Федеральное Агентство Железнодорожного Транспорта
Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение
Высшего Профессионального Образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»
(МИИТ)

Одобрено кафедрой
«Физика и химия»

ФИЗИКА

Задания на контрольную работу № 1 и №2
с методическими указаниями для студентов 1 курса

специальности:**190901.65 «Системы обеспечения движения поездов»**
(для всех специализаций)

Москва – 2012

Составители:
док. физ.-мат.. наук, проф. Прибылов Н.Н.,
к.ф.-м.н., доцент, Карелин Б.В., к.ф.-м.н.,
доцент,Прибылова Е.И,

Рецензент: док. физ.-мат. наук, доц. Шулиманова З.Л.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

1. В процессе изучения физики студент должен выполнить контрольные работы (по две в каждом семестре). Решение задач в контрольных работах является проверкой степени усвоения студентом теоретического курса, а рецензии на работу помогают доработать и правильно освоить различные разделы курса физики. Перед выполнением контрольной работы студенту необходимо внимательно ознакомиться с примерами решения задач по данной контрольной работе, уравнениями и формулами, приведенными в методических указаниях.

2. **Выбор задач** производится по таблице вариантов, приведенных в каждом разделе: **первые четыре задачи выбираются по варианту, номер которого совпадает с последней цифрой учебного шифра, а пятую и шестую задачи – с предпоследней цифрой шифра**.

Например, при шифре 1120–СДс-1319 – первые четыре задачи берут по варианту 9, а пятую и шестую задачи - из варианта 1.

3. Правила оформления контрольных работ и решения задач:

3.1. Условия всех задач студенты переписывают полностью без сокращений.

3.2. Все значения величин, заданных в условии и привлекаемых из справочных таблиц, записывают для наглядности сокращенно (столбиком) в тех же единицах, которые заданы, а затем рядом осуществляют перевод в единицы СИ.

3.3. Все задачи следует решать в СИ.

3.4. В большей части задач необходимо выполнять чертежи или графики с обозначением всех величин. Рисунки надо выполнять аккуратно, используя чертежные инструменты; объяснение решения должно согласоваться с обозначениями на рисунках.

3.5. Необходимо указать физические законы, которые использованы для решения данной задачи.

3.6. С помощью этих законов, учитывая условие задачи, получить необходимые расчетные формулы.

3.7. Вывод формул и решение задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями.

3.8. Использованные в формулах буквенные обозначения должны быть согласованы с обозначениями, приведенными в условии задачи и на приведенном рисунке. Дополнительные буквенные обозначения следует сопровождать соответствующими объяснениями.

3.9. Получив расчетную формулу, необходимо проверить ее размерность.

Пример проверки размерности:

$[v] = [GM/R]^{1/2} = \{[м^3 \cdot кг^{-1} \cdot с^{-2}] \cdot [кг] \cdot [м^{-1}]\}^{1/2} = (м^2/с^2)^{1/2} = м/с.$

3.10. Основные физические законы, которыми следует пользоваться при решении задач (вывод расчетных формул), приведены в каждом из разделов. Там же приведены некоторые формулы, которыми можно пользоваться без вывода.

3.11. После проверки размерности полученных формул проводится численное решение задачи.

3.12. Вычисления следует производить по правилам приближенных вычислений с точностью, соответствующей точности исходных числовых данных условия задачи. Числа следует записывать в нормализованном виде, используя множитель 10, например не 0,000347, а $3,47 \cdot 10^{-4}$.

3.13. Каждая последующая задача должна начинаться с новой страницы.

3.14. В конце контрольной работы необходимо указать учебные пособия, учебники, использованные при ее выполнении, и дату сдачи работы.

3.15. Если контрольная работа не допущена к зачету, то все необходимые дополнения и исправления сдают вместе с незачтенной работой. Исправления в тексте незачтенной работы не допускаются.

3.16. Допущенные к зачету контрольные работы с внесенными уточнениями предъявляются преподавателю на зачете. Студент должен быть готов дать во время зачета пояснения по решению всех выполненных задач.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Т. И. Трофимова. Курс физики: Учебное пособие. М.: Академия,, 2007.
2. Т. И. Трофимова. Краткий курс физики. М.: Высшая школа, 2004.
3. Т.И. Трофимова. Сборник задач по курсу физики с решениями М.: Высшая школа. 2003.
4. Т.И. Трофимова. Физика.. 500 основных законов и формул. М., Высшая школа, 2003.

Дополнительная литература

5. В. Ф. Дмитриева, В. Ф. Прокофьев. Основы физики. М.: Высшая школа, 2002.
6. Яворский А.А., Детлаф Б.М. Курс физики. М.; Высшая школа, 2002.
7. Е.В. Корчагин. Физика. Учебное пособие. М. , 2001.
8. В.М. Гладской. Физика. Сборник задач с решениями. М., Дрофа, 2004.
9. С.Е. Мельханов. Общая физика. Конспект леций, СПб, 2001.
10. В.Н. Недостаев. Курс физики в 2-х томах, М., РГОТУПС, 2005.
11. Дмитриева Е.И., Иевлева Л.Д., Костюченко Л.С. Физика в примерах и задачах: учеб. пособие.- М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2008.- 512 с.: ил. – (Профессиональное образование).
12. Яворский А.А., Детлаф Б.М. Справочник по физике., М., Наука, Физматлит, 2002.
13. Под ред. Х.Штёкера Справочник по физике. Формулы, таблицы, схемы. Москва: Техносфера, 2009.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

Таблица вариантов для контрольной работы № 1

Вариант	Номера задач					
	1	2	3	4	5	6
0	100	110	120	130	140	150
1	101	111	121	131	141	151
2	102	112	122	132	142	152
3	103	113	123	133	143	153
4	104	114	124	134	144	154
5	105	115	125	135	145	155
6	106	116	126	136	146	156
7	107	117	127	137	147	157
8	108	118	128	138	148	158
9	109	119	129	139	149	159

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1
КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Кинематика поступательного движения

• Кинематические уравнения движения

$x = x(t), y = y(t), z = z(t)$, где t - время;

• Средняя скорость

$\langle \vec{V} \rangle = \dfrac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$, где $\Delta \vec{r}$ - перемещение материальной точки за время Δt;

• Средняя путевая скорость

$V = \dfrac{\Delta S}{\Delta t}$, где ΔS - путь, пройденный материальной точкой за время Δt;

• Мгновенная скорость

$\vec{V} = \dfrac{d\vec{r}}{dt}$, где $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ - радиус вектор;

• Проекции скорости $\vec{V}$ на оси координат x, y,z

$$V_x = \frac{dx}{dt}, V_y = \frac{dy}{dt}, V_z = \frac{dz}{dt};$$

• Модуль скорости

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2};$$

• Мгновенное ускорение

$\vec{a} = \dfrac{d\vec{V}}{dt}$, где $\vec{V} = V_x\vec{i} + V_y\vec{j} + V_z\vec{k}$;

• Проекции ускорения на оси координат x, y,z

$$a_x = \frac{dV_x}{dt}, a_y = \frac{dV_y}{dt}, a_z = \frac{dV_z}{dt};$$

• Модуль ускорения

$$V = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2};$$

• Ускорение при криволинейном движении (по дуге окружности)

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t,$$

где $\vec{a}_n$- нормальное ускорение, направленное по радиусу к центру окружности;

$\vec{a}_t$ -тангенциальное ускорение, направленное по касательной к точке окружности;

• Модули ускорений

$$a_n = \frac{V^2}{R}, \quad a_t = \frac{dV}{dt}, \quad a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}; \quad R\text{-радиус окружности;}$$

• Уравнения равномерного и равнопеременного движений

- равномерное движение: $V = const, a = 0, x = Vt$

- равнопеременное движение $a = const, V = V_0 \pm at, \quad x = V_0 t \pm \frac{at^2}{2}$;

"+" - равноускоренное, " - " - равнозамедленное

Кинематика вращательного движения

Положение твёрдого тела (при заданной оси вращения) задается углом поворота φ.

• Кинематическое уравнение вращательного движения $\varphi = \varphi(t)$;

• Мгновенная угловая скорость

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}; \quad \omega = \frac{\Delta\varphi}{t}$$

• Угловое ускорение

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}; \quad \varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

• Связь линейных характеристик с угловыми

линейная скорость - $V = \omega R$, R – радиус окружности,

нормальное ускорение - $a_n = R\omega^2$,

тангенциальное ускорение - $a_t = \varepsilon R$,

полное ускорение - $a = R\sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2}$;

• Уравнения равномерного и равнопеременного вращений

$\omega = const, \varepsilon = 0, \quad \varphi = \omega t$ - равномерное вращение;

$\varepsilon = const, \omega = \omega_0 \pm \varepsilon t, \quad \varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}$ - равнопеременное вращение;

• Частота и период вращения:

Частота (число оборотов в единицу времени) - $\nu = \frac{N}{t}$,

Период T (время одного полного оборота) - $T = \frac{1}{\nu}$,

циклическая (круговая)частота - $\omega = \frac{2\pi}{T}$,

Связь циклической частоты с частотой $\omega = 2\pi\nu$,

Угол поворота $\varphi = 2\pi N$, где N – число оборотов.

ЗАКОНЫ ДИНАМИКИ.

Динамика
поступательного движения материальной точки

Динамика – раздел механики, изучающий движение материальной точки (тела) с учетом сил, действующих на неё (него) со стороны других тел и полей.

• **Импульс** материальной точки (тела)

$\vec{p} = m\vec{V}$, где m - масса м.т., $\vec{V}$ - скорость движения;

• **Второй закон Ньютона** с учетом импульса в векторной форме

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i, \quad \frac{d(m\vec{V})}{dt} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i; \quad m\vec{a} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i \text{ или } m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n,$$

где $\vec{F}$ -сила, действующая на м.т.

• **Второй закон Ньютона в скалярной форме**

$\frac{\Delta p}{\Delta t} = F$, $\Delta p = F\Delta t$, где $\Delta p = p_2 - p_1$- изменение импульса;

$F\Delta t$ - импульс силы.

• **Радиус-вектор и координаты центра масс**: $\vec{r}_C = \sum_{i=1}^{n} \frac{m_i \vec{r}_i}{m}$;

$x_C = \sum_{i=1}^{n} m_i x_i / m$; $y_C = \sum_{i=1}^{n} m_i y_i / m$; $z_C = \sum_{i=1}^{n} m_i z_i / m$,

где $m = \sum_{i=1}^{n} m_i$

Закон движения центра масс: $\frac{d(m\vec{\upsilon})}{dt} = \vec{F}$

Третий закон Ньютона: $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$

СИЛЫ ПРИРОДЫ. МЕХАНИКА СПЛОШНЫХ СРЕД

• **Сила гравитационного взаимодействия** (закон всемирного тяготения)

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

где $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ м^3/кг \cdot с^2$ - гравитационная постоянная r - расстояние между материальными точками.

на глубине h от поверхности Земли: $g = g_0\left(1 - \frac{2h}{R}\right)$

где g_0 = 9,81 м/с^2 –ускорение свободного падения у поверхности Земли.

• Определение **ускорения свободного падения у поверхности планет**

$$g = G\frac{M}{R^2},$$

где M- масса планеты, R – радиус планеты, ускорение свободного падения у поверхности Земли $g = 9{,}81 м/с^2$.

• Определение **ускорения свободного падения тела**, находящегося на некоторой высоте h от поверхности планеты

$$g = G\frac{M}{(h+R)^2}.$$

• **Сила тяжести**

$$\vec{F}_T = m\vec{g},$$

• **Космические скорости**

Первая космическая скорость $V = \sqrt{gR} = \sqrt{\frac{GM}{R}}$, R - радиус планеты;

Вторая космическая скорость $V = \sqrt{2gR}$.

• **Сила упругости (закон Гука)**

$$F = -kx, \quad \sigma = E\varepsilon = E\frac{\Delta l}{l},$$

где x - изменение размеров тела (удлинение), k - коэффициент упругости, $\sigma = \frac{F}{S}$ - напряжение в теле, возникающее за счет действия силы, S - площадь поперечного сечения тела, $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{l - l_0}{l}$ - относительное удлинение, E – модуль Юнга (модуль упругости).

• **Сила реакции опоры** - обозначается $\vec{N}$.

Если материальная точка находится на горизонтальной поверхности, то $N = mg$;

• **Сила трения скольжения**

$\vec{F} = \mu\vec{N}$, где μ - коэффициент трения;

Энергия и законы сохранения

• **Кинетическая энергия материальной точки**

$E_k = \frac{mV^2}{2}$, $E_k = \frac{p^2}{2m}$; где p - импульс;

• **Потенциальная энергия** материальной точки, находящейся в гравитационном поле Земли

$$E_П = mgh, \qquad \text{где } h \text{ - высота подъёма;}$$

• **Потенциальная энергия сжатой (или растянутой) пружины**

$$E_П = \frac{kx^2}{2}; \text{ где } x \text{ - изменение размеров тела.}$$

• **Законы сохранения:**

Закон сохранения импульса $\vec{p} = const, m\vec{V} = const$ для замкнутых систем.

