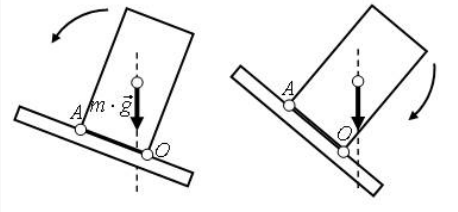


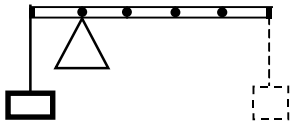
Рис. 3 а и б

Устойчивость тела улучшается, если увеличивается площадь опоры.

Устойчиво то положение тела, в котором его потенциальная энергия имеет минимальное значение, а, следовательно, ниже центр тяжести тела.

Исходные данные:

1. К левому концу невесомого стержня прикреплен груз массой 3 кг (см. рисунок). Стержень расположили на опоре, отстоящей от груза на 0,2 длины. Груз какой массы надо подвесить к правому концу, чтобы стержень находился в равновесии?



2. Балка длиной 10см и весом 10 000Н лежит своими концами на двух опорах. На расстоянии 2см от левого конца балки лежит груз весом 5000Н. Определить силы давления балки на опоры.
3. К концам рычага приложены силы 24 и 27Н. Длина рычага 17см.Найти плечи рычага. Весом рычага пренебречь.
4. Балка длиной 10см и весом 500Н лежит своими концами на двух опорах. На расстоянии 3см от правого конца балки лежит груз весом 300Н. Определить силы давления балки на опоры.

Порядок выполнения:

1. Понять предложенную задачу (увидеть физическую модель).
2. Анализ (построить математическую модель явления):
   a. Выбрать систему отсчета.
   b. Найти все силы, приложенные к находящемуся в равновесии телу.
   c. Написать уравнение, выражающее первое условие равновесия $\sum \vec{F}_i = 0$, в векторной форме и перейти к скалярной его записи.
   d. Выбрать ось, относительно которой целесообразно определять момент сил.
   e. Определить плечи сил и написать уравнение, выражающее второе условие равновесия $\sum M_i = 0$.
   f. Исходя из природы сил, выразить силы через величины, от которых они зависят.
3. Полученную систему уравнений решить относительно искомой величины.

4. Решение проверить и оценить критически.

Вопросы для самопроверки:

1. Что называют плечом силы?
2. Что называют моментом силы? Какая формула выражает смысл этого понятия?
3. Какова единица измерения момента в СИ?
4. Какую роль играет момент силы во вращательном движении?
5. Как определяется знак момента силы?
6. Чему равен момент силы, проходящий через ось вращения?
7. Что называют центром тяжести?
8. Сформулируйте и запишите условие равновесия тела с закрепленной осью вращения?
9. Каковы общие условия равновесия любого твердого тела?
10. Какими способами можно определить центр тяжести?

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

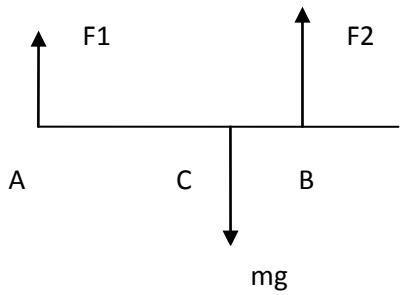
1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Рельс длиной10м и весом 9кН, расположенный горизонтально, поднимают на двух параллельных тросах. Найти силу натяжения тросов, если один из них укреплён на конце рельса, а другой на расстоянии 1м от другого конца рельса.

Решение:

Из условия задачи имеем: плечо первой силы отрезок АС – 5м, второй силы отрезок СВ – 4м.



Применим условия равновесия:

1) $F_1 + F_2 = mg$
2) F_1 AC = F_2 CB, тогда $F_1 = mg - F_2$;

Найдём силы.

3) $5(mg - F_2) = 4 F_2$,
4) тогда $F_2 = 5\ mg /9 = 5$кН, F_1=4кН.

Практическая работа №2

Тема: Решение задач на механические колебания.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Механические колебания». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Колебательным движением (колебаниями) называют всякий процесс, который обладает свойством повторяемости во времени.

Периодическим называется движение, при котором физические величины, характеризующие колебательную систему, через равные промежутки времени принимают одни и те же значения.

При периодическом колебательном движение тело (материальная точка) перемещается вблизи устойчивого положения равновесия, отклоняясь то в одну, то в другую сторону. При этом через любую точку траектории, за исключением крайних, тело проходит как в прямом, так и в обратном направлении. Следовательно, отличительным признаком колебательного движения является его *возвратность*.

Например, механическим колебательным движением является: движение тела, подвешенного на нити (маятник), колебания тела, подвешенного на пружине (пружинный маятник), колебания струн, вибрации фундаментов зданий.

Таким образом, *отличительными признаками* колебательного движения являются: 1) повторяемость движения; 2) возвратность движения (движение как в прямом, так и в обратном направлении).

Для существования механических колебаний необходимо:

- наличие силы, стремящейся возвратить тело в положение равновесия при малом смещении из этого положения;
- достаточно малое трение в системе, поскольку, в противном случае, колебания быстро затухнут или вообще не возникнут.

Величины, характеризующие колебания

Наиболее важными величинами, характеризующими механические колебания, являются:

- *число колебаний* за некоторый промежуток времени *t*. Обозначается буквой *N*;
- *координата* материальной точки или ее *смещение* (отклонение) — величина, характеризующая положение колеблющейся точки в момент времени t относительно положения равновесия и измеряемая расстоянием от положения равновесия до положения точки в заданный момент времени. Обозначается буквой *x*, измеряется в*метрах* (м);
- *амплитуда* — максимальное смещение тела или системы тел из положения равновесия. Обозначается буквой *A* или x_{max}, измеряется в *метрах* (м);
- *период* — время совершения одного полного колебания. Обозначается буквой *T*, измеряется в *секундах* (с);
- *частота* — число полных колебаний в единицу времени. Обозначается буквой ν, измеряется в *герцах* (Гц);
- *циклическая частота*, число полных колебаний системы в течение 2π секунд. Обозначается буквой ω, измеряется в *радиан в секунду* (рад/с);
- *фаза* — аргумент периодической функции, определяющий значение физической величины в любой момент времени *t*. Обозначается буквой φ, измеряется в *радианах* (рад);
- *начальная фаза* — аргумент периодической функции, определяющий значение физической величины в начальный момент времени ($t = 0$). Обозначается буквой φ_0, измеряется в *радианах* (рад).

Эти величины связаны между собой следующими соотношениями:

$$T=t/N, \quad \nu=1/T=N/t,$$

$$\omega=2\pi\cdot\nu=2\pi/T, \quad \varphi=\omega\cdot t+\varphi 0.$$

Гармонические колебания

Гармонические колебания — это колебания, при которых координата (смещение) тела изменяется со временем по закону косинуса или синуса и описывается формулами:

$$x=A\cdot\sin(\omega\cdot t+\varphi 0) \text{ или } x=A\cdot\cos(\omega\cdot t+\varphi 0).$$

Зависимость координаты от времени *x*(*t*) называется *кинематическим законом гармонического колебания* (законом движения).

Графически зависимость смещения колеблющейся точки от времени изображается косинусоидой (или синусоидой).
Пусть тело совершает гармонические колебания по закону x=A·cosω·t (φ_0 = 0). На рисунке 2, а представлен график зависимости координаты *x* от времени *t*.

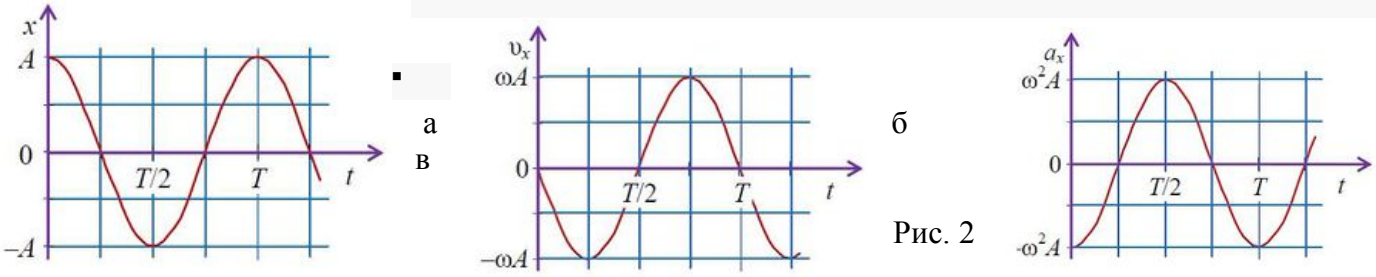


Рис. 2

Выясним, как изменяется проекция скорости колеблющейся точки со временем. Для этого найдем производную по времени от закона движения:

υx=x′=(A·cosω·t)′=−ω·A·sinω·t=ω·A·cos(ω·t+π2),

где ω·A=υxmax — амплитуда проекции скорости на ось *x*.
Эта формула показывает, что при гармонических колебаниях проекция скорости тела на ось *x* изменяется тоже по гармоническому закону с той же частотой, с другой амплитудой и опережает по фазе смешение на π/2 (рис. 2, б).
Для выяснения зависимости ускорения $a_x(t)$ найдем производную по времени от проекции скорости:

ax=υ′x=x″=(A·cosω·t)″=(−ω·A·sinω·t)′= =−ω2·A·cosω·t=ω2·A·cos(ω·t+π), (1)

где ω2·A=axmax — амплитуда проекции ускорения на ось *x*.
При гармонических колебаниях проекция ускорения опережает смещение по фазе на π (рис. 2, в).
Аналогично можно построить графики зависимостей $x(t)$, $\upsilon_x(t)$ и $a_x(t)$, если x=A·sinω·t (φ_0 = 0).
Учитывая, что A·cosω·t=x, из уравнения (1) для ускорения можно записать

ax=−ω2·x,

т.е. при гармонических колебаниях проекция ускорения прямо пропорциональна смещению и противоположна ему по знаку, ускорение направлено в сторону, противоположную смещению.
Данное соотношение можно переписать в виде

ax+ω2·x=0.

Последнее равенство называют *уравнением гармонических колебаний*.
Физическую систему, в которой могут существовать гармонические колебания, называют *гармоническим осциллятором*, а уравнение гармонических колебаний — *уравнением гармонического осциллятора*.
Исходные данные:

1.Математический маятник имеет длину подвеса 10 м. Амплитуда колебаний 20 см. Постройте график колебаний.
2.Амплттуда колебаний струны 1мм, частота 1 кГц. Какой путь пройдет точка за 0.2 с?
3.Автомобильные рессоры могут иметь жесткость 4000 Н/м. каков период колебаний, если на них упадет груз массой 500 кг?
4.Ускорение свободного падения на луне равно 1.7 м /$с^2$.Каким будет период колебаний математического маятника на Луне, если на Земле он равен 1с?
5. Если к некоторому грузу на пружине подвесить гирю массой 100г, то частота колебаний уменьшится в 1.41 раза. Какой массы груз был первоначально подвешен к пружине?
6.Какова масса груза , колеблющегося на пружине жесткостью 0.2 кН/м , если при амплитуде 4 см он имеет максимальную скорость 3 м/с.

Порядок выполнения:
Задачи на расчёт колебательного движения условно можно разделить на группы:
Задачи, решение которых основано на общих уравнениях гармонических колебаний.
Задачи на расчёт периода колебаний пружинного и математического маятников.
<u>Первая группа:</u>
1. Записать уравнение гармонических колебаний.

2. Определить начальную фазу колебаний, используя условие задачи, и выразить, если это необходимо, циклическую частоту колебаний ω через частоту ν или период колебаний Т.
3. Определить мгновенные значения скорости и ускорения точки, совершающей гармонические колебания.
4. Если необходимо, использовать закон сохранения механической энергии.
5. Решить полученные уравнения относительно неизвестных.
6. Сделать числовой расчёт и проверить размерность искомой величины.

Вторая группа:

1. Выяснить, чему равно ускорение точки подвеса математического маятника. Если а = 0, то период колебаний определяется по формуле $T = 2\pi\sqrt{\frac{\lambda}{g}}$. Для пружинного маятника $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$.
2. Если необходимо, то записать формулы, связывающие период колебаний Т с частотой ν или циклической частотой колебаний ω.
3. Решить полученные уравнения.
4. Сделать числовой расчёт и проверить размерность искомой величины.

Вопросы для самопроверки:

1. Что понимают под механическими колебаниями?
2. Какие виды колебаний вы знаете?
3. Какие колебания называются свободными? Их отличительная особенность?
4. Какие колебания называются вынужденными?
5. Какие колебания называются гармоническими?
6. Какие обязательные условия для возникновения механических колебаний?

Задачи

1. Уравнение гармонических колебаний имеет вид **: x =0,06 Cos 100n t.** Каковы амплитуда, частота и период колебаний ? Построить график.
2. Уравнение движения гармонических колебаний имеет вид : **x =2 Sin 50n t.**Каковы амплитуда, частота и период колебаний? Каково смещение колеблющейся точки через 0,005с после начала колебаний?

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Материальная точка совершает гармонические колебания с частотой ν и амплитудой A. Определить средние значения скорости $\overline{V}$ и ускорения $\overline{a}$ точки на пути от её крайнего положения до положения равновесия, а также найти максимальные значения этих величин: V_{max} и a_{max}.

Дано:

ν, A

Найти:

$\overline{V}$, $\overline{a}$, V_{max}, a_{max}

Решение.

Будем решать задачу в инерциальной системе отсчета (ИСО) связанной с точкой, задающей положение равновесия колеблющейся системы.

Из кинематики мы знаем, что средняя скорость есть отношение пройденного пути ко времени прохождения этого пути:

$\overline{V} = \frac{\Delta l}{\Delta t}$. (1)

В нашем случае $\Delta l = A$ - путь от положения равновесия до максимального отклонения, а $\Delta t = \frac{T}{4}$ - четвертая часть перида колебания. Подставляя в (1) получим:

$\overline{V} = \frac{4A}{T} = 4A\nu$. (2)

Полагая в формуле $V = \dot{x} = A\omega\cos(\omega t + \varphi_0)$
$\cos(\omega t + \varphi_0) = 1$, найдем максимальную скорость:

$V_{max} = \omega A = 2\pi\nu A$. (3)

Среднее ускорение есть

$\bar{a} = \frac{\delta V}{\Delta t}$, (4)

где $\Delta V = V - V_0$. В нашем случае начальная скорость $V_0 = 0$, а конечная скорость $V = V_{max} = 2\pi\nu A$, $\Delta t = \frac{T}{4}$. Подставляя в (4) получим:

$\bar{a} = \frac{4\omega A}{T} = 8\pi\nu^2 A$. (5)

Полагая в формуле $a = \ddot{x} = -A\omega^2\sin(\omega t + \varphi_0)$
$\sin(\omega t + \varphi_0) = 1$, найдем максимальное ускорение:

$a_{max} = \omega^2 A = 4\pi^2\nu^2 A$.

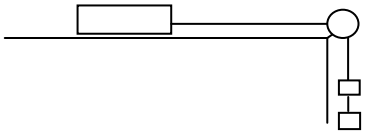
Практическая работа №5

Тема: Контрольная работа по теме «Кинематика».

Цель: проконтролировать знания учащихся и их умения самостоятельно применять полученные знания при решении задач.

Исходные данные:

1. 1. Сформулировать закон сохранения энергии.
2. Какие составные части включает в себя система отсчета?
3. Движение велосипедиста описывается уравнением $x = 150 – 10\ t$. В какой момент времени велосипедист проедет мимо автостанции, если её координата $x = 100$ *м*?
4. На соревнованиях лошадей тяжелоупряжных пород одна из них перевезла груз массой *23 т*. Найти коэффициент трения, если сила тяги лошади *2,3 кН*.
5. Тело массой *100 кг* поднимают с ускорением $2\ м/с^2$ на высоту *25 м*. Какая работа совершается при подъёме тела?
6. Дано: $m_1 = 10$ *кг*; $m_2 = 3$ *кг*; $m_3 = 2$ *кг*; $\mu = 0,2$.
   Найти: a, T_1, T_2.



7. С лодки массой *200 кг*, движущейся со скоростью *1 м/с*, прыгает мальчик массой *50 кг* в горизонтальном направлении со скоростью *7 м/с*. Какова скорость лодки после прыжка, если мальчик прыгал по ходу лодки?

Порядок выполнения:

1. Внимательно прочти условие задачи.
2. Произведи краткую запись условия задачи с помощью общепринятых буквенных обозначений (СИ).
3. Выполни рисунки или чертежи задачи.
4. Определи, каким методом будет решаться задача, составь план решения.
5. Запиши основные уравнения, описывающие процессы, предложенные задачной системой.
6. Найди решение в общем виде, выразив искомые величины через заданные.
7. Проверь правильность решения задачи в общем виде, произведя действия с наименованием величин.
8. Произведи вычисления.
9. Произведи оценку реальности полученного решения.
10. Запиши ответ.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Практическая работа №16

Тема: Решение задач на основное уравнение МКТ.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Основное уравнение МКТ». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

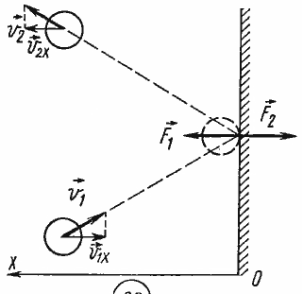
Основные понятия:

Идеальный газ. Для объяснения свойств вещества в газообразном состоянии используется модель идеального газа. В модели идеального газа предполагается следующее: молекулы обладают пренебрежимо малым объемом по сравнению с объемом сосуда, между молекулами не действуют силы притяжения, при соударениях молекул друг с другом и со стенками сосуда действуют силы отталкивания.

Давление идеального газа. Одним из первых и важных успехов молекулярно-кинетической теории было качественное и количественное объяснение явления давления газа на стенки сосуда.

Качественное объяснение давления газа заключается в том, что молекулы идеального газа при столкновениях со стенками сосуда взаимодействуют с ними по законам механики как упругие тела.

При столкновении молекулы со стенкой сосуда проекция υ_x вектора скорости на ось *OX,* перпендикулярную стенке, изменяет свой знак на противоположный, но остается постоянной по модулю (рис.).



Поэтому в результате столкновения молекулы со стенкой проекция ее импульса на ось *OX* изменяется от $m\upsilon_{1x} = -m\upsilon_x$ до $m\upsilon_{2x} = m\upsilon_x$. Изменение импульса молекулы показывает, что на нее при столкновении действует сила $\vec{F}_1$, направленная от стенки. Изменение импульса молекулы равно импульсу силы $\vec{F}_1$:

$$F_1 t = m\upsilon_{2x} - m\upsilon_{1x} = m\upsilon_x - (-m\upsilon_x) = 2m\upsilon_x .$$

Во время столкновения молекула действует на стенку с силой $\vec{F}_2$, равной по третьему закону Ньютона силе $\vec{F}_1$ по модулю и направленной противоположно.

Молекул газа очень много, и удары их о стенку следуют один за другим с очень большой частотой. Среднее значение геометрической суммы сил, действующих со стороны отдельных молекул при их столкновениях со стенкой сосуда, и является силой давления газа. Давление газа равно отношению модуля силы давления $\vec{F}$ к площади стенки *S*:

$$p = \frac{F}{S} .$$

На основе использования основных положений молекулярно-кинетической теории было получено уравнение, которое позволяло вычислить давление газа, если известны масса m_0 молекулы газа, среднее значение квадрата скорости молекул $\overline{\upsilon^2}$ и концентрация *n* молекул:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{\upsilon^2} . \quad (24.1)$$

Уравнение (24.1) называют *основным уравнением молекулярно-кинетической теории.*

Обозначив среднее значение кинетической энергии поступательного движения молекул идеального газа $\overline{E}$:

$$\overline{E} = \frac{3}{2} kT ,$$

получим

$$p = \frac{2}{3} n \overline{E} . \quad (24.2)$$

Давление идеального газа равно двум третям средней кинетической энергии поступательного движения молекул, содержащихся в единице объема.

Исходные данные:

1. Определите среднюю квадратичную скорость молекул кислорода и аргона в воздухе при температуре 20 0С.
2. При какой температуре тепловая скорость молекул азота равна 900 км/ч?
3. Идеальный газ оказывает на стенки сосуда давление 1,01×105 Па. Тепловая скорость молекул 500 м/с. Найдите плотность газа
4. Азот занимает объѐм 1 л при нормальном атмосферном давлении. Определите энергию поступательного движения молекул газа.
5. Воздух состоит из смеси азота, кислорода и аргона. Их концентрация соответ- ственно равна 7,8. 1024 м -3 ; 2,1. 1024 м -3 ; 1023 м -3 . Средняя кинетическая энергия молекул смеси одинакова и равна 3. 10-21 Дж. Найдите давление воздуха

Порядок выполнения:
1.Используйте уравнение Менделеева-Клапейрона, если состояние газа не меняется.
2. Если в задаче рассматривается несколько состояний газа, можно использовать уравнение Менделеева-Клапейрона в виде $p_1v_1/T_1=p_2v_2/T_2$, если масса газа постоянна.
3. Если один из параметров остается постоянным и масса газа не меняется, то используют один из законов идеального газа.
4. При решении задач, в которых рассматриваются процессы, связанные с изменением состояний нескольких газов, все выше перечисленные действия следует проделать для каждого газа отдельно.
5. Решить полученные уравнения, дополненные соотношениями из условия задачи. Найдите искомые величины.
Вопросы для самопроверки:

1. Что такое молекулярно-кинетическая теория?
2. Сформулируйте основные положения МКТ.
3. Перечислите основные характеристики молекул.
4. Что называют диффузией и броуновским движением?
5. Перечислите основные свойства газов, жидкостей и твердых тел.
6. Что называют идеальным газом в МКТ?
7. Запишите и объясните смысл основного уравнения МКТ

Задачи

1. Идеальный газ в сосуде постоянного объема нагревается от t1=127°С. Чему равно отношение давлений p2/p1 идеального газа?

2. Газ переведен из состояния 1 в состояние 2 (рис. 6). Какой это процесс? Как изменится плотность газа?

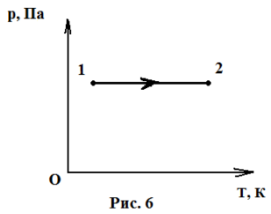


Рис. 6

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/

3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:
Под каким давлением находится кислород, если тепловая скорость его молекул 550 м/с, а их концентрация 1025м-3?

Дано:
$v = 550$ м/с
$M = 3{,}2 \cdot 10^{-2}$ кг/моль
$n = 10^{25}$ м$^{-3}$
$p - ?$

Решение:

Из основного уравнения молекулярно-кинетической теории идеального газа давление $p = \frac{1}{3} n m_a v^2$. Масса одной молекулы $m_a = \frac{M}{N_A}$. Отсюда $p = \frac{1}{3} \cdot \frac{M}{N_A} n v^2 =$

$$= \frac{1}{3} \cdot \frac{3,2 \cdot 10^{-2}}{6,02 \cdot 10^{23}} \cdot 10 \cdot 500^2 \approx 53600 \text{ Па} = 53,6 \text{ кПа}.$$

$p = 53,6$ кПа.

Практическая работа №17

Тема: Решение задач на уравнение состояния идеального газа.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Уравнение состояния идеального газа.». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Уравнение состояния идеального газа (иногда **уравнение Клапейрона** или **уравнениеМенделеева — Клапейрона**) — формула, устанавливающая зависимость между давлением,молярным объёмом и абсолютной температурой идеального газа. Уравнение имеет вид:

$$p \cdot V_M = R \cdot T,$$

где

- p — давление,
- V_M — молярный объём,
- R — универсальная газовая постоянная
- T — абсолютная температура, К.

Так как $V_M = \frac{V}{\nu}$, где ν — количество вещества, а $\nu = \frac{m}{M}$, где m — масса, M — молярная масса, уравнение состояния можно записать:

$$p \cdot V = \frac{m}{M} R \cdot T.$$

Эта форма записи носит имя уравнения (закона) Менделеева — Клапейрона.

Уравнение, выведенное Клапейроном, содержало некую неуниверсальную газовую постоянную r, значение которой необходимо было измерять для каждого газа:

$$p \cdot V = r \cdot T,$$

Менделеев же обнаружил, что r прямо пропорциональна ν, коэффициент пропорциональности R он назвал универсальной газовой постоянной.

Исходные данные:

1. На какой глубине h объем пузырька воздуха, поднимающегося со дна водоема, в 2 раза меньше, чем у поверхности? Атмосферное давление p_0 = 100 кПа. (6 баллов)
2. Какова плотность ρвоздуха ($M = 29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль) в камере сгорания дизельного двигателя при температуре t = 503 °С, если давление воздуха p = 400 кПа? (6 баллов)
3. При уменьшении объема газа в два раза давление увеличилось на 120 кПа и абсолютная температура возросла на 10 % . Каким было первоначальное давление p? (7 баллов)
4. Определите значение температуры T по шкале Кельвина, если по шкале Цельсия она равна t = –3 °С. (3 балла)
5. Когда газ, объем которого оставался неизменным, нагрели на ΔT = 30 К, его давление увеличилось на Δp = 10%.Какова начальная температура газа T_1? (6 баллов)
6. Два сосуда, в которых содержится один и тот же газ одинаковой массы, соединены трубкой с краном. В первом сосуде давление p_1 = 4,0 кПа, а во втором — p_2 = 6,0кПа. Какое давление p установится после открытия крана, если температура газа постоянна? (8 баллов)

Порядок выполнения:

1. Если состояние газа меняется, то выделяют такие состояния, в число параметров которых входят как известные. так и искомые параметры.
2. Определяют параметры в каждом состоянии. .
3. Записывают уравнение Менделеева-Клапейрона для каждого состояния. .
4. При необходимости воспользоваться другими законами физики.
5. Решить систему уравнений относительно искомых величин

Вопросы для самопроверки:

1. Какие величины связывает уравнение Менделеева? (Оно связывает между собой давление, объем и температуру данной массы газа при неизменном химическом составе).
2. Какие величины связывает уравнение Клапейрона? (Оно связывает между собой давление, объем и температуру газа, который может находиться в двух состояниях при неизменной массе газа).

3. Что можно определить с помощью уравнения Менделеева–Клапейрона? (Уравнение состояния позволяет определить одну из величин, характеризующих состояние, если известны две другие величины).

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Какова температура $1{,}6\cdot10^{-2}$ кг кислорода, находящегося под давлением 10^{6} Па и занимающего объем $1{,}6\cdot10^{-3}$ м^{3}? Молярная масса кислорода $32\cdot10^{-3}$ кг/моль

2. Дано:
$V=2\cdot10^{-3}$м^{3}
$m=1{,}2\cdot10^{-2}$кг
$t=27^{0}$C
М(воздуха)=$29\cdot10^{-3}$кг/моль
Р-?

Решение:
T= (t+273) K=27+273=300K
Из уравнения $pV=\frac{mRT}{M}$ находим давление $p=\frac{mRT}{MV}$
$P=1{,}2\cdot10^{-2}$кг$\cdot8{,}31$Дж/К$\cdot$моль$\cdot300$К/($29\cdot10^{-3}$кг/моль$\cdot2\cdot10^{3}$м^{3})=
$=5{,}2\cdot10^{5}$Па
Ответ: $P = 5{,}2\cdot10^{5}$Па.

Практическая работа №20

Тема: Решение задач по основам МКТ.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Основы МКТ». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Основы молекулярно-кинетической теории (МКТ)

Основные положения

1. ***Все вещества состоят из частиц (молекул, атомов), разделенных промежутками.***

Доказательства:

- фотографии атомов и молекул, сделанные с помощью электронного микроскопа;
- возможность механического дробления вещества, растворение вещества в воде, диффузия, сжатие и расширение газов.

2. ***Частицы всех веществ беспорядочно и хаотично движутся.***

Доказательства:

- диффузия – явление взаимного проникновения частиц одного вещества между частицами другого вещества вследствие их теплового движения.
- броуновское движение мелких, инородных, взвешенных в жидкости частиц под действием не скомпенсированных ударов молекул.

3. ***Частицы всех веществ взаимодействуют между собой: одновременно действуют силы взаимного притяжения и отталкивания (природа сил носит электромагнитный характер).***

Доказательства:

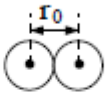
- сохранение формы твердыми телам, для их разрыва необходимо усилие;
- жидкие и твердые тела трудно сжимаемы;
- капли жидкости, помещенные в непосредственной близости друг от друга, сливаются;
- явления смачивания и несмачивания.

График зависимости силы взаимодействия двух молекул от расстояния между ними.

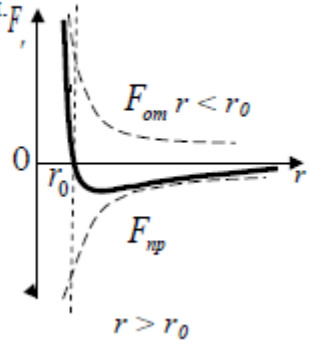
F_r - сила взаимодействия молекул, r – расстояние между их центрами.

$F_{от}$ - сила отталкивания, положительная.

$F_{пр}$ - сила притяжения, отрицательная.



На расстоянии $r = r_0$ результирующая сила F_r=0, т.е. силы притяжения и отталкивания уравновешивают друг друга. Поэтому расстояние r_0 соответствует равновесному расстоянию между молекулами.



Основные понятия.

Атом *– мельчайшая частица химического элемента, являющаяся носителем его химических свойств.*

Молекула *– наименьшая частица химического соединения, обладающая его основными химическими свойствами и состоящая из двух или нескольких атомов.*

Ион *– атом или молекула, которые потеряли или присоединили один или несколько электронов.*

m_0 – масса молекулы, $m_0 \sim 10^{-26} – 10^{-27}$ кг.

d_0– диаметр молекулы, $d_0 \sim 10^{-10}$ м.

υ_0 – скорость молекулы, $\upsilon_0 \sim 200 – 2000$ м/с.

Уравнение состояния идеального газа.

Уравнение Клапейрона (для данного газа при m = const) связывает несколько состояний газа.

$$\frac{pV}{T} = const$$

Уравнение Менделеева-Клапейрона описывает одно состояние

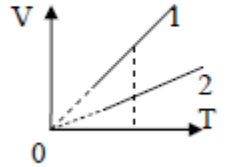
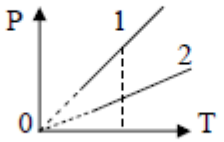
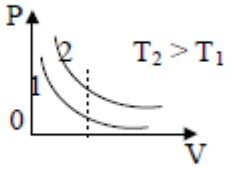
$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M}R$$

Для смеси газов:

$$\frac{p_{см}V_{см}}{T_{см}} = (\nu_1 + \nu_2)R$$

$p_{см} = p_1 + p_2 + .. + p_n$ - ***закон Дальтона*** (***давление смеси газов равно сумме парциальных давлений каждого газа в отдельности в объеме V***).

Газовые законы.

Изобарный процесс.	***Изохорный процесс.***	***Изотермический процесс.***
Закон Гей-Люссака: для газа постоянной массы отношение объема к температуре постоянно, если давление газа не меняется. $p = const$, $\frac{V}{T} = const$  $P_2 > P_1$	***Закон Шарля***: для газа постоянной массы отношение давления к температуре постоянно, если объем не изменяется. $V = const$, $\frac{p}{T} = const$  $V_2 > V_1$	***Закон Бойля-Мариотта***: для газа постоянной массы произведение давления на объем остается постоянным, если температура газа не изменяется. $T = const$, $pV = const$  $T_2 > T_1$

Исходные данные:

1. Какой объем занимают 100 моль ртути?
2. Определить плотность кислорода при давлении $1{,}3\times10^{5}$ Па, если средняя квадратичная скорость его молекул равна $1{,}4\times10^{3}$ м/с.
3. Молекулы какого газа при 20 °С имеют среднюю квадратичную скорость 510 м/с?
4. Найдите количество вещества, содержащееся в алюминиевой отливке массой 135 г.Какую массу имеет железная отливка, если в ней содержится такое же количество вещества, что и в алюминиевой? Молярная масса алюминия равна 0,027 кг/моль, железа — 0,056 кг/моль
5. Озеро со средней глубиной 5м и площадью 4км^2 «посолили», бросив кристаллик поваренной соли массой 10 мг. Спустя очень длительное время из озера зачерпнули стакан воды объемом 200 см^3. Сколько ионов натрия из брошенного кристаллика оказалось в этом стакане?
6. Молекулы одного газа имеют в *2* раз большую массу, чем молекулы другого газа. Сравните их давления при одинаковых концентрациях молекул, если одинаковы: а) средние энергии; б) средние квадратичные скорости их молекул.
7. Какое число молекул двухатомного газа содержится в сосуде объемом 20 см^3 при давлении $1{,}06\cdot10^{4}$ Па и температуре 27 °С? Какой энергией теплового движения обладают эти молекулы?
8. Вычислите число молекул, содержащихся в углекислом газе (CO_2) массой 2 г. Какова масса воздуха, в которой содержится такое же число молекул, что и в углекислом газе? Во сколько раз масса воздуха меньше массы углекислого газа? Молярная масса воздуха равна 0,029 кг/моль.
9. Идеальный газ, занимающий объем 15 л, охладили при постоянном давлении на 60 К, после чего объем его стал равным 12 л. Первоначальная температура была равна?