Закон сохранения энергии $E_П + E_k = const$ для замкнутых систем;

• **Законы сохранения для абсолютно упругого и неупругого ударов:**

Абсолютно упругий удар

Закон сохранения импульса $m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2 = m_1\vec{V}_1^{'} + m_2\vec{V}_2^{'}$;

Закон сохранения энергии $m_1V_1^2 + m_2V_2^2 = m_1V_1^{'2} + m_2V_2^{'2}$;

Абсолютно неупругий удар

Закон сохранения импульса $m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2 = (m_1 + m_2)\vec{V}$;

Закон сохранения энергии $m_1V_1^2 + m_2V_2^2 = (m_1 + m_2)V^2$;

Механика сплошных сред

Гидростатическое давление столба жидкости: $P = \rho gh$, где ρ – плотность жидкости. Закон Архимеда: $F_a = \rho gV$, где F_a–выталкивающая сила; V - объем вытесненной жидкости
Уравнение неразрывности струи: $Sv = const$, где S- площадь поперечного сечения трубки тока; v –скорость движения жидкости
Уравнение Бернулли для стационарного течения идеальной жидкости: $\rho v^2/2 + \rho gh + P = const$, где P– статическое давление жидкости для определенного сечения трубки тока; v-скорость жидкости для этого сечения; $\rho v^2/2$ - динамическое давление жидкости этого сечения; h -высота на которой располагается сечение; ρgh - гидростатическое давление, ρ – плотность жидкости
Скорость истечения жидкости из малого отверстия в открытом сосуде: $\upsilon = \sqrt{2gh}$,

где h – глубина, на которой находится отверстие относительно уровня жидкости в сосуде
Сила внутреннего трения между слоями текущей жидкости**:** $\vec{F} = -\eta \frac{d\vec{\upsilon}}{dx} \Delta s$ где η - коэффициент динамической вязкости жидкости; $\frac{d\vec{\upsilon}}{dx}$ - градиент скорости; ΔS - площадь соприкасающихся слоев
Сила сопротивления, действующая на шарик равномерно движущийся в вязкой среде (формула Стокса): $F_C = - 6\pi\eta r v$, где r -радиус шарика; v - скорость его движения

ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МОМЕНТА ИМПУЛЬСА

Динамика вращательного движения

Момент инерции материальной точки относительно оси вращения:

$$J = mr^2,$$

где m –масса,

r –расстояние до оси вращения.

Момент инерции системы материальных точек (тела): $J = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2$,

где r_i – расстояние i–й материальной точки массой m до оси вращения.

В случае непрерывного распределения масс: $J = \int_{(m)} r^2 dm$.

Теорема Штейнера: момент инерции тела массой m относительно неподвижной оси вращения, не проходящей через центр масс и параллельный оси вращения:

$$J = J_z + mr^2,$$

где J_z –момент инерции тела относительно оси z, проходящей через центр масс,

r - расстояние между осями.

Момент инерции тел правильной геометрической формы относительно неподвижной оси вращения

Форма тела	Ось вращения проходит через:	Момент инерции
Однородный шар радиусом R и массой m	центр масс	$0{,}4mR^2$
Круглый однородный цилиндр или диск радиусом R и массой m	центр масс перпендикулярно плоскости основания	$0{,}5mR^2$
Тонкий обруч или кольцо радиусом R и массой m	центр масс перпендикулярно плоскости обруча	mR^2
Однородный тонкий стержень длиной L и массой m	центр масс стержня перпендикулярно стержню	$mL^2/12$
Однородный тонкий стержень длиной L и массой m	конец стержня перпендикулярно стержню	$mL^2/3$

Момент силы, момент импульса. Основное уравнение динамики вращательного движения

Момент силы относительно произвольной точки: $\vec{M} = [\vec{r}, \vec{F}]$

где $\vec{r}$ – радиус-вектор, проведенный из этой точки в точку приложения силы $\vec{F}$.

Модуль момента силы: $M = Fl$,

где $l = r\cdot sin\ \alpha$ – плечо силы (кратчайшее расстояние между линией действия силы и осью вращения)

Момент импульса твердого тела относительно оси вращения:

$$\vec{L} = \sum_{i=1}^{n} \vec{L}_i = \sum_{i=1}^{n} [\vec{r}_{i,} (m_i \vec{\upsilon}_i); \qquad \vec{L} = J\vec{\omega}$$

где $\vec{r}_i$ –радиус-вектор отдельной i - й частицы;

$m_i \vec{\upsilon}_i$ - импульс этой частицы;

J- момент инерции тела относительно оси; $\vec{\omega}$ – угловая скорость

Основное уравнение (закон) динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси:

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}; \quad M = J_z \frac{d\omega}{dt} = J_z \varepsilon$$

где ε – угловое ускорение;

J_z-момент инерции тела относительно оси

Закон сохранения момента импульса для замкнутой системы

$$\vec{L} = \sum_{i=1}^{n} \vec{L}_i = \sum_{i=1}^{n} J_i \vec{\omega}_i = const$$

Работа при вращении тела: $\Delta A = M_z \Delta\varphi$

где $\Delta\varphi$ - угол поворота тела;

M_z - момент силы относительно оси

Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси:

$$W_{kb} = \frac{J\omega^2}{2}$$

где J– момент инерции тела относительно оси,

ω - угловая скорость

Кинетическая энергия тела, катящегося по плоскости без скольжения:

$$W_k = \frac{m\upsilon_c^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}$$

где *m*– масса тела;

v_c - скорость центра масс тела;

J – момент инерции тела относительно оси, проходящей через центр масс;

ω –угловая скорость тела

МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА. МОЩНОСТЬ.

Механическая работа, мощность, КПД. Энергия.

Работа, совершаемая переменной силой на пути: А = $\int_1^2 \vec{F}d\vec{r} = \int_1^2 Fdr\cos\alpha$

Работа силы тяжести вблизи поверхности Земли: $A = mgh$;

Работа силы упругости: $A = kx^2/2$.

Работа силы трения: $A = - F_t \Delta r$.

Мгновенная мощность: $N = \dfrac{dA}{dt}$ $\quad N = Fv = F_r v = Fv\cos\alpha$

Коэффициент полезного действия (КПД): $\eta = \dfrac{A_n}{A_з} = \dfrac{N_n}{N_з}$ (%)

A_n, $A_З$, N_n, $N_З$ – соответственно полезные и затраченные работа и мощность

Кинетическая энергия: $W_k = \dfrac{m\upsilon^2}{2} = \dfrac{p^2}{2m}$

Связь между консервативной силой, действующей на тело в данной точке, и потенциальной энергией частицы: $\vec{F} = -\, grad\, W_n$;

Потенциальная энергия частицы в поле центральных сил:

$$W_п(r) = \Delta A = -\int_1^2 \vec{F}_c(\vec{r})d\vec{r},$$

предположив $W_n(\infty) = 0$,

получим $W_n(\mathbf{r}) = -\int_\infty^0 \vec{F}_c(\vec{r})d\vec{r} = \int_0^\infty \vec{F}_c(\vec{r})d\vec{r}$.

Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия двух материальных точек массами m_1 и m_2, находящихся на расстоянии r: $W_n = G\dfrac{m_1 m_2}{r}$

Потенциальная энергия тела в поле силы тяжести Земли: $W_n = -G\dfrac{Mm}{r}$

где $r = R + h$ - расстояние от центра Земли до центра масс тела.

Потенциальная энергия тела в однородном поле силы тяжести ($h \ll R$):

$W_n = mgh$, где g – ускорение свободного падения.

Потенциальная энергия упруго деформированного тела: $W_n = \frac{kx^2}{2} = \frac{\sigma^2 V}{2E}$

где k - коэффициент жесткости, x – смещение;

σ – нормальное напряжение; E – модуль Юнга; V – объем.

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ ПРИ ВРАЩАТЕЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ

Закон сохранения момента импульса. Работа при вращении тела. Кинетическая энергия вращательного движения.

Закон сохранения момента импульса для замкнутой системы $$\vec{L} = \sum_{i=1}^{n} \vec{L}_i = \sum_{i=1}^{n} J_i \vec{\omega}_i = const$$
Работа при вращении тела: $\Delta A = M_z \Delta\varphi$,   где $\Delta\varphi$ - угол поворота тела; M_z - момент силы относительно оси
Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси: $$W_{kb} = \frac{J\omega^2}{2},$$ где J– момент инерции тела относительно оси, ω - его угловая скорость   Кинетическая энергия тела, катящегося по плоскости без скольжения: $$W_k = \frac{m\upsilon_c^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}$$ где m– масса тела; v_c - скорость центра масс тела; J – момент инерции тела относительно оси, проходящей через центр масс; ω –угловая скорость тела

Аналогия между формулами поступательного и вращательного движения.

Поступательное движение	Вращательное движение
$v = v_0 + at$	$\omega = \omega_0 + \varepsilon t$
$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}$	$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}$
$\vec{F} = m\vec{a}$	$\vec{M} = J\vec{\varepsilon}$
$\vec{P} = m\vec{v}$	$\vec{L} = J\vec{\omega}$
$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F}$	$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}$
$E_к = \frac{mv^2}{2}$	$E_к = \frac{J\omega^2}{2}$

$$A = \int_0^S F_S dS \qquad\qquad A = \int_0^{\varphi} M_Z d\varphi$$

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1. **Кинематическое уравнение движения материальной точки по прямой (ось х) имеет вид** $x = A + B\,t + C\,t^3$**, где** $A = 4$ **м,** $B = 2$ **м/с,** $C = -0{,}5$ **м/с^2. Для момента времени** $t_1 = 2$ **с определить: 1) координату** x_1 **точки; 2) мгновенную скорость** V_1**; 3) мгновенное ускорение** a_1**.**

Дано:
$x = A + B\,t + C\,t^3$
$A = 4$ м
$B = 2$ м/с
$C = -0{,}5$ м/с^2.
$t_1 = 2$ с

---

x_1-? V_1-? a_1-?

Решение. Найдем координату точки, для которой известно кинематическое уравнение движения, подставив в уравнение движения вместо t заданное значение t_1:

$$x_1 = A + B\,t_1 + C\,t_1^3; \qquad x_1 = 4 \text{ м}.$$

Мгновенную скорость V в произвольный момент времени t найдем, продифференцировав координату x по времени:

$$V = \frac{dx}{dt} = B + 3Ct^2.$$

Тогда в заданный момент времени мгновенная скорость:

$$V_1 = B + 3Ct^2_1;$$

Мгновенное ускорение в произвольный момент времени найдем, взяв вторую производную от координаты по времени:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = 6Ct, \text{ т.е. } a_1 = 6Ct_1$$

Вычисления:

Скорость $V_1 = -4$ м/с. Знак минус указывает на то, что в момент времени $t_1 = 2$ с точка движется в отрицательном направлении координатной оси.

Мгновенное ускорение в заданный момент времени равно:

$$a_1 = -6 \text{ м/с}^2,$$

Знак минус указывает на то, что направление вектора ускорения совпадает с отрицательным направлением координатной оси.

Ответ: $V_1 = -4$ м/с, $a_1 = -6$ м/с^2

Пример 2. **Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону, выражаемому формулой** $\varphi = 10 + 20\,t - 2\,t^2$ **(рис. 1). Найдите по величине**

и направлению полное ускорение точки, находящейся на расстоянии *R* = 0,1 м от оси вращения, для момента времени t_1 = 4 с.

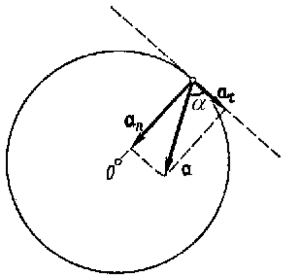


Рис. 1

Условие:

$\varphi=10+20t-2t^2$;

R=0,1 м;

t_1=4 с;

a - ? α - ?

Решение. Точка вращающегося тела описывает окружность. Полное ускорение точки определяется геометрической суммой тангенциального и нормального ускорения:

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} \qquad (1)$$

Тангенциальное и нормальное ускорения точки вращающегося тела выражаются формулами:

$$a_t = \varepsilon R; \qquad (2)$$

$$a_n = \omega^2 R, \qquad (3)$$

где ω - угловая скорость тела; ε - его угловое ускорение; R - расстояние от оси вращения.

Подставляя выражения a_t и a_n в формулу (1) находим:

$$a = R\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}\,. \qquad (4)$$

Угловая скорость вращающегося тела равна первой производной от угла поворота по времени

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = 20 - 4t.$$

В момент времени t = 4 с угловая скорость $\omega = 4\ c^{-1}$.

Угловое ускорение вращающегося тела равно первой производной от угловой скорости по времени:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = -4\ c^{-2}.$$

Подставляя найденные и заданные значения в формулу (4) получим:

a = 1,65 м/с^2.

Направление полного ускорения можно определить, если найти углы, которые векторы ускорения составляют с касательной к траектории или нормалью к ней:

$$\cos\alpha = \frac{a_\tau}{a}. \qquad (5)$$

Вычисления:

По формулам (2) и (3) найдем значения a_t и a_n:

$$a_t = -0{,}4\ /c^2; \qquad a_n = 1{,}6\ /c^2\,.$$

Подставив эти значения и значения полного ускорения в формулу (5), получим:

$$\cos\alpha = 0{,}242;\ \alpha = 76^0.$$

Ответ: a = 1,65 м/с^2, $\alpha = 76^0$

Пример 3. **Автомобиль массой m = 1000 кг движется вверх по наклонной плоскости с уклоном 0,1, развивая на пути S = 200 м скорость $v_к$ = 54 км/ч. Коэффициент трения μ = 0,05. Определить силу тяги двигателя**

Условие:

m =1000 кг;
S=200 м;
$sin\alpha$ =0,1
μ=0,05;
v_0 =0;
$v_к$ =54км/ч = 15м/с;
F - ?

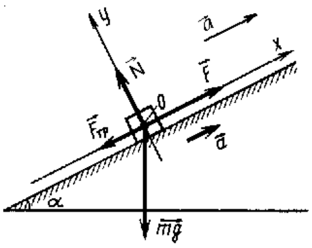


Рис. 3

Решение. Автомобиль движется равноускоренно, причем начальная скорость равна нулю. Выберем ось x, расположенную вдоль наклонной плоскости, ось y – перпендикулярно ей (рис. 3).

На автомобиль действует четыре силы: сила тяжести $\boldsymbol{F_T}=m\boldsymbol{g}$, сила реакции опоры ***N***, сила тяги **F** и сила трения $\mathbf{F_{TP}}$. Запишем основной закон динамики:

$$m\vec{a} = \vec{N} + m\vec{g} + \vec{F} + \vec{F}_{TP}.$$

Это уравнение в проекциях на оси координат

на ось x : $ma = F – mg\ sin\alpha - F_{TP}$,

на ось y : $0 = N – mg\ cos\alpha$,

$F_{TP} = \mu N$.

Выразим из этих уравнений силу тяги *F*

$$F = mg\ sin\alpha + \mu mg\ cos\alpha + ma.$$

Ускорение на этом участке равно:

$$a = (v_k{}^2 - v_0{}^2)/(2s) = v_k{}^2/(2s).$$

Найдем силу тяги двигателя на этом участке:

$$F = mg\ sin\alpha + \mu mg\ cos\alpha + \frac{mv^2}{2s} = m(g\ sin\ \alpha + \mu g\ cos\ \alpha + \frac{v^2}{2s})$$

Вычисления:

$$F = 1000(0.98+0,50+0,56) = 2043(\ H)$$

Ответ: *F =2043(H)*

Пример 4. **На горизонтальной платформе шахтной клети стоит человек массой m = 60 кг. Определить силу давления человека на платформу: 1) при ее подъеме с ускорением a_1 = 3 м/с^2; 2) при равномерном подъеме и спуске; 3) при спуске с ускорением a_3 = 9,8 м/с^2.**

Условие:
m=60 кг;
a_1=3 м/с^2;
v_2=const, a_2=0;
a_3=9,8 м/с;
F_1- ? F_2 - ? F_3 - ?

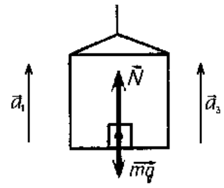


Рис. 2

Решение. На человека, стоящего на платформе шахтной клети действуют две силы: сила тяжести ***mg*** и сила реакции опоры ***N***. Согласно второму закону Ньютона:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}\,. \qquad (1)$$

Согласно третьему закону Ньютона сила давления человека на платформу равна силе реакции опоры:

$$\vec{N} = -m\vec{g}\ \ \boldsymbol{N} \qquad \mathrm{N} = \mathrm{F} \qquad (2)$$

1. Согласно рис. 2 запишем уравнение (1) в проекции на ось У

$$ma_1 = N_1 - mg$$

Учитывая (2) получим

$$F_1 = N_1 = m\,(g + a_1),$$

2. При равномерном движении шахтной клети $a_2 = 0$ и, следовательно, сила давления человека на платформу равна силе тяжести: $F_2 = N_2 = mg$.

3. При спуске платформы с ускорением, направленным вниз уравнение движения платформы имеет вид $ma_3 = mg - N_3$.

Откуда сила давления человека на платформу: $F_3 = N_3 = =m(g - a_3)$.

Учитывая, что $a_3 = g$ имеем $F_3 = 0$.

Следовательно, человек не давит на платформу.

Вычисления:

F_1 = 783 Н, F_2 =60·9,81=588,6 (Н), $F_3 = 0$.

Ответ: F_1 = 783 Н, F_2 =588,6 (Н), $F_3 = 0$.

Пример 5 **. Каким был бы период обращения ИСЗ на круговой орбите, если бы он был удален от поверхности Земли на расстояние, равное земному радиусу (R = 6400 км).**

Условие: $h = R = 6370$ км;

T - ?

Решение. Период обращения ИСЗ по круговой орбите

$$T = \frac{2\pi(R+h)}{V} = \frac{4\pi R}{V}.$$

Для определения скорости спутника учтем, что при его движении по круговой орбите на спутник действует только сила притяжения Земли F_t, сообщающая ему нормальное ускорение:

$$F_t = F_n; \qquad \frac{GmM}{(R+h)^2} = \frac{mV^2}{R+h}$$

где G – гравитационная постоянная, m – масса спутника, M – масса Земли.

Отсюда скорость спутника равна

$$V = \sqrt{\frac{GM}{R=h}} = \sqrt{\frac{GM}{2R}}$$

Учитывая, что

$$\frac{GmM}{R^2} = mg$$

где g – ускорение силы тяжести на поверхности Земли, получаем

$$V = \sqrt{gR}$$

Подставляя это значение скорости в формулу периода, найдем, что

$$T = 4\sqrt{\frac{2R}{g}}$$

Вычисление: Т $=4\sqrt{\dfrac{2\cdot 64\cdot 10^4}{9{,}81}} =$ 14360 (с) = 3 ч 59 мин

Ответ: Т = 3 ч 59 мин.

Пример 6. **Стальная проволока сечением S= 3 мм^2 под действием растягивающей силы, равной F = 4 $\cdot$ 10^4 Н имеет длину L_1 = 2 м. Определить абсолютное удлинение проволоки при увеличении растягивающей силы на F_1 = 10^4 Н. Модуль Юнга стали Е =2 $\cdot$ 10^{11} Па.**

Условие:

$E = 2\cdot10^{11}$ Па;

$S = 3$ мм^2 $=3\cdot10^{-6}$ м^2;

$L_1 = 2$ м;

$F = 4\cdot10^4$ Н;

$F_1 = 1{,}0\cdot10^4$ Н;

ΔL_2 - ?

Решение. Для того чтобы найти абсолютное удлинение проволоки при увеличенной растягивающей силе, необходимо узнать ее первоначальную длину L. Из закона Гука

$$F = \varepsilon E = E(L_1 - L)S/L$$

находим $L = EL_1S/(F + ES)$.

При увеличении растягивающей силы на величину F_1

$$F + F_1 = E\Delta L_2S/L.$$

Откуда $\Delta L_2 = (F + F_1)L/ES$.

Заменив L выражением, записанным выше, получаем

$$\Delta L_2 = (F + F_1)L_1/(F + ES).$$

Проверка размерности: $\Delta L_2 = \dfrac{Н \cdot м}{Н} = м$.

Вычисление: $\Delta L_2 = (4 \cdot 10^4 + 1{,}0 \cdot 10^4)2/(4 \cdot 10^4 + 2 \cdot 10^{11} 3 \cdot 10^{-6}) = 0{,}16 (м)$

Ответ: $\Delta L_2 = 0{,}16$ м.

Пример 7. **Маховик, массу которого m = 5 кг можно считать распределенной по ободу радиуса r = 20 см, свободно вращается вокруг горизонтальной оси, проходящей через его центр с частотой n = 720 мин$^{-1}$. При торможении маховик останавливается через Δt = 20 с. Определить тормозящий момент M и число оборотов N, которое сделает маховик до полной остановки.**

Условие:
m = 5 кг
r = 20см =0,20 м
n =720 мин$^{-1}$ = 12 с$^{-1}$
Δt =20 с
M - ? N - ?

Решение. Если тормозящий момент постоянен, то движение маховика равнозамедленное, и основное уравнение динамики вращательного движения можно записать в виде:

$$J\Delta\vec{\omega} = \vec{M}\Delta t \qquad (1)$$

где $\Delta\vec{\omega} = \vec{\omega} - \vec{\omega}_0$ - изменение угловой скорости за интервал времени Δt; M – искомый тормозящий момент.

Число оборотов N может быть найдено как кинематически, так и по изменению кинетической энергии, равному работе совершаемой тормозящей силой.

Векторному уравнению (1) соответствует скалярное уравнение

$$J\Delta\omega = M\Delta t, \qquad (2)$$

где $\Delta\omega$, M - модули соответствующих векторов.

Из условия задачи следует, что

$$\Delta\omega = |\omega - \omega_0| = \omega_0 = 2\pi n \qquad (3)$$

Поскольку масса маховика распределена по ободу, момент инерции

$$J = mr^2 \qquad (4)$$

Подставляя выражения (2), (3) в (1) получим

$$mr^2 2\pi n = M\Delta t.$$

Откуда $M = 2\pi nmr^2/\Delta t$.

Векторы $\vec{M}, \Delta\vec{\omega}$ направлены в сторону противоположную вектору $\vec{\omega}_0$.

Угловое перемещение, пройденное маховиком до остановки

$$\varphi = \omega_0\Delta t - \varepsilon\Delta t^2/2. \qquad (5)$$

Учитывая, что $\omega = \omega_o - \varepsilon\Delta t = 0$ преобразуем выражение (6)

$$\varphi = \omega_0\Delta t/2.$$

Так *как* $\varphi = 2\pi N$, $\omega = 2\pi n$, где N - число оборотов, которое делает маховик до полной остановки, окончательно получим

$$N = nt/2 = 120 \text{ об.}$$

Проверяем размерность: $[M] = \dfrac{кг \cdot м^2}{c^2} = Н \cdot м = Дж$

Вычисления: M = 2·3,14·5·0,04/20 = 0,75 (Дж)

N = 12·20/2=120 (об)

Ответ: M = 0,75 Дж , N = 120 об.

Пример 8. **Автомобиль массой m = 2000 кг движется вверх по наклонной плоскости под углом α = 15^0 , развивая на пути S = 100 м скорость $v_к$ = 36 км/ч. Коэффициент трения μ = 0,05. Найти среднюю и максимальную мощность двигателя автомобиля при разгоне.**

Условие:

m =2000 кг;

S=100 м;

α= 15^0;

μ=0,05;

v_0 =0;

$v_к$ =36км/ч = 10м/с;

$P_{ср}$ - ? P_{max} - ?

Решение. Автомобиль движется равноускоренно, причем начальная скорость равна нулю. Выберем ось x, расположенную вдоль наклонной плоскости, ось y – перпендикулярно ей (рис. 3).

На автомобиль действует четыре силы: сила тяжести $\boldsymbol{F_T}=m\boldsymbol{g}$, сила реакции опоры $\boldsymbol{N}$, сила тяги **F** и сила трения $\mathbf{F_{ТР}}$. Запишем основной закон динамики:

$$m\vec{a} = \vec{N} + m\vec{g} + \vec{F} + \vec{F}_{TP}.$$

Это уравнение в проекциях на оси координат

на ось x: $ma = F - mg\sin\alpha - F_{TP}$,

на ось y : $0 = N - mg\cos\alpha$,

$F_{TP} = \mu N = \mu mg\cos\alpha$,

Выразим из этих уравнений силу тяги F

$$F = mg\sin\alpha + \mu mg\cos\alpha + ma.$$

Ускорение на этом участке равно:

$$a = (v_k^2 - v_0^2)/(2s) = v_k^2/(2s).$$

Найдем силу тяги двигателя на этом участке:

$$F = mg\sin\alpha + \mu mg\cos\alpha + \frac{mv^2}{2s} = m(g\sin\alpha + \mu g\cos\alpha + \frac{v^2}{2s})$$

Работа двигателя на этом участке: $A = Fs\cos\varphi$,

Где φ– угол между F и s, равный нулю. Следовательно $A = Fs$

Подставив сюда выражение для F, получим

$$A = m(g\sin\alpha + \mu g\cos\alpha + \frac{v^2}{2s})s$$

Средняя мощность равна $<P> = \frac{A}{t}$, где $t = \frac{v_K - v_0}{a} = \frac{2s}{v_K}$, откуда

$$<P> = \frac{mv_K(g\sin\alpha + \mu g\cos\alpha + \frac{v_K^2}{2s})}{2}$$

Максимальная мощность автомобиля достигается в тот момент, когда скорость максимальна: $P_{max} = F\cdot v_k$,

Проверка размерности: $[P] = \frac{кг\cdot м\cdot м}{с\cdot с^2} = \frac{Н\cdot м}{с} = Вт$

Вычисление:

$<P> = 3{,}58\cdot10^4$ Вт, $P_{max} = 7\cdot10^4$ Вт.