Порядок выполнения:

1.Используйте уравнение Менделеева-Клапейрона, если состояние газа не меняется.

2. Если в задаче р

ассматривается несколько состояний газа, можно использовать уравнение Менделеева-Клапейрона в виде $p_1v_1/T_1=p_2v_2/T_2$, если масса газа постоянна.

3. Если один из параметров остается постоянным и масса газа не меняется, то используют один из законов идеального газа.

4. При решении задач, в которых рассматриваются процессы, связанные с изменением состояний нескольких газов, все выше перечисленные действия следует проделать для каждого газа отдельно.

5. Решить полученные уравнения, дополненные соотношениями из условия задачи. Найдите искомые величины.

Вопросы для самопроверки:

1. Определение и 3 формулы уравнения состояния идеального газа.

2. Уравнение Клапейрона.

3. Изотермический процесс(определение, формула зависимости, графики)

4. Изобарный процесс (определение, формула зависимости, графики)

5. Изохорный процесс (определение, формула зависимости, графики)

6. Определение насыщенного пара.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

При изобарическом нагревании от температуры t_1 = 20°С до t_2 = 50°С газ совершает работу А = 2,5 кДж. Определите число молекул газа, участвующих в этом процессе.

Решение:

$p = const$

$t_1 = 20\ ^\circ C$

$t_2 = 50\ ^\circ C$

$A = 2{,}5\ кДж$

$\Delta T = 30\ K$

$N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}\ \frac{1}{моль}$

$R = 8{,}31\ \frac{Дж}{моль \cdot К}$

$N - ?$

Работа газа при постоянном давлении

$A = p \cdot \Delta V = p \cdot (V_2 - V_1)$,

определив значения объемов с помощью уравнения Клапейрона-Менделеева, получим другую формулу для вычисления работы газа, выраженную через его температуры:

$$A = \frac{m}{\mu} \cdot R(T_2 - T_1) = \nu \cdot R \cdot \Delta T,$$

где ν – число молей газа,

R – универсальная газовая постоянная.

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A},$$

где N – число молекул газа, N_A – число Авогадро.

$$A = \frac{N}{N_A} \cdot R \cdot \Delta T,$$

откуда $N = \frac{A \cdot N_A}{R \cdot \Delta T}$.

Разность температур, измеренных по шкалам Цельсия и Кельвина, одинакова.

$$N = \frac{2,5 \cdot 10^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{8,31 \cdot 30} \approx 0,063 \cdot 10^{26} \approx 6,3 \cdot 10^{24}$$

Практическая работа №24

Тема: Решение задач по термодинамике.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Основы термодинамики». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

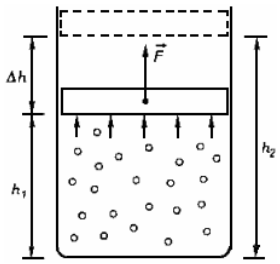
Под внутренней энергией термодинамической системы понимают кинетическую энергию теплового движения ее молекул и потенциальную энергию их взаимодействия. Она зависит от параметров состояния V,T . Внутренняя энергия идеального одноатомного газа прямо пропорциональна его абсолютной температуре:

$$U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT = \frac{3}{2}\nu RT$$

Для газов, состоящих из более сложных молекул, также $U \sim T$, но коэффициент пропорциональности другой. Это объясняется тем, что такие молекулы не только движутся поступательно, но и вращаются.

РАБОТА В ТЕРМОДИНАМИКЕ

Если газ расширяется при постоянном давлении p, то сила, действующая со стороны газа на поршень: $F = pS$, гдеS - площадь поршня.



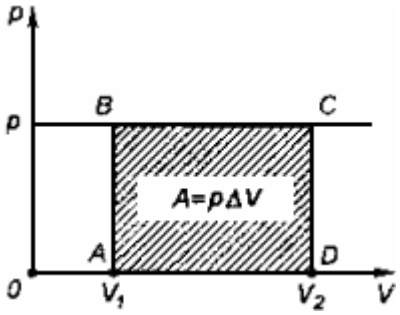
При подъеме поршня на высоту $\Delta h = h_2 - h_1$ газ совершает работу

$$A' = F\Delta h = pS(h_2 - h_1) = p(Sh_2 - Sh_1) = p(V_2 - V_1) = p\Delta V$$

где ΔV - изменение объема газа.

При медленном сжимании газа работа, совершаемая внешними телами над газом, будет отличаться только знаком:

$$A = F\Delta h = pS(h_1 - h_2) = p(V_1 - V_2) = -p\Delta V$$



Работа, совершаемая термодинамической системой при постоянном давлении, равна

$$A' = -A = p\Delta V$$

КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ

Процесс передачи энергии от одного тела к другому без совершения работы называют теплообменом.

Количество теплоты - это энергия, переданная телу в результате теплообмена.

Теплоемкость C - количество теплоты, необходимое для нагревания тела массой m на 1 К. Удельная теплоемкость c - это количество теплоты, которое получает или отдает 1 кг вещества при изменении его температуры на 1 К: c=C/m

Для изменения температуры вещества массой m от T_1 до T_2 ему необходимо сообщить количество теплоты

$$Q = cm \cdot (T_2 - T_1) = cm\Delta T$$

Коэффициент c в этой формуле называют удельной теплоемкостью: [c]=1 Дж/(кг*К).

При нагревании тела Q > 0, при охлаждении Q < 0.

Для того, чтобы жидкость массы *m* полностью превратить в пар, ей необходимо передать количество теплоты

Q=rm

где *r* - удельная теплота парообразования: *[r] = 1 Дж/кг* .

Удельная теплота парообразования - это количество теплоты, которое необходимо для превращения 1 кг жидкости в пар при постоянной температуре.

Конденсация - процесс, обратный испарению.

Для того, чтобы расплавить полностью тело массой *m* , ему необходимо сообщить количество теплоты

$Q= \lambda m$

где - удельная теплота плавления: *{λ} = 1 Дж/кг* .

Удельная теплота плавления - это количество теплоты, которое необходимо для плавления 1 кг кристаллического вещества при температуре плавления.

Кристаллизация - процесс, обратный плавлению.

Для замкнутой системы, состоящей из *N* тел, можно записать уравнение теплового баланса:

$Q_1+...+Q_n=0$

где Q_1, ... , Q_N - количества теплоты, полученные или отданные телами.

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Закон сохранения энергии

Энергия не возникает из ничего и не исчезает, она только переходит из одной формы в другую.

Закон сохранения энергии, распространенный на тепловые явления, называется первым законом термодинамики.

Первый закон термодинамики

Изменение внутренней энергии системы при переходе из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданного системе:

$$\Delta U = A + Q$$

Этот закон можно сформулировать иначе:

Количество теплоты, переданное системе, идет на изменение ее внутренней энергии и на совершение системой работы над внешними телами:

$$Q = \Delta U + A'$$

В первой формулировке *A* - работа, совершаемая над системой (над газом), во второй *A'* - это работа, совершаемая системой (газом).

Вечный двигатель первого рода - устройство, способное совершать неограниченное количество работы без подведения энергии извне.

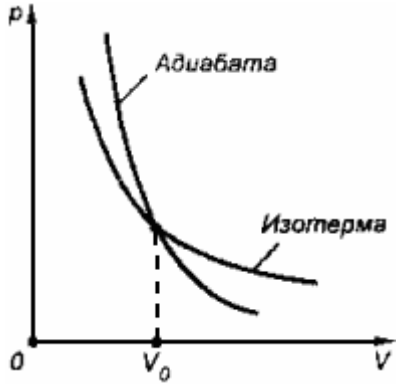
Из первого закона термодинамики следует невозможность создания вечного двигателя первого рода.

Если к системе не поступает теплота, то

$$Q = 0 \Rightarrow A' = -\Delta U$$

Иными словами, работа совершается системой за счет уменьшения ее внутренней энергии. После того, как запас энергии будет исчерпан, двигатель перестанет работать.

Процесс, протекающий в теплоизолированной системе, называют адиабатным.



Абсолютно исключить теплопередачу невозможно, но иногда реальные процессы близки к адиабатным. Они протекают за очень малый промежуток времени, в течение которого не происходит существенного теплообмена между системой и внешними телами.

ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

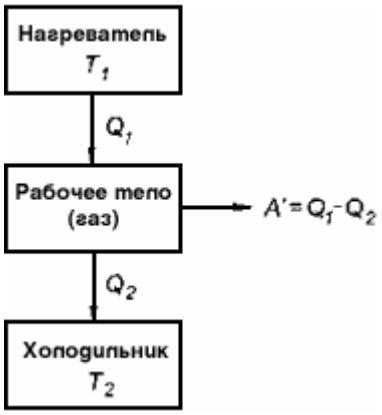
Тепловые двигатели - устройства, превращающие внутреннюю энергию топлива в механическую энергию.

Любой тепловой двигатель состоит из трех основных частей.

Рабочее тело - газ, совершающий работу *A'* при расширении.

Нагреватель - устройство, от которого рабочее тело получает количество теплоты Q_1

Холодильник - устройство, которому рабочее тело передает количество теплоты Q_2



Коэффициентом полезного действия (КПД) теплового двигателя называют отношение работы,совершаемой двигателем, к количеству теплоты, полученному от нагревателя:

$$\eta = \frac{A'}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Так как $Q_2 < Q_1$, то η всегда < 1.

Идеальная тепловая машина Карно - модель теплового двигателя, в котором рабочим телом является идеальный газ. КПД машины Карно

$$\eta_{max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

где T_1 - температура нагревателя, T_2 - температура холодильника.

Реальная тепловая машина не может иметь КПД, превышающий КПД идеальной тепловой машины.

Исходные данные:

1. Кислород массой m = 800 г, охлажденный от температуры t_1 = 100°С до температуры t_2 = 20°С, сохранил неизменным объем. Определить: 1) количество теплоты Q, полученное газом; 2) изменение ΔU внутренней энергии и 3) совершенную газом работу A.
2. Идеальный двухатомный газ, содержащий количество вещества ν = 1 моль, совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Наименьший объем V_{min} = 10 л, наибольшийV_{max} = 20 л, наименьшее давление p_{min} = 246 кПа, наибольшее p_{max} = 410 кПа. Построить график цикла. Определить температуру T газа для характерных точек цикла и его термический к.п.д.η.
3. Совершая замкнутый процесс, газ получил от нагревателя количество теплоты Q_1 = 4 кДж. Определить работу A газа при протекании цикла, если его термический к.п.д. η = 0,1.
4. В результате кругового процесса газ совершил работу A = 1 Дж и передал охладителю количество теплоты Q_2 = 4,2 Дж. Определить термический к.п.д. η цикла.
5. Давление азота объемом V = 3 л при нагревании увеличилось на Δp = 1 МПа. Определить количество теплоты Q, полученное газом если объем газа остался неизменным.

Порядок выполнения:

1. Проанализировать условие задачи: проверить систему тел на замкнутость; определить, какие тела участвуют в теплообмене.
2. Записать краткое условие задачи в единицах СИ.
3. Определить для каждого тела, какие процессы с ним происходят при теплообмене.
4. Записать для каждого процесса формулу для вычисления количества теплоты, выделенной или поглощённой.
4. Составить уравнение теплового баланса.
5. Вывести формулу для расчёта искомой величины.
5. Вычислить значение искомой величины.
6. Проконтролировать размерность и ответ.

Вопросы для самопроверки:

1. Каков физический смысл первого начала термодинамики?
2. Нагревается или охлаждается идеальный газ, если он расширяется при постоянном давлении?
3. Как изменится температура газа при его адиабатном сжатии?
4. Как находится условная площадь смятия заклёпки

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/

3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

При адиабатном сжатии кислорода массой m = 20 г его внутренняя энергия увеличилась на ΔU = 8 кДж и температура повысилась до T_2 = 900 К. Найти: 1) повышение температуры ΔT; 2) конечное давление газа p_2, если начальное давление p_1 = 200 кПа.

Дано:

$m = 0{,}02$ кг

$\Delta U = 8 \cdot 10^3$ Дж

$T_2 = 900$ К

$p_1 = 2 \cdot 10^5$ Па

1) ΔT – ?

2) p_2 – ?

Решение:

$$A = -\Delta U = -\frac{m}{M} C_V \Delta T, \quad A = -\Delta U = -\frac{5}{2}\frac{m}{M} R \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{2M\Delta U}{5mR} = 616K, \quad T_1 = T_2 - \Delta T, \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\gamma-1/\gamma}$$

$$p_2 = p_1\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\gamma/\gamma-1} = 11{,}4 МПа$$

Ответ: 616 К , 11,4 МПа .

Практическая работа №5

Тема: Контрольная работа по теме «Молекулярной физике и термодинамике».

Цель: проконтролировать знания учащихся и их умения самостоятельно применять полученные знания при решении задач.

Исходные данные:

Текст заданий.

Вариант 1.

1. Дайте характеристику физического явления: плавление твёрдого тела.
2. Дайте характеристику закона Шарля.
3. Определить КПД идеальной тепловой машины, если за счёт 1 кДж энергии, получаемой от нагревателя, совершается работа 300 Дж.

Вариант 2.

1. Дайте характеристику физического явления: кипение жидкости.
2. Дайте характеристику закона Бойля - Мариотта.
3. Какое количество вещества содержится в газе, если при давлении 200 кПа и температуре 240 К его объём равен 40 литров?

Вариант 3.

1. Дайте характеристику физического явления: теплопередача.
2. Дайте характеристику закона Гей-Люссака.
3. При какой температуре средняя кинетическая энергия движения молекул газа равна $2{,}1\cdot10^{-21}$ Дж?

Вариант 4.

1. Дайте характеристику физического явления: деформация твёрдого тела.
2. Дайте характеристику I закона термодинамики.
3. Какой объём займёт газ при 77°С, если при 27 ^{o}С его объём был 6 литров?

Вариант 5.

1. Дайте характеристику капиллярных явлений.
2. Дайте характеристику II закона термодинамики.
3. Найти среднюю кинетическую энергию молекул газа при давлении 20 кПа. Концентрация молекул при указанном давлении составляет $3\cdot10^{25}$ м$^{-3}$.

Вариант 6.

1. Дайте характеристику математической модели: идеальный газ.
2. Дайте характеристику закона Гука.
3. Найти КПД тепловой машины, если температура нагревателя 117 ^{o}С, а температура холодильника 27 ^{o}С.

Вариант 7.

1. Дайте характеристику математической модели: идеальная тепловая машина.
2. Дайте характеристику уравнения Менделеева - Клапейрона.
3. Найти относительное удлинение алюминиевой проволоки, если в ней возникло механическое напряжение 35 МПа.

Вариант 8.

1. Дайте характеристику физического явления: адиабатный процесс.
2. Дайте характеристику молекулярно-кинетической теории.
3. Каким будет давление газа в закрытом сосуде при температуре -13 ^{o}С, если при температуре 27 ^{o}С давление было 160 кПа?

Порядок выполнения:

Задания 1 и 2-теоретические. Студент должен письменно дать полный развернутый ответ на вопрос.

Алгоритм решения задачи

1. Внимательно прочти условие задачи.

2. Произведи краткую запись условия задачи с помощью общепринятых буквенных обозначений (СИ).
3. Выполни рисунки или чертежи задачи.
4. Определи, каким методом будет решаться задача, составь план решения.
5. Запиши основные уравнения, описывающие процессы, предложенные задачной системой.
6. Найди решение в общем виде, выразив искомые величины через заданные.
7. Проверь правильность решения задачи в общем виде, произведя действия с наименованием величин.
8. Произведи вычисления.
9. Произведи оценку реальности полученного решения.
10. Запиши ответ.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Практическая работа №25

Тема: Решение задач на закон Кулона и расчет напряженности.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по пройденной теме. Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Закон Кулона.

В 1785 г. французский физик Шарль Кулон экспериментально установил основной закон электростатики – закон взаимодействия двух неподвижных точечных заряженных тел или частиц. Закон взаимодействия неподвижных электрических зарядов – закон Кулона – основной (фундаментальный) физический закон и может быть установлен только опытным путем. Ни из каких других законов природы он не вытекает.

Если обозначить модули зарядов через $|q_1|$ и $|q_2|$, то закон Кулона можно записать в следующей форме:

$$F = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}, \quad (1)$$

где k – коэффициент пропорциональности, значение которого зависит от выбора единиц электрического заряда. В системе СИ $k = \frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9$ Н·м²/Кл², где ε_0 – электрическая постоянная, равная $8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Кл²/Н·м² .

Формулировка закона:

сила взаимодействия двух точечных неподвижных заряженных тел в вакууме прямо пропорциональна произведению модулей зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Эту силу называют *кулоновской*.

Закон Кулона в данной формулировке справедлив только для *точечных* заряженных тел, т.к. только для них понятие расстояния между зарядами имеет определенный смысл. Точечных заряженных тел в природе нет. Но если расстояние между телами во много раз больше их размеров, то ни форма, ни размеры заряженных тел существенно, как показывает опыт, не влияют на взаимодействие между ними. В этом случае тела можно рассматривать как точечные.

Легко обнаружить, что два заряженных шарика, подвешенные на нитях, либо притягиваются друг к другу, либо отталкиваются. Отсюда следует, что силы взаимодействия двух неподвижных точечных заряженных тел направлены вдоль прямой, соединяющей эти тела. Подобные силы называют *центральными*. Если через $\vec{F}_{1,2}$ обозначить силу действующую на первый заряд со стороны второго, а через $\vec{F}_{2,1}$– силу, действующую на второй заряд со стороны первого (рис. 1), то, согласно третьему закону Ньютона, $\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$. Обозначим через $\vec{r}_{1,2}$ радиус-вектор, проведенный от второго заряда к первому (рис. 2), тогда

$$\vec{F}_{1,2} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_{1,2}^3} \cdot \vec{r}_{1,2}. \quad (2)$$

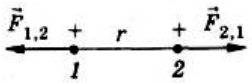


Рис. 1

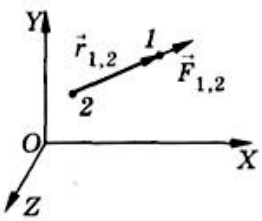


Рис. 2

Если знаки зарядов q_1 и q_2 одинаковы, то направление силы $\vec{F}_{1,2}$ совпадает с направлением вектора $\vec{r}_{1,2}$; в противном случае векторы $\vec{F}_{1,2}$ и $\vec{r}_{1,2}$ направлены в противоположные стороны.
Зная закон взаимодействия точечных заряженных тел, можно вычислить силу взаимодействия любых заряженных тел. Для этого тела нужно мысленно разбить на такие малые элементы, чтобы каждый из них можно было считать точечным. Складывая геометрически силы взаимодействия всех этих элементов друг с другом, можно вычислить результирующую силу взаимодействия.
Открытие закона Кулона – первый конкретный шаг в изучении свойств электрического заряда. Наличие электрического заряда у тел или элементарных частиц означает, что они взаимодействуют друг с другом по закону Кулона. Никаких отклонений от строгого выполнения закона Кулона в настоящее время не обнаружено.

Напряженность электрического поля.

В рамках представлений о поле взаимодействие зарядов, описываемое законом Ш. Кулона, «разбивается» на две части — один заряд создает электрическое поле, которое воздействует на другой заряд. Таким образом, электрический заряд играет двойную роль: с одной стороны он является источником поля, а с другой индикатором, прибором для изучения поля.
Основное свойство электростатического поля заключается в его воздействии на неподвижные электрические заряды. Поэтому характеристика электрического поля должна быть связана с силой, действующей на заряженное тело. Чтобы определить характеристику поля в каждой пространственной точке, в качестве «прибора», регистрирующего поле, необходимо использовать очень малое тело, размерами которого можно пренебречь. Моделью такого тела является электрически заряженная материальная точка, то есть точечный заряд. Так как этот точечный заряд используется в качестве датчика, мы будем также его называть **пробный заряд**. Итак, для изучения поля в некоторой точке, в эту точку следует поместить пробный заряд q и измерить силу $\vec{F}$, действующую на него. Согласно закону Ш. Кулона величина этой силы пропорциональна величине пробного заряда. Следовательно, отношение этой силы к величине заряда не зависит от величины заряда, поэтому данное это отношение является характеристикой поля, которая называется **напряженностью электрического поля** — $\vec{E}$.
Напряженностью электрического поля называется отношение силы, действующей на точечный заряд, помещенный в данную точку поля, к величине этого заряда

$$\vec{E} = \vec{F} / q \,. \quad (1)$$

Можно дать и эквивалентную формулировку: напряженность электрического поля есть сила, действующая на единичный положительный заряд, помещенный в данную точку поля.
Так как сила является векторной физической величиной, то и напряженность электрического поля также является векторной величиной. Пробный заряд можно поместить в любую пространственную точку, поэтому и вектор напряженности также определен в любой точке пространства. Таким образом, для описания электрического поля нам необходимо использовать следующую математическую конструкцию: каждой точке пространства (задаваемой тремя координатами (x, y, z)), ставится в соответствие вектор $\vec{E}$ (имеющий три компоненты (E_x, E_y, E_z)). Иными словами, нам необходимо задать три функции, каждая из которых зависит от трех координат. С подомной математической конструкцией мы познакомились при описании движения жидкости — это векторное поле. Поэтому при описании электрического поля мы можем использовать образы и методы, с которыми мы познакомились при изучении течения жидкости.

Исходные данные:

1. На расстоянии r = 5 м друг от друга находятся два точечных положительных заряда $q_1 = 4\cdot10^{-7}$ Кл и $q_2 = 9\cdot10^{-7}$ Кл. В какой точке x_1 необходимо расположить заряд q_0, чтобы все три заряда оказались в равновесии? Каков по величине и знаку должен быть этот заряд?
2. Два одинаковых шарика подвешены в воздухе на нитях так, что их поверхности соприкасаются. После того, как каждому шарику был сообщен заряд $q = 5\cdot10^{-7}$ Кл, шарики разошлись на угол $\alpha = 60^0$. Найти массу m каждого шарика, если расстояние от точки подвеса до центра каждого шарика L = 0,5 м. Заряженные шарики считать точечными зарядами.
3. Тонкий стержень длиной L = 20 см равномерно заряжен с линейной плотностью заряда τ = 1 нКл/см. На продолжении оси стержня на расстоянии a = 10 см от ближайшего конца

находится точечный заряд q = 40 нКл. Найти величину силы, действующей на этот заряд со стороны стержня. Стержень и заряд q находятся в воздухе.

4. В трех вершинах квадрата со стороной a = 40 см находятся одинаковые отрицательные точечные заряды q_1, q_2 и q_3, равные по величине $5 \cdot 10^{-9}$ Кл каждый. Найти величину E напряженности поля в четвертой вершине. Заряды находятся в воздухе. Относительную диэлектрическую проницаемость ε воздуха принять равной единице.
5. Электрическое поле создано двумя точечными положительными зарядами q_1 = 30 нКл и q_2 = 10 нКл, которые находятся в воздухе. Расстояние между зарядами L = 0,85 м. Определить величину E напряженности электрического поля в точке, находящейся на расстоянии a = 0,6 м от первого заряда и на расстоянии b = 0,35 м от второго. Относительная диэлектрическая проницаемость воздуха ε = 1.

Порядок выполнения:

1. Проанализировать условие задачи: выяснить, какая система зарядов создаёт электростатическое поле.
2. Записать краткое условие задачи в единицах СИ.
3. Сделать чертёж; определить направление векторов напряжённости, которые создаются в данной точке, каждым из зарядов.
4. Рассчитать модули векторов напряжённости.
5. Вывести формулу для расчёта искомой величины, используя принцип суперпозиции для напряжённости.
6. Вычислить значение искомой величины.
7. Проконтролировать размерность и ответ.

Вопросы для самопроверки:

1. Напишите формулу, определяющую напряженность электрического поля.
2. Выберите, к какому классу характеристик относится электрический заряд.
3. Напишите закон Кулона для силы взаимодействия двух неподвижных точеч- ных зарядов.
4. Дайте определение напряженности электрического поля. *Задачи*

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Два точечных одноименных заряда, величиной *q* = 5 нКл каждый, находятся на расстоянии 3 см друг от друга. С какой силой и по какому направлению будут действовать эти заряды на такой же по величине положительный заряд, находящийся от каждого из них на расстоянии 3 см?
Каковы будут величина и направление этой силы, если первые два заряда разноименные?

Решение:

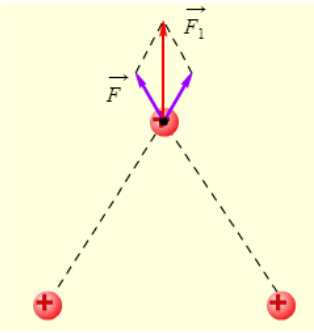


Рис. 1

Одноименные заряды будут действовать с силой:

$$F_1 = k\frac{q^2}{R^2} \cdot \sqrt{3};$$

$$F_1 = 9 \cdot 10^9 \ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \frac{25 \cdot 10^{-18} \ \text{Кл}^2}{9 \cdot 10^{-4} \ \text{м}^2} \cdot 1{,}7 = 425 \ \text{мкН}.$$

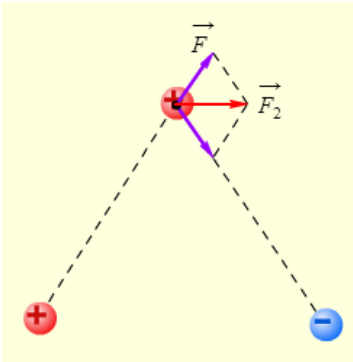


Рис. 2

Разноименные заряды будут действовать с силой:

$$F_2 = k\frac{q^2}{R^2};$$

$$F_2 = 9 \cdot 10^9 \ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \frac{25 \cdot 10^{-18} \ \text{Кл}^2}{9 \cdot 10^{-4} \text{м}^2} = 250 \ \text{мкН}.$$

Практическая работа №26

Тема: Решение задач на расчет потенциала и емкость конденсатора.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по данной теме. Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

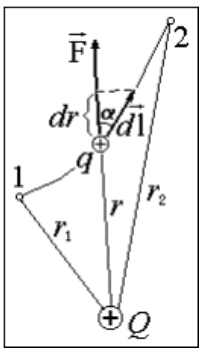


Рис. 1.

Работа поля по переносу пробного q заряда из некоторой точки 1 в некоторую точку 2 не зависит от траектории его движения и определяется для данного поля и данного заряда только координатами этих точек. Для случая, когда источником поля является точечный заряд Q (рис. 1) это нетрудно обосновать следующим образом. Работа на элементарном отрезке траектории, по известному из механики определению, есть: $dA = (\mathbf{F}, d\mathbf{l})$. Раскрывая скалярное произведение векторов через угол а между ними, получаем

$$dA = k\frac{Qq}{r^2}dl\cos\alpha = k\frac{Qq}{r^2}dr \quad . \qquad (1)$$

Суммируя (интегрируя) все элементарные работы, находим

$$A_{12} = \int_1^2 dA = k\left(\frac{Qq}{r_1} - \frac{Qq}{r_2}\right) \quad , \qquad (2)$$

что и требовалось доказать. Работа определяется только расстояниями от источника до начальной и конечной точки траектории. Такое силовое поле в механике мы называли *потенциальным*.

Из принципа суперпозиции следует потенциальность электростатического поля, созданного любой системой зарядов. Из (2) и принципа суперпозиции следует также, что работа электростатических сил над зарядом, перемещаемым по замкнутому контуру, равна 0:

$$A_L = \oint_L (\mathbf{F}, d\mathbf{l}) = q\oint_L E_\tau dl \quad . \qquad (3)$$

Таким образом, для любого контура в электростатическом поле циркуляция напряженности – тождественный нуль. В соответствии с утверждением напряженность электростатического поля (с точностью до знака) может быть истолкована как градиент некоторой функции координат, называемой *потенциалом*электростатического поля $\varphi(\mathbf{r})$:

$$\mathbf{E} = -\operatorname{grad}\varphi \quad . \qquad (4)$$

Используя определение напряженности электростатического поля и формулу связи между силой **F** и потенциальной энергией W, известную из курса механики

$$\mathbf{F} = -\operatorname{grad} W \quad , \qquad (5)$$

из (4) получим, что потенциал поля в данной точке наблюдения численно равен потенциальной энергии пробного заряда q, помещаемого в данную точку, отнесенной к величине этого заряда:

$$\varphi(\mathbf{r}) = \frac{W(\mathbf{r})}{q} \quad . \qquad (6)$$

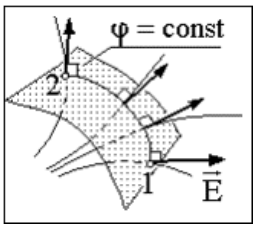
Потенциальная энергия электростатического поля, как и энергия поля сил тяготения, определяется с точностью до произвольной постоянной, которую можно зафиксировать выбором точки нулевого уровня для W. *Как правило, потенциальная энергия электростатического поля полагается равной нулю в бесконечно удаленной точке.*

Из формулы (4) путем интегрирования нетрудно получить *формулу, связывающую потенциал с напряженностью*:

$$\varphi(\mathbf{r}_1) - \varphi(\mathbf{r}_2) = \int_1^2 E_\tau dl \quad . \qquad (7)$$

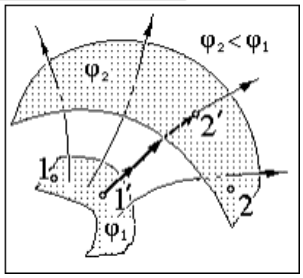
Интегрирование в (7) можно проводит по любой кривой соединяющей точки 1 и 2.

Рис. 1.6.2



Рассмотрим в пространстве, где имеется электростатическое поле, мысленную *поверхность, перпендикулярную силовым линиям*. При вычислении интеграла (1.6.7) по любой траектории 1–2, лежащей на этой поверхности, касательная E_t компонента**E** равна нулю. Следовательно, для любых двух точек 1 и 2 этой поверхности правая часть (1.6.7) равна нулю, потенциалы j($\mathbf{r}_1$) и j($\mathbf{r}_2$) одинаковы. *Поверхность, во всех точках которой потенциал имеет одинаковую величину, называется эквипотенциальной.* Таким образом, *поверхность перпендикулярная к силовым линиям является эквипотенциальной.*

Рис. 1.6.3



В общем случае разность потенциалов между точками 1 и 2 равна разности потенциалов эквипотенциальных поверхностей, которым принадлежат эти точки. Последнюю можно найти, проводя интегрирование в формуле (7), по силовой линии, соединяющей точки 1¢ и 2¢ этих эквипотенциальных поверхностей. При этом фактически под интегралом будет модуль *E* электрической напряженности, т.к. на силовой линии $E_\tau = E$.

В заключение для потенциала поля точечного заряда *Q* приведем формулу, которая следует из сравнения формул (2) и (6) и известного из курса механики соотношения между работой A_{12} потенциальных сил на участке 1–2 траектории частицы и потенциальной энергией частицы в начале W_1 и в конце W_2этого участка:

$$A_{12} = W_1 - W_2. \qquad (8)$$

В данном случае частицей является пробный заряд *q*. Формула для потенциала точки, отстоящей от точечного источника *Q* на расстояние *r* , имеет вид

$$\varphi(r) = k_e \frac{Q}{r}. \qquad (9)$$

Конденсатор - *это элемент электрической цепи, способный, при небольшом размере, накапливать электрические заряды достаточно большой величины*. Самой простой моделью конденсатора является два электрода, между которыми находится любой диэлектрик. Роль диэлектрика в нем выполняют бумага, воздух, слюда и другие изолирующие материалы, задача которых не допустить соприкосновения обкладок.

• **Емкость**. Это основное свойство конденсатора. Измеряется в Фарадах и вычисляется по следующей формуле (для плоского конденсатора):

$$C = \frac{q}{U} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$$

где C, q, U - это соответственно емкость, заряд, напряжение между обкладками, S –площадь обкладок, d – расстояние между ними, - диэлектрическая проницаемость, - диэлектрическая постоянная, равная 8,854*10^-12 Ф/м..

Исходные данные:

1. Определить потенциал $\varphi_ш$ шара, если известно, что на расстоянии L = 10 м от его поверхности потенциал электрического поля равен φ = 20 В. Радиус шара R = 0,1 м.
2. В воздухе находятся N одинаковых шарообразных капелек ртути, заряженных одноименно до одного и того же потенциала φ_1. Каков будет потенциал φ большой капли ртути, получившейся в результате слияния этих капель?
3. В центре полого металлического шара с радиусом r = 1 м и положительным зарядом $Q = 2\cdot10^{-8}$ Кл находится положительно заряженный шарик с величиной заряда $q = 10^{-8}$ Кл. Определить потенциал φ электрического поля в точке, находящейся на расстоянии R = 10r от центра шара. Внешние электрические поля в пространстве, окружающем шар, отсутствуют. Пространство внутри и вне шара заполнено воздухом.
4. Найти величину емкости конденсатора C_1, если общая емкость C батареи, состоящей из трех последовательно соединенных конденсаторов равна 60, C_2 = 100, C_3 = 300.