Ответ: $<P> = 3{,}58\cdot10^4$ Вт, $P_{max} = 7\cdot10^4$ Вт.

Пример 9. **На скамье Жуковского сидит человек и держит в вытянутых руках гири массой m =10 кг каждая. Расстояние от каждой гири до оси вращения скамьи l_1 = 50 см. Скамья вращается с частотой n_1 = 1,0 с$^{-1}$. Как изменится частота вращения скамьи и какую работу А произведет человек, если он сожмет руки так, что расстояние от каждой гири до оси уменьшится до l_2 = 20 см. Суммарный момент инерции человека и скамьи относительно оси вращения J =2,5 кг·м^2. Ось вращения проходит через центр масс человека и скамьи.**

Условие:

m = 10 кг;

l_1=50 см = 0,5 м;

n_1 =1,0 с$^{-1}$;

l_2 =20 см =0,2 м;

J = 2,5 кг·м^2.

n_2 - ? A - ?

Решение. Частота вращения скамьи Жуковского изменится в результате действий, производимых человеком при сближении гирь. В системе тел скамья – человек – гири все силы, кроме сил реакции опоры, являются внутренними и не изменяют момента импульса системы. Однако моменты сил реакции опоры относительно вертикальной оси равны нулю. (Для скамьи Жуковского силы трения в оси можно считать отсутствующими.) Следовательно, момент импульса этой системы остается постоянным:

$$\vec{L}_1 = \vec{L}_2 \; ; \qquad J_1\vec{\omega}_1 = J_2\vec{\omega}_2 , \qquad (1)$$

где $J_1\omega_1$, $J_2\omega_2$ - моменты импульса системы соответственно до и после сближения гирь.

Перепишем векторное уравнение (1) в скалярном виде:

$$J_1\omega_1 = J_2\omega_2. \qquad (2)$$

До сближения гирь момент инерции всей системы: $J_1 = J_0 + 2ml_1^2$.

После сближения: $J_2 = J_0 + 2ml_2^2$,

где m - масса каждой гири.

Выражая угловую скорость через частоту вращения по формуле $\omega = 2\pi n$ и подставляя ее в уравнение (1) получаем

$$(J_0 + 2ml_1^2)n_1 = (J_0 + 2ml_2^2)n_2.$$

Откуда

$$n_2 = \frac{n_1(J_0 + 2ml_1^2)}{J_0 + 2ml_2^2} = 2{,}3\ c^{-1}.$$

Все внешние силы не создают вращающего момента относительно оси и, следовательно, не совершают работы. Поэтому изменение кинетической энергии системы равно работе, совершенной человеком:

$$A = W_2 - W_1 = \frac{J_2\omega_2^2 - J_1\omega_1^2}{2} .$$

Учитывая, что $\omega_2 = J_1\omega_1/J_2$, получаем работу, совершаемую человеком:

$$A = \frac{J_1(J_1 - J_2)\omega_1^2}{2J_2} = \frac{(J_0 + 2ml_1^{2)})2\pi^2 n_1^2(l_1^2 - l_2^2)}{J_0 + 2ml_2^2}$$

Проверка размерности:

$$[A] = Дж, \quad [n_2] = \frac{кг \cdot м^2}{c \cdot кг \cdot м^2} = c^{-1}$$

Вычисление: А = 190 Дж , n_2= 2,3 c^{-1}

Ответ: А = 190 Дж , n_2= 2,3 c^{-1}

ЗАДАЧИ

100. Камень бросили с крутого берега реки вверх под углом 30° к горизонту со скоростью v_0=10 м/с. С какой скоростью он упал в воду, если время полета t=2,5 с ?

101. Кинематические уравнения движения двух материальных точек имеют вид $x_1 = A_1 + B_1t^2 + C_1t^3$ и $x_2 = A_2 + B_2t^2 + C_2t^3$, где $B_1 = 4$ м/с^2; $C_1 = -3$ м/с^3; $B_2 = -2$ м/с^2; $C_2 = 1$ м/с^3. Определить момент времени, для которого ускорения этих точек будут равны.

102. Движение материальной точки задано уравнениями: $x = 8t^2 + 4$, (м); $y = 6t^2 - 3$, (м); $z = 0$. Определить модули скорости и ускорение точки в момент времени t = 10 с. Изобразите на рисунке их направления.

103.Точка движется по прямой согласно уравнению

$$x = At + Bt^3,$$

где A=6 м/с, B=0,125 м/с^3 . Определить среднюю скорость точки в интервале времени от $t_1 = 2$ с до $t_2 = 6$ с.

104. Мяч брошен со скоростью $V_0 = 10$ м/с под углом $\alpha=60^0$ к горизонту. Определите радиус кривизны R траектории мяча в верхней точке траектории и в момент его падения на землю.

105. Найти, во сколько раз нормальное ускорение точки, лежащей на ободе вращающегося колеса, больше ее тангенциального ускорения для того момента, когда вектор полного ускорения этой точки составляет угол 30° с вектором ее линейной скорости.

106. Ротор электродвигателя, имеющий частоту вращения n = 955 об/мин, после выключения остановился через t = 10 с. Считая вращение равнозамедленным, определить угловое ускорение ротора после выключения электродвигателя. Сколько оборотов сделал ротор до остановки?

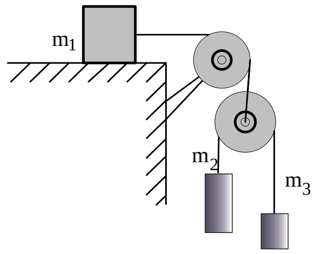
107. Вентилятор вращается с частотой ν=600 об./мин. После выключения вентилятор, вращаясь равнозамедленно, сделал до остановки N = 125 оборотов. Какое время t прошло с момента выключения вентилятора до его полной остановки?

108. Твердое тело начинает вращаться вокруг неподвижной оси с угловым ускорением $\varepsilon = Bt^3$, где B = 0,02 рад/с^3 . Через сколько времени после начала вращения вектор полного ускорения произвольной точки тела будет составлять угол 60° с ее вектором скорости?

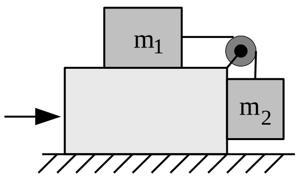
109. Твердое тело вращается вокруг неподвижной оси по закону $\varphi = At - Bt^3$, где A = 6,0 рад/с, B = 2,0 рад/с^3. Найти средние значения угловой скорости и углового ускорения за промежуток времени от начала движения до остановки. Определить угловое ускорение в момент остановки тела.

110. Катер массой $m = 2т$ с двигателем мощностью $N = 80$ кВт развивает максимальную скорость $v = 24$ м/с. Определить время, в течение которого катер после выключения двигателя потеряет половину своей скорости. Принять, что сила сопротивления движению катера изменяется пропорционально квадрату скорости.

111. В системе, показанной на рисунке массы тел равны m_1=1,5 кг, m_1=2,5 кг, m_2=1,5 кг , трения нет, массы блоков пренебрежимо малы. Найти ускорение тела m_1 .



112. С каким минимальным ускорением следует перемещать в горизонтальном направлении брусок, чтобы тела 1 и 2 не двигались относительно него? Массы тел m_1=2 кг и m_2=1 кг, коэффициент трения между бруском и обоими телами k =0,05. Массой блока пренебречь.



113. Если к телу приложить силу F = 120 Н под углом $\alpha=60^o$ к горизонту, то тело будет двигаться равномерно. С каким ускорением а будет двигаться тело, если ту же силу приложить под углом $\beta=30^o$ к горизонту? Масса тела m = 25 кг.

114. На концах нити, перекинутой через неподвижный блок, подвешены два тела массой m = 240 г каждое. С какой массой $m_Д$ надо положить добавочный груз на одно из тел, чтобы каждое из них прошло за t = 4 с путь S = 160 см?

115. Из ствола автоматического пистолета вылетела пуля массой m_1=10 г со скоростью v_1=300 м/с. Затвор пистолета массой m_2=200 г прижимается к стволу пружиной, жесткость которой k=25 кН/м. На какое расстояние отойдет затвор после выстрела? (Считать, что пистолет жестко закреплен.)

116. На покоящийся шар налетает со скоростью v=4м/с другой шар одинаковой с ним массы. В результате столкновения шар изменил направление движения на угол $30°$. Определить скорости шаров после удара. Удар считать абсолютно упругим.

117. Снаряд, летевший горизонтально со скоростью V =100 м/с, разрывается на две равные части на высоте H =40 м. Одна часть падает через t = 1 с на землю под местом взрыва. Определить величину V2 и направление скорости второй части сразу после взрыва.

118. Конькобежец массой M =60 кг, стоя на коньках на льду, бросает в горизонтальном направлении мяч массой m = 1 кг со скоростью V = 10 м/с. На какое расстояние откатится при этом конькобежец, если коэффициент трения коньков о лед μ=0,01?

119. Какова средняя сила давления <F> на плечо при стрельбе из автомата, если масса пули m = 10 г. а скорость пули при вылете из канала ствола V= 300 м/с. Автомат делает N = 300 выстрелов в минуту.

120. Тело массой 990 г лежит на горизонтальной поверхности. В него попадает пуля массой 10 г и застревает в нем. Скорость пули 700 м/с и направлена горизонтально. Какой путь пройдет тело до остановки? Коэффициент трения между телом и поверхностью 0.05 .

121. Определить мощность двигателя автомобиля-самосвала массой m = 40 т при его движении со скоростью v =27 км/ч, если коэффициент сопротивления движению равен μ = 0,1.

122. Из колодца глубиной h = 5 м равномерно поднимают ведро с водой массой m_1 = 10 кг на веревке, каждый метр которой имеет массу m_2 = 0,20 кг. Какая работа A совершается при этом?

123. Два шара подвешены на параллельных нитях одинаковой длины так, что они соприкасаются. Масса первого шара 0,2 кг, масса второго – 0,1 кг. Первый шар отклоняют так, что его центр тяжести поднимается на высоту 4,5 см, и отпускают. На какую высоту поднимутся шары после соударения, если: а) удар упругий, б) удар неупругий?

124. Тело массой m = 1,0 кг падает с высоты h=20 м. Пренебрегая сопротивлением воздуха, найти среднюю по времени мощность, развиваемую силой тяжести на пути h, и мгновенную мощность на высоте 10м.

125. Сваю массой m_1 = 100 кг забивают в грунт копром, масса которого m_2 = 400 кг. Копер свободно падает с высоты H =5 м и при каждом ударе свая опускается на глубину h = 5 см. Определить среднюю силу F сопротивления грунта.

126. Подъемный кран поднял груз массой $4{,}5 \cdot 10^3$ кг на высоту 8 м. Мощность двигателя при кране 8,832 кВт. Сколько времени затрачено на подъем груза?

127. На гладкой горизонтальной поверхности лежат два тела, между которыми находится сжатая пружина, массой которой можно пренебречь. Пружине дали возможность распрямиться, вследствие чего тела приобрели некоторые скорости v_1 и v_2. Вычислите их, если массы тел $m_1 = 1$ кг, $m_2 = 3$ кг, а энергия сжатой пружины $W = 3$ Дж.

128. Вагон массы 50 т движется со скоростью 12 км/ч и встречает стоящую на пути платформу массы 30 т. Найти скорость совместного движения вагона и платформы непосредственно после того, как сработала автосцепка. Вычислить расстояние, пройденное вагоном и платформой после сцепления, если сила сопротивления составляет 5% от веса.

129. Из пушки массой $M= 2540$ кг, находящейся у подножья наклонной плоскости, вылетает в горизонтальном направлении снаряд массы $m= 12$ кг. с начальной скоростью $V_0=800$ м/с. На какую высоту поднимется пушка по наклонной плоскости в результате отдачи, если угол наклона плоскости равен $\alpha=5^0$, а коэффициент трения пушки о плоскость равен $k = 0{,}12$?

130. Мощность излучения Солнца равна $P = 3{,}75 \cdot 10^{26}$ Вт. На сколько уменьшается масса Солнца за один год?

131. Во сколько раз уменьшится плотность тела при его движении со скоростью 0,8 с?

132. С какой скоростью v должен двигаться в ускорителе протон, чтобы увеличение его массы не превышало $k = 5\%$?

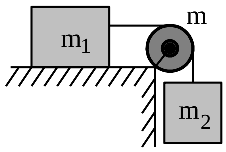
133. Каков возраст космонавта по часам Земли, если он в 30-летнем возрасте улетел на расстояние до 20 св. лет. Считать его возраст по часам космонавта 35 лет.

134. Релятивистская масса движущегося тела в 100 раз больше его массы покоя. Найдите скорость движения.

135. Вычислить момент инерции однородного сплошного конуса относительно его оси симметрии, если масса конуса $m = 0{,}5$ кг, а радиус его основания $R= 5$ см.

136. Маховик, представляющий собой диск массой $m = 10$ кг и радиусом $r = 10$ см, свободно вращается вокруг оси, которая проходит через его центр, с частотой $\nu = 6$ $с^{-1}$. При торможении маховик останавливается через $t = 5$ с. Определить тормозящий момент M.

137. В системе известны массы тел m_1= 1 кг и m_2=1,5 кг, коэффициент трения k=0,2 между телом m_1 и горизонтальной плоскостью, а также масса блока m = 0,5 кг, который можно считать однородным диском.
Найти ускорение тела m_2 и работу силы трения, действующей на тело m_1, за первые 5 секунд после начала движения.



138. Маховик. момент инерции которого J = 63,6 кг.м^2, вращается с угловой скоростью ω = 31,4 рад/с. Найти момент сил торможения М под действием которого маховик останавливается через время t = 20 с. Маховик считать однородным диском.

139. На барабан радиусом R = 20 см, момент инерции которого J = 0.1 кг.м^2 намотан шнур, к концу которого привязан груз массой m= 0,5 кг. До начала вращения барабана груз находился на высоте h = 1 м от пола. Через какое время груз опустится на пол. Трением пренебречь.

140. Два сплошных диска одинакового размера, изготовленные из алюминия и меди, вращаются независимо друг от друга вокруг общей неподвижной оси, проходящей через их центры, с угловыми скоростями ω_1 = 5,0 рад /с и ω_2 = 10 рад/с. С какой угловой скоростью ω вращались бы оба диска, если бы их жестко соединили. Плотность алюминия $\rho_1 = 2{,}6\cdot10^3$ кг/м^3, плотность меди $\rho_2 = 8{,}6\cdot10^3$ кг/м^3.

141. Человек массой m_1 = 60 кг находится на неподвижной платформе массой m_2=100 кг. С какой угловой скоростью ω будет вращаться платформа, если человек будет двигаться по окружности радиусом R_1 =5 м вокруг оси вращения? Скорость движения человека относительно платформы v = 3,6 км/ ч. Радиус платформы R_2= 10 м. Считать платформу однородным диском, а человека точечной массой.

142. Горизонтальная платформа массой m = 80 кг и радиусом R = 1 м вращается с угловой частотой ν_1=20 об/мин. В центре платформы стоит человек и держит в расставленных руках гири. С какой частотой ν_2 будет вращаться платформа, если человек, опустив руки, уменьшит свой момент инерции от J_1 = 2,94 до J_2 = 0.98 кгм^2? Считать платформу однородным диском.

143. Платформа в виде диска радиусом R = 1 м вращается по инерции с частотой ν_1= 6 мин$^{--1}$. На краю платформы стоит человек, масса которого равна m = 80 кг. С какой частотой ν_2 будет вращаться платформа, если человек перейдет в ее центр. Момент инерции платформы равен J=120 кг.м^3. Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки

144. Человек стоит на скамье Жуковского и держит стержень, расположенный вертикально вдоль оси вращения скамейки. Стержень служит осью вращения колеса, расположенного на верхнем конце стержня, скамья неподвижна, колесо вращается с частотой ν_1=10 $с^{-1}$. Радиус колеса равен R = 20 см, его масса m = 3 кг. Определить частоту вращения ν_2 скамьи, если человек повернет стержень на угол ϕ= 180^o? Суммарный момент инерции человека и скамьи J= 6 кг$\cdot$м^2. Массу колеса можно считать равномерно распределенной по ободу.

145. Обруч катится по горизонтальной дороге со скоростью v = 18 км/ч. На какое расстояние L он может подняться по наклонной плоскости за счет кинетической энергии, если уклон (отношение высоты наклонной плоскости к длине h/L) равен α = 0,10.

146. Маховик в виде диска начинает вращаться с угловым ускорением ε = 0,5 рад /$с^2$ и через t_1 = 20 с его кинетическая энергия становится равной W = 500 Дж. Какой момент импульса L приобретет он через t_2 = 15 мин после начала движения?

147. Какой путь S пройдет катящийся без скольжения диск, поднимаясь вверх по наклонной плоскости с углом наклона α = 30^0, если ему сообщена начальная скорость v_0 = 7,0 м/с, параллельная наклонной плоскости?

148. Какую мощность N должен развить мотор, приводящий в движение стабилизирующий гироскоп, который имеет форму диска радиусом R = 1,0 м и массой m = 1000 кг, если в течении t = 1 мин угловая скорость достигла значения ω = 31,4 рад/с. Трением и сопротивлением воздуха пренебречь.

149. На стержень диаметром d= 5 мм наглухо и соосно насажен сплошной диск диаметром D = 5 см и массой m = 0,4 кг. К стержню прикреплены нити, при помощи которых диск подвешивается к штативу. Найти ускорение, с которым опускается диск. Массой стержня пренебречь.

150. В дне цилиндрического сосуда имеется круглое отверстие диаметром d= 1 см. Диаметр сосуда D = 0,5 м. Найдите зависимость скорости v понижения уровня воды в сосуде от высоты h. Определите численное значение этой скорости для высоты h = 0,2 м.

151. Шарик всплывает с постоянной скоростью в жидкости, плотность которой в 4 раза больше плотности материала шарика. Во сколько раз сила трения, действующая на всплывающий шарик, больше силы тяжести шарика?

152. Стальной шарик диаметром d = 1 мм падает с постоянной скоростью v =0,185 см/с в большом сосуде, наполненном маслом. Определите коэффициент динамической вязкости масла. Плотность стали равна ρ_c=8600 кг/м^3, касторового масла - $\rho_к$ = 900 кг/м^3.

153. В широкой части горизонтально расположенной трубы нефть течет со скоростью υ_1 = 2 м/с. Определить скорость υ_2 в узкой части трубы, если разность давлений в широкой и узкой частях ее равна ΔP = 6,65 кПа. Плотность нефти $\rho_к$ = 800 кг/м^3 .

154. Горизонтальный цилиндр насоса имеет диаметр d_1 = 20 см. В нем движется со скоростью v_1 = 1 м/с поршень, выталкивая воду через отверстие диаметром d_2 = 2 см. С какой скоростью v_2 будет вытекать вода из отверстия?. Каково будет избыточное давление воды P в цилиндре?

155. Стальной канат, могущий выдержать вес неподвижной кабины лифта, имеет диаметр d = 12 мм. Какой диаметр должен иметь канат, если кабина лифта может иметь ускорение до 9g. Предел прочности стали $\sigma_п$ =500 МПа.

156. Между двумя прочными упорами натянута стальная проволока диаметром 1 мм и длиной 2 м. На сколько сместится середина проволоки, если к ней подвесить груз массой 0,5 кг? Модуль Юнга для стали E = 200 ГПа.

157. Какой диаметр d должен иметь стальной трос подъемного крана, если максимальная масса поднимаемого груза m= 10 т? Предел прочности стали $\sigma_п$ = 500 МПа, запас прочности должен быть равен k =6.

158. Верхний конец стержня закреплен, а к нижнему подвешен груз массой m= 2кг. Длина стержня L = 5 м, сечение S = 4 см^2. Определить напряжение материала стержня, его абсолютное Δ L и относительное ε удлинение, если модуль Юнга $E = 2\cdot10^{11}$ Па.

159. При океанологических исследованиях для взятия пробы грунта со дна океана на стальном тросе опускают особый прибор. Какова предельная глубина h погружения? Массой прибора пренебречь. Предел прочности стали $\sigma_п$ = 500 МПа, плотность морской воды $\rho_в$ = 1030 кг/м^3, плотность стали ρ_c = 7800 кг/м^3.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

Таблица вариантов для контрольной работы №2

№№ 200 – 219– электростатика
№№ 220 – 239 – постоянный ток
№№ 240 – 259 – магнетизм

Вариант	Номера задач					
	1	2	3	4	5	6
0	200	210	220	230	240	250
1	201	211	221	231	241	251
2	202	212	222	232	242	252
3	203	213	223	233	243	253
4	204	214	224	234	244	254
5	205	215	225	235	245	255
6	206	216	226	236	246	256
7	207	217	227	237	247	257
8	208	218	228	238	248	258
9	209	219	229	239	249	259

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ. НАПРЯЖЕННОСТЬ И ПОТЕНЦИАЛ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

7.1.Электрический заряд. Закон Кулона

Закон сохранения электрических зарядов В замкнутой системе: $Q = \sum_{i=1}^{n} Q_1 = const$
Дискретность электрических зарядов: $Q = ne$, где $n = 1, 2...$ $e = \pm 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл – элементарный электрический заряд
Закон Кулона: в векторной форме: $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1Q_2}{r^3}\vec{r}$ в скалярной форме: $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1Q_2}{r^2}$ где F_{12} - сила взаимодействия двух точечных зарядов в вакууме; r - расстояние между зарядами; $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф·/м - электрическая постоянная
Линейная плотность зарядов: $\tau = \frac{dQ}{dl}$ Поверхностная плотность зарядов: $\sigma = \frac{dQ}{ds}$ Объемная плотность зарядов: $\rho = \frac{dQ}{dV}$

7.2. Напряженность и потенциал электростатического поля, связь между ними. Принцип суперпозиции

Напряженность электростатического поля: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_0}$ где $\vec{F}$ - сила, действующая на точечный положительный заряд Q_0, помещенный в данную точку поля. $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}$

Потенциал электростатического поля: $\varphi = \dfrac{W_n}{Q_0}; \varphi = \dfrac{A_\infty}{Q_0}$ $\varphi = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Q}{r}$ где W_n - потенциальная энергия заряда Q_0; A_∞ - работа перемещения заряда из данной точки поля за его пределы.
Принцип суперпозиции: Напряженность и потенциал результирующего поля, создаваемого системой точечных зарядов, равны соответственно: $$\vec{E} = \sum_{i=1}^{n} E_i; \quad \varphi = \sum_{i=1}^{n} \varphi_i,$$ где E_1 и φ_i - напряженность и потенциал, создаваемый в данной точке поля зарядом Q_i.
Разность потенциалов между двумя точками электростатического поля: $$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{Q_0}$$ где A_{12} – работа поля по перемещению заряда между двумя **точками поля**
Связь между напряженностью и потенциалом электростатического поля: $$\vec{E} = -grad\varphi; \qquad \varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E}d\vec{l} = \int_1^2 \mathrm{Edl}\cos\alpha = \int_1^2 \mathrm{E_1 dl},$$ где $\int_1^2 \vec{E}d\vec{l} =$ - линейный интеграл напряженности электростатического поля Однородное электрическое поле: $E = const;\ \Delta\varphi = Ed.$ $E = \dfrac{\varphi_2 - \varphi_1}{d}$
Циркуляция вектора напряженности электростатического поля: $$\oint \vec{E}d\vec{l} = = \oint \mathrm{Edl}\, cos\,\alpha = \oint \mathrm{E_1 dl} = 0$$ где E_l - проекция вектора E на направление элементарного перемещения *dl*. Интегрирование производится по любому замкнутому контуру
Работа, совершаемая силами электростатического поля при перемещении заряда из точки 1 в точку **2**: $A_{12} = Q_0(\varphi_1 - \varphi_2)$; $$A_{12} = Q_0 \int_1^2 \vec{E}d\vec{l} = = Q_0 \int_1^2 \mathrm{E_1 dl}.$$ Работа по перемещению точечного заряда Q в поле точечного заряда Q_0:

$$A_{12} = \frac{QQ_0}{4\pi\varepsilon_0 r_1} - \frac{QQ_0}{4\pi\varepsilon_0 r_2}$$

Работа по перемещению заряда в однородном электростатическом поле:

$$A_{12} = QE\ cos\alpha$$

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРЕМЫ ГАУССА К РАСЧЕТУ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Поток вектора напряженности электростатического поля (ПВЭН). Теорема Гаусса

Поток вектора напряженности электростатического поля через элементарную площадку: $$d\,\Phi = \vec{E}d\vec{S} = EdS\cos\alpha = E_n dS,$$ где $d\vec{S} = \vec{n}dS$ -вектор, модуль которого равен dS, а направление совпадает с нормалью $\vec{n}$ к площади; $E_n = E\cos\alpha$ - составляющая вектора $\vec{E}$ по направлению нормали к площади
Поток вектора электростатического поля через произвольную напряженности поверхность: $$\Phi_E = \int_S \vec{E}d\vec{S} = \int_s EdS\cos\alpha = \int_s E_n dS$$
Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме: $$\Phi_E = \oint_S \vec{E}d\vec{S} = \oint E_n dS = \sum_{i=1}^{n} Q_i/\varepsilon_0;$$ в случае непрерывного распределения зарядов $$\Phi_E = \oint_S \vec{E}d\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0}\int_V \rho dV,$$ где ε_0– электрическая постоянная Q_i - алгебраическая сумма зарядов внутри поверхности; n-число зарядов; ρ - объемная плотность зарядов