5. Плоский воздушный конденсатор, расстояние между пластинами которого d_1 = 5 см, заряжен до напряжения U_1 = 200 В и отключен от источника напряжения. Каким будет напряжение U_2 на конденсаторе, если его пластины раздвинуть до расстояния d_2 = 10 см?

Порядок выполнения:

1. Проанализировать условие задачи: выяснить, какая система зарядов создаёт электростатическое поле.
2. Записать краткое условие задачи в единицах СИ.
3. Сделать чертёж; определить направление векторов напряжённости, которые создаются в данной точке, каждым из зарядов.
4. Рассчитать модули векторов напряжённости.
5. Вывести формулу для расчёта искомой величины, используя принцип суперпозиции для напряжённости.
6. Вычислить значение искомой величины.
7. Проконтролировать размерность и ответ.

Вопросы для самопроверки:

1. Как вычисляется и потенциал электрического поля диполя?

2. Что такое электроемкость. Как вычисляется емкость плоского конденсатора.

3. Как определяется энергия заряженных проводников, конденсаторов, электростатического поля.

4. Какова связь между напряженностью поля и потенциалом.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Две одинаковые круглые пластины площадью **S = 400 см**^{2} каждая расположены параллельно друг другу. Заряд одной пластины $\mathbf{Q_1}$ **= 400 нКл**, другой — $\mathbf{Q_2}$ **= 200 нКл**. Определить плотность энергии электрического поля в точках, расположенных: а) между пластинами, б) вне пластин.

Решение:

Плотность энергии поля численно равна энергии поля в единице объема:

$$w = \frac{W}{V} = \frac{CU^2}{2V} = \frac{\varepsilon\varepsilon_o SU^2}{2dSd} = \frac{\varepsilon\varepsilon_o E^2}{2}.$$

Рассмотрим поле пластин конденсатора. Напряженность поля вне пластин:

$$E = E_+ + E_+ = \frac{\delta_+}{2\varepsilon\varepsilon_o} + \frac{\delta_+}{2\varepsilon\varepsilon_o} = \frac{1}{2\varepsilon\varepsilon_o S}(Q_1 + Q_2).$$

Напряженность поля между пластин равна:

$$E = E_+ - E_+ = \frac{\delta_+}{2\varepsilon\varepsilon_o} - \frac{\delta_+}{2\varepsilon\varepsilon_o} = \frac{1}{2\varepsilon\varepsilon_o S}(Q_1 - Q_2).$$

Слева и справа модуль результирующей напряженности одинаков. Плотность энергии электрического поля в точках, расположенных вне пластин:

$$w = \frac{1}{8\varepsilon_o}\left(\frac{Q_1 + Q_2}{S}\right)^2 = 3.18 \text{ Дж/м}^3.$$

между пластин:

$$w = \frac{1}{8\varepsilon_o}\left(\frac{Q_1 - Q_2}{S}\right)^2 = 0.353 \text{ Дж/м}^3.$$

Примечание: плотность энергии **пропорциональна квадрату напряженности** электрического поля в области пространства, что справедливо для электрических полей любой конфигурации, а не только для однородных полей, в том случае, если среда, заполняющая пространство изотропная.

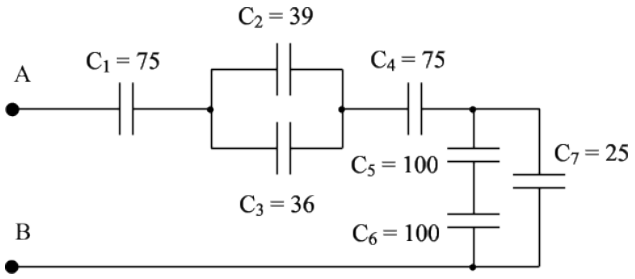
Практическая работа №27

Тема: Решение задач по теме «Электростатика».

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Электростатика». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Исходные данные:

1. Три положительных точечных заряда $q_1 = q_2 = q_3 = q = 10^{-9}$ Кл расположены в вершинах равностороннего треугольника. Какой заряд Q нужно поместить в центр треугольника, чтобы данная система зарядов находилась в равновесии?
2. Тонкий стержень длиной L = 20 см равномерно заряжен с линейной плотностью заряда $\tau = 1$ нКл/см. На продолжении оси стержня на расстоянии a = 10 см от ближайшего конца находится точечный заряд q = 40 нКл. Найти величину силы, действующей на этот заряд со стороны стержня. Стержень и заряд q находятся в воздухе.
3. Электрическое поле создано прямой бесконечно длинной положительно заряженной нитью с линейной плотностью заряда τ. Заряд равномерно распределен вдоль нити. Нить находится в среде с диэлектрической проницаемостью ε. Определить величину E напряженности электрического поля в точке, находящейся на расстоянии a от нити.
4. Точечный заряд $q = 10^{-7}$ Кл массой m = 100 мг перемещается из бесконечности к закрепленному шару, заряд которого $Q = 5\cdot10^{-7}$ Кл и радиус R = 0,1 м. Величина скорости точечного заряда в бесконечности $v_0 = 0{,}1$ м/с. Произойдет ли соударение точечного заряда с шаром? Если не произойдет, то на каком расстоянии L между поверхностью шара и точечным зарядом последний остановится? Окружающая заряды среда – вакуум, относительная диэлектрическая проницаемость которого $\varepsilon = 1$.
5. Между клеммами A и B включены конденсаторы, значения емкостей которых показаны на рисунке 1. Вычислить емкость C системы.



Порядок выполнения:

1. Проанализировать условие задачи: выяснить, какая система зарядов создаёт электростатическое поле.
2. Записать краткое условие задачи в единицах СИ.
3. Сделать чертёж; определить направление векторов напряжённости, которые создаются в данной точке, каждым из зарядов.
4. Рассчитать модули векторов напряжённости.
5. Вывести формулу для расчёта искомой величины, используя принцип суперпозиции для напряжённости.
6. Вычислить значение искомой величины.
7. Проконтролировать размерность и ответ.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Практическая работа №29

Тема: Применение закон Ома к цепям с последовательным и параллельным соединением проводников.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Применение закон Ома к цепям с последовательным и параллельным соединением проводников». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Электрический ток. *Электрическим током* называется упорядоченное движение электрических зарядов. За направление электрического тока принято направление движения положительных зарядов.

Отношение заряда Δq, переносимого через поперечное сечение проводника за интервал времени Δt, к этому интервалу времени называется *силой тока I*:

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

Закон Ома для участка цепи. Немецкий физик Георг Ом (1787—1854) в 1826 г. обнаружил, что отношение напряжения *U*между концами металлического проводника, являющегося участком электрической цепи, к силе тока *I* в цепи есть величина постоянная:

$$\frac{U}{I} = R = const. \quad (43.1)$$

Эту величину *R* называют *электрическим сопротивлением* проводника.

Единица электрического сопротивления в СИ — *ом* (Ом). Электрическим сопротивлением 1 Ом обладает такой участок цепи, на котором при силе тока 1 А напряжение равно 1 В:

$$1\text{Ом} = \frac{1\text{В}}{1\text{А}}.$$

Опыт показывает, что электрическое сопротивление проводника прямо пропорционально его длине *l* и обратно пропорционально площади *S* поперечного сечения:

$$R = \rho\frac{l}{S}. \quad (43.2)$$

Постоянный для данного вещества параметр ρ называется *удельным электрическим сопротивлением* вещества.

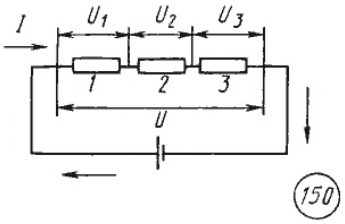
Экспериментально установленную зависимость силы тока *I* от напряжения *U* и электрического сопротивления *R* участка цепи называют *законом Ома для участка цепи:*

$$I = \frac{U}{R}. \quad (43.3)$$

Сила тока *I* прямо пропорциональна напряжению *U* и обратно пропорциональна электрическому сопротивлению *R*участка цели.

Последовательное и параллельное соединение проводников. Проводники в электрических цепях постоянного тока могут соединяться последовательно и параллельно. При последовательном соединении проводников конец первого проводника соединяется с началом второго и т. д. При этом сила тока *I* одинакова во всех проводниках, а напряжение *U* на концах всей цепи равно сумме напряжений на всех последовательно включенных проводниках. Например, для трех последовательно включенных проводников 1, 2, 3 (рис. 150) с электрическими сопротивлениями R_1, R_2 и R_3 получим

$$U = U_1 + U_2 + U_3. \quad (43.4)$$



По закону Ома для участка цепи

$$U_1 = IR_1, \quad U_2 = IR_2, \quad U_3 = IR_3 \quad \text{и} \quad U = IR, \quad (43.5)$$

где *R* — полное сопротивление участка цепи из последовательно включенных проводников. Из выражений (43.4) и (43.5) будем иметь $IR = I(R_1 + R_2 + R_3)$. Таким образом,

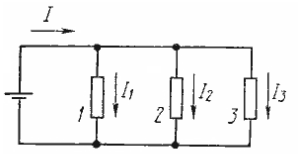
$$R = R_1 + R_2 + R_3. \quad (43.6)$$

При последовательном соединении проводников их общее электрическое сопротивление равно сумме электрических сопротивлений всех проводников.

Из соотношений (43.5) следует, что напряжения на последовательно включенных проводниках прямо пропорциональны их сопротивлениям :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

При параллельном соединении проводников 1, 2, 3 (рис. 151) их начала и концы имеют общие точки подключения к источнику тока.



151

При этом напряжение U на всех проводниках одинаково, а сила тока I в неразветвленной цепи равна сумме сил токов во всех параллельно включенных проводниках. Для трех параллельно включенных проводников сопротивлениями R_1, R_2 и R_3 на основании закона Ома для участка цепи запишем

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2}, \quad I_3 = \frac{U}{R_3}. \quad (43.7)$$

Обозначив общее сопротивление участка электрической цепи из трех параллельно включенных проводников через R, для силы тока в неразветвленной цепи получим

$$I = \frac{U}{R}. \quad (43.8)$$

Так как

$$I = I_1 + I_2 + I_3, \quad (43.9)$$

то из выражений (43.7), (43.8) и (43.9) следует, что

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}. \quad (43.10)$$

При параллельном соединении проводников величина, обратная общему сопротивлению цепи, равна сумме величин, обратных сопротивлениям всех параллельно включенных проводников.

Параллельный способ включения широко применяется для подключения ламп электрического освещения и бытовых электроприборов к электрической сети.

Работа и мощность электрического тока. Работу сил электрического поля, создающего электрический ток, называют*работой тока.* Работа A сил электрического поля или работа электрического тока на участке цепи с электрическим сопротивлением R за время Δt равна

$$A = \Delta q U = IU\Delta t = I^2 R\Delta t. \quad (43.11)$$

Мощность электрического тока равна отношению работы тока A ко времени Δt, за которое эта работа совершена:

$$P = \frac{A}{\Delta t} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

Работа электрического тока выражается в джоулях, мощность — в ваттах.

Если на участке цепи под действием электрического поля не совершается механическая работа и не происходят химические превращения веществ, то работа электрического поля приводит только к нагреванию проводника. При этом работа электрического тока равна количеству теплоты, выделяемому проводником с током:

$$Q = I^2 R\Delta t. \quad (43.12)$$

Закон (43.12) был экспериментально установлен английским ученым Джеймсом Джоулем (1818—1889) и русским ученым Эмилием Христиановичем Ленцем (1804— 1865), поэтому носит название *закона Джоуля — Ленца.*

Внутреннее сопротивление источника тока. В электрической цепи, состоящей из источника тока и проводников с электрическим сопротивлением R, электрический ток совершает работу не только на внешнем, но и на внутреннем участке цепи. Например, при подключении лампы накаливания к гальванической батарее карманного фонаря электрическим током нагреваются не только спираль лампы и подводящие провода, но и сама батарея. Электрическое сопротивление источника тока называется внутренним сопротивлением. В электромагнитном генераторе внутренним

сопротивлением является электрическое сопротивление провода обмотки генератора. На внутреннем участке электрической цепи выделяется количество теплоты, равное

$$Q_{вн} = I^2 r \Delta t \quad , (43.13)$$

где r — внутреннее сопротивление источника тока.

Полное количество теплоты, выделяющееся при протекании постоянного тока в замкнутой цепи, внешний и внутренний участки которой имеют сопротивления, соответственно равные R и r, равно

$$Q_{полн} = I^2 R \Delta t + I^2 r \Delta t = I^2 (R + r) \Delta t \quad . (43.14)$$

Электродвижущая сила. Полная работа сил электростатического поля при движении зарядов по замкнутой цепи постоянного тока равна нулю. Следовательно, вся работа электрического тока в замкнутой электрической цепи оказывается совершенной за счет действия сторонних сил, вызывающих разделение зарядов внутри источника и поддерживающих постоянное напряжение на выходе источника тока. Отношение работы $A_{ст}$, совершаемой сторонними силами по перемещению заряда qвдоль цепи, к значению этого заряда называется *электродвижущей силой источника* (ЭДС) ε:

$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{\Delta q} \quad , (43.15)$$

где Δq — переносимый заряд.

Электродвижущая сила выражается в тех же единицах, что и напряжение или разность потенциалов, т. е. в вольтах.

Закон Ома для полной цепи. Если в результате прохождения постоянного тока в замкнутой электрической цепи происходит только нагревание проводников, то по закону сохранения энергии полная работа электрического тока в замкнутой цепи, равная работе сторонних сил источника тока, равна количеству теплоты, выделившейся на внешнем и внутреннем участках цепи:

$$A = A_{ст} = Q_{полн} \quad . (43.16)$$

Из выражений (43.14), (43.15) и (43.16) получаем

$$\Delta q \varepsilon = I^2 (R + r) \Delta t \quad . (43.17)$$

Так как $\Delta q = I \Delta t$, то

$$\varepsilon = I (R + r) \quad , (43.18)$$

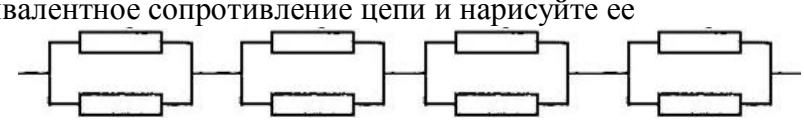
или

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \quad . (43.19)$$

Сила тока в электрической цепи прямо пропорциональна электродвижущей ε силе источника тока и обратно пропорциональна сумме электрических сопротивлений внешнего и внутреннего участков цепи. Выражение (43.19) называется *законом Ома для полной цепи.*

Исходные данные:

1. Электропаяльник, включенный в сеть напряжением 220 В, потребляет ток 0,3 А. Определите сопротивление электропаяльника.
2. К кислотному аккумулятору, имеющему ЭДС 205 В и внутреннее сопротивление 0,2 Ом, подключен потребитель сопротивлением 2,6 Ом. Определите ток в цепи.
3. Разветвление из трех параллельно включенных резисторов сопротивлениями 3, 8, и 6 Ом включено последовательно с другим разветвлением, состоящим из четырех резисторов сопротивлениями 2, 7, 6 и 3 Ом. Определите эквивалентное сопротивление цепи и нарисуйте ее электрическую схему.
4. Аккумулятор внутренним сопротивлением 0,4 Ом работает на лампочку сопротивлением 12,5 Ом. При этом ток в цепи равен 0,26 А. Определите ЭДС аккумулятора и напряжение на зажимах лампочки.
5. Восемь проводников сопротивлением 10 Ом каждый соединены в четыре одинаковые параллельные группы. Определите эквивалентное сопротивление цепи и нарисуйте ее электрическую схему.



Порядок выполнения:
1. Начертить схему и указать на ней все элементы.
2. Установить, какие элементы цепи включены последовательно, какие – параллельно.
3. Расставить токи и напряжения на каждом участке цепи 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 и э. д.с (ε).
5. Если в схеме делают какие-либо переключения сопротивлений или источников, уравнения составляют для каждого режима работы цепи.
6. Решить полученную систему уравнений относительно неизвестной величины.
7. Решение проверить и оценить критически.

Вопросы для самопроверки:
1. Приведите примеры источников электрического тока, в которых механическая и химическая энергия превращается в электрическую.
2. Начертите схему электрической цепи, состоящей из источника тока, выключателя и двух ламп, включенных параллельно. Что произойдет в цепи при перегорании одной лампы?
3. Как определить длину мотка медной проволоки, не разматывая его?
4. Зависит ли сопротивление катушки, изготовленной из стального провода, от величины приложенного к ней напряжения?
Задачи
1. Две группы из трех последовательно соединенных элементов соединены параллельно. ЭДС ξ каждого элемента равна 1,2 В, внутреннее сопротивление r=0,2 Ом. Полученная батарея замкнута на внешнее сопротивление R=1,5 Ом. Найти силу тока I во внешней цепи.
2. Сила тока в проводнике равномерно нарастает от I_0=0 до I=3 А в течение времени t=10 с. Определить заряд Q, прошедший в проводнике.

Литература:

1. *Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006*

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:
Никелиновая проволока длиной 100м и площадью поперечного сечения 0.5 мм2. включена в цепь с напряжением 127 В. Запишем условие задачи и решим ее.

Дано: **L =100 м** **S =0.2 мм2** **U =127 В** **p=0.4 Ом мм2/м** **I =?**	**Решение:** Силу тока можно определить по закону Ома **I =U /R** Неизвестное сопротивление формуле **R = p L/S** Подставляя значения величин в формулы находим чему равна сила тока **R** = 0.4 Ом мм2/м · 100 м / 0.2 мм2 = 8 Ом **I** = 127 В : 8 Ом = 15.87А **Ответ** : I = 15.87А

Практическая работа №33

Тема: Решение задач на расчет работы и мощности в цепи постоянного тока.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по данной теме. Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

При протекании тока по однородному участку цепи электрическое поле совершает работу. За время Δt по цепи протекает заряд $\Delta q = I\,\Delta t$. Электрическое поле на выделенном учестке совершает работу

$$\Delta A = (\varphi_1 - \varphi_2)\,\Delta q = \Delta\varphi_{12}\,I\,\Delta t = U\,I\,\Delta t,$$

где $U = \Delta\varphi_{12}$ – напряжение. Эту работу называют ***работой электрического тока***.

Если обе части формулы

$$RI = U,$$

выражающей закон Ома для однородного участка цепи с сопротивлением R, умножить на $I\Delta t$, то получится соотношение

$$R\,I^2\,\Delta t = U\,I\,\Delta t = \Delta A.$$

Это соотношение выражает закон сохранения энергии для однородного участка цепи.

Работа ΔA электрического тока I, протекающего по неподвижному проводнику с сопротивлением R, преобразуется в тепло ΔQ, выделяющееся на проводнике.

$$\Delta Q = \Delta A = R\,I^2\,\Delta t.$$

Закон преобразования работы тока в тепло был экспериментально установлен независимо друг от друга Дж. Джоулем и Э. Ленцем и носит название ***закона Джоуля–Ленца***.

Мощность электрического тока равна отношению работы тока ΔA к интервалу времени Δt, за которое эта работа была совершена:

$$P = \frac{\Delta A}{\Delta t} = UI = I^2R = \frac{U^2}{R}.$$

Работа электрического тока в СИ выражается в ***джоулях*** (Дж), мощность – в ***ваттах*** (Вт).

Рассмотрим теперь полную цепь постоянного тока, состоящую из источника с электродвижущей силой и внутренним сопротивлением r и внешнего однородного участка с сопротивлением R. Закон Ома для полной цепи записывается в виде

$$(R + r)\,I = \quad .$$

Умножив обе части этой формулы на $\Delta q = I\Delta t$, мы получим соотношение, выражающее закон сохранения энергии для полной цепи постоянного тока:

$$R\,I^2\Delta t + r\,I^2\Delta t = \quad I\Delta t = \Delta A_{ст}.$$

Первый член в левой части $\Delta Q = R\,I^2\Delta t$ – тепло, выделяющееся на внешнем участке цепи за время Δt, второй член $\Delta Q_{ист} = r\,I^2\Delta t$ – тепло, выделяющееся внутри источника за то же время.

Выражение $I\Delta t$ равно работе сторонних сил $\Delta A_{ст}$, действующих внутри источника.

При протекании электрического тока по замкнутой цепи работа сторонних сил $\Delta A_{ст}$ преобразуется в тепло, выделяющееся во внешней цепи (ΔQ) и внутри источника ($\Delta Q_{ист}$).

$$\Delta Q + \Delta Q_{ист} = \Delta A_{ст} = \quad I\Delta t$$

.

Следует обратить внимание, что в это соотношение не входит работа электрического поля. При протекании тока по замкнутой цепи электрическое поле работы не совершает; поэтому **тепло производится одними только сторонними силами**, действующими внутри источника. Роль электрического поля сводится к перераспределению тепла между различными участками цепи.

Внешняя цепь может представлять собой не только проводник с сопротивлением R, но и какое-либо устройство, потребляющее мощность, например, электродвигатель постоянного тока. В этом случае под R нужно понимать ***эквивалентное сопротивление нагрузки***. Энергия, выделяемая во внешней цепи, может частично или полностью преобразовываться не только в тепло, но и в другие виды энергии, например, в механическую работу, совершаемую электродвигателем. Поэтому вопрос об использовании энергии источника тока имеет большое практическое значение.

Полная мощность источника, то есть работа, совершаемая сторонними силами за единицу времени, равна

$$P_{ист} = \mathcal{E}I = \frac{\mathcal{E}^2}{R+r}.$$

Во внешней цепи выделяется мощность

$$P = RI^2 = \mathcal{E}I - rI^2 = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R+r)^2}.$$

Отношение $\eta = \frac{P}{P_{ист}}$, равное

$$\eta = \frac{P}{P_{ист}} = 1 - \frac{r}{\mathcal{E}}I = \frac{R}{R+r},$$

называется ***коэффициентом полезного действия источника***.

Исходные данные:

1. Лампа, рассчитанная на напряжение 127 В, потребляет мощность 50 Вт. Какое дополнительное сопротивление нужно присоединить к лампе, чтобы включить ее в сеть с напряжением 220 В?
2. Две лампы мощностью 90 и 40 Вт включены параллельно в сеть, с напряжением 220 В. Определите сопротивление каждой лампы и ток, протекающий через каждую лампу.
3. В школе одновременно включены 20 ламп по 60 Вт и 10 ламп по 40 Вт. Определите ток в общей части цепи для напряжения 220 В.
4. На плитке мощностью 0,5 кВт нагревается чайник, в который налит 1 л воды, при температуре 16°С. Вода в чайнике закипела через 20 мин после включения плитки. Какой процент тепла потерян при этом на нагревание самого чайника, на излучение и т.д.? Каков КПД установки?
5. Два проводника, сопротивление которых 5 и 7 Ом, соединяют параллельно и подключают к источнику электрической энергии. В первом выделилось 1?,64 Дж энергии.
   Какое количество энергии выделилось во втором проводнике за это же время?
6. В кипятильнике емкостью 5 л с КПД 70% вода нагревается от 10 до 100°С за 20 мин. Какой силы ток проходит по обмотке нагревателя, если разность потенциалов между его концами равна 220 В?

Порядок выполнения:

1. Начертить схему и указать на ней все элементы.
2. Установить, какие элементы цепи включены последовательно, какие – параллельно.
3. Расставить токи и напряжения на каждом участке цепи 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 и э. д.с (ε).
5. Если в схеме делают какие-либо переключения сопротивлений или источников, уравнения составляют для каждого режима работы цепи.
6. Решить полученную систему уравнений относительно неизвестной величины.
7. Решение проверить и оценить критически.

Вопросы для самопроверки:

Дайте определение электродвижущей силы источника тока.
В чем заключается закон Ома для участка цепи и для замкнутой цепи?
В чем заключается закон Джоуля-Ленца?
Как рассчитать работу и мощность для участка цепи и для полной цепи?

Задачи

1. Два проводника сопротивлением 10 и 23 Ом включены в сеть напряжением 100 В.
   Какое количество теплоты выделится за 1 с в каждом проводнике, если их соединить:
   а) последовательно,
   б) параллельно?

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Определите сопротивление электрической лампочки, на баллоне которой написано: "100Вт; 220 В".

Дано:	Решение:
P=100Вт	P=U*I => I=P/U
U=220В	
_____	R=U/I
R - ?	
	I=100Вт/220В=0,4545
	R=220В/0,4545А=484Ом.

Ответ. 484 Ом.

Практическая работа №35

Тема: Решение задач на законы постоянного тока.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Законы постоянного тока». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Есть различие в физическом смысле понятий «электрический ток», «сила», «единица силы тока».

Электрический ток – это физическое явление направленного (упорядоченного) движения электрических зарядов, которое может возникнуть в цепи при наличии носителей зарядов (электронов, ионов) и источника сторонних сил (источника тока), под воздействием которых осуществляется движение электрических зарядов.

В источнике тока какой-либо вид энергии непрерывно преобразуется в энергию электрического поля, под действием сил которого происходит упорядоченное движение свободных зарядов.

Сила тока – физическая величина для количественной оценки электрического тока, характеризующая количество электричества, проходящего через поперечное сечение проводника в единицу времени,

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

Единица силы тока ампер – это основная единица системы СИ и она устанавливается по магнитному взаимодействию двух проводников с током.

Необходимо помнить, что хотя разность потенциалов, напряжение и электродвижущая сила (ЭДС) измеряются в вольтах, физический смысл их различен. ***Разность потенциалов*** между двумя точками определяется работой электростатических (кулоновских) сил по перемещению единичного заряда, ЭДС – работой сторонних сил, а ***напряжение*** – работой тех и других:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{поля}}{q}; \quad \varepsilon = \frac{A_{стор}}{q}; \quad U = \frac{A_{поля}}{q} + \frac{A_{стор}}{q};$$

т.е. $U = (\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon$, если $\varepsilon = 0$, то $U = \varphi_1 - \varphi_2$.

Если на участке цепи нет сторонних сил, то напряжение на нем равно разности потенциалов на его концах.

При замкнутой внешней цепи можно измерить только напряжение на клеммах источника.

При разомкнутой внешней цепи ЭДС источника численно равна разности потенциалов на его зажимах, поскольку ток в цепи в этом случае равен нулю.

Закон Ома для участка цепи: сила тока в участке цепи пропорциональна разности потенциалов на концах участка и обратно пропорциональна его сопротивлению,

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R}$$, если e = 0, то $U = \varphi_1 - \varphi_2$ и $I = \frac{U}{R}$.

Закон Ома для замкнутой цепи, представленный в виде равенства $\varepsilon = IR + Ir$, является непосредственным следствием закона сохранения энергии в применении к замкнутой электрической цепи.

Сопротивлением проводника называют физическую величину, характеризующую свойство проводника затруднять прохождение электрического тока.

Величина ***сопротивления R*** зависит от физических свойств проводника, его геометрических размеров и температуры и не зависит от силы тока Iи разности потенциалов U, через которые может быть численно определена по закону Ома для участка цепи:

$$R = \frac{U}{I}, \qquad R = \rho\frac{\ell}{S},$$

где r – удельное сопротивление проводника; l – его длина; S – площадь поперечного сечения проводника. Величину g, обратную удельному сопротивлению r, называют удельной проводимостью,

$$\gamma = \frac{1}{\rho}.$$

При последовательном соединении сопротивлений (рис. 3.1) общее сопротивление цепи равно сумме сопротивлений отдельных участков, т.е. $R = R_1 + R_2$.

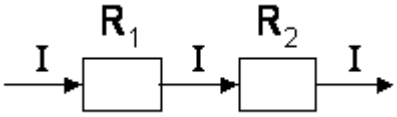


Рис. 3.1. Последовательное соединение проводников

Разности потенциалов между концами последовательно соединённых проводников, составляющих электрическую цепь, пропорциональны сопротивлениям этих проводников

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Силы токов на сопротивлениях одинаковы: $I_1 = I_2 = I$.

При параллельном соединении сопротивлений (рис. 3.2) общая проводимость 1/R соединения равна сумме проводимостей $1/R_1$, $1/R_2$ ветвей $1/R=1/R_1+1/R_2$.

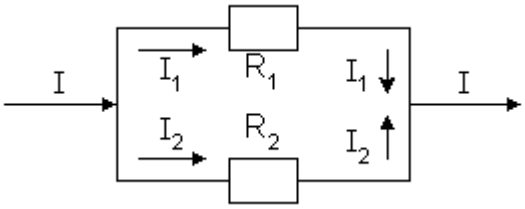


Рис. 3.2. Параллельное соединение проводников

Общее сопротивление разветвлённого участка:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Разности потенциалов между концами параллельно соединенных проводников одинаковы $U_1=U_2=U_1$.

Силы токов в параллельных ветвях обратно пропорциональны сопротивлениям этих ветвей

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

Электрическая энергия легко преобразуется в другие виды энергии (механическую, химическую, световую, внутреннюю энергию вещества), что широко используется в промышленности и быту.

Мерой энергии электрического тока служит ***работа источника ЭДС***, создающего и поддерживающего электрическое поле в цепи

$$A = I U t = I^2 R t = Q.$$

Согласно закону сохранения энергии это выражение для работы электрического тока справедливо только в частном случае, когда вся работа, выполняемая за счет энергии источника сторонних сил, будет затрачиваться только на нагревание проводника, который не будет при этом перемещаться за счёт тока, протекающего в цепи. Количество теплоты, выделяемое в окружающую среду проводником с током, может быть определено по ***закону Джоуля-Ленца*** ($I^2 R t = Q$) только для интервала времени t, в течение которого сила тока I, протекающего через проводник, и его сопротивление R остаются неизменными. Внесистемной единицей работы и энергии тока является 1 кВт×ч = $3{,}6\times10^6$ Дж.

Мощность тока, затрачиваемая на нагревание участка цепи с сопротивлением R,

$$N = Q/t = I^2 R = I U.$$

Тепловые действия электрического тока были впервые применены для устройства электрического освещения А.Н. Ладыгиным в 1872 г.

Всякое замыкание источника на очень малое внешнее сопротивление называют коротким замыканием. В этом случае сила тока равна $I_{макс} = e/r$, где r – внутреннее сопротивление источника тока. Большие токи короткого замыкания опасны, так как очень сильно нагревают провода и могут вызвать пожар.

Исходные данные:

1. Батарейка карманного фонаря, замкнутая на проводник сопротивлением 17,5 Ом создает ток 0,2А. Если ее замкнуть проводником сопротивлением 0,3 Ом то будет ток 1А. Чему равны ЭДС и внутреннее сопротивление этой батарейки.
2. При подключении лампочки к батарейки элементов с ЭДС 4,5В вольтметр показал направление на лампочке 4В, а амперметр силу тока 0,25А. Какого внутреннее сопротивление батарейки?
3. Электрическую лампу сопротивлением 240 Ом рассчитанную на напряжение 120 В, надо питать от сети с напряжением 220 В. Какой длины нихромовый проводник надо включить последовательно?
4. В электрической плитке рассчитанной на напряжение 202 В, имеются две спирали на 120 Ом каждая. С помощью переключателя можно включить в сеть одну спираль, две спирали последовательно или параллельно. Найдите мощность в каждом случае.
5. При прохождении 20 Кл электричества по проводнику сопротивлением 0,5 Ом совершается работа 100 Дж. Найдите время существования тока в проводнике.
6. Начертить график изменения тока в цепи, если сопротивление в цепи равно 20 Ом, а напряжение меняется от 30 до 60В.
7. Сколько времени будут нагреваться 1,5 л воды от 20°С до 100°С в электрическом чайнике мощностью 600 Вт, если КПД, его 80%?
8. Определите, на какое напряжение рассчитан электрокипятильник, который за 5 мин нагревает 0,2 кг воды от 14°С до кипения, при условии, что по его обмотке протекает ток 2 А. Потерями энергии пренебречь.

Порядок выполнения:

1. Начертить схему и указать на ней все элементы.
2. Установить, какие элементы цепи включены последовательно, какие – параллельно.
3. Расставить токи и напряжения на каждом участке цепи 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 и э. д.с (ε).
5. Если в схеме делают какие-либо переключения сопротивлений или источников, уравнения составляют для каждого режима работы цепи.
6. Решить полученную систему уравнений относительно неизвестной величины.
7. Решение проверить и оценить критически.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

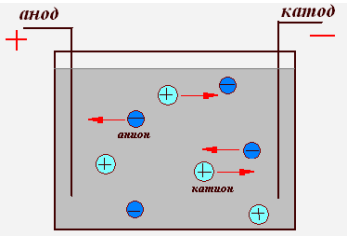
Практическая работа №36

Тема: Решение задач на электрический ток в электролитах.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Электрический ток в элетролитах». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Явление распада молекул солей, щелочей и кислот в воде на ионы противоположных знаков называют **электролитической диссоциацией.** Полученные в следствие распада ионы служат носителями заряда в жидкости, а сама жидкость становятся проводником. Вне электрического поля ионы движутся хаотически. Под действием внешнего электрического поля ионы, продолжая хаотичные движения, вместе с тем смещаются в направлении действия сил электрического поля: катионы к катоду, анионы - к аноду.



Следовательно, **электрический ток в растворах (расплавах) электролитов** - это направленное перемещение ионов обоих знаков в противоположных направлениях.

Прохождение электрического тока через раствор электролита всегда сопровождается выделением на электродах веществ, входящих в его состав. Это явление называют **электролизом**.

При движении внутри электролитов ионы взаимодействуют с молекулами воды и другими ионами, т.е. электролиты оказывают некоторое противодействие движению, а, следовательно, обладают сопротивлением. Электрическое сопротивление электролитов зависит от концентрации ионов, величины заряда иона, от скорости движения ионов обоих знаков.

Сопротивление электролитов так же определяется по формуле:

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

где ρ_y - удельное сопротивление электролита, **l** - длина жидкого проводника, **S** - площадь поперечного сечения жидкого проводника.

При увеличении температуры электролита уменьшается его вязкость, что ведет к увеличению скорости движения ионов. Т.е. при повышении температуры сопротивление электролита уменьшается.

Законы Фарадея.

1. Масса вещества, выделяемого на электроде, прямо пропорциональна электрическому заряду, прошедшему через электролит.

$$m = k\,q$$

где **m** - масса вещества, выделяющегося на электроде, **k** - электрохимический эквивалент, **q** - заряд, прошедший через электролит.

2. Электрохимический эквивалент вещества прямо пропорционален его химическому эквиваленту.

$$k = \frac{M}{F\,z} \qquad F = N_a\, e$$

где **M**- молярная масса вещества, **F**- постоянная Фарадея, **z** - валентность иона.

постоянная Фарадея численно равна заряду, который должен пройти через электролит, чтобы выделить из него массу вещества, численно равную химическому эквиваленту.

Объединенный закон Фарадея.

$$m = \frac{M}{F\,z}\,q \qquad m = \frac{M}{N_a\,e\,z}\,q$$

Исходные данные:

1. Определите время, необходимое для покрытия стальной детали с площадью поверхности 400 см ^{2} слоем хрома толщиной 36 мкм. Электролиз проходит при силе тока 16 А.
2. Сколько на алюминиевом заводе затрачивается электроэнергии на получение каждой тонны алюминия? Электролиз проходит при напряжении 850 В, а КПД установки составляет 80 %.
3. Сколько хрома расходуется при хромировании вала в течение 20 мин, если сила тока 150 А, электрохимический эквивалент хрома $k=0{,}18\cdot10^{-6}$ кг/Кл?

4. Цинковый анод массой 5 кг помещен в электролитическую ванну, через которую проходит ток. Сила тока в ванне 40 А. Через какое время анод полностью израсходуется на покрытие металлических изделий. Электрохимический эквивалент хрома $k=0{,}34\cdot10^{-6}$ кг/Кл?
5. На производстве сэкономлено 1000 кВт-ч электроэнергии. Сколько меди можно получить при электролизе за счет этой экономии, если напряжение на клеммах гальванической ванны 4 В?
6. При выполнении лабораторной работы на катоде выделилась медь массой 1,5 г за 20 мин при силе тока 4 А. Определите по данным опыта электрохимический эквивалент меди.
   Вычислите электрохимический эквивалент трехвалентного золота, если его молярная масса 0,197 кг/моль.

Порядок выполнения:

1. Внимательно прочитайте задачу.
2. Запишите в «Дано» все данные и правильно запишите искомую величину.
3. Сделайте перевод единиц в СИ, если это необходимо.
4. Сделайте чертёж или схему, если это необходимо.
5. Напишите формулу или закон, по которым находится искомая величина.
6. Запишите дополнительные формулы, если это необходимо. Сделайте **математические преобразования**.
7. Подставьте цифровые значения в окончательную формулу. Вычислите ответ. Проанализируйте его.
8. Запишите ответ.

Вопросы для самопроверки:

1. Какова природа носителей тока в газах?
2. Что такое самостоятельный и несамостоятельный газовые разряды?
3. Какой вид имеет вольтамперная характеристика (ВАХ) газового разряда?
4. Какие виды газового разряда Вы знаете?
5. Что является носителями тока в электролитах?
6. Как формулируются основные законы электролиза Фарадея?
7. Где применяется электролиз?

Задачи

1. Какова толщина слоя никеля, если электролиз длился 4 час?
2. Сколько времени длилось никелирование, если толщина слоя никеля 0,5 мм?

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Определить скорость u (мкм/ч), с которой растет слой никеля на плоской поверхности металла при электролизе, если плотность тока j, протекающего через электролит, равна 30 А/м^2. Никель считать двухвалентным.

Решение. Для решения задачи воспользуемся объединенным законом Фарадея

$$m=\frac{1}{F}\cdot\frac{M}{Z}It. \qquad (1)$$

Будем считать, что электролитическое осаждение никеля идет равномерно по всей поверхности металла. Тогда массу m выделившегося за время t никеля можно выразить через плотность ρ, площадь S поверхности металла и толщину h слоя никеля:

$$m=\rho Sh. \qquad (2)$$

Силу тока I выразим через плотность тока и площадь поверхности металла:

$$I=jS. \qquad (3)$$

Подставив в формулу (1) выражения для массы (2) и силы тока (3), получим

$$\rho h = \frac{1}{F}\frac{M}{Z} jt. \qquad (4)$$

При неизменной плотности тока нарастание слоя никеля будет происходить с постоянной скоростью u, определяемой отношением толщины слоя, наращенного за некоторый интервал времени, к этому интервалу ($u=h/t$). Тогда из формулы (4) следует

$$u = \frac{1}{F}\frac{Mj}{Z\rho}.$$

Убедимся в том, что правая часть равенства дает единицу скорости:

$$\frac{[M][j]}{[F][\rho]} = \frac{1\ \text{кг/моль}\cdot 1\ \text{А/м}^2}{1\ \text{Кл/моль}\cdot 1\ \text{кг/м}^3} = \frac{1\ \text{А}\cdot 1\ \text{м}}{1\ \text{Кл}} = \frac{1\ \text{А}\cdot 1\ \text{м}}{1\ \text{А/с}} = 1\ \text{м/с}.$$

При этом было учтено, что валентность Z величина неименованная (безразмерная).

Выпишем значения величин, выразив их в единицах СИ: $F=9{,}65\cdot 10^4$ Кл/моль (см. табл. 24), $M=58{,}7\cdot 10^{-3}$ кг/моль (см. Периодическую систему элементов Д. И. Менделеева на внутренней стороне обложки), $Z=2$, $j=30$ А/м², $\rho=8{,}8\cdot 10^3$ кг/м³ (см. табл. 9).

Подставим числовые значения и произведем вычисления:

$$u = \frac{58{,}7\cdot 10^{-3}\cdot 30}{9{,}65\cdot 10^4\cdot 2\cdot 8{,}8\cdot 10^3}\ \text{м/с} = 1{,}04\cdot 10^{-9}\ \text{м/с} = 3{,}74\ \text{мкм/ч}.$$

Практическая работа №39

Тема: Решение задач по магнитному полю.

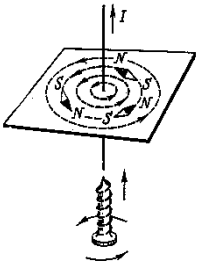
Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «магнитное поле». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Магнитное поле постоянного электрического тока и постоянного магнита.

Вокруг неподвижных электрических зарядов существует только электрическое поле. Движущиеся электрические заряды и изменяющиеся электрические поля создают в окружающем пространстве *магнитное поле.* **Через магнитное поле осуществляются взаимодействия электрических токов, постоянных магнитов и токов с магнитами.** Электрические взаимодействия токов пренебрежимо малы по сравнению с их магнитными взаимодействиями.

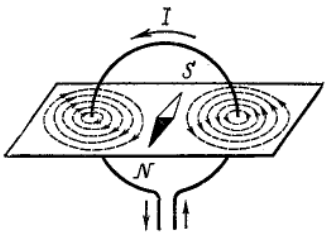
В современной физике магнитное поле характеризуют векторной величиной, называемой *магнитной индукцией* **B**, точное определение которой дано ниже. Принято считать, что вектор **B** в любой точке А магнитного поля совпадает по направлению с силой, действующей на северный полюс бесконечно малой магнитной стрелки, помещенной в А: на полюсы этой стрелки действует пара сил, устанавливающая ее в направлении **B**. Поэтому магнитные поля изучают с помощью мелких игольчатых железных опилок, которые, намагничиваясь в нем, как бы превращаются в маленькие магнитные стрелочки.

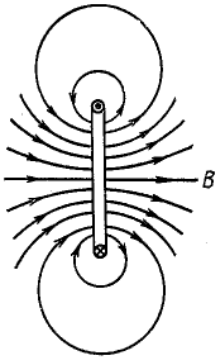


Магнитное поле прямолинейного тока наблюдают, продев сквозь расположенный горизонтально лист картона вертикальный прямолинейный провод, представляющий собой часть электрической цепи. Опилки-стрелочки при замыкании тока в цепи и после легкого постукивания по листу образуют цепочки в виде окружностей с общим центром на оси тока. Поэтому магнитное поле электрического тока графически изображают в виде *линий магнитной индукции,* аналогичных линиям напряженности электростатического поля. *Линии магнитной индукции представляют собой окружности с центрами на оси тока, расположенные в плоскостях, перпендикулярных направлению тока*. Их направление определяют по правилу правого винта: *при поступательном движении винта в направлении тока его вращение указывает направление магнитного поля этого тока.* *Различие* между линиями магнитной индукции и линиями напряженности электростатического поля: первые замкнуты и окружают электрический ток; вторые – разомкнуты, начинаются на поверхности положительно заряженных тел и оканчиваются на поверхности отрицательно заряженных.

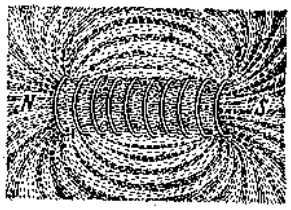
Магнитное поле витка с током, или контура тока, показано рисунке (кружок с точкой означает, что в этом сечении ток направлен перпендикулярно плоскости рисунка к нам, а кружок с крестом - что ток направлен от нас). Направление линий магнитной индукции вдоль оси витка укажет магнитная стрелка, помещенная в его центре. Две противоположные стороны обтекаемой током поверхности можно сопоставить с двумя полюсами магнитной стрелки: сторону, из которой линии магнитной индукции выходят – с северным полюсом магнитной стрелки, а в которую они входят – с южным. Направление магнитного поля витка с током можно определить также по правилу правого винта: *если поместить острие винта в центре витка и вращать винт в направлении тока, то его поступательное движение укажет направление линий магнитной индукции.*

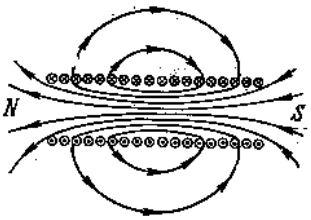
Таким образом, существует взаимная связь направлений тока в замкнутом проводнике и его магнитного поля, их «сцепленность».



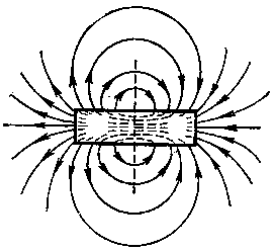


Линии магнитной индукции катушки с током, или*соленоида*, входят в катушку со стороны ее южного магнитного полюса и выходят из северного. Внутри катушки, длина которой во много раз больше ее диаметра, магнитное поле *однородно*, т. е. линии магнитной индукции параллельны и плотность их одинакова.





Магнитное поле постоянного магнита можно наблюдать, насыпав железные опилки на лист картона, положенный на магнит. Вне прямого магнита оно похоже на магнитное поле катушки с током. С помощью железных опилок можно наблюдать магнитное поле только вне постоянного магнита.



Но линии магнитной индукции продолжаются и внутри постоянного магнита и замыкаются, как показано на рисунке. Из средней линии, проведенной через так называемую нейтральную область магнита, не выходят и в нее не входят линии индукции. К нейтральной области магнита железные и стальные предметы не притягиваются.

Магнитное поле соленоида.

Пусть соленоид длиной l, во много раз превышающей его диаметр, имеет N витков, по которым течет ток силой I. Если соленоид находится в вакууме (или воздухе), то магнитная индукция поля в нем численно равна

$$B_0 = \mu_0 IN / l = \mu_0 In,$$

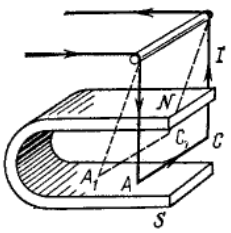
где $n = N/l$; In – *число ампер-витков*, приходящихся на единицу длины соленоида; μ_0 – *магнитная постоянная, характеризующая магнитное поле в вакууме*.

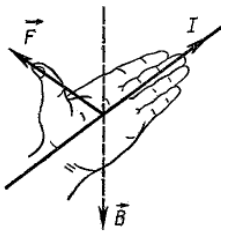
Поле внутри длинного соленоида однородно и направлено от южного полюса (S) к северному (N). **Модуль магнитной индукции поля в соленоиде пропорционален числу ампервитков, приходящихся на единицу его длины**.

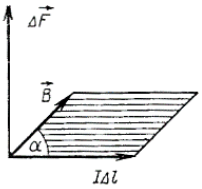
Магнитная постоянная

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м}/(\text{с}^2 \cdot \text{А}^2).$$

Магнитная индукция.Подвесим горизонтальный прямолинейный проводник АС, являющийся частью электрической цепи, между полюсами широкого постоянного подковообразного магнита. Магнитное поле между полюсами магнита направлено сверху вниз. При замыкании цепи магнитные поля тока и магнита начинают взаимодействовать. Если ток в проводнике течет от А к С, как показано на рисунке, то проводник АС втягивается в промежуток между полюсами магнита, занимая положение A_1C_1, если же направление тока изменить на обратное, то проводник АС выталкивается из этого промежутка.







Следовательно, сила, с которой внешнее магнитное поле действует на прямолинейный проводник с током, расположенный перпендикулярно линиям магнитной индукции этого поля, направлена перпендикулярно как линиям индукции, так и проводнику. Направление этой силы определяется правилом левой руки: *если положить левую руку на проводник так, чтобы четыре пальца указывали направление тока, а линии магнитной индукции входили в ладонь, то отогнутый большой палец укажет направление силы, действующей на проводник.*

А. Ампер установил на основании опытов что сила $\Delta\mathbf{F}$, действующая в магнитном поле с индукцией **B** на небольшой прямолинейный участок $\Delta\mathbf{l}$ проводника с током I, перпендикулярна проводнику и магнитному полю и численно равна

$$\Delta F = I\Delta l B \sin\alpha,$$

где α – угол между направлениями $\Delta\mathbf{l}$ и **B**. Но $\Delta l B \sin\alpha$ – модуль векторного произведения $\Delta\mathbf{l} \times \mathbf{B}$, следовательно,

$$\Delta\mathbf{F} = I\Delta\mathbf{l} \times \mathbf{B}.$$

Сила, действующая на прямолинейный участок проводника с током в магнитном поле, равна силе тока, умноженной на векторное произведение этого участка и магнитной индукции.

Если α = 0 (или 180°), то ΔF = 0, т. е. при движении прямолинейного проводника с током параллельно линиям магнитной

индукции, он не испытывает действия магнитного поля.
Если α = 90°, то действующая на проводник с током сила магнитного поля максимальна

$$\Delta F = I\Delta l B.$$

Тогда

$$B = \Delta F / I\Delta l.$$

Магнитная индукция – векторная физическая величина, численно равная силе, с которой магнитное поле действует на единицу длины прямолинейного проводника с током, равным единице силы тока, расположенном перпендикулярно направлению поля.

За единицу магнитной индукции в системе СИ принята *тесла (Т), равная индукции однородного магнитного поля, действующего с силой 1 Н на каждый метр длины прямолинейного проводника с током 1 А, если проводник расположен перпендикулярно направлению поля.*

Размерность единицы магнитной индукции

$$[T] = [H]/[A]\cdot[м] = кг \cdot с^{-2} \cdot А^{-1}.$$

Вектор **B** направлен в каждой точке линии магнитной индукции по касательной к ней. Индукция **B** характеризует силовое действие магнитного поля на ток. Аналогичную роль играет напряженность **E** электростатического поля, характеризующая его силовое действие на заряд.

Исходные данные:

1. Между полюсами магнита на двух тонких вертикальных nроволочках подвешен горизонтальный линейный проводник массой $m = 10$ г и длиной $\ell = 20$ см. Индукция однородного магнитного поля направлена вертикально и равна $\vec{B} = 0,25$ Тл. Весь проводник находится в магнитном поле. На какой угол от вертикали отклоняются проволочки, поддерживающие проводник, если по нему пропустить ток силой $I = 2\ A$? Массами проволочек пренебречь.
2. Какой магнитный поток пронизывает плоскую поверхность площадью 50 см^2 при индукции поля 0,4Тл, если эта поверхность: а) перпендикулярна вектору индукции поля; б) расположена под углом $30°$ к вектору индукции?
3. На проволочный виток радиусом 10см, помещенный между полюсами магнита, действует максимальный механический момент 6,5мкНм. Сила тока в витке равна 2А. Определить магнитную индукцию поля между полюсами магнита. Действием магнитного поля Земли пренебречь.
4. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов 400В, попал в однородное магнитное поле с индукцией 1,5мТл. Определить: 1) радиус кривизны траектории; 2) частоту вращения электрона в магнитном поле. Вектор скорости электрона перпендикулярен линиям индукции.
5. Между полюсами электромагнита помещена катушка, соединенная с баллистическим гальванометром. Ось катушки параллельна линиям индукции. Катушка сопротивлением $R_1 = 4$ Ом имеет $N = 15$ витков площадью $S = 2$ см^2. Сопротивление R_2 гальванометра равно 46Ом. Когда ток в обмотке электромагнита выключили, по цепи гальванометра прошел заряд $Q = 90$ мкКл. Вычислить магнитную индукцию B поля электромагнита.

Порядок выполнения:

Задачи о силовом действии магнитного поля на проводники с током

1. Сделать схематический чертеж, на котором указать контур с током и направление силовых линий поля. 2. Отметить углы между направлением поля и отдельными элементами контура.
3. Используя правило левой руки, определить направление сил поля (сила Ампера), действующих на каждый элемент контура, и проставить векторы этих сил на чертеже.
4. Указать все остальные силы, действующие на контур.
5. Исходя из физической природы сил, выразить силы через величины, от которых они зависят.
6. Решить полученную систему уравнений относительно неизвестной величины.
7. Решение проверить и оценить критически.

Задачи о силовом действии магнитного поля на заряженные частицы

1. Сделать чертеж, указать на нем силовые линии магнитного и электрического полей, проставить вектор начальной скорости частицы и отметить знак ее заряда.
2. Изобразить силы, действующие на заряженную частицу.
3. Определить вид траектории частицы.

4. Разложить силы, действующие на заряженную частицу, вдоль направления магнитного поля и по направлению, ему перпендикулярному.
5. Составить основное уравнение динамики материальной точки по каждому из направлений разложения сил.
6. Исходя из физической природы сил, выразить силы через величины, от которых они зависят.
7. Решить полученную систему уравнений относительно неизвестной величины.
8. Решение проверить и оценить критически.

Вопросы для самопроверки:

1. Укажите основные свойства магнитного поля.
2. Чем отличается это поле от электростатического?
3. Как можно обнаружить действие электростатического поля?
4. Как можно обнаружить действие магнитного поля?

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Какова индукция магнитного поля, в которой на проводник с длиной активной части 5см действует сила 50 мН? Сила тока в проводнике 25 А. проводник расположен перпендикулярно индукции магнитного поля.

Дано	**Формула**	**Решение**
L = 5 см = 0,05 м, I = 25 А, F = 50 мН = 0,05 Н, В перпендикулярно I B = ?	F = B * I * L* sin α B = F / I * L * sin α	B = 0,05 Н / 25 А * 0,05 м = 0,04 Тл

Ответ: B = 0.04Тл.

Практическая работа №27

Тема: Решение задач на силу Лоренца и силу Ампера.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Сила Лоренца и сила Ампера». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Магнитное поле не только порождается движущимися электрическими зарядами, но действует на движущиеся заряды.

Силой Лоренца называется сила, действующая на движущийся электрический заряд со стороны магнитного поля. Сила Лоренца равна произведению заряда *q* на векторное произведение скорости движения заряда $\vec{v}$ и вектора магнитной индукции $\vec{B}$, т. е.

$$\vec{F} = q \cdot \left[\vec{v}, \vec{B}\right]. \qquad (2.42)$$

Модуль силы Лоренца равен

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin\alpha, \qquad (2.43)$$

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

Поскольку ток - это упорядоченное движение электрических зарядов, то на проводник с током в магнитном поле тоже действует сила, которая называется силой Ампера.

Сила Ампера равна произведению силы тока на векторное произведение элемента проводника $d\vec{l}$ и вектора магнитной индукции

$$d\vec{F} = I \cdot \left[d\vec{l}, \vec{B}\right]. \qquad (2.44)$$

Модуль силы Ампера равен

$$dF = I \cdot dl \cdot B \cdot \sin\alpha, \qquad (2.45)$$

где α - угол между векторами $d\vec{l}$ $\vec{B}$.

С помощью измерения силы можно найти модуль вектора магнитной индукции (формула (2.45)). Сила будет максимальной, если $sin\alpha = 1$. Тогда по формуле (2.45)

$$dF_{max} = I \cdot dl \cdot B.$$

Отсюда:

$$B = \frac{dF_{max}}{I \cdot dl}.$$

Тогда единица магнитной индукции тесла (Тл) равна ньютон (Н), деленный на ампер и на метр , т. е.

$$1\,Тл = 1\,\frac{Н}{А \cdot м}.$$

Исходные данные:

1. Какова напряженность магнитного поля на оси кругового витка на расстоянии 40см от центра, если в центре витка напряженность20А/м. Радиус витка 30см.
2. Напряжённость магнитного поля в центре кругового витка равна 200А/м. Магнитный момент витка 1А•м2. Вычислите силу тока в витке и его радиус.
3. Заряженная частица с энергией 1 кэВ движется в однородном магнитном поле по окружности радиусом 1 мм. Найдите силу, действующую на частицу
4. Катушка диаметром d = 4 см , имеющая N = 500 витков, находится в магнитном поле, направленном параллельно оси катушки, Чему равно среднее значение ЭДС индукции в катушке, если индукция магнитного поля за время Δt = 0,1 увеличилась от 0 до 5 В.
5. Колебания осциллятора происходят по закону x = Acos(ωt +φ0). В момент времени t1 скорость осциллятора v1, а ускорение a1.

t_1= 0 с
x_1 =0 м
T = 2 с
A = 0.04м
Найти: ω, v1 (скорость), a1 (ускорение), ν (частота в Гц), φ0

Порядок выполнения:

1.Установить причины изменения магнитного потока, связанного с контуром, и определить какая из величин B, S или, входящих в выражение для Ф, изменяется с течением времени.

2. Записать формулу закона электромагнитной индукции: $\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

3. Выражение для ΔФ представить в развернутом виде (Ф) и подставить в исходную формулу закона электромагнитной индукции.

4. Записать математически все вспомогательные условия.

5. Полученную систему уравнений решить относительно искомой величины.

6. Решение проверить и оценить критически.

Вопросы для самопроверки:

1. Дайте определение индукции магнитного поля.
2. Как определяются модуль и направление индукции магнитного поля?
3. Что такое силовые линии магнитного поля.
4. Изобразите с их помощью магнитное поле прямого проводника с током, кругового тока, соленоида.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Проводящий стержень длиной l = 4 см согнули посередине под прямым углом и внесли в однородное магнитное поле индукции B = 0,1 Тл. Линии магнитной индукции параллельны плоскости, в которой лежит изогнутый стержень, и составляют угол α = 600 с одной из его половинок (рис.3.9). Определите величину F силы, действующей на стержень со стороны магнитного поля при пропускании по стержню тока I = 5 А

Решение.

Пользуясь правилом левой руки, определим направления сил Ампера, которые действуют на каждую половину стержня. Нетрудно убедится, что на вертикальную половину действует сила, направленная «от нас» перпендикулярно плоскости чертежа. Модуль этой силы

$$F_1 = IB(l/2)\sin\alpha .$$

Сила, действующая на горизонтальную половину стержня направлена «на нас» перпендикулярно плоскости чертежа. Ее величина

$$F_2 = IB(l/2)\sin(90^0 - \alpha).$$

Следовательно

$$F = \frac{BIl}{2}\left|\cos\alpha - \sin\alpha\right| \approx 3{,}7 \text{ мН} .$$

Практическая работа №41

Тема: Решение задач на ЭМИ, самоиндукцию и энергию магнитного поля .

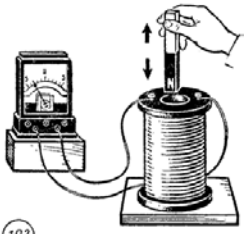
Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «ЭМИ, самоиндукция и энергия магнитного поля». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Если электрический ток, как показали опыты Эрстеда, создает магнитное поле, то не может ли в свою очередь магнитное поле вызывать электрический ток в проводнике? Многие ученые с помощью опытов пытались найти ответ на этот вопрос, но первым решил эту задачу Майкл Фарадей (1791 — 1867).

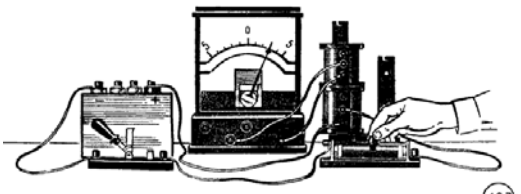
В 1831 г. Фарадей обнаружил, что в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного поля возникает электрический ток. Этот ток назвали *индукционным током.*

Индукционный ток в катушке из металлической проволоки возникает при вдвигании магнита внутрь катушки и при выдвигании магнита из катушки (рис. 192),



192

а также при изменении силы тока во второй катушке, магнитное поле которой пронизывает первую катушку (рис. 193).



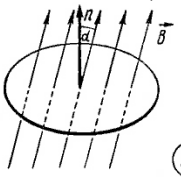
193

Явление возникновения электрического тока в замкнутом проводящем контуре при изменениях магнитного поля, пронизывающего контур, называется *электромагнитной индукцией.*

Появление электрического тока в замкнутом контуре при изменениях магнитного поля, пронизывающего контур, свидетельствует о действии в контуре сторонних сил неэлектростатической природы или о возникновении *ЭДС индукции.*Количественное описание явления электромагнитной индукции дается на основе установления связи между ЭДС индукции и физической величиной, называемой *магнитным потоком.*

Магнитный поток. Для плоского контура, расположенного в однородном магнитном поле (рис. 194), магнитным потоком *Ф*через поверхность площадью *S* называют величину, равную произведению модуля вектора магнитной индукции $\vec{B}$ на площадь *S* и на косинус угла α между вектором $\vec{B}$ и нормалью к поверхности:

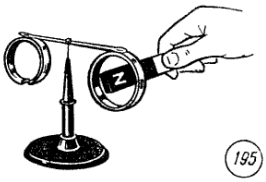
$$\Phi = BS\cos\alpha \quad (54.1)$$



194

Правило Ленца. Опыт показывает, что направление индукционного тока в контуре зависит от того, возрастает или убывает магнитный поток, пронизывающий контур, а также от направления вектора индукции магнитного поля относительно контура. Общее правило, позволяющее определить направление индукционного тока в контуре, было установлено в 1833 г. Э. Х. Ленцем.

Правило Ленца можно наглядно показать с помощью легкого алюминиевого кольца (рис. 195).



Опыт показывает, что при внесении постоянного магнита кольцо отталкивается от него, а при удалении притягивается к магниту. Результат опытов не зависит от полярности магнита.

Общая формулировка *правила Ленца:* **возникающий в замкнутом контуре индукционный ток имеет такое направление, что созданный им магнитный поток через площадь, ограниченную контуром, стремится компенсировать то изменение магнитного потока, которым вызывается данный ток.**

Закон электромагнитной индукции. Экспериментальное исследование зависимости ЭДС индукции от изменения магнитного потока привело к установлению *закона электромагнитной индукции:* **ЭДС индукции в замкнутом контуре пропорциональна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром.**

В СИ единица магнитного потока выбрана такой, чтобы коэффициент пропорциональности между ЭДС индукции и изменением магнитного потока был равен единице. При этом *закон электромагнитной индукции* формулируется следующим образом: **ЭДС индукции в замкнутом контуре равна модулю скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром:**

$$|\varepsilon_i| = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| \quad (54.2)$$

С учетом правила Ленца закон электромагнитной индукции записывается следующим образом:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (54.3)$$

ЭДС индукции в катушке. Если в последовательно соединенных контурах происходят одинаковые изменения магнитного потока, то ЭДС индукции в них равна сумме ЭДС индукции в каждом из контуров. Поэтому при изменении магнитного потока в катушке, состоящей из *n* одинаковых витков провода, общая ЭДС индукции в *n* раз больше ЭДС индукции в одиночном контуре:

$$\varepsilon_i = -n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (54.4)$$

Единица магнитного потока. Единица магнитного потока в Международной системе единиц называется *вебером* (Вб). Она определяется на основании использования закона электромагнитной индукции. Магнитный поток через площадь, ограниченную замкнутым контуром, равен 1 Вб, если при равномерном убывании этого потока до нуля за 1 с в контуре возникает ЭДС индукции 1 В:

$$\Delta\Phi = \varepsilon_i\Delta t, \quad 1\text{Вб} = 1\text{В}\cdot 1\text{с}.$$

Для однородного магнитного поля на основании уравнения (54.1) следует, что его магнитная индукция равна 1 Тл, если магнитный поток через контур площадью 1 м^2 равен 1 Вб:

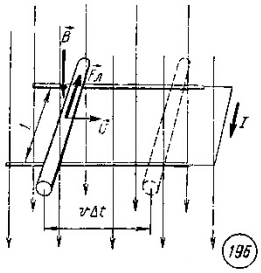
$$B = \frac{\Phi}{S},$$

$$1\text{Тл} = \frac{1\text{Вб}}{1\text{м}^2} = 1\text{Вб}\cdot\text{м}^2.$$

ЭДС индукции в движущихся проводниках. Явление электромагнитной индукции наблюдается и в тех случаях, когда магнитное поле не изменяется во времени, но магнитный поток через контур изменяется из-за движения проводников контура в магнитном поле. В этом случае причиной возникновения ЭДС индукции является не вихревое электрическое поле, а сила Лоренца.

Рассмотрим прямоугольный контур в однородном магнитном поле, вектор индукции $\vec{B}$ которого перпендикулярен плоскости контура. Если провод скользит с постоянной скоростью $\vec{\upsilon}$ по двум

проводникам контура (рис. 196), то за время Δt площадь контура изменяется на величину $\Delta S = -l\upsilon\Delta t$, а магнитый поток через контур — на $\Delta\Phi = -Bl\upsilon\Delta t$.



Поэтому ЭДС индукции в контуре будет равна

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \upsilon Bl \quad .(54.5)$$

В проводнике, движущемся в магнитном поле, на электрический заряд *q* действует сила Лоренца:

$$F_Л = q\upsilon B.$$

Вычислим работу силы Лоренца, действующей на электрический заряд *q* во время полного обхода контура.

На пути длиной *l* работа силы Лоренца равна

$$A = F_Л l = q\upsilon Bl \quad .(54.6)$$

В неподвижных частях контура сила Лоренца равна нулю, поэтому полная работа силы Лоренца при обходе контура зарядом *q*равна работе силы Лоренца на движущемся участке контура.

Рассматривая работу силы Лоренца как работу сторонних сил в контуре, мы получим выражение для ЭДС сторонних сил:

$$\varepsilon = \frac{A}{q} = \upsilon Bl \quad .(54.7)$$

Совпадение выражений (54.5). и (54.7) показывает, что причиной возникновения ЭДС индукции в контуре в этом случае является действие силы Лоренца на заряды в движущемся проводнике.