8.2 Применение теоремы Гаусса к расчету электрических полей

Система зарядов	Напряженность поля	II потенциал
Точечный заряд Q	$E = Q/4\pi\varepsilon_0 r^2$	$\varphi = Q/4\pi\varepsilon_0 r$ $\varphi_\infty = 0$
Равномерно заряженная бесконечная плоскость с поверхностной плотностью зарядов σ	$E = \sigma/2\varepsilon_0$	$\begin{matrix} r > 0: \\ r < 0: \end{matrix}\quad \varphi = \begin{cases} \varphi_0 - Er \\ \varphi_0 + Er \end{cases}$
Две равномерно разноименно заряженные бесконечные плоскости, расположенные на расстоянии d	$0 \le r \le d$: $E = 0$ $r < 0$; $r > d$: $E = \sigma/\varepsilon_0$	$\begin{matrix} r \le 0: \\ 0 < r < d: \\ r \ge d: \end{matrix}\ \varphi = \begin{cases} \varphi_0 \\ \varphi_0 - Er \\ \varphi_0 - Ed \end{cases}$
Равномерно заряженная сфера радиусом R	$0 < r < R$: $E = 0$ $r = R$: $E = Q/4\pi\varepsilon_0 R^2$ $r > R$: $E = Q/4\pi\varepsilon_0 r^2$	$0 < r \le R$: $\varphi = Q/4\pi\varepsilon_0 R$ $r > R$: $\varphi = Q/4\pi\varepsilon_0 r$
Равномерно объемно заряженный шар,	$0 < r < R$: $E = Qr/4\pi\varepsilon_0 R^3$	$0 < r < R$: $\varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R} - \frac{Q(R^2 - r^2)}{8\pi\varepsilon_0 R}$ $r = R$:

радиусом R	$r = R$: $E = O/4\pi\varepsilon_0 R^2$ $r > R$: $E = Q/4\pi\varepsilon_0 r^2$	$\varphi = Q/4\pi\varepsilon_0 R$ $r > R$: $\varphi = Q/4\pi\varepsilon_0 r$
Равномерно заряженный бесконечный цилиндр радиуса R (нить) с линейной плотностью заряда τ	$r < R$: $E = 0$ $r = R$: $E = \tau/2\pi\varepsilon_0 R$; $r > R$: $E = \tau/2\pi\varepsilon_0 r$	$r < R$: $\varphi = \tau/2\varepsilon_0$ $r > R$: $\varphi = \frac{\tau \ln r/R}{2\pi\varepsilon_0}$

ДИЭКТРИКИ, ПРОВОДНИКИ И КОНДЕНСАТОРЫ

Диэлектрики. Электрическое поле в диэлектриках

Электрический момент диполя: $\vec{p} = Q\vec{l}$

где $\vec{l}$ – плечо диполя

Поляризованность: $\vec{P} = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_i}{V} = n\vec{p}_i \qquad P = \sigma'$,

где V – объем диэлектрика;

p_i -дипольный момент i -й молекулы;

n_0 – концентрация молекул;

σ' - поверхностная плотность связанных зарядов.

Связь между поляризованностью и напряженностью электростатического поля: $P = æ\varepsilon_0 E$,

где æ > 0 - диэлектрическая восприимчивость вещества

Связь между диэлектрической проницаемостью и диэлектрической восприимчивостью вещества: $\varepsilon = 1 + æ$

Связь между векторами электрического смещения и напряженностью электростатического поля: $\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\varepsilon}; \vec{E} = \vec{E}_0 - \frac{\vec{P}}{\varepsilon_0}$.

Связь между векторами электростатического смещения, напряженностью и поляризованностью: $\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E} \qquad \vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \vec{P}$

Элементарный поток вектора электрического смещения через площадку:

$$d\Phi_D = \vec{D}d\vec{S} = DdS\cos\alpha = D_n dS,$$

где $d\vec{S} = \vec{n}dS$ –вектор, модуль которого равен dS, а направление совпадает с нормалью к площадке;

D_n –составляющая вектора $\vec{D}$ по направлению нормали n к площадке

Теорема Гаусса для электростатического поля в диэлектрике:

$$\Phi_d = \oint_S \vec{E}d\vec{S} = \oint_S DdS\cos\alpha = \oint_S D_n dS = \sum_{i=1}^{n} Q_i,$$

где $\sum_{i=1}^{n} Q_i$ - алгебраическая сумма Q_i, заключенных внутри замкнутой поверхности свободных электрических зарядов. Интегрирование ведется по всей поверхности.

Электроемкость проводников и конденсаторов

Электроемкость уединенного проводника: $C = \dfrac{Q}{\varphi}$ где Q–заряд, сообщенный проводнику, φ - потенциал проводника. Электроемкость проводника, помещенного в диэлектрик: $C = \varepsilon C_0$ Электроемкость шарового проводника: $C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R$ где R–радиус шара; ε – диэлектрическая проницаемость среды
Электроемкость конденсатора: $C = \dfrac{Q}{\Delta\varphi}$, где Q – заряд, сообщенный одной из обкладок; Δφ - разность потенциалов между обкладками
Емкость плоского конденсатора: $C = \dfrac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$ где S - площадь каждой пластины конденсатора; d – расстояние между пластинами
Емкость цилиндрического конденсатора**:** $\mathrm{C} = 2\pi l \varepsilon\varepsilon_0 \ln\dfrac{r_1}{r_2}$, где l – длина обкладок конденсатора; r_1 и r_2 - радиусы полых коаксиальных цилиндров
Емкость сферического конденсатора: $C = \dfrac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_1 r_2}{r_2 - r_1}$ где r_1 и r_2 - радиус концентрических сфер
Емкость системы конденсаторов последовательное соединение: $1/C = \sum_{i=1}^{n} 1/C_i$; параллельное соединение: $C = \sum_{i=1}^{n} C_i$, где C_i - емкость i-го конденсатора, n - число конденсаторов в батарее.

Энергия системы точечных электрических зарядов, заряженных проводников и конденсаторов. Энергия электростатического поля. Объемная плотность энергии. Пондермоторные силы.

Энергия взаимодействия системы точечных зарядов: $W_n = \sum\limits_{i=1}^{n} Q_i\varphi_i/2,$ где φ_i - потенциал, создаваемый в той точке, где находится заряд Q_{i} всеми зарядами, кроме i–го
Энергия уединенного заряженного проводника: $W_n = C^2/2\varphi = Q\varphi/2 = Q^2/2C,$ Где Q– заряд ; C –электроемкость, φ –потенциал проводника
Энергия заряженного конденсатора: $W_n = C^2/2\Delta\varphi = Q\Delta\varphi/2 = Q^2/2C,$ Где $\Delta\varphi$ - разность потенциалов между обкладками
Энергия электростатического поля плоского конденсатора (однородное поле): $W_{\Pi} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2 V}{2} = \frac{D^2 V}{2\varepsilon\varepsilon_0},$ Где S– площадь одной из пластин; $V = Sd$ - объем конденсатора
Объемная плотность энергии: $w = \frac{dW_n}{dV}$; $w = \varepsilon\varepsilon_0 E^2/2 = D^2/2\,\varepsilon\varepsilon_0 = ED/2,$ где D - электрическое смещение
Энергия электрического поля $W_n = \int\limits_V w\,dV$
Силы притяжения между двумя разноименно заряженными обкладками плоского конденсатора (пондермоторные силы): $F = Q^2/(2\,\varepsilon\varepsilon_0 S) = \sigma^2 S/(2\,\varepsilon\varepsilon_0) = \varepsilon\varepsilon_0 E^2 S/2$

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Электрический ток, сила и плотность тока

Сила тока $I = \dfrac{dQ}{dt}$

Единица силы тока - 1 А (ампер)

Сила постоянного тока: $I = \dfrac{\Delta Q}{\Delta t} = const$

Плотность тока: $j = \dfrac{dI}{dS} = \dfrac{dQ}{dt \cdot dS}$

Единица плотности тока - 1 А/м^2

Заряд, переносимый через поперечное сечение проводника за время *dt*,:

$$dQ = ne\langle v\rangle Sdt,$$

где *n* и *e* – концентрация и заряд носителей тока,

$\langle v\rangle$ - средняя арифметическая скорость упорядоченного движения электронов

Сила тока: $I = ne \langle \vec{v} \rangle S$

Плотность тока: $\vec{j} = ne \langle \vec{v} \rangle$

Электродвижущая сила (ЭДС). Напряжение

ЭДС: $\varepsilon = \dfrac{A_{cm}}{Q_o}$,

где A_{cm} - работа сторонних сил по перемещению положительного заряда Q_o

Работа сторонних сил $\vec{F}_{cm}$ по перемещению заряда Q_0 на замкнутом участке пути:

$$A = \oint \vec{F} d\vec{l}_{cm} = Q_0 \oint \vec{E} d\vec{l},$$

где $\vec{E}$ - напряженность поля сторонних сил.

ЭДС, действующая в цепи,: $\varepsilon = \oint \vec{E} d\vec{l}$

ЭДС на участке цепи $\varepsilon = \int_1^2 \vec{E}_{cm} d\vec{l}$

Сила, действующая на заряд в проводнике:

$$\vec{F} = \vec{F}_{cm} + \vec{F}_e = Q_0(\vec{E}_{cm} + \vec{E})$$

Работа результирующей силы на участке 1-2 зарядом Q_0:

$$A_{12} = Q_0 \int_1^2 \vec{E}_{cm} d\vec{l} + Q_0 \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = Q_0 \varepsilon_m + Q_0(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Для замкнутой цепи: $A = Q\varepsilon$

Напряжение на участке 1-2: $U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}$

Сопротивление проводников

Сопротивление однородного линейного проводник длиной l и площадью поперечного сечения S $R=\rho\frac{l}{S}$ где ρ - удельное электрическое сопротивление Единица измерения сопротивления – Ом Единица измерения удельного сопротивления – Ом·м Электрическая проводимость: $G=\frac{1}{R}$ Единица измерения электрической проводимости – См (сименс) Удельная электропроводимость: $\gamma=\frac{1}{\rho}$ Единица измерения удельной электропроводности – См$^{-1}$ Зависимость сопротивления от температуры: $\rho=\rho_0(1+\alpha t)$ $R=R_0\,(1+\alpha t)$, где α - температурный коэффициент сопротивления, K^{-1}, t – температура, ^0C.

Последовательное и параллельное соединение проводников

Соединение	Последовательное	Параллельное
Постоянная величина	$I_1 = I_2 = \ldots = I_n$ I=concs	$U_1=U_2=\ldots U_n$ U=const
Суммируемая величина	Напряжение $U=\sum_{i=1}^{n}U_i$	сила тока $I=\sum_{i=1}^{n}I_i$
Результирующее сопротивление	$R=\sum_{i=1}^{n}R_i$	$\frac{1}{R}=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{R_i}$ $G=\sum^{n} i=1G_i$
	$\frac{U_1}{U_2}=\frac{R_2}{R_1}$	$\frac{I_1}{I_2}=\frac{R_2}{R_1}$

Закон Ома для однородного участка и замкнутой цепи.

Закон Ома для однородного участка цепи (не содержащего источника тока): $I=\frac{U}{R}$,
Закон Ома в дифференциальной форме: $j=\gamma E, \vec{j}=\gamma\vec{E}$
Закон Ома для замкнутой цепи: $I=\frac{\varepsilon}{R+r}$ где R –сопротивление внешней цепи, r – внутреннее сопротивление источника тока.

Напряжение на внешней цепи: $$U = IR = \varepsilon - Ir$$ Ток короткого замыкания: $I_{кз} = \dfrac{\varepsilon}{r}$
Закон Ома для батареи последовательно соединенных элементов: $$I = \frac{n\varepsilon}{R + nr}$$ где *n*- число элементов в батарее
Закон Ома для батареи параллельно соединенных элементов: $$I = \frac{\varepsilon}{R + \frac{r}{n}}$$ где n – число элементов в батарее
Закон Ома для смешанного соединения элементов в батарею: $$I = \frac{k\varepsilon}{R + \frac{kr}{n}}$$ где *k*- число ветвей в батарее, *n* – число элементов в ветви.
Закон Ома для неоднородного участка цепи (обобщенный закон Ома): $$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}}{R}$$ где ε_{12} - действующая на участке 1-2 ЭДС, $\varphi_1 - \varphi_2$- разность потенциалов, приложенная к концам проводника.

Анализ обобщенного закона Ома

1	Источника тока нет: $\varepsilon_{12} = 0$	Из ОЗО: $I = \dfrac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \dfrac{U}{R}$	Закон Ома для однородного участка цепи
2	Цепь замкнута $\varphi_1 = \varphi_2$	Из ОЗО: $I = \dfrac{\varepsilon}{R}$ где *R*- сопротивление всей цепи	Закон Ома для замкнутой цепи
3	Цепь разомкнута: *I=0*	Из ОЗО $\varepsilon_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$:	ЭДС в разомкнутой цепи равна разности потенциалов на ее концах

Правила Кирхгофа для разветвленных цепей

Первое правило Кирхгофа: Алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю: $\sum_{i=1}^{n} I_i = 0$
Второе правило Кирхгофа:

В любом замкнутом контуре: $\sum_{i=1}^{n} I_i R_i = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i$

Работа и мощность тока

Элементарная работа электрического тока: $$dA = Udq = IUdt = I^2Rdt = \frac{U^2}{R}dt$$
Работа электрического тока: $$A = \int_{e_1}^{e_2} IUdt = \int_{e_1}^{e_2} I^2Rdt = \int_{e_1}^{e_2} \frac{U^2}{R}dt$$ Единица работы – Дж (джоуль) Внесистемная единица работы 1квт·ч= 3,6 МДж=.3,6.10^6 Дж
Работа постоянного электрического тока: $$A = Uq = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t$$
Мощность электрического тока: $$P = \frac{dA}{dt} = UI = I^2R = \frac{U^2}{R}$$ Единица мощности – Вт (ватт)
Закон Джоуля - Ленца: dQ= $Udq = IUdt = I^2Rdt = \frac{U^2}{R}dt$ Закон Джоуля –Ленца в интегральной форме: $$Q = \int_{e_1}^{e_2} IUdt = \int_{e_1}^{e_2} I^2Rdt = \int_{e_1}^{e_2} \frac{U^2}{R}dt$$
Закон Джоуля – Ленца для постоянного тока $$Q = Uq = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t$$
Закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме: $$w = \rho j^2 = iE = \gamma E^2,$$ где $w = \frac{dQ}{dVdt}$ - удельная тепловая мощность тока
Коэффициент полезного действия источника тока (КПД): $$\eta = \frac{P_{пол}}{P_{затр.}}\% = \frac{R}{R+r}\% = \frac{U}{\varepsilon}\%$$

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Основные характеристики магнитного поля

Вращающий момент сил на рамку с током в магнитном поле $$\vec{M} = [\vec{p}_m \vec{B}]; M = p_m B \sin\alpha$$ где p_m-магнитный момент рамки с током, $\vec{B}$ - магнитная индукция; α - угол между нормалью к плоскости контура и вектором $\vec{B}$
Магнитный момент рамки с током $\vec{p}_m = IS\vec{n}, p_m = IS$ S – площадь поверхности контура (рамки); $\vec{n}$ - единичный вектор нормали к поверхности рамки
Магнитная индукция $B = \dfrac{M_{\max}}{p_m}$ где $M_{мах}$ – максимальный вращающий момент Единица измерения индукции магнитного поля: Тл (Тесла)= 1Н/А·м
Магнитная индукция: $\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$, где $\vec{H}$ - **вектор напряженности магнитного поля**, А/м μ - магнитная проницаемость среды, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ *Гн/м* - магнитная постоянная
Принцип суперпозиции (наложения) магнитных полей: Магнитная индукция результирующего поля равна: $\vec{B} = \sum_{i=1}^{n} \vec{B}_i$ где B_i – магнитная индукция, создаваемая каждым током (движущимся зарядом) в отдельности

11.2. Закон Био -Савара – Лапласа и его применение

Закон Вио – Савара – Лапласа: Магнитная индукция, создаваемая элементом проводника $d\vec{l}$ с током I в некоторой точке равна: $d\vec{B} = \dfrac{\mu_0 \mu I [d\vec{l}, \vec{r}]}{4\pi r^3}$, где $\vec{r}$ - радиус-вектор, проведенный из элемента dl проводника в точку поля. Скалярная форма записи закона Био – Савара – Лапласа имеет вид: $$dB = \frac{\mu_0 \mu I dl \sin\alpha}{4\pi r^2}$$ где α - угол между $d\vec{l}$ и $\vec{r}$.
Магнитное поле прямого тока: $B = \dfrac{\mu_0 \mu I}{4\pi r}(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$, где $\alpha_{1,}\alpha_2$ - углы, под которыми из рассматриваемой точки поля видны начало и конец проводника, r – расстояние до проводника Магнитное поле бесконечного прямого тока: $B = \dfrac{\mu_0 \mu I}{2\pi r}$

Магнитное поле в центре кругового витка радиусом r: $B=\dfrac{\mu_0\mu I}{2r}$
Магнитное поле на оси кругового витка на расстоянии b от его центра $$B=\frac{\mu_0\mu I\pi r^2}{4\pi(r^2+b^2)^{\frac{3}{2}}}=\frac{\mu_0\mu 2p_m}{4\pi(r^2+b^2)^{3/2}}$$ где $p_m=I\cdot 2\pi r^2$ – магнитный момент витка с током I
Магнитное поле на оси соленоида конечной длины: $$B=\frac{1}{2}\mu_0\mu nI(\cos\alpha_2-\cos\alpha_1),$$ где $n=N/L$ – число витков, приходящихся на единицу длины, N, L – соответственно, число витков и длина соленоида, $\alpha_{1,}\alpha_2$ - углы, под которыми из произвольной точки на оси соленоида видны его концы Максимальная индукция в центре соленоида равна: $$B=\mu_0\mu I[1+(\frac{2r}{L})^2]^{-1/2},$$ где r – радиус витка соленоида.

Закон. Ампера. Взаимодействие параллельных токов.

Сила Ампера, действующая на элемент проводника $d\vec{l}$ с током I $$d\vec{F}=I[d\vec{l},\vec{B}],\quad dF=IBdl\sin\alpha,$$ где α - угол между $d\vec{l}$ и $\vec{B}$. Сила Ампера, действующая в магнитном поле на проводник конечной длины l с током I: $\vec{F}=I\int\limits_{(l)}[d\vec{l},\vec{B}],$ **Сила Ампера**, действующая в однородном магнитном поле на прямолинейный проводник: $F=IlB\sin\alpha,$ где α -угол между током (вектором плотности тока) в проводнике и вектором $\vec{B}$
Сила взаимодействия двух параллельных токов I_1, I_2 длиной l находящихся на расстоянии r друг от друга: $F=\dfrac{\mu\ \mu I_1 I_2 l}{2\pi r}$

Магнитное поле движущегося заряда

Магнитное поле $\vec{B}$ точечного заряда Q, свободно движущегося с нерялитивистской скоростью $\vec{\upsilon}(\vec{\upsilon}=const)$:

$$\vec{B}=\frac{\mu_0\mu Q[\vec{\upsilon},\vec{r}]}{4\pi r^3}, B=\frac{\mu_0\mu Q\upsilon}{4\pi r^2}\sin\alpha,$$ где $\vec{r}$ - радиус-вектор, проведенный из заряда Q к точке наблюдения, α - угол между $\vec{\upsilon}$ и $\vec{r}$.

Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле

Сила Лоренца: $\vec{F}_л=Q[\vec{\upsilon},\vec{B}], F_л=Q\upsilon B\sin\alpha$ где Q – электрический заряд, движущийся со скоростью $\vec{\upsilon}$ в магнитном поле с индукцией $\vec{B}$, α угол между $\vec{\upsilon}$ и $\vec{B}$
Формула Лоренца (сила, действующая на движущийся заряд со стороны магнитного поля с индукцией $\vec{B}$ и электрического поля с напряженностью $\vec{E}$: $\vec{F}=Q\vec{E}+Q[\vec{\upsilon},\vec{B}]$
1. В однородном магнитном поле, если угол α между $\vec{\upsilon}$ и $\vec{B}$ равен 0 или π, сила Лоренца $F_л=0$, то частица движется равномерно и прямолинейно 2. Если угол $\alpha=\pi/2$, тогда $F_л=Q\upsilon B$, частица движется по окружности радиуса: $r=\frac{m\upsilon}{QB}$, период обращения частицы равен: $T=\frac{2\pi m}{BQ}$ 3. Заряженная частица движется со скоростью $\vec{\upsilon}$ под углом α к вектору $\vec{B}$, возникает движение по спирали, ось которой параллельна магнитному полю. Шаг винтовой линии: $h=\frac{2\pi m\upsilon\cos\alpha}{BQ}$ Радиус спирали равен: $r=\frac{m\upsilon\sin\alpha}{QB}$

РАБОТА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ. ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ. ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ.

Поток вектора магнитной индукции (магнитный поток). Теорема Гаусса для поля $\vec{B}$

Элементарный магнитный поток сквозь площадку *dS:* $$d\Phi_B = \vec{B}d\vec{S} = B_n dS = DdS\cos\alpha$$
Магнитный поток сквозь произвольную поверхность S $$\Phi_B = \int_S \vec{B}d\vec{S} = \int_S B_n dS = \int_S BdS\cos\alpha$$
Магнитный поток в однородном поле: $\Phi = BS\cos\alpha$ где α - угол между направлением вектора нормали к площадки и вектора $\vec{B}$ Единица измерения магнитного потока – 1 Вб (вебер) =1 Тл.м^2
Теорема Гаусса для поля $\vec{B}$**:** Поток вектора магнитной индукции сквозь произвольную замкнутую поверхность равен нулю: $\oint_S \vec{B}d\vec{S} = \oint_S B_n dS = 0$

Работа по перемещению проводника и контура с током в магнитном поле

Элементарная работа по перемещению проводника с током в магнитном поле: $dA = Id\Phi$
Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле: $$A = I\Delta\Phi = I(\Phi_2 - \Phi_1)$$
Работа по перемещению контура с током в магнитном поле $$A = I\Delta\Psi = I(\Psi_2 - \Psi_1)$$ где $\Psi = N\Phi$ - потокосцепление, *N*- число витков контура.

Закон Фарадея (закон электромагнитной индукции). Правило Ленца.

Закон Фарадея ЭДС электромагнитной индукции в контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность. ограниченную контуром: $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$
Правило Ленца: Индукционный ток в контуре имеет всегда такое направление, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызвавшему этот индукционный ток
ЭДС индукции в неподвижных проводниках: $\varepsilon_i = \oint_L \vec{E}_B d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$, где $\vec{E}_B$ - напряженность электрического поля индуцированного переменным магнитным полем
ЭДС индукции в проводнике длиной l, движущемся в однородном магнитном поле с постоянной скоростью υ: $\varepsilon_i = Bl\upsilon\sin\alpha$,

где α - угол между векторами υ и $\vec{B}$
ЭДС индукции, возникающая при вращении рамки в магнитном поле – модель генератора: $\varepsilon_i = NBS\omega \sin\omega t = \varepsilon_{\max} \sin\omega t$ где N и S– число витков и площадь рамки, B – индукция магнитного поля, ω - угловая скорость вращения рамки, $\varepsilon_{\max} = NBS\omega$ - максимальное значение ЭДС

Индуктивность контура. Самоиндукция.

Сцепленный с контуром магнитный поток $\Phi = LI$, где коэффициент пропорциональности **L называется индуктивностью**. Единица индуктивности – Гн (генри) =1 Ом.с
ЭДС самоиндукции в контуре: $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(LI)$ Если контур не деформируется и магнитная проницаемость среды не меняется, то L=const и **ЭДС самоиндукции** $\varepsilon_i = -L\frac{dI}{dt}$
Индуктивность соленоида: $L = \mu_0\mu\frac{N^2 S}{l} = \mu_0\mu n^2 V$

Токи при размыкании и замыкании цепи

Экстраток, возникающий при размыкании цепи: $I = I_0 e^{-t/\tau} = I_0 e^{-Rt/L}$, где $\tau = \frac{L}{r}$ - время релаксации, за которое сила тока уменьшается в е раз
Экстраток при замыкании цепи: $I = I_0(1 - e^{-t/\tau})$. где $I_0 = \frac{\varepsilon}{R}$ - установившийся ток (при $t \to \infty$)

Взаимная индукция. Трансформатор

Взаимная индукция - явление возникновения ЭДС в одном из контуров при изменении силы тока в другом Индуцируемая в контурах ЭДС $\varepsilon_{12} = -\frac{d\phi_2}{dt} = -L\frac{dI_1}{dt}, \varepsilon_{21} = -\frac{d\Phi_1}{dt} = -L\frac{dI_2}{dt}$
Взаимная индуктивность двух катушек, намотанных на тороидальный сердечник: $L = \mu_0\mu\frac{N_1 N_2}{l}S$
Трансформатор – устройство для понижения или повышения напряжения переменного тока

Коэффициент трансформации: $k = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$ k > 1 – трансформатор понижающий k < 1 – трансформатор повышающий Коэффициент полезного действия трансформатора: $\eta = \frac{P_2}{P_1}\% = \frac{I_2U_2}{I_1U_1}\%$

Энергия магнитного поля.