Исходные данные:

1. Магнитный поток внутри катушки с числом витков равным 400, за 0,2 с изменился от 0,1 Вб до 0,9 Вб. Определить ЭДС, индуцируемую в катушке.
2. Определить магнитный поток, проходящий через прямоугольную площадку со сторонами 20х40 см, если она помещена в однородное магнитное поле с индукцией в 5 Тл под углом 60° к линиям магнитной индукции поля.
3. Определить ЭДС индукции на концах крыльев самолета Ан-2, имеющих длину 12,4 м, если скорость самолёта при горизонтальном полёте 180 км/ч, а вертикальная составляющая вектора индукции магнитного поля Земли $0{,}5\cdot10^{-4}$ Тл.
4. Найти ЭДС индукции на крыльях самолета Ту-204, имеющих длину 42 м, летящего горизонтально со скоростью 850 км/ч, если вертикальная составляющая вектора индукции магнитного поля Земли $5\cdot10^{-5}$ Тл.
5. Во сколько раз изменится индуктивность катушки без сердечника, если число витков в ней увеличить в два раза?
6. Какая э.д.с. самоиндукции возникнет в катушке с индуктивностью 68 мГ, если ток 3,8 А исчезнет в ней за 0,012 с?
7. Какой силы ток нужно пропускать по обмотке дросселя с индуктивностью 0,5 Гн, чтобы энергия поля оказалась равной 100 Дж?
8. Энергия магнитного поля какой катушки больше и во сколько раз, если первая имеет характеристики: I_1=10А, L_1=20 Гн, вторая: I_2=20А, L_2=10 Гн?
9. Определить энергию магнитного поля катушки, в которой при токе 7,5 А магнитный поток равен $2{,}3\cdot10^{-3}$ Вб. Число витков в катушке 120.

Порядок выполнения:

1.Установить причины изменения магнитного потока, связанного с контуром, и определить какая из величин B, S или, входящих в выражение для Ф, изменяется с течением времени.

2. Записать формулу закона электромагнитной индукции: $\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

3. Выражение для ΔФ представить в развернутом виде (Ф) и подставить в исходную формулу закона электромагнитной индукции.

4. Записать математически все вспомогательные условия.

5. Полученную систему уравнений решить относительно искомой величины.

6. Решение проверить и оценить критически.

Вопросы для самопроверки:

1. В чем заключается электромагнитная индукция?
2. Что является причиной возникновения ЭДС индукции?
3. Чем определяются величина и знак ЭДС индукции?
4. В чем заключается самоиндукция?
5. Что такое индуктивность, и в каких единицах она измеряется?
6. Какие свойства электрической цепи характеризует индуктивность и в чем это проявляется?
7. От чего зависит скорость нарастания или убывания силы тока в цепи при ее замыкании или размыкании?

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Одна половина проволочной прямоугольной рамки площадью S развернута относительно другой на угол α (рис.11). Найдите амплитуду ЭДС в такой рамке при ее вращении с угловой скоростью ω вокруг оси СО в однородном магнитном поле $\vec{B}$, направленном перпендикулярно оси вращения. Рассмотрите также специальные случаи:

а) $\alpha = 0^0$, б) $\alpha = 90^0$, в) $\alpha = 180^0$.

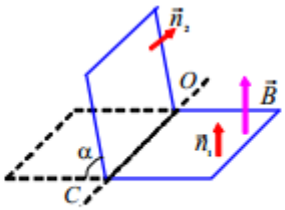


Рис.11

Решение.

Поток магнитной индукции через рамку равен сумме потоков, пронизывающих каждую половину рамки, направления нормалей к которым задаются векторами $\vec{n}_1$ и $\vec{n}_2$ (см. рис.12).

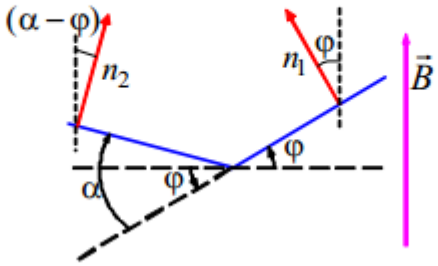


Рис.12

Если учесть, что в начальный момент времени нормаль $\vec{n}_1$ совпадает по направлению с вектором $\vec{B}$, а нормаль $\vec{n}_2$ развернута на угол α по отношению к нормали $\vec{n}_1$, то полный магнитный поток через рамку в любой момент времени t будет равен

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = B\frac{S}{2}\cos\varphi + B\frac{S}{2}\cos(\alpha - \varphi),$$

где $\varphi = \omega t$ - угол поворота рамки (рис.12).

Таким образом, полный поток как функция времени опишется выражением

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = B\frac{S}{2}\cos\omega t + B\frac{S}{2}\cos(\omega t - \alpha) = BS\cos\frac{\alpha}{2}\cos\left(\omega t - \frac{\alpha}{2}\right).$$

По закону электромагнитной индукции для величины ЭДС получим:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = BS\omega\cos\frac{\alpha}{2}\sin\left(\omega t - \frac{\alpha}{2}\right).$$

Амплитудное значение ЭДС индукции ε_m достигается при $|\sin(\omega t - \alpha/2)| = 1$ и равно

$$\varepsilon_m = BS\omega\cos(\alpha/2).$$

Для заданных в задаче специальных случаев, получим:

а) $\alpha = 0^0$ $\quad \varepsilon_m = BS\omega$,

б) $\alpha = 90^0$ $\quad \varepsilon_m = \sqrt{2}BS\omega/2$,

в) $\alpha = 180^0$ $\quad \varepsilon_m = 0$.

Практическая работа №42

Тема: Контрольная работа по теме «Электродинамика».

Цель: проконтролировать знания учащихся и их умения самостоятельно применять полученные знания при решении задач.

Исходные данные:

1. Электрон , двигаясь в электрическом поле, изменяет свою скорость от 200 км/с до 10000км/с . Чему равна разность потенциалов между начальной и конечной точками пути?
2. В однородном электрическом поле находится пылинка массой $40 \cdot 10^{-8}$ гр. обладает зарядом $1{,}6 \cdot 10^{-11}$Кл. Какой должен быть по величине напряженность поля, чтобы пылинка осталась в покое.
3. Два точечных заряда $6{,}6 \cdot 10^{-9}$Кл и $1{,}32 \cdot 10^{-8}$Кл находится в вакууме на расстоянии 40 см друг от друга. Какова сила взаимодействия между зарядами?
4. Почему конденсаторы , имеющие одинаковые емкости, но рассчитанные на разные напряжения . имеют неодинаковые размеры?
5. Какую площадь должны иметь пластины плоского конденсатора для того чтобы его электроемкость была равна 2 мкФ, если между пластинами помещается слой слюды толщиной 0,2 мм? ($\varepsilon = 7$).
6. Чему равна мощность лампы накаливания при напряжении 220 В и силе тока 0,454 *А*.

Порядок выполнения:

1. Внимательно прочти условие задачи.
2. Произведи краткую запись условия задачи с помощью общепринятых буквенных обозначений (СИ).
3. Выполни рисунки или чертежи задачи.
4. Определи, каким методом будет решаться задача, составь план решения.
5. Запиши основные уравнения, описывающие процессы, предложенные задачной системой.
6. Найди решение в общем виде, выразив искомые величины через заданные.
7. Проверь правильность решения задачи в общем виде, произведя действия с наименованием величин.
8. Произведи вычисления.
9. Произведи оценку реальности полученного решения.
10. Запиши ответ.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Практическая работа №43

Тема: Решение задач на ЭМК и формулу Томсона.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «ЭМК и формула Томсона». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Электромагнитные колебания могут возникать в цепи, содержащей индуктивность *L* и емкость *C* (рис.16.1). Такая цепь называется ***колебательным контуром.*** Возбудить колебания в таком контуре можно, например, предварительно зарядив конденсатор от внешнего источника напряжения, соединить его затем с катушкой индуктивности.

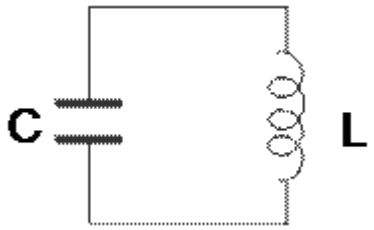


Рис.16.1. Электрический колебательный контур.

Поскольку внешнее напряжение к контуру не приложено, сумма падений напряжений на емкости и индуктивности должна быть равна нулю в любой момент времени:

$$\frac{q}{C} + L\frac{dI}{dt} = 0,$$

откуда, учитывая, что сила тока $I = \dot{q}$, получаем дифференциальное уравнение ***свободных незатухающих колебаний*** электрического заряда в колебательном контуре

$$\ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0.$$

Если ввести обозначение

$$\boxed{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}},$$

то полученное уравнение принимает вид:

$$\boxed{\ddot{q} + \omega_0^2 q = 0}.$$

Решением этого уравнения, как известно, является функция

$$\boxed{q = q_m \cos(\omega_0 t + \alpha)}.$$

Таким образом, заряд на обкладках конденсатора изменяется по *гармоническому закону* с частотой ω_0, называемой *собственной частотой* колебательного контура. *Период колебаний* определяется по ***формуле Томсона*** (Thomson W., 1824-1907):

$$\boxed{T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}}$$

Напряжение на конденсаторе:

$$U_C = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C}\cos(\omega_0 t + \alpha) = U_m \cos(\omega_0 t + \alpha),$$

где $U_m = \frac{q_m}{C}$ - амплитуда напряжения.

Сила тока в контуре:

$$I = \dot{q} = -\omega_0 q_m \sin(\omega_0 t + \alpha) = I_m \cos(\omega_0 t + \alpha + \frac{\pi}{2}).$$

Сопоставляя полученные выражения, видим, что когда напряжение на конденсаторе, а значит энергия электрического поля, обращается в нуль, сила тока, а, следовательно, энергия магнитного

поля, достигает максимального значения (рис.16.2). Таким образом, электрические колебания в контуре сопровождаются взаимными превращениями энергий электрического и магнитного полей.

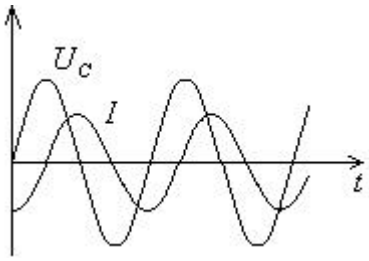


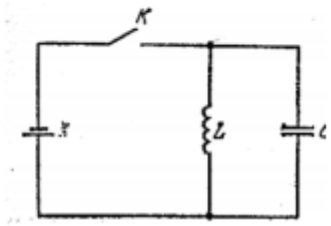
Рис.16.2. Графики изменения $U_C(t)$ и $I(t)$ в LC-контуре.

Амплитуды тока I_m и напряжения U_m связаны между собой очевидным соотношением:

$$I_m = \omega_0 q_m = \omega_0 C U_m = \sqrt{\frac{C}{L}} U_m .$$

Исходные данные:

1. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $L = 0,2\ Гн$ и конденсатора ёмкостью $C = 10^{-5} Ф$. Конденсатор зарядили до напряжения $U = 2\ В$, и он начал разряжаться. Какой будет сила тока в тот момент, когда энергия окажется поровну распределённой между электрическим и магнитным полем?
2. В колебательном контуре происходят свободные колебания. Зная максимальный заряд конденсатора q_m и максимальную силу тока I_m, найти частоту колебаний этого контура.
3. В цепь переменного тока с частотой $\nu = 50\ Гц$ и напряжением $U = 220\ В$ включены последовательно конденсатор, активное сопротивление $R = 100\ Ом$ и катушка индуктивностью $L = 0,7\ Гн$. Рассчитать ёмкость конденсатора, при которой возникает резонанс напряжения. Определить силу тока в цепи при резонансе.
4. Колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности L и конденсатора ёмкости C, через ключ K подключён к источнику с ЭДС ε с внутренним сопротивлением r. Первоначально ключ замкнут. После установления стационарного режима ключ размыкают и в контуре возникают колебания с периодом T. При этом амплитуда напряжения на конденсаторе в n раз больше ЭДС батареи. Найти индуктивность катушки и ёмкость конденсатора. Сопротивлением катушки пренебречь.



Порядок выполнения:

1.Установить причины изменения магнитного потока, связанного с контуром, и определить какая из величин B, S или, входящих в выражение для Ф, изменяется с течением времени.

2. Записать формулу закона электромагнитной индукции: $\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

3. Выражение для ΔФ представить в развернутом виде (Ф) и подставить в исходную формулу закона электромагнитной индукции.

4. Записать математически все вспомогательные условия.

5. Полученную систему уравнений решить относительно искомой величины.

6. Решение проверить и оценить критически.

Вопросы для самопроверки:

1. В чем заключается явление электро-магнитной индукции?
2. Что называется магнитным потоком, как его рассчитать? Каковы его единицы измерения?
3. Как определить направление индукционного тока? В чем состоит правило Ленца?
4. Гармонические колебания. Уравнение зависимости заряда от времени в колебательном контуре.
5. Фаза колебаний. Что значит выражение «сдвиг фаз»? Уравнение для силы тока в колебательном контуре.
6. Формула Томсона.

Задачи

1. Лифт спускается с ускорением 10 м/с^2 вертикально вниз. В лифте находится человек массой 60 кг. Чему равен вес человека?

2. Через блок перекинута невесомая нерастяжимая нить, к одному концу которой подвешен груз массой 30 г. Другой конец нити соединен с невесомой пружиной, к концу которой прикреплено тело массой 50 г. При движении грузов длина пружины равна 17,5 см. Какова длина пружины в нерастянутом состоянии, если под действием силы 1 Н пружина удлиняется на 20 см.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Какую электроемкость должен иметь конденсатор для того, чтобы состоящий из этого конденсатора и катушки индуктивностью 10 мГн колебательный контур радиоприемника был настроен на волну 1000 м?

Решение:

Для настройки приемника на заданную волну частота собственных колебаний в контуре должна быть равной частоте колебаний в принимаемой волне.

Частота собственных колебаний в контуре определяется из формулы Томсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

$$v = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Частота v колебаний связана с длиной волны λ и скоростью ее распространения v формулой

$$\nu = \frac{v}{\lambda}$$

Отсюда для вычисления электроемкости конденсатора получаем выражение:

$$\frac{v}{\lambda} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$C = \frac{\lambda^2}{v^2 \cdot 4\pi^2 L}$$

Скорость v распространения радиоволн равна примерно $3 \cdot 10^8$ м/с , поэтому получаем:

$$C = \frac{10^6}{9 \cdot 10^{16} \cdot 4 \cdot 10 \cdot 10^{-2}} \text{Ф} \approx 2{,}8 \cdot 10^{-11} \text{Ф}.$$

Ответ: 2,8 * 10^{-11}Ф

Практическая работа №44

Тема: Решение задач на мощность в цепи переменного тока.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «мощность в цепи переменного тока». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Рассмотрим, чему равна работа, совершаемая в цепи при наличии в ней переменного тока.

Предположим вначале, что цепь имеет только активное сопротивление. В этом случае вся работа тока целиком превращается в тепло.

Пусть напряжение на концах цепи a и b есть

$$U = U_m \sin \omega t.$$

Так как в случае активного сопротивления сдвига фаз между током и напряжением нет, то сила тока изменяется по закону

$$I = I_m \sin \omega t.$$

В течение малого промежутка времени переменный ток можно рассматривать как ток постоянный, и поэтому мгновенная мощность переменного тока

$$P_t = IU = I_m U_m \sin^2 \omega t.$$

Обычно необходимо знать не мгновенное значение мощности, а ее среднее значение за большой период времени, охватывающий много периодов колебаний. Так как мы имеем дело с периодическим процессом, то для нахождения этого среднего значения достаточно вычислить среднее значение мощности за один полный период. Работа переменного тока за малое время dt есть

$$P_t dt = I_m U_m \sin^2 \omega t dt,$$

следовательно, и работу A_T за время полного периода колебаний *T* можно найти по формуле

$$A_T = I_m U_m \int_0^T \sin^2 \omega t dt.$$

Однако

$$\int_0^T \sin^2 \omega t dt = \frac{1}{2}\int_0^T \left(1 - \cos\frac{4\pi}{T}t\right)dt = \frac{1}{2}T.$$

Поэтому

$$A_T = \frac{1}{2} I_m U_m T.$$

Отсюда для средней мощности получим

$$P = A_T \big/ T = \frac{1}{2} I_m U_m.$$

Так как $U_m = RI_m$, то

$$P = \frac{1}{2} I_m U_m = \frac{1}{2} R I_m^2 = \frac{1}{2}\frac{U_m^2}{R}.$$

Обозначим через I и U силу и напряжение постоянного тока, который выделяет в сопротивлении R тоже количество тепла, что и данный переменный ток. Тогда

$$P = IU = RI_m^2 = U_m^2 \big/ R. \qquad (10.11)$$

Сравнивая эти выражения с выражениями для мощности переменного тока, имеем

$$I = I_m \big/ \sqrt{2}, \quad U = U_m \big/ \sqrt{2}. \qquad (10.12)$$

Величины I и U соответственно называются действующими (или эффективными) значением тока и напряжения.

Рассмотрим более общий случай, когда цепь содержит не только **активные сопротивления**, но и **реактивные**.

Вычислим среднюю мощность переменного тока при наличии разности фаз между током и напряжением. Работа, совершенная во внешней цепи за время dt, равна

$$P_t\ dt = IUdt\ .$$

Напряжение U мы можем разложить на две составляющие (см. рис. 10.11):

1) активную:

$$U_a = U_m \cos\varphi \sin\omega t,$$

колеблющуюся в фазе с током,

2) реактивную:

$$U_p = U_m \sin\varphi \sin(\omega t \pm \pi/2),$$

смещенную по фазе относительно тока на $\pm\pi/2$. Соответственно этому при вычислении работы за полный период T получим тоже два слагаемых. Одно из них, обусловленное реактивной составляющей напряжения, равно нулю, так как

Следовательно, полная работа за период определяется только активной составляющей напряжения:

$$A_T = I_m U_m \cos\varphi \int_0^T \sin^2 \omega t dt = \frac{1}{2} I_m U_m T \cos\varphi.$$

Поэтому средняя мощность есть

$$\langle P \rangle = A_T / T = \frac{1}{2} I_m U_m \cos\varphi.$$

Подставив сюда действующие значения I и U, находим окончательно:

$$\langle P \rangle = IU \cos\varphi. \qquad (10.13)$$

Полученная формула отличается от (10.11) наличием дополнительного множителя $\cos\varphi$, который в электротехнике называется **коэффициентом мощности**. Она показывает, что в общем случае выделяемая в цепи мощность зависит не только от силы тока и напряжения, но еще и от сдвига фаз между напряжением и током.

Если $\varphi = 90^o$, то $\cos\varphi = 0$ и средняя мощность равна нулю, как бы ни были велики ток и напряжение. В этом случае количество энергии, передаваемое за четверть периода от генератора во внешнюю цепь, в точности равно энергии, предаваемой из внешней цепи в генератор в течение следующей четверти периода, и вся энергия колеблется между генератором и внешней цепью.

Зависимость мощности от $\cos\varphi$ всегда учитывают при проектировании линий электропередачи на переменном токе. Когда питаемые нагрузки имеют большое реактивное сопротивление (например, моторы, обладающие большой индуктивностью), то $\varphi \neq 0$ и $\cos\varphi$ может быть заметно меньше единицы. В этих случаях для передачи нужной мощности (при данном напряжении генератора) необходимо увеличить силу тока I, что либо приведет к возрастанию полезного тепла Джоуля–Ленца, выделяемого в линии, либо потребует увеличения сечения проводов (а следовательно, и веса дорогостоящей меди), вследствие чего повысится стоимость сооружения линии. Поэтому на практике всегда стремятся распределить нагрузки таким образом, чтобы $\cos\varphi$ был по возможности близок к единице.

Исходные данные:

1. Три одинаковых резистора 1, 2, 3, имеющих сопротивление *R*, включены в цепь с диодом, как показано на рис. 4. Определите мощность, выделяющуюся на резисторе 3. Напряжение источника переменного тока равно *U*.

Ответ: $P = \dfrac{U^2}{18R}$.

2. На какую длину волны настроен колебательный контур, если он состоит из катушки с индуктивностью $L = 2 \cdot 10^{-3}$ Гн и плоского конденсатора? Расстояние между пластинками конденсатора $d =$ 1 см, диэлектрическая проницаемость вещества, заполнившего пространство между пластинами, $\varepsilon = 11$. Площадь каждой пластины $S = 800$ см^2.

Ответ: $\lambda = 2\pi c\sqrt{L\dfrac{\varepsilon S}{4\pi k d}} \cdot \lambda = 2{,}4 \cdot 10^3$ м, здесь c - скорость распространения электромагнитных волн в вакууме.

3. Электропечь сопротивлением $R = 22$ Ом питается от генератора переменного тока. Определите количество теплоты Q, выделяемое печью за время $t = 1$ час, если амплитуда силы тока $I_0 = 10$ А.

Ответ: $Q = \dfrac{I_0^2 R t}{2} = 4 \cdot 10^6$ Дж.

4. Заряженный конденсатор емкостью $C =$ 0,2 мкФ подключили к катушке с индуктивностью $L =$ 8 мГн. Через какое время от момента подключения энергия электрического поля конденсатора станет равной энергии магнитного поля катушки?

Ответ: $t = \dfrac{\pi\sqrt{LC}}{4} = 3 \cdot 10^{-5}$ с.

Порядок выполнения:

1. Внимательно изучите условие задачи, попытайтесь понять физическую сущность явлений и процессов, рассматриваемых в задаче, уясните основной вопрос задачи.
2. Повторите условие задачи (повторно прочтите или мысленно представьте ситуацию, описанную в задаче), выясните цель решения, выделите заданные и неизвестные величины.
3. Кратко запишите условие задачи, переведите значения всех величин в СИ, сделайте рисунок, схему или чертеж. На рисунке покажите все векторные величины (скорости, ускорения, силы, импульсы, напряженность электрического поля, индукцию магнитного поля и т.д.).
4. Выясните, с помощью каких физических законов можно описать рассмотренную в задаче ситуацию. Если в закон входят векторные величины, то запишите этот закон в векторном виде.
5. Выберете направления координатных осей и запишите векторные соотношения в проекциях на оси координат в виде скалярных уравнений, связывающих известные и искомые величины.
6. Решите полученные уравнения (или систему уравнений) в общем виде, выразите искомую величину.
7. Проверьте правильность решения с помощью обозначений единиц физических величин.
8. Подставьте в общее решение числовые значения физических величин и произведите вычисления с учетом правил приближенных вычислений.
9. Проанализируйте и проверьте полученный результат, оцените его реальность. Запишите ответ в единицах СИ или в тех единицах, которые указаны в условии задачи.
10. Выясните, есть ли другие способы решения задачи. Подумайте, как изменится результат, если внести изменения в условие задачи. Проанализируйте предельные и частные случаи общего решения, попытайтесь объяснить результаты такого анализа.

Вопросы для самопроверки:

1. Какой ток называется переменным?
2. Как вычисляется индуктивное, ёмкостное и активное сопротивление?
3. Что такое реактивное сопротивление?

4. Начертите векторную диаграмму напряжений для схемы, содержащей катушку индуктивности, конденсатор и резистор.

5. Какова роль сопротивления в колебательном контуре?

6. От чего зависит мощность переменного тока?

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения

Два сопротивления R_1 и R_2 и два диода подключены к источнику переменного тока с напряжением U так, как показано на рис. 3. Найдите среднюю мощность, выделяющуюся в цепи.

Решение:

Ток половину периода идет через один диод (например, 1). За это время на сопротивлении R_1 выделяется средняя мощность

$$P_1 = \frac{U_2}{2R_1}.$$

В течение второго полупериода ток идет через диод 2, выделяя на нем среднюю мощность

$$P_2 = \frac{U^2}{2R_2}.$$

Таким образом, за полный период выделяется средняя мощность

$$P = P_1 + P_2 = \frac{U^2}{2}\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}.$$

Ответ: $P = \frac{U^2}{2}\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}.$

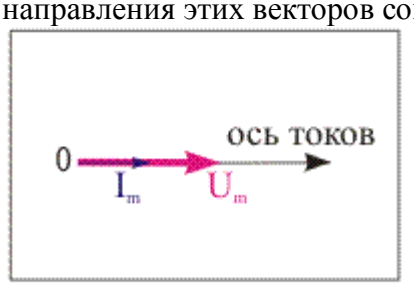
Практическая работа №27

Тема: Резистор, катушка и конденсатор в цепи переменного тока.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по данной теме. Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Резистор в цепи постоянного и переменного тока в любой момент времени обладает одним и тем же значением сопротивления R = U/I. Ток и напряжение совпадают по фазе. На векторной диаграмме направления этих векторов совпадают (рис.1).



Среднее значение мощности $P_{ср.} = U_m*I_m/2$.

Конденсатор, включенный в цепь переменного тока, обладает емкостным сопротивлением X_c:

$X_c = 1/(wC)$,

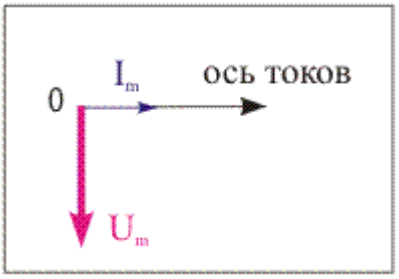
где C - емкость конденсатора,

w - частота переменного тока.

Величину емкостного сопротивления можно рассчитать по формуле $X_c = U/I$, предварительно измерив напряжение на конденсаторе U и силу тока в цепи I.

При этом колебания силы тока в цепи опережают по фазе колебания напряжения на конденсаторе на p/2. Если сила тока меняется по закону $I = I_m\sin(wt)$, то напряжение - $U = U_m\sin(wt - p/2)$.

Векторная диаграмма тока и напряжения на конденсаторе приведена на рис. 2.



В цепи, содержащей конденсатор, происходит периодический обмен энергией между генератором и конденсатором без необратимого преобразования электромагнитной энергии, т.е. среднее значение мощности переменного тока в данном случае равно нулю $P_{ср.} = 0$.

Катушка индуктивности, включенная в цепь переменного тока обладает сопротивлением:

$X_L = wL$,

где L - индуктивность катушки.

Величину индуктивного сопротивления можно рассчитать по формуле $X_L = U/I$, предварительно измерив напряжение на катушке U и силу тока в цепи I.

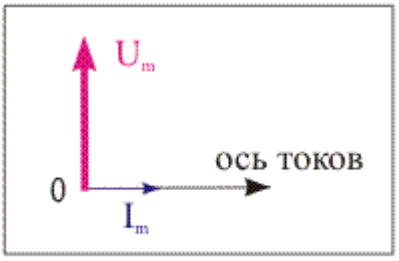
Отметим, что значение X_L больше, чем сопротивление катушки в цепи постоянного тока. Это связано с тем, что при протекании переменного тока через катушку индуктивности благодаря явлению самоиндукции в последней возникает индукционное электрическое поле, противодействующее полю, создаваемому генератором переменного напряжения. Это индукционное поле и является причиной индукционного сопротивления X_L.

Связь индуктивности и явления самоиндукции можно проследить, исходя из следующего соотношения:

$e_c = - d\Phi/dt = - L*dI/dt$, где e_c - ЭДС самоиндукции.

$L = e_c$, если скорость изменения тока самоиндукции равна dI/dt = 1 A/c.

В цепи, содержащей катушку индуктивности, колебания напряжения в цепи опережают по фазе колебания силы тока на p/2. Если напряжение меняется по закону $U = U_m\sin(wt)$, то сила тока - $I = I_m\sin(wt - p/2)$. Векторная диаграмма тока и напряжения на конденсаторе приведена на рис. 3.



В цепи, содержащей катушку индуктивности, происходит периодический обмен энергией между генератором и катушкой без необратимого преобразования электромагнитной энергии, т.е. среднее значение мощности переменного тока в данном случае равно нулю $P_{ср.} = 0$.

Исходные данные:

1. В колебательном контуре индуктивность катушки L = 2,5 мГн, а емкости конденсаторов C_1 = 2,0 мкФ, C_2 = 3,0 мкФ. Конденсаторы зарядили до напряжения U = 180 В и замкнули ключ K (рис. 5). Определите период T собственных колебаний и амплитудное значение силы тока I_0 через катушку. Активное сопротивление контура пренебрежимо мало.

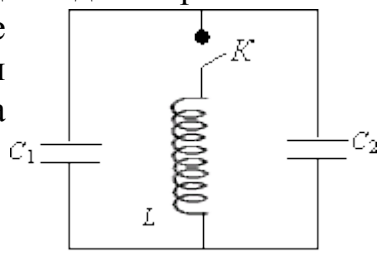


Рис. 5

Ответ: $T = 2\pi\sqrt{L(C_1 + C_2)} = 0{,}7$ мс, $I_0 = U\sqrt{\dfrac{C_1 + C_2}{L}} = 8{,}0$ А.

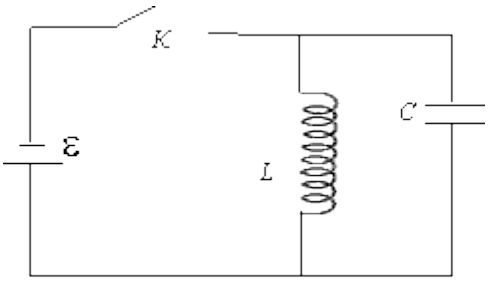


Рис. 6

2. Колебательный контур через ключ K подключен к источнику электродвижущей силы с некоторым внутренним сопротивлением r (рис. 6). Первоначально ключ K замкнут. После установления стационарного режима ключ размыкают и в контуре возникают колебания с периодом T. При этом амплитуда напряжения на конденсаторе в n раз больше электродвижущей силы батареи. Определите индуктивность L катушки и емкость C конденсатора. Активное сопротивление контура пренебрежимо мало.

Ответ: $L = \dfrac{Tnr}{2\pi}$; $C = \dfrac{T}{2\pi nr}$.

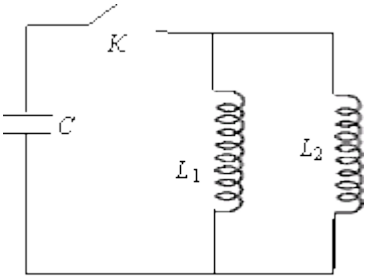


Рис.7

3. Заряженный конденсатор емкости C замыканием ключа K подключают к двум параллельно соединенным катушкам с индуктивностями L_1 и L_2 (рис.7). Максимальный ток, протекающий через катушку L_1, равен I_1. Определите первоначальный заряд q_0 на конденсаторе. Сопротивление катушек и подводящих проводов пренебрежимо мало.

Ответ: $q_0 = I_1\sqrt{\dfrac{L_1}{L_2}C(L_1 + L_2)}$.

Порядок выполнения:

1. Внимательно изучите условие задачи, попытайтесь понять физическую сущность явлений и процессов, рассматриваемых в задаче, уясните основной вопрос задачи.
2. Повторите условие задачи (повторно прочтите или мысленно представьте ситуацию, описанную в задаче), выясните цель решения, выделите заданные и неизвестные величины.
3. Кратко запишите условие задачи, переведите значения всех величин в СИ, сделайте рисунок, схему или чертеж. На рисунке покажите все векторные величины (скорости, ускорения, силы, импульсы, напряженность электрического поля, индукцию магнитного поля и т.д.).
4. Выясните, с помощью каких физических законов можно описать рассмотренную в задаче ситуацию. Если в закон входят векторные величины, то запишите этот закон в векторном виде.
5. Выберете направления координатных осей и запишите векторные соотношения в проекциях на оси координат в виде скалярных уравнений, связывающих известные и искомые величины.
6. Решите полученные уравнения (или систему уравнений) в общем виде, выразите искомую величину.
7. Проверьте правильность решения с помощью обозначений единиц физических величин.
8. Подставьте в общее решение числовые значения физических величин и произведите вычисления с учетом правил приближенных вычислений.
9. Проанализируйте и проверьте полученный результат, оцените его реальность. Запишите ответ в единицах СИ или в тех единицах, которые указаны в условии задачи.
10. Выясните, есть ли другие способы решения задачи. Подумайте, как изменится результат, если внести изменения в условие задачи. Проанализируйте предельные и частные случаи общего решения, попытайтесь объяснить результаты такого анализа.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

В электрической цепи из двух одинаковых конденсаторов емкости C и катушки с индуктивностью L, соединенных последовательно, в начальный момент времени один конденсатор имеет заряд q_0, а второй не заряжен (рис. 2). Как будут изменяться со временем заряды конденсаторов и сила тока в контуре после замыкания ключа K?

Решение:

Цепь, приведенная на рис. 2, представляет собой колебательный контур. Сила тока в нем будет меняться по закону

$$I = I_0 \sin \omega t. \quad (7)$$

Чтобы ответить на вопрос задачи, нужно найти максимальное значение силы тока I_0 и частоту колебаний ω. Частоту колебаний можно определить по формуле

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC_{экв}}}, \quad (8)$$

где $C_{экв}$ - емкость системы из двух последовательно соединенных конденсаторов емкостью C:

$$C_{экв} = \frac{C}{2}.$$

Подставляя значение $C_{экв}$ в (8), получим, что частота колебаний в контуре будет равна

$$\omega = \sqrt{\frac{2}{LC}}. \quad (9)$$

Подставим значение частоты (9) в выражение для силы тока (7), тогда получим, что сила тока в цепи будет меняться по закону

$$I = I_0 \sin\left(\sqrt{\frac{2}{LC}}t\right). \quad (10)$$

Для определения I_0 можно воспользоваться законом сохранения энергии. Пусть в некоторый момент времени заряд одного из конденсаторов равен q_1 , тогда заряд второго конденсатора будет $q_2 = q_0 - q_1$. В начальный момент времени энергия контура сосредоточена в электрическом поле заряженного конденсатора, в произвольный момент времени она перераспределяется между энергией электрического поля двух заряженных конденсаторов и энергией магнитного поля, сосредоточенного в катушке индуктивности. Следовательно, согласно закону сохранения энергии,

$$\frac{q_0^2}{2C} = \frac{LI^2}{2} + \frac{q_1^2}{2C} + \frac{(q_0 - q_1)^2}{2C}.$$

Отсюда можно найти зависимость силы тока от заряда q_1.

$$I^2 = \frac{2q_1(q_0 - q_1)}{LC}.$$

Чтобы найти максимальное значение силы тока, нужно взять производную от I по q_1 и приравнять ее к нулю.

$$\frac{dI}{dq_1} = \sqrt{\frac{1}{2LCq_1(q_0 - q_1)}}(q_0 - 2q_1) = 0.$$

Из последнего выражения видно, что максимальное значение силы тока достигается при $q_1 = \frac{q_0}{2}$. Следовательно,

$$I_0 = \frac{q_0}{\sqrt{2LC}}.$$

Подставляя полученное значение для максимального значения силы тока в (10), получим, что сила тока в цепи будет меняться по закону

$$I = \frac{q_0}{\sqrt{2LC}} \sin\left(\sqrt{\frac{2}{LC}}t\right).$$

Чтобы найти закон изменения зарядов на пластинах конденсатора, воспользуемся выражением $I^2 = \frac{2q_1(q_0 - q_1)}{LC}$. Преобразовав его, получим квадратное уравнение для q_1:

$$q_1^2 - q_0 q_1 + \frac{LCI^2}{2} = 0.$$

Решая уравнение, получим:

$$q_1 = \frac{q_0}{2}(1 \pm \cos \omega t).$$

Разные знаки означают, что в начальный момент времени любой конденсатор может либо иметь заряд q_0, либо быть незаряженным. Пусть

$$q_1 = \frac{q_0}{2}(1 + \cos \omega t).$$

Тогда

$$q_2 = q_0 - q_1 = \frac{q_0}{2}(1 - \cos \omega t).$$

Ответ: $I = \frac{q_0}{\sqrt{2LC}} \sin\left(\sqrt{\frac{2}{LC}}t\right)$, $q_1 = \frac{q_0}{2}(1 + \cos \omega t)$, $q_2 = \frac{q_0}{2}(1 - \cos \omega t)$.

Практическая работа №46

Тема: Решение задач на закон Ома в цепи переменного тока.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по данной теме. Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Рассмотрим участок цепи, содержащий резистор сопротивлением *R*, катушку индуктивностью *L* и конденсатор емкостью *C*, включенные последовательно (рис. 1). На участок подается переменное напряжение $U=U_0 \sin wt$, в результате возникает переменный ток.

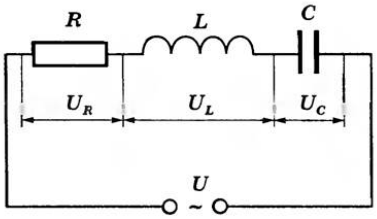


Рис. 1

Так как электромагнитные взаимодействия распространяются со скоростью света, то во всех последовательно включенных элементах цепи изменения силы тока происходят практически одновременно. Колебания же мгновенных значений напряжения на каждом из элементов U_R, U_L, U_C не совпадают по фазе с колебаниями силы тока. В любой момент времени сумма мгновенных значений напряжений на последовательно включенных элементах цепи равна мгновенному значению приложенного напряжения:

$$U = U_R + U_L + U_C.$$

Учитывая, что на активном сопротивлении колебания силы тока совпадают, на емкостном опережают, на индуктивном отстают от колебаний, последнее равенство можно записать

$$U_0 \cos wt = U_{0R} \cos wt + U_{0C} \cos(wt - \tfrac{\pi}{2}) + U_{0L} \cos(wt + \tfrac{\pi}{2}).$$

Амплитуду колебаний напряжения в цепи можно выразить через амплитудные значения напряжения на отдельных ее элементах, воспользовавшись методом векторных диаграмм. На рисунке 2 представлена векторная диаграмма амплитуд напряжений на резисторе (U_{0R}) конденсаторе (U_{0C}) и катушке (U_{0L}).

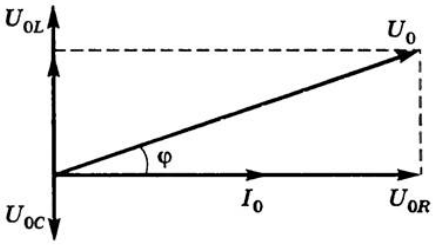


Рис. 2

Амплитудное значение силы тока I_0 в цепи совпадает по фазе с амплитудным значением напряжения U_{0R} на резисторе *R*. Амплитуда (U_0) приложенного напряжения должна быть равна геометрической сумме этих амплитуд. Угол φ определяет разность фаз между напряжением и силой тока $I=I_0\cos(wt-\varphi)$. Из рисунка 2 видно, что

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{U_{0L}-U_{0C}}{U_{0C}} = \frac{wL-\frac{1}{wC}}{R}.$$

По теореме Пифагора

$$U_0^2 = (U_{0L} - U_{0C})^2 + (U_{0R})^2 \Rightarrow U_0^2 = (I_0 R)^2 + I_0^2 (wL - \tfrac{1}{wC})^2$$

Откуда

$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (wL - \frac{1}{wC})^2}}$$ — закон Ома для участка цепи переменного тока.

Величина $Z = \sqrt{R^2 + (wL - \frac{1}{wC})^2}$ называется **полным сопротивлением цепи**, $(wL - \frac{1}{wC})$ – **реактивным сопротивлением.**

Исходные данные:

1. Найти полное сопротивление цепи, состоящей из последовательно включенных конденсатора с емкостью C=0,1 мкФ и катушки с индуктивностью L= 0,5 Гн, при частоте тока f=1 кГц. При какой частоте fo полное сопротивление цепи равно нулю?
2. В сеть переменного тока с эффективным напряжением Vэ=127 В последовательно включены резистор с сопротивлением R=100 Ом и конденсатор с емкостью C = 40 мкФ. Найти амплитуду тока в цепи.
3. Соленоид с железным сердечником (дроссель), имеющий индуктивность L = 2 Гн и сопротивление обмотки R = 10 Ом, включен сначала в сеть постоянного тока с напряжением V=20 В, а затем в сеть переменного тока с эффективным напряжением Vэ=20 В и частотой тока f=0,4 кГц. Найти ток, текущий через соленоид, в первом случае и амплитуду тока во втором случае.
4. В цепь переменного тока частотой f=50 Гц включены параллельно со- единенные конденсатор и катушка индуктивностью L=1 Гн. Определите емкость C конденсатора, если сила тока во внешней (неразветвленной) цепи равна нулю. В сеть с напряжением 220 В включены последовательно катушка индуктив- ностью L=160мГн и активным сопротивлением R=2 Ом, и конденсатор емко- стью C=64мкФ. Определите ток в цепи, если частота тока f=200 Гц. При ка- кой частоте наступит резонанс напряжений, и каковы будут при этом ток и напряжение на катушке и конденсаторе?

Порядок выполнения:

1. Записать кратко условие задачи в виде «Дано»
2. Перенести размерность физических величин в систему «СИ»
3. Выполнить анализ задачи (записать какое физическое явление рассматривается в задаче, сделать рисунок, обозначить на рисунке все известные и неизвестные величины, записать уравнения, которые описывают физическое явление, вывести из этих уравнений искомую величину в виде расчетной формулы)
4. Сделать проверку размерности расчетной формулы
5. Сделать вычисления по расчетной формуле
6. Анализ полученного результата (Может ли быть такое с точки зрения здравого смысла?)
7. Записать ответ задачи

Вопросы для самопроверки:

1. Поясните, какие нелинейные элементы используются в цепях переменного тока?
2. Поясните, что такое вентиль?
3. Расскажите, какой вид имеют вольтамперные характеристика идеального и реального вентилей?
4. Расскажите, каким свойством обладают вентили в цепях с неоднородными источниками питания?
5. Поясните, какая существует зависимость между I и U в катушке без стального сердечника? со стальным сердечником?

Литература:

1. *Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006*

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Схема состоит из последовательно соединенных резистора, конденсатора, катушки и генератора переменного напряжения. Величина $Q = R^{-1}\sqrt{L/C}$, называемая добротностью контура, равна 100. Амплитуда тока при резонансе $I_{\mathrm{m}} = 0{,}3$. Найдите амплитуду тока при частоте, равной половине резонансной частоты.

Решение

$I_{\mathrm{m}} = \mathscr{E}_0/R$. Искомая сила тока $I = \dfrac{\mathscr{E}_0}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2}\sqrt{\frac{L}{C}} - 2\sqrt{\frac{L}{C}}\right)^2}} = \dfrac{I_{\mathrm{m}}}{\sqrt{1 + (3Q/2)^2}} = 2$ мА.

Ответ

Искомая амплитуда тока $I = \dfrac{I_{\mathrm{m}}}{\sqrt{1 + (3Q/2)^2}} = 2$ мА.

Практическая работа №47

Тема: Контрольная работа по теме «Электромагнитные колебания и волны».

Цель: проконтролировать знания учащихся и их умения самостоятельно применять полученные знания при решении задач.

Исходные данные:

1. Индуктивность катушки в колебательном контуре равна 40 мкГн. Конденсатор какой емкости надо подключить к катушке, чтобы передатчик работал на частоте 20 кГц?
2. Каким образом осуществляется передача электроэнергии из первичной обмотки трансформатора во вторичную обмотку?
   А. Через провода, соединяющие обмотки трансформатора.
   Б. С помощью электромагнитных волн.
   В. С помощью переменного магнитного поля, пронизывающего обе катушки.
3. В первичной обмотке трансформатора 100 витков, во вторичной обмотке 20. Укажите все правильные утверждения.
   А. Трансформатор является понижающим.
   Б. Коэффициент трансформации равен 0,2.
   В. Коэффициент трансформации равен 5.
4. Значение силы тока, измеренное в амперах, задано уравнением $i=0{,}28\sin 50\pi t$. Определите амплитуду силы тока, частоту и период.
5. Определите длину волны, на которую настроен колебательный контур приемника, если его емкость 5 нФ, а индуктивность 50 мкГн.
6. Сколько колебаний происходит в электромагнитной волне с длиной волны 300 м за время, равное периоду звуковых колебаний с частотой 2 кГц?
7. Какова емкость конденсатора колебательного контура, если известно, что при индуктивности 50 мкГн контур настроен в резонанс с электромагнитными колебаниями, длина волны которых равна 300 м?
8. Напишите в СИ уравнение бегущей гармонической волны, распространяющейся в положительном направлении оси X в вакууме. Напряженность электрического поля E_0=10 кВ/см, частота ν=500 ТГц.
9. В катушке входного контура приемника индуктивностью 10 мкГн запасается при приеме волны максимальная энергия $4\cdot10^{-15}$ Дж. На конденсаторе контура максимальная разность потенциалов $4\cdot10^{-4}$ В. Найдите длину волны, на которую настроен приемник.
10. При изменении силы тока в катушке индуктивности на 1 А за время 0,6 с в ней возбуждается ЭДС, равная 0,2 В. Какую длину волны будет иметь радиоволна, излучаемая генератором, контур которого состоит из этой катушки и конденсатора емкостью 14100 пФ?

Порядок выполнения:

1. Внимательно прочти условие задачи.
2. Произведи краткую запись условия задачи с помощью общепринятых буквенных обозначений (СИ).
3. Выполни рисунки или чертежи задачи.
4. Определи, каким методом будет решаться задача, составь план решения.
5. Запиши основные уравнения, описывающие процессы, предложенные задачной системой.
6. Найди решение в общем виде, выразив искомые величины через заданные.
7. Проверь правильность решения задачи в общем виде, произведя действия с наименованием величин.
8. Произведи вычисления.
9. Произведи оценку реальности полученного решения.
10. Запиши ответ.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Практическая работа №49

Тема: Решение задач на закон отражения и преломления, построение в линзах и формулу тонкой линзы.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по данной теме. Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Измерения показали, что скорость света в веществе υ всегда меньше скорости света в вакууме *c*.

- Отношение скорости света в вакууме *c* к ее скорости в данной среде υ называется *абсолютным показателем преломления*:

$$n=c/\upsilon.$$

Словосочетание «*абсолютный показатель преломления среды*» часто заменяют «*показатель преломления среды*».

Рассмотрим луч, падающий на плоскую границу раздела двух прозрачных сред с показателями преломления n_1 и n_2 под некоторым углом α (рис. 2).

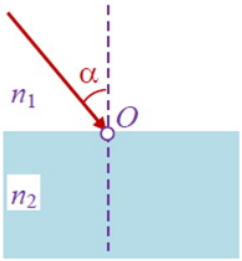


Рис. 2

- Изменение направления распространения луча света при прохождении через границу раздела двух сред называется *преломлением света*.

Законы преломления:

- отношение синуса угла падения α к синусу угла преломления γ есть величина постоянная для двух данных сред

$$\sin\alpha/\sin\gamma=n_2/n_1.$$

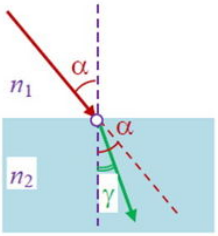
- лучи, падающий и преломленный, лежат в одной плоскости с перпендикуляром, проведенным в точке падения луча к плоскости границы раздела двух сред.

Для преломления выполняется *принцип обратимости световых лучей*:

- луч света, распространяющийся по пути преломленного луча, преломившись в точке *O* на границе раздела сред, распространяется дальше по пути падающего луча.

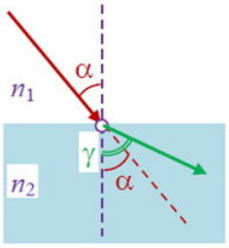
Из закона преломления следует, что если вторая среда оптически более плотная через первая среда,

- т.е. $n_2 > n_1$, то $\alpha > \gamma$ ($n_2/n_1>1$, $\sin\alpha/\sin\gamma>1$) (рис. 3, а);
- если $n_2 < n_1$, то $\alpha < \gamma$ (рис. 3, б).
-



а

-



б

Рис. 3

Первые упоминания о преломлении света в воде и стекле встречаются в труде Клавдия Птолемея «Оптика», вышедшего в свет во II веке нашей эры. Закон преломления света был экспериментально установлен в 1620 г. голландским ученым Виллебродом Снеллиусом. Заметим, что независимо от Снеллиуса закон преломления был также открыт Рене Декартом.

Закон преломления света позволяет рассчитывать ход лучей в различных оптических системах.

На границе раздела двух прозрачных сред обычно одновременно с преломлением наблюдается отражение волн. Согласно закону сохранения энергии сумма энергий отраженной W_o и преломленной $W_{пр}$ волн равна энергии падающей волны W_n:

$$W_n = W_{пр} + W_o.$$

Полное отражение

Как уже говорилось выше, при переходе света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную среду ($n_1 > n_2$), угол преломления γ становится больше угла падения α (см. рис. 3, б).

По мере увеличения угла падения α (рис. 4), при некотором его значении α_3, угол преломления станет $\gamma = 90°$, т. е. свет не будет попадать во вторую среду. При углах больших α_3 свет будет только отражаться. Энергия преломленной волны $W_{пр}$ при этом станет равной нулю, а энергия отраженной волны будет равна энергии падающей: $W_n = W_o$. Следовательно, начиная с этого угла падения α_3 (в дальнейшем будет обозначать его α_0), вся световая энергия отражается от границы раздела этих сред.

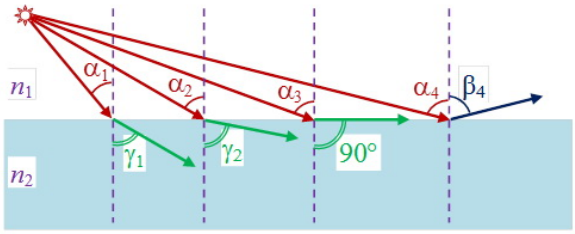


Рис. 4

Это явление получило название полное отражение (см. рис. 4).

- Угол α_0, при котором начинается полное отражение, называется *предельным углом полного отражения*.

Значение угла α_0 определяется из закона преломления при условии, что угол преломления $\gamma = 90°$:

$$\sin\alpha_0 = n_2/n_1 (n_2 < n_1).$$

Построение изображений в линзах.

Световые лучи, идущие вблизи главной оптической оси. называют параксиальными (приосевыми). Мы будем рассматривать только такие лучи.

Опыт показывает, что параксиальные лучи света, выходящие из одной светящейся точки, после прохождения через линзу сходятся также в одной точке, которая является*изображением* светящейся точки. Поэтому для построения изображения точки достаточно взять два любых луча, но лучше те, ход которых после преломления заранее известен: 1 — луч, идущий через оптический центр; 2 — луч, параллельный главной оптической оси; 3 — луч, проходящий через передний фокус собирающей линзы (или продолжение луча 3 проходит через задний фокус рассеивающей линзы) (рис. 16.41).

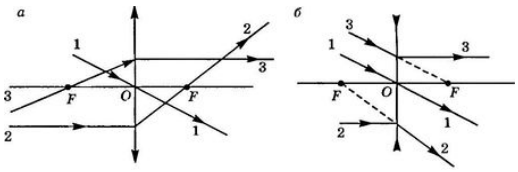


Рис. 16.41

Положение изображения действительного предмета и его размеры зависят от положения предмета относительно линзы. Пусть d — расстояние от предмета до линзы, f — расстояние от линзы до изображения. Построим изображение плоского предмета AB, расположенного на различных расстояниях d от линзы.

Если линза собирающая, то при $d>2F$ (рис. 16.42) изображение действительное, перевернутое, уменьшенное, $F < f < 2F$.

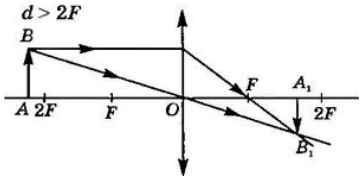


Рис. 16.42

При $F < d < 2F$ (рис. 16.43) изображение действительное, перевернутое, увеличенное, $f>2F$.

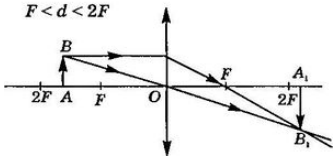


Рис. 16.43

При $d<F$ (рис. 16.44) изображение мнимое, прямое, увеличенное, находится с той же стороны от линзы, что и сам предмет, но дальше предмета *(f>d).*

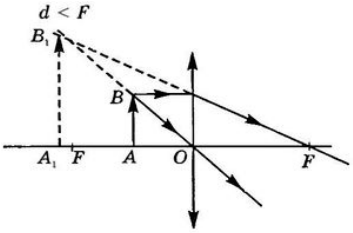


Рис. 16.44

В рассеивающей линзе (рис. 16.45) изображение действительного предмета всегда мнимое, прямое, уменьшенное, находится между линзой и ее фокусом со стороны изображаемого предмета.

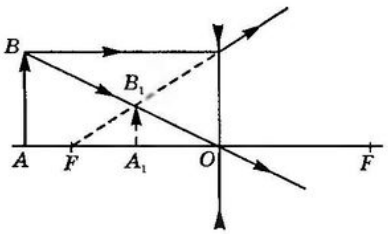


Рис. 16.45

Построение изображения точечного источника света расположенного на главной оптической оси, показано на рисунке 16.46.

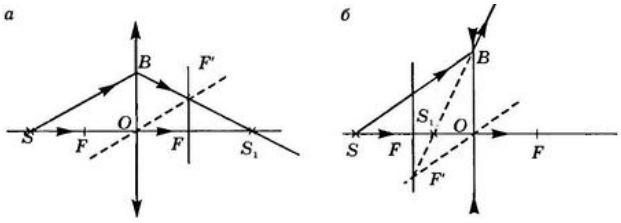
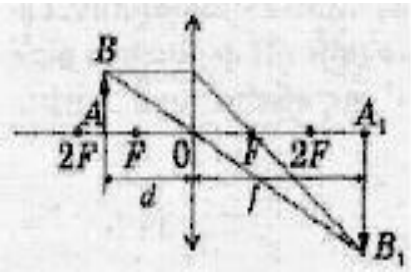


Рис. 16.46

Чтобы найти, где образуется его изображение S_1, проведем из точки S два луча: луч SO вдоль главной оптической оси (он проходит через оптический центр линзы, не преломляясь) и луч SB, падающий на линзу в произвольной точке B. Проведем побочную оптическую ось, параллельную лучу SB (показана штриховой линией). Начертим заднюю фокальную плоскость в случае собирающей линзы (переднюю фокальную плоскость в случае рассеивающей линзы). Побочная ось пересечет фокальную плоскость в побочном фокусе F'. Через этот побочный фокус пройдут все параллельные данной оптической оси лучи после преломления в собирающей линзе (или продолжения преломленных лучей в рассеивающей линзе), следовательно, и луч SB. Преломленный луч (или его продолжение) пересечет главную оптическую ось в точке S_1 которая и является изображением точечного предмета S.

Формула тонкой линзы.

$\frac{1}{F}=\frac{1}{d}+\frac{1}{f}$ Формула тонкой линзы связывает между; собой три величины: расстояние от предмета до линзы *d, расстояние* от линзы до изображения *f* и фокус ное расстояние линзы *F*: В формуле тонкой линзы фокусное расстояние *OF* обозначается буквой *F*. Если линза



собирающая, то $\frac{1}{F}>0$, если линза рассеивающая, то перед $\frac{1}{F}$ ставится знак «минус». Если изображение действительное, то $\frac{1}{f}>0$; если изображение воображаемое, то перед $\frac{1}{f}$ ставиться знак «минус». Все величины в формулу линзы подставляются в метрах.

Исходные данные:

1. Световой луч проходит в вакууме расстояние S_1 = 30 см, а в прозрачной жидкости за это же время расстояние S_2 = 0,25 м. Определите показатель преломления жидкости.
2. Параллельный пучок света падает на поверхность воды под углом α = 60°. Ширина пучка в воздухе h = 5 см. Определите ширину пучка в воде, показатель преломления которой n = 1,33.
3. При каких значениях показателя преломления прямоугольной призмы возможен ход луча, изображенный на рис. 8? Сечение призмы - равнобедренный треугольник, луч падает на грань AC нормально.

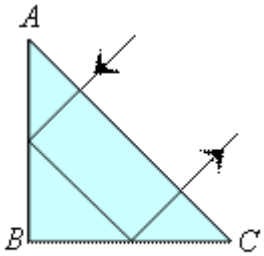


Рис. 8

4. Линза с фокусным расстоянием F = 5 см плотно вставлена в круглое отверстие в доске. Диаметр отверстия D = 3 см. На расстоянии d = 15 см от линзы на ее оптической оси находится точечный источник света. По другую сторону доски помещен экран, на котором получается четкое изображение источника. Каков будет диаметр D_1 светлого кружка на экране, если линзу вынуть из отверстия?
5. Постройте изображение точки, лежащей на главной оптической оси собирающей линзы на расстоянии, меньшем фокусного. Положение фокусов линзы задано.
6. Параллельный пучок света падает перпендикулярно на собирающую линзу, оптическая сила которой $_{D1}$ = 2,5 дптр. На расстоянии 20 см от нее находится рассеивающая линза с оптической силой $_{D2}$ = -5 дтр. Диаметр линз равен 5 см. На расстоянии 30 см от рассеивающей линзы расположен экран Э. Каков диаметр светлого пятна, создаваемого линзами, на экране?

Порядок выполнения:

1. Установить переходит ли луч из оптически менее плотной среды в более плотную или наоборот.
2. Сделать чертеж, где указать ход лучей, идущих из одной среды в другую.
3. В точке падения луча на границу раздела сред провести нормаль и отметить углы падения и преломления.

4. Записать формулу закона преломления для каждого перехода луча из одной среды в другую.
5. Составить вспомогательные уравнения, связывающие углы и расстояния, используемые в задаче.
6. Полученную систему уравнений решить относительно искомой величины.
7. Решение проверить и оценить критически.

Вопросы для самопроверки:

1. Всегда ли световые лучи распространяются в среде прямолинейно?
2. Если с самолета, летящего над морем, смотреть на поверхность моря, то непосредственно внизу она более темная, чем вдали. Как это можно объяснить?
3. Объясните, почему для того, чтобы получить четкое изображение предмета, близорукий обычно щурит глаза?
4. Как изменится фокусное расстояние линзы, если ее температура повысится?
5. На рецепте врача написано: +1,5 Д. Расшифруйте, какие это очки и для каких глаз?

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Задача 1. На рис. 5 изображен луч *AB*, прошедший сквозь рассеивающую линзу. Постройте ход луча падающего, если положение фокусов линзы известно.

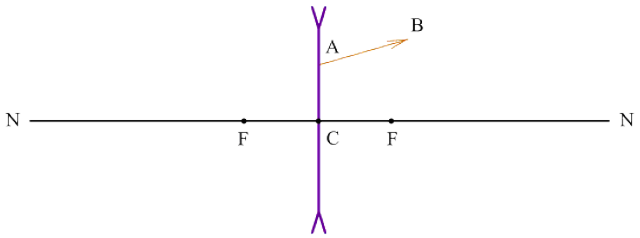


Рис. 5

Решение:

Продолжим луч *AB* до пересечения с фокальной плоскостью *PP* в точке *F´* и проведем побочную ось *OO* через *F´* и *C* (рис. 6).

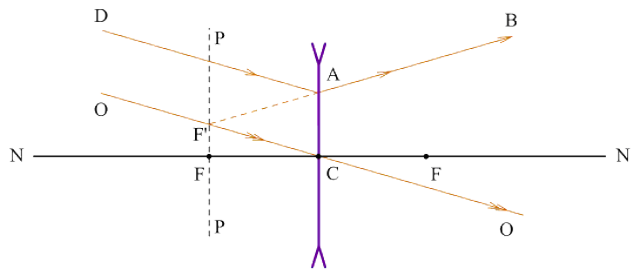


Рис. 6

Луч, идущий вдоль побочной оси *OO*, пройдет, не меняя своего направления, луч *DA*, параллельный *OO*, преломляется по направлению *AB* так, что его продолжение идет через точку *F´*.

Задача 2. Собирающая линза дает на экране изображение *S´* светящейся точки *S*, лежащей на главной оптической оси. Между линзой и экраном на расстоянии d = 20 см от экрана поместили рассеивающую линзу. Отодвигая экран от рассеивающей линзы,

получили новое изображение S'' светящейся точки S. При этом расстояние нового положения экрана от рассеивающей линзы равно $f = 60$ см.

Определите фокусное расстояние F рассеивающей линзы и ее оптическую силу в диоптриях.

Решение:

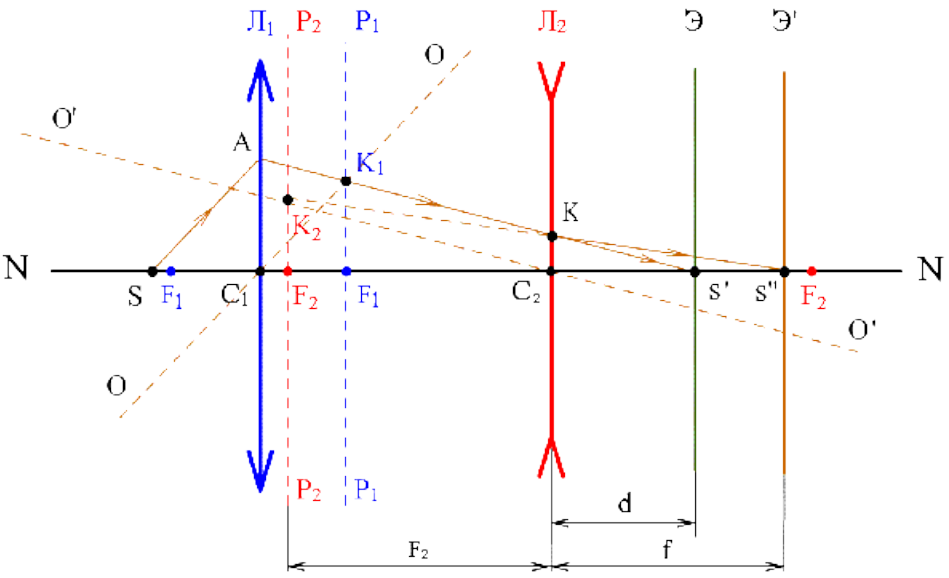


Рис. 11

Изображение S' (рис. 11) источника S в собирающей линзе $Л_1$ находится на пересечении луча, идущего вдоль главной оптической оси NN и луча SA после преломления идущего в направлении AS' по правилам построения (через точку K_1 пересечения побочной оптической оси OO, параллельной падающему лучу SA, с фокальной плоскостью P_1P_1 собирающей линзы). Если поставить рассеивающую линзу $Л_2$, то луч AS' изменяет направление в точке K, преломляясь (по правилу построения в рассеивающей линзе) в направлении KS''. Продолжение KS'' проходит через точку K_2 пересечения побочной оптической оси $0'0'$ с фокальной плоскостью P_2P_2 рассеивающей линзы $Л_2$.

По формуле для рассеивающей линзы

$$-\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f},$$

где d - расстояние от линзы $Л_2$ до предмета S', f - расстояние от линзы $Л_2$ до изображения S''.

Отсюда $F = \frac{df}{d-f} = \frac{20 \cdot 60}{20-60} = -30$ см.

Знак "-" указывает, что линза рассеивающая.

Оптическая сила линзы $D = \frac{1}{F} = -\frac{1}{0{,}3} \approx -3{,}3$ дптр.

Ответ: $F = \frac{df}{d-f} = 30$ см, $D = \frac{1}{F} \approx -3{,}3$ дптр.

Практическая работа №51

Тема: Решение задач по оптике.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Оптика». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Исходные данные:

1. Плоское зеркало вращается с угловой скоростью w вокруг оси цилиндрического экрана. С какой скоростью *v* перемещается "зайчик" по экрану, если ось вращения лежит в плоскости зеркала, а луч, падающий от источника света, расположенного на поверхности экрана, перпендикулярен к этой оси? Радиус экрана *R*.
2. Определить углы преломления лучей*1, 2, 3* при переходе их из среды с показателем преломления *n1* = 1,5183 в воздух (*n2* = 1), если для этих лучей е1 = 00, е2 = 200, е3 = 350. Определить также е4, если е'4 = 900.
3. На плоскопараллельную пластинку с показателем преломления *n* падает луч света под углом а, часть света отражается, а часть, преломившись, проходит в пластинку, отражается от ее нижней поверхности и, преломившись вторично, выходит из нее. Расстояние между лучами *d*. Определить толщину пластинки *h*
4. Построить изображение отрезка - предмета *AB*, расположенного перед собирающей линзой, так что расстояние от предмета до линзы: *d* <*F*.
5. Построить изображение в собирающей линзе плоского предмета*AB*, наклоненного к главной оптической оси.
6. Построить изображение отрезка - предмета *AB*, расположенного перед вогнутым зеркалом, так что расстояние от предмета до зеркала *F* < *d* < *2F*.
7. Полуцилиндрическое зеркало, поперечное сечение которого представляет собой полуокружность, поместили в широкий пучок света, параллельный оптической оси зеркала. Найти наибольший угол между лучами в отраженном от зеркала пучке света (угол расхождения).
8. Наблюдатель с нормальным зрением рассматривает Луну в телескоп, объектив и окуляр которого имеют фокусные расстояния, соответственно равные *F*об = 2 см и*F*ок = 5 см. На сколько нужно раздвинуть трубу, чтобы получить изображение Луны на экране на расстоянии *f'*2 = 25 см от окуляра? Какова будет при этом величина изображения Луны, если невооруженным глазом ее видно под углом а = 30'?
9. Оптическая система состоит из двух собирающих линз 1 и 2 с фокусными расстояниями F1 = 10 см и F2 = 5 см, находящихся на расстоянии L = 35 см друг от друга. Предмет находиться на расстоянии d1 = 25 см от первой линзы. Определить, где находиться изображение, полученное с помощью такой системы. Чему равно увеличение, даваемое такой системой?
10. На грань призмы с углом при вершине j под малым углом а падает луч. Докажите, что отклонение луча Q= (n - 1)j, n - показатель преломления призмы.

Порядок выполнения:

1. Тщательно сделать чертеж, обязательно с помощью линейки, выполняя общие требования – действительные лучи изображать сплошными линиями с указанием направления, продолжения лучей – пунктирными линиями.
2. Записать математические соотношения соответствующих оптических законов или формулы, определяющие оптические величины.
3. Записать вспомогательные соотношения, вытекающие из геометрических построений.
4. Решить полученную систему уравнений относительно искомой величины, сделать анализ полученного результата.

При построении падающих и преломленных лучей на плоской границе раздела двух сред надо учитывать, что при переходе луча из оптически менее плотной в оптически более плотную угол преломления меньше угла падения, а при обратном направлении – угол преломления больше угла падения. Если при переходе луча из среды оптически более плотной угол падения равен предельному углу полного отражения, то преломленный луч направлен вдоль границы раздела сред.

Для построения изображения предмета необходимо построить изображение его характерных точек. Для построения изображения точки достаточно построить ход двух лучей, исходящих из этой

точки, при этом ее изображение будет находиться на пересечении преобразованных лучей (действительное изображение) или их продолжений (мнимое). Изображение в плоском зеркале всегда мнимое. При построении изображений в тонкой линзе используют в основном свойства лучей: а) параллельных главной оптической оси; б) параллельных побочной оптической оси; в) проходящих через оптический центр.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Практическая работа №52

Тема: Решение задач по волновой оптике.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Волновая оптика». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Световые волны рассматриваются по своей природе как электромагнитные волны, обладающие всеми их свойствами.

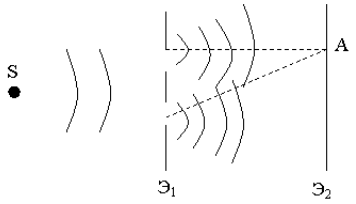
Волновая оптика – раздел оптики, объясняющий оптические явления на основе волновой природы света.

Волновая оптика описывает такие оптические явления, как интерференция, дифракция, поляризация, дисперсия.

Интерференция света

Электромагнитные волны, как и механические волны, обладают **принципом суперпозиции,** то есть, если в среде одновременно распространяются несколько волн, то они распространяются независимо друг от друга. Однако, в тех местах, где одни колебания накладываются на другие колебания, их амплитуды векторно складываются. При этом может наблюдаться как увеличение интенсивности света (когда накладываются волны с одинаковыми фазами), так и ослабление интенсивности (при сложении волн с противоположными фазами). Это явление получило название **интерференции света**.

Интерференция света – это сложение двух и более волн, вследствие которого наблюдается устойчивая картина усиления и ослабления световых колебаний в разных точках пространства. Интерферировать могут лишь **когерентные** волны, т.е. волны имеющие одинаковую частоту и постоянную во времени разность фаз. Когерентные источники в природе отсутствуют, но они могут быть получены разными способами. Один из них показан на рисунке. Здесь показано, как с помощью экрана $Э_1$ с двумя узкими щелями получают из одного источника света S два когерентных. Интерференционную картину в виде чередующихся светлых и темных полос наблюдают на экране $Э_2$.



Условие интерференционного максимума:

$$\Delta = k\lambda.$$

Условие интерференционного минимума:

$$\Delta = (2k+1)\cdot\frac{\lambda}{2},$$

где Δ – геометрическая разность хода волн,

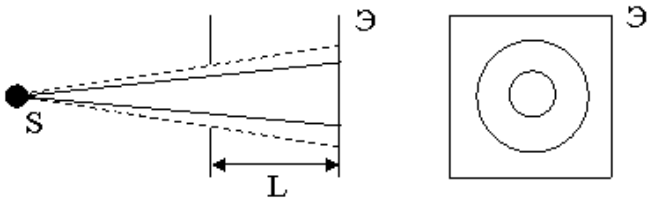
k – порядок интерференционного max или min.

Интерференционные картины можно наблюдать на тонких масляных пленках на поверхности воды, мыльных пузырях, крыльях стрекоз, цвета побежалости на поверхности металла после нагрева. Явление интерференции в тонких пленках находит применение для определения длин волн излучения источников света, для контроля качества обработки полированной поверхности, определения коэффициента расширения тел при нагревании и т.д. Существуют специальные приборы – **интерферометры**, предназначенные для измерения длин тел, показателей преломления с большой точностью.

Дифракция света

Дифракция – это способность волн огибать встречающиеся на их пути препятствия, отклоняться от прямолинейного распространения. Чтобы наблюдать дифракцию световых волн, необходимы определённые условия: либо размеры препятствий (или отверстий) должны быть очень малыми, либо расстояние от препятствия до наблюдаемой картины должно быть велико. Возьмем на пути лучей от точечного источника света S поставим преграду с очень маленьким отверстием

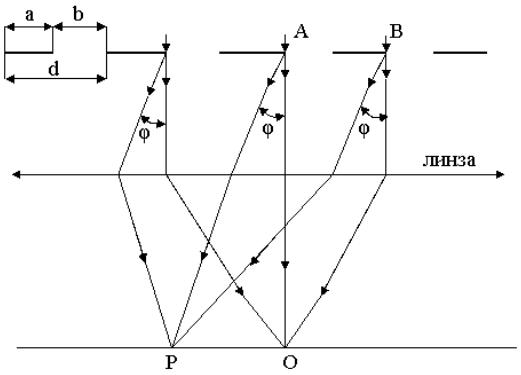
диаметра d,тогда на экране Э увидим систему чередующихся светлых и тёмных колец (при условии, что d << L, см. рис.)



Чем уже отверстие, тем на больший угол отклоняются лучи за отверстием, тем больше диаметр колец. Если вместо круглого отверстия будет узкая щель, то дифракционная картина будет иметь вид чередующихся светлых и темных полос. При использовании белого света дифракционная картина приобретает радужную окраску.

Дифракционные картины нередко наблюдаются в естественных условиях. Например, цветные кольца, окружающие источник света, наблюдаемый сквозь туман или через запотевшее оконное стекло, или при рассматривании яркого источника через ресницы. Для наблюдения дифракции используются специальные приборы – **дифракционные решетки.**

Дифракционная решетка (одномерная) представляет собой систему параллельных равноотстоящих друг от друга щелей равной ширины. Простейшая дифракционная решетка может быть изготовлена из стеклянной пластинки, на которой алмазным резцом нанесены параллельные царапины с неповрежденными промежутками между ними (щелями). Расстояние между соседними щелями называется периодом или постоянной решетки d (рис.).



где a – расстояние между соседними щелями,
b – ширина щели.

Разность хода Δ лучей, приходящихся в произвольную точку P от двух соседних щелей будет:

$$\Delta = BC = d \cdot \sin\varphi$$

Очевидно, колебания в точке P будут усиливать друг друга, если разность фаз лучей будет равна 0 или отличатся на 2π, чему соответствует:

$$\Delta = \pm 2k \cdot \frac{\lambda}{2},$$

где k = 0, 1, 2, 3...

Тогда условием наблюдения максимумов (усиления колебаний) света будет:

$$d \cdot \sin\varphi = \pm 2k \cdot \frac{\lambda}{2},$$

где k = 0, 1, 2, 3...

Вследствие дифракции происходит неравномерное перераспределение световой энергии между максимумами.
Дифракционная решетка является спектральным прибором. С ее помощью можно определять длины волн в спектрах излучения источников (например, звезд):

$$\lambda = \frac{d \cdot \sin\varphi}{k}.$$

Поляризация света

Как было показано выше, свет, излучаемый большинством источников, представляет собой наложение огромного количества волн, испущенных отдельными атомами. Так как атомы излучают независимо друг от друга, то пространственная ориентация векторов $\vec{E}$ волн разных атомов произвольна. Такой свет называется естественным (рис. а)

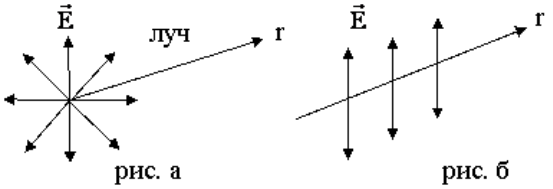


рис. а рис. б

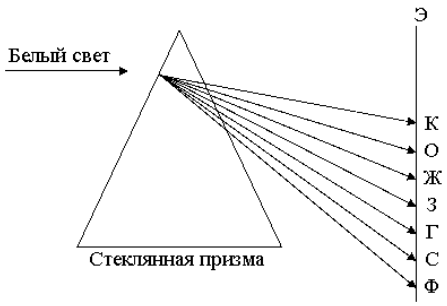
Луч, в котором колебания вектора $\vec{E}$ происходят только в одном направлении (имеют полярность), называется плоскополяризованным (или линейнополяризованным) (рис. б).
Плоскость, в которой совершает колебания вектор $\vec{E}$ называется **плоскость колебаний.** Плоскость, в которой колеблется вектор $\vec{H}$ (или $\vec{B}$), назвали плоскостью поляризации. Угол между этими плоскостями 90^0.
Естественный свет можно превратить в поляризованный с помощью приборов которые называются поляризаторами. При падении естественного света на границу раздела сред, с разными показателями преломления, отраженный и преломленный луч всегда поляризованы.

Дисперсия света.

Дисперсия света – зависимость показателя преломления (скорости света) в среде от длины волны.

Дисперсия – причина разложения в спектр белого света, который состоит из 7 цветов: КОЖЗГСФ.

Свет одного цвета имеет определенную длину волны λ и называется <u>монохроматическим.</u>



Исходные данные:

1. Определите при какой минимальной толщине пленки монохроматический свет с длиной волны λ будет полностью проходить через линзу, покрытую этой пленкой.
2. На какой угол от первоначального направления отклоняются после прохождения призмы фиолетовые лучи, если при переходе из воздуха в стекло их длина изменяется в 1,67 раза?

3. Два когерентных источника S1 и S2 , расположенные на расстоянии 1мм друг от друга излучают монохроматические световые волны, частота которых Рис.4.22.
4. Чему равна оптическая сила линзы, если установка находится в воздухе, а абсолютный показатель преломления линзы равен 1,5.
5. Определите ширину центрального максимума в дифракционной картине, получаемой на экране с помощью собирающей линзы, расположенной непосредственно за щелью, если экран находится на расстоянии 1м от линзы.

Порядок выполнения:

Задачи на интерференцию:

1. Выяснить причины появления оптической разности хода между интерферирующими лучами.
2. Определить эту разность как $\Delta = L_2 - L_1 = n(l_2 - l_1)$ и записать условия максимума или минимума освещенности в интерференционной картине. Эти условия и будут основными уравнениями для определения искомой величины.

Большая часть задач на дифракцию света предполагает расчет дифракции в параллельных лучах на дифракционной решетке. В этих случаях необходимо составить основные уравнения с учетом условий положения главных максимумов освещенности на экране при наблюдении дифракционной картины. При определении числа максимумов следует полагать, что дифракционная картина симметрична относительно так называемого нулевого (центрального) максимума.

Вопросы для самопроверки:

1. При каких условиях наблюдают интерференцию?
2. Как записывают условие образования интерференционных максимумов и минимумов для световых волн?
3. Что такое дифракция волн?
4. При каких обязательных условиях проявляется дифракция волн?

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

На дифракционную решетку, содержащую $n = 600$ штрихов на миллиметр, падает нормально белый свет. Спектр проецируется помещенной вблизи решетки линзой на экран. Определить длину l спектра первого порядка на экране, если расстояние от линзы до экрана $L = 1.2$ м. Границы видимого спектра: $\lambda_{кр} = 780$ нм, $\lambda_ф = 400$ нм.

Дано:

$k=1$

$n=6 \cdot 10^5$ м$^{-1}$

$L=1.2$ м

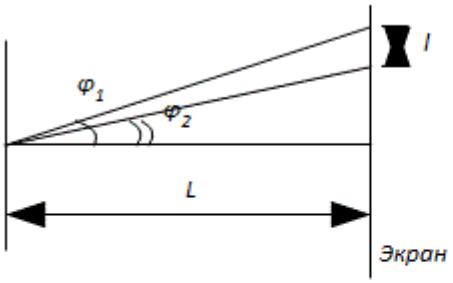
$\lambda_{кр}=780 \cdot 10^{-9}$ м

$\lambda_ф=400 \cdot 10^{-9}$ м

---

l-?

Решение:



Найдем углы φ_1 и φ_2, на которые дифракционная решетка отклоняет свет:

Для красного света:

$$d \sin\varphi_1 = k\lambda_{кр} \Rightarrow \varphi_1 = \arcsin\frac{k\lambda_{кр}}{d}$$

Для фиолетового:

$$d \sin \varphi_2 = k\lambda_ф \quad \Rightarrow \varphi_2 = \arcsin \frac{k\lambda_ф}{d}$$

где d –период решетки: $d = 1/n$

Как видно из рисунка: $l = L \operatorname{tg} \varphi - L \operatorname{tg} \varphi_2$

Получаем окончательную формулу: $l = L\left(\operatorname{tg}\left(\arcsin k\lambda_{кр} n\right) - \operatorname{tg}\left(\arcsin k\lambda_ф n\right)\right)$

Произведем вычисления:

$$l = 1.2 \cdot \left(\operatorname{tg}\left(\arcsin\left(780 \cdot 10^{-9} \cdot 6 \cdot 10^5\right)\right) - \operatorname{tg}\left(\arcsin\left(400 \cdot 10^{-9} \cdot 6 \cdot 10^5\right)\right)\right) = 0.339 \text{ м}$$

Ответ: $l = 0.339$ м.

Практическая работа №54

Тема: Решение задач на элементы СТО.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Элементы СТО». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Специальная теория относительности опирается на два постулата:

1. **Принцип относительности Эйнштейна:**
   любые физические процессы протекают одинаково в различных инерциальных системах отсчета (при одинаковых начальных условиях).
2. **Принцип постоянства скорости света:**
   скорость света в вакууме не зависит от скорости движения источника и наблюдателя (скорость света в вакууме : с=300000 км/с)

Явления , описываемые теорией относительности, наз. релятивистскими.

Согласно этой теории одновременность событий, расстояния и промежутка времени являются не абсолютными , а относительными (в зависимости от системы отсчета).

Эффект сокращения размеров тела в движущихся системах отсчета :

$$l = l_0\sqrt{l - \frac{V^2}{c^2}}$$

$$l < l_2$$

l_0 -длина стержня в системе отсчета K_0 , относительно которой стержень покоится, l -длина этого стержня в системе отсчета K ,относительно которой стержень движется со скоростью V .

Эффект замедления времени в движущихся системах отсчета:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

$$\tau > \tau_0$$

τ_0 -интервал времени между двумя событиями, происходящими в одной и той же точке инерциальной системы K_0 , τ - интервал времени между этими же событиями в системе отсчета , движущейся относительно системы K_0 со скоростью V .

Релятивистский закон сложения скоростей :

$$V = \frac{V_1 + V_2}{1 + \frac{V_1 V_2}{C^2}}$$

V_1 -скорость движения тела в одной системе отсчета, V_2 -скорость движения второй системы отсчета относительно первой ($V_1 \rightarrow$ коллинеарен $V_2 \rightarrow$). Релятивистские масса m и импульс $\vec{p}$ тела :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}}$$

$$\vec{p} = \frac{m_0 \vec{V}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}}$$

m_0-масса покоя тела , V -скорость его движения .

Закон взаимосвязи массы и энергии:

$$\Delta E = \Delta m C^2$$

ΔE -изменение полной энергии тела, Δm -изменение массы.

Полная энергия движущегося тела:

$$E = mC^2$$

Исходные данные:

1. В лабораторной системе отсчета в точках с координатами x1 и x2 = x1 + l0 одновременно происходят события 1 и 2, причем l0 = 1,4 км. Определить: 1) расстояние l`, фиксируемое наблюдателем в системе отсчета, связанной с ракетой, которая со скоростью v = 0,6*c в отрицательном направлении оси x; 2) время между этими событиями, фиксируемое наблюдателем в системе отсчета, связанной с ракетой.
2. Определить, во сколько раз увеличивается время жизни нестабильной частицы (по часам неподвижного наблюдателя), если она начинает двигаться со скоростью 0,9*c. .
3. Две ракеты движутся навстречу друг другу относительно неподвижного наблюдателя с одинаковой скоростью, равной 0,5*c. Определить скорость сближения ракет, исходя из закона сложения скоростей: 1) в классической механике; 2) в специальной теории относительности.

Порядок выполнения:

1. Четко определить подвижную и неподвижную системы отсчета.
2. Определиться в отношении собственных параметров (l_0, τ_0, m_0, E_0) тела, покоящегося относительно подвижной системы отсчета.
3. Записать соотношения между собственными и релятивистскими параметрами тела на основании вышеуказанных формул.
4. Решить задачу относительно искомой величины по общей схеме.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

В космических лучах наблюдаются очень энергичные протоны с энергией ~$1{,}0 \cdot 10^{20}$эВ. Для протона $m_p c^2$ » 10^9эВ. Сколько времени понадобится такому протону, чтобы пересечь нашу Галактику (диаметром ~ 10^5 световых лет), если время измерять по часам, летящим вместе с протоном?

Ответ выразите в секундах (1 год » $32 \cdot 10^6$ сек.) (В системе отсчета Земли такой протон, движущийся почти со скоростью света, пересекает Галактику немногим более чем за 10^5 лет!)

Решение:

Отношение энергии протона к его энергии покоя (см (14)) дается лоренцевым фактором g:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1}{\text{Ц}1 - v^2/c^2} = \gamma.$$

С другой стороны, временной интервал D*t*, за который протон пересекает Галактику по земным часам, связано с собственным интервалом времени Dt, прошедшим по часам, движущимся вместе с протоном, соотношением

$$\Delta\tau = \text{Ц}1 - v^2/c^2 \;\; \Delta t = \gamma^{-1} \Delta t.$$

В условиях задачи $g = 10^{11}$. Поэтому

$$\Delta\tau = 10^{-11} \cdot 10^{5} \cdot 32 \cdot 10^{6}\ c = 32\ c.$$

Ответ: Протон по своим часам пересекает Галактику за 32 секунды!

Практическая работа №55

Тема: Контрольная работа по теме «Оптика».

Цель: проконтролировать знания учащихся и их умения самостоятельно применять полученные знания при решении задач.

Исходные данные:

1. По рисунку 1 определите, какая среда 1 или 2 является оптически более плотной.
2. Жучок подполз ближе к плоскому зеркалу на 5 см. На сколько уменьшилось расстояние между ним и его изображением?
3. На рисунке 2 изображено зеркало и падающие на него лучи 1—3. Постройте ход отраженных лучей и обозначьте углы падения и отражения.
4. Постройте и охарактеризуйте изображение предмета в собирающей линзе, если расстояние между линзой и предметом больше двойного фокусного.
5. Фокусное расстояние линзы равно 20 см. На каком расстоянии от линзы пересекутся после преломления лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси?

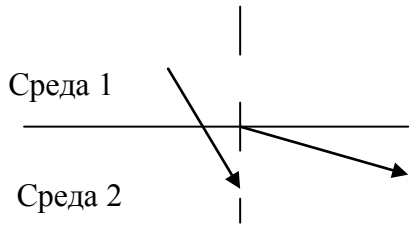


Рис. 1

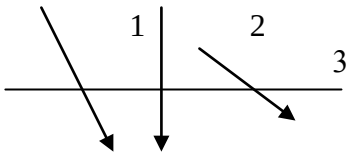


Рис. 2

6. Две когерентные световые волны приходят в некоторую точку пространства с разностью хода 2,25 мкм. Каков результат интерференции в этой точке, если свет зеленый (λ=500 нм)?
7. Дифракционная решетка, период которой равен 0,004 мм, освещается светом с длиной волны 687 нм, падающим перпендикулярно решетке. Под каким углом к решетке нужно производить наблюдение, чтобы видеть изображение спектра второго порядка?
8. Найдите наибольший порядок спектра для желтой линии натрия с длиной волны 589 нм, если период дифракционной решетки 2 мкм.

Порядок выполнения:

Геометрическая оптика

1. Тщательно сделать чертеж, обязательно с помощью линейки, выполняя общие требования – действительные лучи изображать сплошными линиями с указанием направления, продолжения лучей – пунктирными линиями.
2. Записать математические соотношения соответствующих оптических законов или формулы, определяющие оптические величины.
3. Записать вспомогательные соотношения, вытекающие из геометрических построений.
4. Решить полученную систему уравнений относительно искомой величины, сделать анализ полученного результата.

При построении падающих и преломленных лучей на плоской границе раздела двух сред надо учитывать, что при переходе луча из оптически менее плотной в оптически более плотную угол преломления меньше угла падения, а при обратном направлении – угол преломления больше угла падения. Если при переходе луча из среды оптически более плотной угол падения равен предельному углу полного отражения, то преломленный луч направлен вдоль границы раздела сред.

Для построения изображения предмета необходимо построить изображение его характерных точек. Для построения изображения точки достаточно построить ход двух лучей, исходящих из этой точки, при этом ее изображение будет находиться на пересечении преобразованных лучей (действительное изображение) или их продолжений (мнимое). Изображение в плоском зеркале всегда мнимое. При построении изображений в тонкой линзе используют в основном свойства лучей: а) параллельных главной оптической оси; б) параллельных побочной оптической оси; в) проходящих через оптический центр.

Волновая (физическая) оптика

Задачи на интерференцию:

1. Выяснить причины появления оптической разности хода между интерферирующими лучами.
2. Определить эту разность как $\Delta = L_2 - L_1 = n(l_2 - l_1)$ и записать условия максимума или минимума освещенности в интерференционной картине. Эти условия и будут основными уравнениями для определения искомой величины.

Большая часть задач на дифракцию света предполагает расчет дифракции в параллельных лучах на дифракционной решетке. В этих случаях необходимо составить основные уравнения с учетом условий положения главных максимумов освещенности на экране при наблюдении дифракционной картины. При определении числа максимумов следует полагать, что дифракционная картина симметрична относительно так называемого нулевого (центрального) максимума.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Практическая работа №56

Тема: Решение задач квантовой физике.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по данной теме. Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Энергия фотона

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Импульс фотона

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Масса фотона

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}$$

Фотоэффект - явление вырывания электронов с поверхности металла под действием света (внешний фотоэффект, в полупроводниках - внутренний).

Первый закон фотоэффекта: сила фототока насыщения I_H зависит только от интенсивности падающего на ка-тод излучения.

Второй закон фотоэффекта: максимальная скорость вылетевших электронов зависит только от частоты падающего на катод излучения.

Работа выхода - энергия, необходимая для вырывания электрона с поверхности металла. Акых зависит только от материала катода.

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A_{вых} + \frac{m\upsilon^2}{2}$$

Красная граница фотоэффекта

$$\lambda_{кр} = \frac{hc}{A_{вых}}, \ \nu_{кр} = \frac{A_{вых}}{h}$$

Третий закон фотоэффекта: для каждого вещества существует такая минимальная частота (максимальная длина волны), называемая красной границей фотоэффекта, с которой начинается фотоэффект.

Четвертый закон фотоэффекта: фотоэффект безинер-ционен, т.е. возникает практически мгновенно.

Энергия фотоэлектронов

$$\frac{m\upsilon_{max}^2}{2} = eU_з$$

I постулат Бора

Электроны в атоме могут находиться в строго определенных стационарных состояниях. Находясь в стационарном состоянии атом энергии не излучает

Условие квантования орбит

$$mvr = n\frac{h}{2\pi}$$

II постулат Бора

Атом излучает или поглощает энергию только при переходе из одного стационарного состояния в другое.

Спектр испускания - совокупность частот (длин волн), которые ис-пус-каются данным веществом.

Спектр поглощения - совокупность частот (длин волн), которые поглощаются данным веществом.

Спектры испускания и поглощения взаимно обратимы.

Линейчатые спектры испускаются газами в атомарном состоянии.

Полосатые спектры испускаются газами в мо-лекулярном состоянии.

Сплошные спектры излучаются нагретыми жидкостями и твердыми телами.

Спектр атома водорода

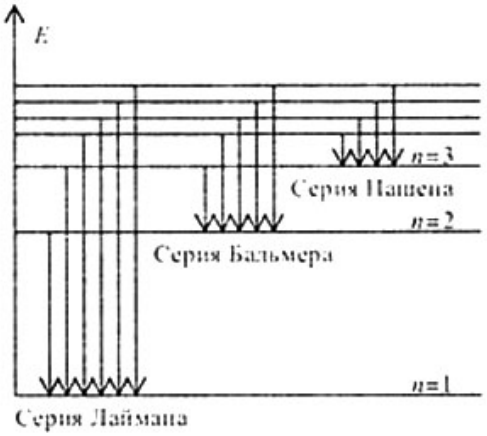


Рис. 57

Серия Пашена - при переходе электрона на третий энергетический уровень с более высоких и лежит в инфракрасной области.

Серия Лаймана образуется при переходе электрона на первый энергетический уровень с более высоких орбит, лежит в ультрафиолетовой области.

Серия Бальмера при переходе электрона на второй энергетический уровень с более высоких и лежит в видимой области При этом наблюдаются 3 линии:

- красная - с третьего на второй;
- голубая - с четвертого на второй;
- фиолетовая - с пятого на второй.

Исходные данные:

1. Катод фотоэлемента облучается светом с длиной волны $\lambda = 3{,}5 \times 10^{-7}$ м. Какая энергия передана фотоэлектронам, если в цепи фотоэлемента протек заряд $Q = 2 \times 10^{-12}$ Кл? Постоянная Планка $h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ Дж•с, величина заряда электрона $|e| = 1{,}6 \times 10^{-19}$ Кл, скорость света $c = 3 \times 10^{8}$ м/с.
2. Какой максимальный заряд Q может быть накоплен на конденсаторе емкостью $C_o = 2 \times 10^{-11}$ Ф, одна из обкладок которого облучается светом с длиной волны $\lambda = 5 \times 10^{-7}$ м? Работа выхода электрона составляет $A = 3 \times 10^{-19}$ Дж, постоянная Планка $h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ Дж•с, величина заряда электрона $|e| = 1{,}6 \times 10^{-19}$ Кл, скорость света $c = 3 \times 10^{8}$ м/с.
3. На металлическую пластинку сквозь сетку, параллельную пластинке, падает свет с длиной волны $\lambda = 0{,}4$ мкм. Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов между пластинкой и сеткой $U = 0{,}95$ В. Определить красную границу фотоэффекта (максимальную длину волныλ_{max}). Постоянная Планка $h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ Дж•с, величина заряда электрона $|e| = 1{,}6 \times 10^{-19}$ Кл, скорость света $c = 3 \times 10^{8}$ м/с.
4. Лазер излучает световые импульсы с энергией $W = 0{,}1$ Дж. Частота повторения импульсов $\nu = 10$ Гц. Коэффициент полезного действия лазера, определяемый как отношение излучаемой энергии к потребляемой, составляет $\eta = 0{,}01$. Какой объем воды V нужно пропустить за время $\tau = 1$ часчерез охлаждающую систему лазера, чтобы вода нагрелась не более, чем на $\Delta t = 10\,^{o}C$? Удельная теплоемкость воды $c = 4{,}2$ Дж/(г•К), плотность воды $\rho = 1$ г/см^3.
5. Атом водорода испустил фотон с длиной волны $4{,}86 \times 10^{7}$ м. На сколько изменилась энергия электрона в атоме?

Порядок выполнения:

1. Помнить взаимосвязь между волновыми и квантовыми характеристиками частиц.
2. Знать, что взаимодействие фотонов с веществом подчиняется законам сохранения энергии и импульса. Законы фотоэффекта следуют из закона сохранения энергии (уравнения Эйнштейна), а формула для расчета светового давления является следствием закона сохранения импульса.
3. Помнить основные положения ядерной модели атома с точки зрения классической электродинамики для расчета характеристик движения электронов в атоме.
4. Учитывать, что согласно положениям квантовой физики радиус орбиты электрона, энергия атома, энергия излученного или поглощенного кванта могут иметь только определенные дискретные значения.
5. Знать, что при любых ядерных реакциях выполняются законы сохранения и правила смещения.

Вопросы для самопроверки:

1. Изложите историю развития взглядов на природу света.
2. Почему пришлось прибегать к представлению о дискретности светового потока?
3. В чем заключается сущность гипотезы М. Планка?
4. Запишите формулу энергии кванта.
5 Чему равна постоянная Планка?

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Шар радиуса **R** из вольфрама, покрытый тонким слоем цезия, освещают аргоновым лазером, излучающим на длине волны λ_1. Какой заряд приобретет шар, если красная граница для **Cs** на **W** составляет λ_2?

Решение.

При освещении шара лазером каждый квант света несет с собой энергию

$$E = hc/\lambda_1,$$

которая идет на преодоление работы выхода электрона с поверхности цезия

$$A_{вых} = hc/\lambda_2,$$

преодоление потенциальной энергии взаимодействия общего заряда шара **Q** с электроном

$$W_p = kQe/R,$$

и на сообщение электрону кинетической энергии.

Когда заряд шара перестает меняться, кинетическая энергия электронов на бесконечном расстоянии от шара равна нулю.

Тогда

$$hc/\lambda_1 = hc/\lambda_2 + kQe/R.$$

Отсюда, искомый заряд шара

$$Q = (Rhc/(4\pi\varepsilon_o e\lambda_1))\bullet(1/\lambda_1 - 1/\lambda_2).$$

Практическая работа №57

Тема: Решение задач на дефект массы и энергия связи ядра.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме «Дефект массы и энергия связи ядра». Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Нуклоны в ядре прочно удерживаются ядерными силами. Для того чтобы удалить нуклон из ядра, надо совершить большую работу, т. е. сообщить ядру значительную энергию.

Энергия связи атомного ядра $E_{св}$ характеризует интенсивность взаимодействия нуклонов в ядре и равна той максимальной энергии, которую необходимо затратить, чтобы разделить ядро на отдельные невзаимодействующие нуклоны без сообщения им кинетической энергии. У каждого ядра своя энергия связи. Чем больше эта энергия, тем более устойчиво атомное ядро. Точные измерения масс ядра показывают, что масса покоя ядра $m_я$всегда меньше суммы масс покоя, составляющих его протонов и нейтронов. Эту разность масс называют дефектом массы:

$$\Delta m = (zm_p + Nm_n) - m_я.$$

Именно эта часть массы Дт теряется при выделении энергии связи. Применяя закон взаимосвязи массы и энергии, получим:

$$E_{св} = \Delta mc^2 = (z \cdot m_н + Nm_n - m_я)$$

где $m_н$- масса атома водорода.

Такая замена удобна для проведения расчетов, и расчетная ошибка, возникающая при этом, незначительна. Если в формулу энергии связи подставить Дт в а.е.м. то для $E_{св}$ можно записать:

$$E_{св} = 931,5 \ \frac{МэВ}{а.е.м.} (zm_p + Nm_n - m_я).$$

Важную информацию о свойствах ядер содержит зависимость удельной энергии связи от массового числа А.

Удельная энергия связи $E_{уд}$ - энергия связи ядра, приходящаяся на 1 нуклон:

$$E_{уд} = \frac{E_{св}}{A}.$$

На рис. 116 приведен сглаженный график экспериментально установленной зависимости $E_{уд}$ от А.

Кривая на рисунке имеет слабо выраженный максимум. Наибольшую удельную энергию связи имеют элементы с массовыми числами от 50 до 60 (железо и близкие к нему элементы). Ядра этих элементов наиболее устойчивы.

Из графика видно, что реакция деления тяжелых ядер на ядра элементов средней части таблицы Д. Менделеева, а также реакции синтеза легких ядер (водород, гелий) в более тяжелые - энергетически выгодные реакции, так как они сопровождаются образованием более устойчивых ядер (с большими $E_{уд}$) и, следовательно, протекают с выделением энергии (E > 0).

Исходные данные:

1. Определить удельную энергию связи Еуд ядра 12 6С
2. Энергия связи Есв ядра, состоящего из двух протонов и одного нейтрона, равна 7,72 МэВ. Определить массу ma нейтрального атома, имеющего это ядро.
3. Определить массу ma нейтрального атома, если ядро этого атома состоит из трех протонов и двух нейтронов и энергия связи Есв ядра равна 26,3 МэВ.
4. Атомное ядро, поглотившее γ-фотон (λ=0,47 пм), пришло в возбужденное состояние и распалось на отдельные нуклоны, разлетевшиеся в разные стороны. Суммарная кинетическая энергия m нуклонов равна 0,4 МэВ. Определить энергию связи Есв ядра.
5. Определить энергию Есв, которая освободится при соединении одного протона и двух нейтронов в атомное ядро.
6. Какую наименьшую энергию Е нужно затратить, чтобы разделить на отдельные нуклоны ядра 73Li и 74Be? Почему для ядра бериллия эта энергия меньше, чем для ядра лития?

Порядок выполнения:

1. Внимательно прочитайте текст задачи.

2. Запишите в «Дано» буквенное обозначение и числовое значение известных по тексту физических величин
3. Под горизонтальной чертой запишите буквенное обозначение неизвестной величины со знаками «=» и «?»
4. По формуле $N = A - Z$ найдите количество протонов Z и нейтронов N в ядре атома $^{A}_{Z}X$
5. Запишите формулу энергии связи атомного ядра.
6. Подставьте числовые значения физических величин с их единицами, проведите расчёт с единицами. E_p= 938,3 МэВ; E_n= 939,6 МэВ
7. Воспользуйтесь дополнительной формулой для расчёта удельной энергии связи атомного ядра
8. Подставьте числовые значения физических величин вместе с их единицами, проведите расчёт с единицами
9. Запишите ответ

Вопросы для самопроверки:

1. Какие элементарные частицы создают электромагнитное поле?
2. Какие частицы являются носителями слабого взаимодействия?
3. Какая энергия в МэВ эквивалентна 1 а.е.м. в физической шкале?
4. Какая энергия в МэВ соответствует массе покоя электрона?
5. Что такое: дефект масс, энергия связи, удельная энергия связи?
6. Как зависит удельная энергия связи от массового числа?

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

Вычислить дефект массы Δm и энергию связи $E_{св}$ ядра $^{11}_{5}B$.

Решение задачи:

Решение. Дефект массы ядра определим по формуле

$$\Delta m = Zm_{^1_1H} + (A - Z)\, m_n - m_a. \qquad (1)$$

Вычисление дефекта массы выполним во внесистемных единицах (а. е. м.). Для ядра $^{11}_{5}B$ $Z=5$, $A=11$. Массы нейтральных атомов водорода (^1_1H) и бора ($^{11}_{5}B$), а также нейтрона (n) найдем из табл. 21.

Подставим найденные массы в выражение (1) и произведем вычисления:

$$\Delta m = [5 \cdot 1{,}00783 + (11 - 5) \cdot 1{,}00867 - 11{,}00931] \text{ а. е. м.},$$

или

$$\Delta m = 0{,}08186 \text{ а. е. м.}$$

Энергия связи ядра определяется соотношением

$$E_{св} = \Delta m c^2. \qquad (2)$$

Энергию связи ядра также найдем во внесистемных единицах (МэВ). Для этого дефект массы подставим в выражение (2) в а. е. м., а коэффициент пропорциональности (c^2) — в МэВ/ (а. е. м.), т. е.

$$E_{св} = 931{,}4 \cdot 0{,}08186 \text{ МэВ} = 76{,}24 \text{ МэВ},$$

и округлим полученный результат до трех значащих цифр:

$$E_{св} = 76{,}2 \text{ МэВ}.$$

Практическая работа №58

Тема: Решение задач на ядерные и термоядерные реакции.

Цель: Обобщить и систематизировать знания учащихся по теме данной теме. Развить мышление, интуицию, пространственное воображение при выполнении заданий.

Основные понятия:

Ядерная реакция - это процесс взаимодействия атомного ядра с другим ядром или элементарной частицей, сопровождающийся изменением состава и структуры ядра и выделением вторичных частиц или γ-квантов.

В результате ядерных реакций могут образовываться новые радиоактивные изотопы, которых нет на Земле в естественных условиях. Первая ядерная реакция была осуществлена Э. Резерфордом в 1919 году в опытах по обнаружению протонов в продуктах распада ядер. Резерфорд бомбардировал атомы азота α-частицами. При соударении частиц происходила ядерная реакция, протекавшая по следующей схеме:

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H.$$

При ядерных реакциях выполняется несколько **законов сохранения**: импульса, энергии, момента импульса, заряда. В дополнение к этим классическим законам сохранения при ядерных реакциях выполняется закон сохранения так называемого **барионного заряда** (то есть числа нуклонов – протонов и нейтронов). Выполняется также ряд других законов сохранения, специфических для ядерной физики и физики элементарных частиц. Ядерные реакции могут протекать при бомбардировке атомов быстрыми заряженными частицами (протоны, нейтроны, α-частицы, ионы). Первая реакция такого рода была осуществлена с помощью протонов большой энергии, полученных на ускорителе, в 1932 году:

$$^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{4}_{2}He.$$

Однако наиболее интересными для практического использования являются реакции, протекающие при взаимодействии ядер с нейтронами. Так как нейтроны лишены заряда, они беспрепятственно могут проникать в атомные ядра и вызывать их превращения. Итальянский физик Э. Ферми одним из первых начал изучать реакции, вызываемые нейтронами. Он обнаружил, что ядерные превращения вызываются не только быстрыми, но и медленными нейтронами, движущимися с тепловыми скоростями. Ядерные реакции сопровождаются энергетическими превращениями. **Энергетическим выходом ядерной** реакции называется величина

$$Q = (M_A + M_B - M_C - M_D)c^2 = \Delta Mc^2.$$

где M_A и M_B – массы исходных продуктов, M_C и M_D – массы конечных продуктов реакции. Величина ΔM называется **дефектом масс**. Ядерные реакции могут протекать с выделением ($Q > 0$) или с поглощением энергии ($Q < 0$). Во втором случае первоначальная кинетическая энергия исходных продуктов должна превышать величину $|Q|$, которая называется порогом реакции.

Для того чтобы ядерная реакция имела положительный энергетический выход, **удельная энергия связи** нуклонов в ядрах исходных продуктов должна быть меньше удельной энергии связи нуклонов в ядрах конечных продуктов. Это означает, что величина ΔM должна быть положительной.

Возможны два принципиально различных способа освобождения ядерной энергии. 1. **Деление тяжелых ядер**. В отличие от радиоактивного распада ядер, сопровождающегося испусканием α- или β-частиц, реакции деления – это процесс, при котором нестабильное ядро делится на два крупных фрагмента сравнимых масс.

В 1934 году германский физик <u>Ида Ноддак открыла явление деления ядер урана при их бомбардировке нейтронами</u>.

К сожалению ее открытие не было признано и в 1939 году немецкие физики Отто Ган и Ф. Штрассман, которым было известно об опытах Ноддак, заявили, что ими было открыто деление ядер урана. Продолжая исследования, начатые Идой Ноддак, они установили, что при бомбардировке урана нейтронами возникают элементы средней части периодической системы – радиоактивные изотопы бария (Z = 56), криптона (Z = 36) и др. Уран встречается в природе в виде двух изотопов: $^{238}_{92}U$ (99,3 %) и $^{235}_{92}U$ (0,7 %). При бомбардировке нейтронами ядра обоих изотопов могут

расщепляться на два осколка. При этом реакция деления $^{235}_{92}U$ наиболее интенсивно идет на медленных (тепловых) нейтронах, в то время как ядра $^{238}_{92}U$ вступают в реакцию деления только с быстрыми нейтронами с энергией порядка 1 МэВ. Основной интерес для ядерной энергетики представляет реакция деления ядра $^{235}_{92}U$. В настоящее время известны около 100 различных изотопов с массовыми числами примерно от 90 до 145, возникающих при делении этого ядра. Две типичные реакции деления этого ядра имеют вид:

Обратите внимание, что в результате деления ядра, инициированного нейтроном, возникают новые нейтроны, способные вызвать реакции деления других ядер. Продуктами деления ядер урана-235 могут быть и другие изотопы бария, ксенона, стронция, рубидия и т. д. Кинетическая энергия, выделяющаяся при делении одного ядра урана, огромна – порядка 200 МэВ. Оценку выделяющей при делении ядра энергии можно сделать с помощью **удельной энергии связи** нуклонов в ядре. Удельная энергия связи нуклонов в ядрах с массовым числом A ≈ 240 порядка 7,6 МэВ/нуклон, в то время как в ядрах с массовыми числами A = 90–145 удельная энергия примерно равна 8,5 МэВ/нуклон. Следовательно, при делении ядра урана освобождается энергия порядка 0,9 МэВ/нуклон или приблизительно 210 МэВ на один атом урана. При полном делении всех ядер, содержащихся в 1 г урана, выделяется такая же энергия, как и при сгорании 3 т угля или 2,5 т нефти. Продукты деления ядра урана нестабильны, так как в них содержится значительное избыточное число нейтронов. Действительно, отношение N / Z для наиболее тяжелых ядер порядка 1,6 (рис. 2), для ядер с массовыми числами от 90 до 145 это отношение порядка 1,3–1,4. Поэтому ядра-осколки испытывают серию последовательных β–-распадов, в результате которых число протонов в ядре увеличивается, а число нейтронов уменьшается до тех пор, пока не образуется стабильное ядро. При делении ядра урана-235, которое вызвано столкновением с нейтроном, освобождается 2 или 3 нейтрона. При благоприятных условиях эти нейтроны могут попасть в другие ядра урана и вызвать их деление. На этом этапе появятся уже от 4 до 9 нейтронов, способных вызвать новые распады ядер урана и т. д. Такой лавинообразный процесс называется цепной реакцией. Схема развития **цепной реакции** деления ядер урана представлена на рис. 1.

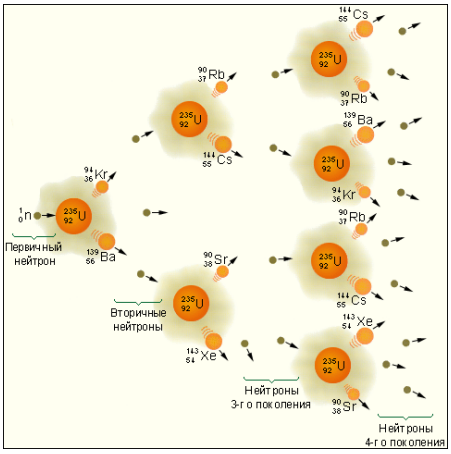


Рисунок 1. Схема развития цепной реакции.

Для осуществления цепной реакции необходимо, чтобы так называемый **коэффициент размножения нейтронов** был больше единицы. Другими словами, в каждом последующем поколении нейтронов должно быть больше, чем в предыдущем. Коэффициент размножения определяется не только числом нейтронов, образующихся в каждом элементарном акте, но и условиями, в которых протекает реакция – часть нейтронов может поглощаться другими ядрами или выходить из зоны реакции. Нейтроны, освободившиеся при делении ядер урана-235, способны вызвать деление лишь ядер этого же урана, на долю которого в природном уране приходится всего лишь 0,7 %. Такая концентрация оказывается недостаточной для начала цепной реакции. Изотоп $^{238}_{92}U$ также может поглощать нейтроны, но при этом не возникает цепной реакции. Цепная реакция в уране с повышенным содержанием урана-235 может развиваться только тогда, когда масса урана превосходит так называемую **критическую массу.** В небольших кусках урана большинство нейтронов, не попав ни в одно ядро, вылетают наружу. Для чистого урана-235 критическая масса составляет около 50 кг. Критическую массу урана можно во много раз уменьшить, если использовать так называемые **замедлители** нейтронов. Дело в том, что нейтроны, рождающиеся при распаде ядер урана, имеют слишком большие скорости, а вероятность захвата медленных нейтронов ядрами урана-235 в сотни раз больше, чем быстрых. Наилучшим замедлителем нейтронов является **тяжелая вода** D_2O. Обычная вода при взаимодействии с нейтронами сама превращается в тяжелую воду.

Хорошим замедлителем является также графит, ядра которого не поглощают нейтронов. При упругом взаимодействии с ядрами дейтерия или углерода нейтроны замедляются до тепловых скоростей. Применение замедлителей нейтронов и специальной оболочки из бериллия, которая отражает нейтроны, позволяет снизить критическую массу до 250 г. В атомных бомбах цепная неуправляемая ядерная реакция возникает при быстром соединении двух кусков урана-235, каждый из которых имеет массу несколько ниже критической. Устройство, в котором поддерживается управляемая реакция деления ядер, называется **ядерным** (или **атомным**) **реактором**. Схема ядерного реактора на медленных нейтронах приведена на рис. 2.

Ядерная реакция протекает в активной зоне реактора, которая заполнена замедлителем и пронизана стержнями, содержащими обогащенную смесь изотопов урана с повышенным содержанием урана-235 (до 3 %). В активную зону вводятся регулирующие стержни, содержащие кадмий или бор, которые интенсивно поглощают нейтроны. Введение стержней в активную зону позволяет управлять скоростью цепной реакции. Активная зона охлаждается с помощью прокачиваемого теплоносителя, в качестве которого может применяться вода или металл с низкой температурой плавления (например, натрий, имеющий температуру плавления 98 °С). В парогенераторе теплоноситель передает тепловую энергию воде, превращая ее в пар высокого давления. Пар направляется в турбину, соединенную с электрогенератором. Из турбины пар поступает в конденсатор. Во избежание утечки радиации контуры теплоносителя I и парогенератора II работают по замкнутым циклам. Турбина атомной электростанции является тепловой машиной, определяющей в соответствии со вторым законом термодинамики общую эффективность станции. У современных атомных электростанций коэффициент полезного действия приблизительно равен $\frac{1}{3}$. Следовательно, для производства 1000 МВт электрической мощности тепловая мощность реактора должна достигать 3000 МВт. 2000 МВт должны уносится водой, охлаждающей конденсатор. Это приводит к локальному перегреву естественных водоемов и последующему возникновению экологических проблем. Однако, главная проблема состоит в обеспечении полной радиационной безопасности людей, работающих на атомных электростанциях, и предотвращении случайных выбросов радиоактивных веществ, которые в большом количестве накапливаются в активной зоне реактора. При разработке ядерных реакторов этой проблеме уделяется большое внимание. Тем не менее, после аварий на некоторых АЭС, в частности на АЭС в Пенсильвании (США, 1979) и на Чернобыльской АЭС (Украина, 1986), Фукусимской АЭС (Япония, 2010) проблема безопасности ядерной энергетики встала с особенной остротой. Наряду с описанным выше ядерным реактором, работающим на медленных нейтронах, большой практический интерес представляют реакторы, работающие без замедлителя на быстрых нейтронах. В таких реакторах ядерным горючим является обогащенная смесь, содержащая не менее 15 % изотопа $^{235}_{92}U$. Преимущество реакторов на быстрых нейтронах состоит в том, что при их работе ядра урана-238, поглощая нейтроны, посредством двух последовательных β–-распадов превращаются в ядра плутония, которые затем можно использовать в качестве ядерного топлива:

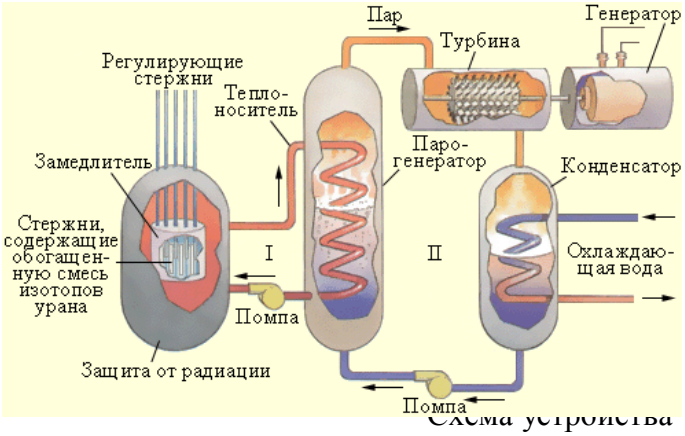


Схема устройства ядерного реактора.

Коэффициент воспроизводства таких реакторов достигает 1,5, то есть на 1 кг урана-235 получается до 1,5 кг плутония. В обычных реакторах также образуется плутоний, но в гораздо меньших количествах. Первый ядерный реактор был построен в Германии, в 1941 году, второй, с использованием немецкого опыта, - в США в 1942 году подд руководством Ферми. Третий атомный реактор был построен в СССР в 1946 году по материалам трофейного немецкого реактора под руководством И. Курчатова.

Термоядерные реакции

Второй путь освобождения ядерной энергии связан с реакциями синтеза. При слиянии легких ядер и образовании нового ядра должно выделяться большое количество энергии. Это видно из кривой зависимости удельной энергии связи от массового числа A (рис. 1).
Вплоть до ядер с массовым числом около 60 удельная энергия связи нуклонов растет с увеличением A. Поэтому синтез любого ядра с A < 60 из более легких ядер должен сопровождаться выделением энергии. Общая масса продуктов реакции синтеза будет в этом случае меньше массы первоначальных частиц. Реакции слияния легких ядер носят название **термоядерных реакций,** так как они могут протекать только при очень высоких температурах. Чтобы два ядра вступили в реакцию синтеза, они должны сблизится на расстояние действия ядерных сил порядка $2\cdot10^{-15}$ м, преодолев электрическое отталкивание их положительных зарядов. Для этого средняя кинетическая энергия теплового движения молекул должна превосходить потенциальную энергию кулоновского взаимодействия. Расчет необходимой для этого температуры T приводит к величине порядка 10^8... 10^9 К. Это чрезвычайно высокая температура. При такой температуре вещество находится в полностью ионизированном состоянии, которое называется **плазмой**. Энергия, которая выделяется при термоядерных реакциях, в расчете на один нуклон в несколько раз превышает удельную энергию, выделяющуюся в цепных реакциях деления ядер. Так, например, в реакции слияния ядер дейтерия и трития

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n + 17{,}6\ МэВ,$$

выделяется 3,5 МэВ/нуклон. В целом в этой реакции выделяется 17,6 МэВ. Это одна из наиболее перспективных термоядерных реакций. Осуществление **управляемых термоядерных реакций** возможно даст человечеству новый практически неисчерпаемый источник энергии. Однако получение условий для осуществления устойчивой, непрерывной термоядерной реакции представляет собой труднейшую до сих пор нерешенную научно-техническую задачу. Начиная с 1950-х годов сначала в США, затем в СССР и других странах предприятиям ВПК удалось осуществить только **неуправляемую реакцию синтеза** в водородной бомбе. Условия, необходимые для ядерного синтеза, достигается здесь с помощью своеобразного "стартёра" - взрыва обычной урановой или плутониевой бомбы.

Исходные данные:

1. Какую минимальную кинетическую энергию в лабораторной системе T_{min} должен иметь нейтрон, чтобы стала возможной реакция $^{16}O(n,\alpha)^{13}C$?
2. Определить, какую минимальную энергию должен иметь протон, чтобы стала возможной реакция p + d → p + p + n. Даны избытки масс. $\Delta(^{1}H)$ = 7.289 МэВ, $\Delta(^{2}H)$ = 13.136 МэВ,
   $\Delta(n)$ = 8.071 МэВ.
3. В термоядерной реакции $^{3}_{2}He + ^{3}_{2}He \rightarrow ^{4}_{2}He + 2p$ выделяется энергия Q = 12,8 МэВ. Какая энергия выделяется в реакции $^{2}_{1}H + ^{3}_{2}He \rightarrow ^{4}_{2}He + 2p$,если дефект массы ядра $^{3}_{2}He$ на Δm = 0,006 а.е.м. больше, чем у ядра $^{2}_{1}He$?

Порядок выполнения:

1. Внимательно прочти условие задачи.
2. Произведи краткую запись условия задачи с помощью общепринятых буквенных обозначений (СИ).
3. Выполни рисунки или чертежи задачи.
4. Определи, каким методом будет решаться задача, составь план решения.
5. Запиши основные уравнения, описывающие процессы, предложенные задачной системой.
6. Найди решение в общем виде, выразив искомые величины через заданные.
7. Проверь правильность решения задачи в общем виде, произведя действия с наименованием величин.
8. Произведи вычисления.

9. Произведи оценку реальности полученного решения.
10. Запиши ответ.

Вопросы для самопроверки:

1. Что называют ядерными реакциями?
2. Что называют энергетическим выходом ядерной реакции? В каких случаях реакция идет с поглощением энергии, а в каких— выделением?
3. Кто и когда осуществил ядерную реакцию, экспериментально подтвердившую, что в состав атомных ядер входят нейтроны?
4. Какие реакции называют термоядерными? Как иначе называют термоядерные реакции?
5. Чем объяснить, что при синтезе легких ядер выделяется энергия?
6. Каковы условия осуществления ядерной реакции синтеза, т.е. термоядерной реакции?

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Пример выполнения:

При осуществлении термоядерной реакции синтеза ядра гелия из ядер изотопов водорода – дейтерия и трития – по схеме

$${}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$$

освобождается энергия 17,6 МэВ. Какая энергия освободится при синтезе 1 г гелия? Сколько каменного угля потребовалось бы сжечь для получения такой же энергии?

Дано:

$m_1 = 1\,\text{г} = 10^{-3}\,\text{кг}$

$M = 4 \cdot 10^{-3}\,\text{кг} \cdot \text{моль}^{-1}$

$\Delta E = 17{,}6\,\text{МэВ} = 2{,}8 \cdot 10^{12}\,\text{Дж}$

$q = 2{,}7 \cdot 10^{7}\,\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$

$E - ?\quad m_2 - ?$

Решение:

Для нахождения энергии, выделяющейся при синтезе 1 г гелия, нужно умножить выход ядерной реакции ΔE на число осуществленных реакций, равное числу атомов гелия N в 1 г:

$$E = \Delta E N$$

Число атомов гелия N равно

$$N = \frac{mN_A}{M}$$

$$N = \frac{10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^{23}}{4 \cdot 10^{-3}} = 1{,}5 \cdot 10^{23}$$

Поэтому для энергии E получим:

$$E = 2{,}8 \cdot 10^{-12} \cdot 1{,}5 \cdot 10^{23}\,\text{Дж} = 4{,}2 \cdot 10^{11}\,\text{Дж}.$$

Из условия $Q = E$ следует:

$$Q = qm_2$$

$$m_2 = \frac{Q}{q} = \frac{E}{q}$$

Отсюда масса каменного угля, при сжигании которого освобождается столько же энергии, сколько и при синтезе 1 г гелия, равна

$$m_2 = \frac{4{,}2 \cdot 10^{11}\,\text{Дж}}{2{,}7 \cdot 10^{7}\,\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}} = 1{,}56 \cdot 10^{4}\,\text{кг}.$$

Практическая работа №59

Тема: Контрольная работа по теме «Квантовая физика и физика атома и атомного ядра».

Цель: проконтролировать знания учащихся и их умения самостоятельно применять полученные знания при решении задач.

Исходные данные:

1. Что такое спонтанное излучение атомов?
   А) Любое излучение возбужденных атомов; Б) Излучение, испускаемое при самопроизвольном переходе атома из одного состояния в другое; В) переход электрона в атоме с верхнего энергетического уровня на нижний под влиянием электромагнитного поля.
2. Источниками света являются:
   А) Атомы; Б) Молекулы; В) Атомы и молекулы.
3. Какие из перечисленных способов используют в лазерах для возбуждения атомов?
   1)повышение температуры; 2) оптическая накачка; 3) бомбардировка быстрыми частицами; 4) химическая реакция.
   А) 1;2 Б) 1;2;3 В) 1;2;3;4
4. Ядро тория $^{230}_{90}\mathrm{Th}$ превратилось в ядро $^{226}_{88}Ra$. Какую частицу испустило ядро тория ?
5. Если тело человека массой 60 кг поглотило в течение короткого времени радиационную энергию 180 Дж, токакую дозу облучения получил человек ?
6. Найти энергию связи ядра $^{4}_{2}He$ (m_p=1,00783 а.е.м.; m_n=1,00866 а.е.м.; $M_я$ =4,0026 а.е.м.)

Порядок выполнения:

1. Помнить взаимосвязь между волновыми и квантовыми характеристиками частиц.
2. Знать, что взаимодействие фотонов с веществом подчиняется законам сохранения энергии и импульса. Законы фотоэффекта следуют из закона сохранения энергии (уравнения Эйнштейна), а формула для расчета светового давления является следствием закона сохранения импульса.
3. Помнить основные положения ядерной модели атома с точки зрения классической электродинамики для расчета характеристик движения электронов в атоме.
4. Учитывать, что согласно положениям квантовой физики радиус орбиты электрона, энергия атома, энергия излученного или поглощенного кванта могут иметь только определенные дискретные значения.
5. Знать, что при любых ядерных реакциях выполняются законы сохранения и правила смещения.

Литература:

1. Пинский А. А., Граковский Г. Ю. Физика: Учебник-М.: Форум – ИНФРА – М, 2006

Электронные ресурсы:

1. Свободная энциклопедия, раздел Физика: http://ru.wikipedia.org
2. Открытый колледж. Физика. http://college.ru/
3. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. Интерактивные задачи по физике. http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/fb011676-b857-2653-941d-4dbaef589fa5/

Практическая работа №60

Тема: Итоговое занятие по предмету

Цель урока:

- Повторить и обобщить знания по предмету;
- показать связь теоретических знаний с практикой;
- показать связь физики с другими предметами;
- показать связь физики с жизнью.

Эпиграф к уроку:

О, сколько нам открытий чудных
Готовит просвещенья дух!
И опыт, сын ошибок трудных,
И гений, парадоксов друг,
И случай, бог изобретатель...

А.С. Пушкин

Во всем мне хочется дойти
До самой сути.
В работе, в поисках пути,
В сердечной смуте.
До сущности протекших дней,
До их причины,
До оснований, до корней,
До сердцевины.
Все время, охватывая нить,
Судеб, событий,
Жить, думать, чувствовать. Любить,
Совершать открытия.

Б.Л. Пастернак.

Я мыслю, следовательно, я существую.

Декарт

Вступительное слово учителя: Добрый день, уважаемые ребята! Сегодня у нас последнее занятие физики и мне хочется его провести так чтобы каждый смог показать свои знания, полученные не только на уроках физики, но в целом. Поэтому наш урок пройдет в форме игры. Ведь игра самое увлекательное из всех видов занятий в любом возрасте. Для этого вы разделитесь на 4 группы: физиков, химиков, биологов и технологов.

1 ***этап: конкурс «Загадки»***

- Что видно, если ничего не видно (туман)
- Если надуть меня - я улечу,/Смирно лежать я никак не хочу...(воздушный шар)
- Конь бежит, а щука лежит (река подо льдом)
- Его пинают, /А он не плачет! /Его бросают - / Назад скачет (мяч)
- Чего в гору не выкатить, /В решете не унести /И в руках не удержать (вода)
- Сверкнет, мигнет, кого-то позовет (гроза)
- Привела я солнце /за свое оконце. /К потолку повесила, /Стало дома весело (электрическая лампочка)

2 ***этап: конкурс «Физики и не физики - однофамильцы».***

№	Занятие однофамильцев	**Ответ**
1	Святослав Теофилович искусно владел громко-тихим инструментом, а по шкале Чарльза измеряют стихийное бедствие.	**Рихтер**
2	Олег Константинович поднял в воздух советско-греческого богатыря, а Юрий услаждал наш слух своими песнями.	**Антонов**
3	Валерий Борисович был первым на ледяном поле, экс-русский американец создал самый мощный мотоцикл.	**Харламов**
4	Отто Юльевич выдвинул гипотезу возникновения солнечной системы. А Петр Петрович прославил свой корабль восстанием.	**Шмидт**
5	Детища Василия Андреевича печатаются, а Николая Егоровича умеют летать.	**Жуковский**
6	Петр Николаевич сумел измерить давление света на твердые и газообразные тела, Евгений Алексеевич играл на сцене лошадь.	**Лебедев**
7	Василий Владимирович открыл электрическую дугу, а музыка Андрея Павловича звучала с экрана.	**Петров**
8	Николай Иванович искал родину растений, а Анастас Иванович руководил «от Ильича до Ильича».	**Вавилов**
9	Жорес Иванович награжден нобелевской премией за работу с полупроводниками, а Николай Семенович создал городские архитектурные ансамбли.	**Алферов**

3 этап: игра «Пентагон».

Правила игры: для того чтобы догадаться, о чем идет речь дается 5 подсказок, после любой из них можно дать ответ.

1. **Изобретение (технологии).**

5. На нем стоит древнеримская богиня.

4. Их используют многие виды транспортных средств.
3. Они являются основой водяных, но не ветряных мельниц.
2. Многие из них связаны со спицами.
1. Русское название его происходит от древнего слова «коло», означающего круг.

ОТВЕТ: Колесо.

2. **Атмосферное явление (для всех).**

5. Так переводится немецкое слово «блиц».
4. Это - причина треска с раскатами в природе.
3. Ее дело в швах.
2. Она же - дорогое сообщение.
1. Это - Торопыжкина одежда.

ОТВЕТ: Молния.

3. **Вещество (химики, биологи).**

5. Из-за НЕЕ в 1648 году вспыхнуло восстание.
4. Это – суть, изюминка шутки и мысли.

3. Она пятая в известном ряду.
2. ЕЕ называют ахроматической смертью.
1. ЕЕ не рекомендуют сыпать на рану.

ОТВЕТ: Соль (солевой бунт, нота соль, «белая смерть», песня Осиашвили С. и Добрынина В.).

4. **Бытовое устройство (технологи).**
5. Чтобы им воспользоваться, его сначала нужно было «развести».
4. Его однажды купили солдаты.
3. Однажды его купили за найденную денежку.
2. Вообще-то, это просто водогрей.
1. Без него раньше не садились пить чай.

ОТВЕТ: Самовар (Аты - баты шли солдаты,/ Аты - баты, на базар...; Чуковский «Муха - Цокотуха»).

5. Узнайте это изобретение (технологи).

5. Это изобретение - воплощение самой древней мечты в жизни.

4. О приоритете этого изобретения спорят американцы, немцы и французы. Россия тоже пытается оспаривать приоритет.
3. Пионерами по созданию и использованию этого изобретения все — таки чаще всего считают братьев - американцев Уилбора и Орвилла.
2. Во время работы этого изобретение буквально опирается ... на воздух.
1. В сказках его роль выполняет ковер.

ОТВЕТ: Самолет.

6. Природный материал (химики, биологи).

5. Когда - то он был частью письменных принадлежностей.
4. Он является часть устройства для измерения определенного отрезка времени.
3. Его формула идентична формуле кварца.
2. Его много в Калахари, Каракумах.
1. Желательно чтобы на пляже он был чистым.

ОТВЕТ: Песок.

7. Материал (химики, биологи).

5. На фабрике Уотмана ЭТО было гладким и плотным.
4. Говорят, что ОНА стерпит все.
3. В основном ОНА состоит из целлюлозы.
2. Раньше вместо НЕЕ использовали глину, воск, кожу.
1. На ней учатся писать.

ОТВЕТ: Бумага.

8. Оптика (физики).

5. С ЕГО помощью в древности пытались уничтожить силы противника.
4. Людям он является днем и только в ясную погоду.
3. Иногда его используют для передачи сообщений.
2. Поймать его невозможно, он всегда выскальзывает поверх рук.
1. В отличие от многих своих собратьев никогда не линяет, не штрафуется.

ОТВЕТ: Солнечный зайчик.

4 этап: конкурс «О чем могли бы спорить или просто беседовать …»

№	Кто с кем спорит	**Ответ**
1	Маркони и Попов: Кто все-таки изобрел... что?	**Радио** (Все-таки Маркони, считает весь мир, но не мы).
2	Фаренгей и Реомюр: Чей ... лучше?	**Термометр** (Эти физики предложили разные термометры и шкалы измерения температур).
3	Брюнель и Роквел: Как лучше измерять ...?	**Твердость** (Они по-разному измеряли твердость материалов).
4	Рихтер и Бофорт: Чья ... лучше? Чья ... разрушительнее?	**Шкала. Стихия** (Предложили шкалы измерения землетрясения и ветра).
5	Ньютон и Максвелл: ... - это частица или волна?	**Свет** (Ньютон изучал корпускулярные свойства света, Максвелл вывел уравнение волновой природы света).
6	Морзе и Брайль: Чья ... лучше?	**Азбука** (Телеграфная - Морзе, пятиточечная для слепых - Брайля).
7	Миль и Камов: Чей ... надежнее?	**Вертолет** (Оба - авиаконструкторы самолетов).

5 **этап: конкурс «Эрудит»**

1. Как с помощью часов определить высоту скалы, стоя на ее вершине? (Ответ: Нужно уронить камень и засечь время падения).
2. Барон Мюнхаузен утверждал, что вытащил себя из болота за волосы. Возможно ли это и почему? (Ответ: Нет, т.к. третий закон Ньютона применим для взаимодействующих тел)
3. Что тяжелее: 1 кг гвоздей или 1 кг ваты? (Ответ: Вес гвоздей больше. $P = F_T - F_A$. На гвозди и выту действуют сила тяжести и архимедова сила. Силы тяжести равны. А архимедова сила действующая на пух больше, т.к. он занимает больший объем. Следовательно $Pг > P_в$).

Заключительное слово учителя: вот и закончилось ваше последнее занятие физики и неважно сейчас кто дал больше верных ответов, ведь все приняли активное участие, а значит вы все **ПОБЕДИТЕЛИ!** Надеюсь, что знания, полученные Вами за время обучения в школе, пригодятся в жизни.

Список использованной литературы

1. Перышкин А.В. Физика – 7. – М.: Дрофа, 2006.
2. Перышкин А.В. Физика – 8. – М.: Дрофа, 2012.
3. Перышкин А.В. Гутник Е.М. Физика – 9. – М.: Дрофа, 2009.
4. Мякишев Г.Я. Буховцев Б.Б. Сотский Н.Н. Физика – 10. – М.: Просвещение, 2008.
5. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Чаругин В.М. Физика – 11. – М.: Просвещение, 2010.
6. Садовников Д., Загадки русского народа. Сборник загадок, вопросов, притч и задач. - С.- Петербург: Типография Н. А. Лебедева ,1876.
7. Русская советская поэзия. Под ред. Л.П.Кременцова. Ленинград: Просвещение, 1988. (Стихотворение Б. Пастернака)
8. Корней Чуковский. Чудо дерево и другие сказки. Санкт-Петербург. : Герион, 1992.

Список использованных Интернет-ресурсов

1. http://100grp.ru/srednie-veka/rene-dekart-ya-myslyu-sledovatelno-ya-sushhestvuyu/ (Рене Декарт)
2. http://www.stihi-rus.ru/Pushkin/stihi/158.htm (стихотворение А.С. Пушкина)
3. http://zagadki.kakras.ru/ (загадки)
4. https://ru.wikipedia.org/ (сведения о великих людях и исторических событиях)