Энергия магнитного поля контура с током: $W = \frac{LI^2}{2}$
Энергия магнитного поля соленоида $$W = \frac{1}{2}\mu_0\mu\frac{N^2I^2}{l}S = \frac{B^2}{2\mu_0\mu}V = \frac{\mu_0\mu H^2}{2}V = \frac{BH}{2}V,$$ где $V=Sl$ – объем соленоида.
Объемная плотность энергии магнитного поля: $$w = \frac{dW}{dV} = \frac{B^2}{2\mu_0\mu} = \frac{\mu_0\mu H^2}{2} = \frac{BH}{2}$$

Магнитные свойства вещества. Магнетики

Орбитальный магнитный момент электрона $$p_m = IS = e\nu S, \vec{p}_m = -\frac{e}{2m}\vec{L} = g\vec{L},$$ где $I=e\nu$, ν - частота вращения электрона по орбите, S – площадь орбиты, g – гиромагнитное отношение орбитальных моментов, e и m – заряд и масса электрона
Механический момент электрона: $L_l = m\upsilon r = 2m\pi^2\nu S$
Собственный механический момент электрона (спин): $\vec{p}_{ms} = g\vec{L}_{ls}$
Проекция $\vec{p}_{ms} = g\vec{L}_{ls}$ на направление вектора $\vec{B}$ может иметь одно из двух значений: $p_{msB} = \pm\frac{e\hbar}{2m} = \pm\mu_B$ где $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m}$ - магнетон Бора
Магнетик – вещество способное под действием магнитного поля приобретать магнитный момент (намагничиваться) диамагнетики: $\mu<1$ парамагнетики: $\mu > 1$ ферромагнетики: $\mu >> 1$

Закон полного тока для магнитного поля в веществе. Циркуляция вектора $\vec{H}$

Теорема о циркуляции вектора $\vec{B}$:

Циркуляция вектора магнитной индукции $\vec{B}$: по произвольному замкнутому контуру равна алгебраической сумме токов проводимости и молекулярных токов, охватываемых этим контуром. умноженной на магнитную постоянную: $\oint\limits_L \vec{B}d\vec{l} = \oint\limits_L B_l dl = \mu_0 (I + I')$
Теорема о циркуляции вектора $\vec{H}$ **:** $\oint\limits_L \vec{H}d\vec{l} = I$, где $\vec{H} = \dfrac{\vec{B}}{\mu} - \vec{J}$

Условия на границе раздела двух магнетиков

Вблизи границы раздела двух магнетиков: $B_{n1} = B_{n2}, \dfrac{H_{n1}}{H_{n2}} = \dfrac{\mu_2}{\mu_1}$ $\quad H_{\tau 1} = H_{\tau 2}, \dfrac{B_{\tau 1}}{B_{\tau 2}} = \dfrac{\mu_1}{\mu_2}$

Основы теории Максвелла для электромагнитного поля

Изменяющееся во времени магнитное поле порождает электрическое поле E_B циркуляция которого6 $\oint\limits_L \vec{E}_B d\vec{l} = -\int\limits_S \dfrac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$
Ток смещения: $I = \int\limits_S \dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S}$ Плотность тока смещения: $\vec{j} = \dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t}$. где $\vec{D}$ - вектор электрического смещения
Плотность тока смещения в диэлектрике: $\vec{j}_{см} = \varepsilon_0 \dfrac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \dfrac{\partial \vec{P}}{\partial t}$, где $\varepsilon_0 \dfrac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ - плотность тока смещения в вакууме; $\dfrac{\partial \vec{P}}{\partial t}$ - плотность тока поляризации.
Плотность полного тока: $\vec{j}_{полн} = \vec{j} = \dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t}$
Обобщенная теорема о циркуляции вектора $\vec{H}$: $\oint\limits_L \vec{H}d\vec{l} = \int\limits_S \left(\vec{j} + \dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$

Уравнения Максвелла для электромагнитного поля

Полная система уравнений Максвелла в интегральной форме: $\oint\limits_L \vec{E}d\vec{l} = -\int\limits_S \dfrac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}; \qquad \oint\limits_{Ы} \vec{D}d\vec{S} = \int\limits_V \rho dV$ $\oint\limits_L \vec{H}d\vec{l} = \int\limits_S \left(\vec{j} + \dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}; \qquad \oint\limits_S \vec{B}d\vec{S} = 0$

Величины, входящие в уравнение Максвелла, не являются независимыми и связаны так:

$$\vec{D}=\varepsilon_0\varepsilon\vec{E};\vec{B}=\mu_0\mu\vec{H};\vec{j}=\gamma\vec{E}$$

Полная система уравнений Максвелла в дифференциальной форме

$$rot\vec{E}=-\frac{\partial\vec{B}}{\partial t};\qquad div\vec{D}=\rho;$$

$$rot\vec{H}=\vec{j}+\frac{\partial\vec{D}}{\partial t};\qquad div\vec{B}=0.$$

Следствия из уравнений Максвелла Свойства электромагнитных волн.

Волновое уравнение $\Delta\vec{E}=\frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2};\qquad \Delta\vec{H}=\frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2\vec{H}}{\partial t^2}$.

где $\Delta=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}$ - оператор Лапласа

$\upsilon=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}\frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}=\frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$ - фазовая скорость

$c=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$ - скорость распространения электромагнитных волн в вакууме

Векторы $\vec{E},\vec{H}$ колеблются в одинаковых фазах, причем:

$$\sqrt{\varepsilon_0\varepsilon}E=\sqrt{\mu_0\mu}H$$

Объемная плотность энергии электромагнитных волн?

$$\omega=\frac{1}{2}\left(\varepsilon_0\varepsilon E^2+\mu_0\mu H^2\right)=\varepsilon_0\varepsilon E^2=\mu_0\mu H^2=\sqrt{\varepsilon_0\varepsilon\mu_0\mu}EH=\frac{EH}{\upsilon}$$

Вектор плотности потока энергии электромагнитной волны – вектор Пойнтинга:

$$\vec{\Pi}=\omega\vec{\upsilon}=\left[\vec{E},\vec{H}\right]$$

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. **В вершинах квадрата находятся одинаковые по величине одноименные заряды (рис. 2). Определить величину заряда q_0, который надо поместить в центр квадрата, чтобы система зарядов находилась в равновесии. Будет ли это равновесие устойчивым?**

Условие:

$q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = q$;

q_o - ?

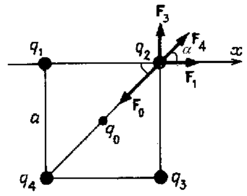


Рис. 2

Решение. Рассмотрим силы, действующие на любой из зарядов в вершинах, например на заряд q_2 (рис. 2). Со стороны зарядов q_1, q_2, q_3 на него действуют силы F_1, F_3, F_4 соответственно, причем $F_1 = F_3 = k\frac{q^2}{a^2}$, где a – сторона квадрата, $F_2 = k\frac{q^2}{(\sqrt{2}a)^2} = k\frac{q^2}{2a^3}$. Сила, действующая на заряд q_2 со стороны заряда q_0 равна $F_0 = k\frac{qq_0}{(\sqrt{2}a/2)^2} = k\frac{2qq_0}{a^2}$. Условие равновесия заряда имеет вид:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \vec{F}_0 = 0,$$

В проекции на ось x это уравнение запишется

$$F_1 + F_4\cos\alpha - F_0\cos\alpha = 0,$$

или $$\frac{kq^2}{a^2} + \frac{\sqrt{2}kq^2}{4a^2} - \frac{\sqrt{2}kqq_0}{a^2} = 0.$$

Откуда:

$$q_0 = q(1 + \frac{\sqrt{2}}{4})/\sqrt{2} = 0,95\ q.$$

Ответ: $q_0 = 0,95\ q$

Следует иметь ввиду, что согласно теореме Ирншоу, система неподвижных точечных зарядов, находящихся на конечном расстоянии друг от друга, не может находиться в состоянии устойчивого равновесия лишь под действием кулоновских сил.

Задача 2. **Электрон влетает в плоский воздушный конденсатор параллельно пластинам со скоростью v_0 = 1,0·10^6 м/с. Длина конденсатора L=1,0 см, напряженность электрического поля в нем Е =5,0·10^3 В/м. Найти скорость v электрона при вылете из конденсатора, его смещение у, отклонение от первоначального направления.**

Условие:

$\upsilon_0 = 1{,}0\cdot10^6$ м/с;

L = 1,0 см = 0,01 м;

E = 5,0·10^3 В/м;

e = 1,6·10^{-19} Кл;

m = 9,1·10^{-31}кг;

υ - ? y - ?

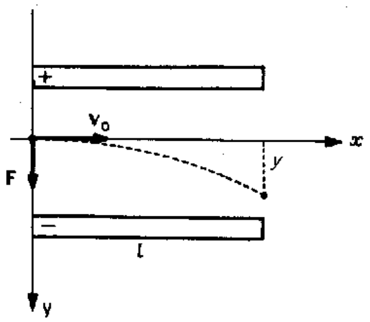


Рис. 3

Решение. Сила тяжести, действующая на электрон, равна $F_T = mg$ = 9,1·10^{-30} Н.

Кулоновская сила равна F = eE = 8·10^{-16} Н, т. е. кулоновская сила много больше, чем сила тяжести. Поэтому можно считать, что движение электрона происходит только под действием кулоновской силы.

Запишем для электрона второй закон Ньютона

$$m\vec{a} = \vec{F}\text{, где } \vec{F} = e\vec{E}\,.$$

Направление осей координат показано на рис. 3. Движение электрона вдоль оси х – равномерное со скоростью υ_0, так как проекция силы F на ось х равна нулю, следовательно, время, в течении которого электрон пролетает между пластинами конденсатора $t = L/v_0$.

Движение электрона вдоль оси у – равноускоренное под действием силы F, направленной вдоль этой оси. Ускорение a_y=a=eE/m. Начальная скорость и смещение электрона вдоль оси у равны:

$$\upsilon_y = 0\,;\; y = \frac{at^2}{2} = \frac{eEL^2}{2m\upsilon_0^2}$$

Размерность: [y] = $\frac{Кл\cdot В/м\cdot м^2}{кг\cdot м^2/c^2} = \frac{Кл\cdot В}{кг\cdot м/c^2} = \frac{Дж}{Н} = \frac{Н\cdot м}{Н} = м$

Вычисления: $y = \dfrac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-4}}{9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^{12}} = 4{,}4 \cdot 10^{-2}$ м

Скорость электрона в момент вылета υ, направленная по касательной к траектории его движения равна $\upsilon = \sqrt{\upsilon_x^2 + \upsilon_y^2}$, где $v_x = v_0$, $v_y = at = \dfrac{e \cdot E \cdot t}{m} = \dfrac{e \cdot E \cdot L}{m\upsilon_0}$

Окончательно:

$$\upsilon = \sqrt{\upsilon_0^2 + (\frac{eEL}{m\upsilon_0})^2}$$

Размерность:

$$[\upsilon] = \frac{Кл \cdot В/м \cdot м}{кг \cdot м/с} = \frac{Кл \cdot В}{кг \cdot м/с} = \frac{Дж}{кг \cdot м/с} = \frac{Н \cdot м}{кг \cdot м/с} = \frac{Н \cdot с}{кг} = \frac{кг \cdot м/с^2}{кг} = \frac{м}{с}$$

Вычисления: $\upsilon = \sqrt{10^{12} + (\dfrac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2}}{9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^{-6}})^2} = 8{,}7 \cdot 10^6$ м/с

Ответ: $v = 8{,}7 \cdot 10^6$ м/с.

Задача 3. **Определить ускоряющую разность потенциалов Δφ, которую должен пройти в электрическом поле электрон, чтобы его скорость возросла от υ_1 = 1,0 Мм/с до υ_2 = 5,0 Мм/с.**

Условие:

υ_1 = 1,0 Мм/с = $1{,}0 \cdot 10^6$ м/с;

υ_2 = 5,0 Мм/с = $5{,}0 \cdot 10^6$ м/с;

e = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл;

m = $9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг;

Δφ - ?

Решение. Работа, совершаемая силами электростатического поля при перемещении заряда из точки 1 в точку 2

$$A = e\,\Delta\varphi. \qquad (1)$$

С другой стороны, она равна изменению кинетической энергии электрона

$$A = W_2 - W_1 = \frac{m\upsilon_2^2}{2} - \frac{m\upsilon_1^2}{2}.$$

(2)

Приравняв выражения (1) и (2), найдем ускоряющую разность потенциалов

$$\Delta\varphi = \frac{m(\upsilon_2^2 - \upsilon_1^2)}{2e}$$

Размерность: $[\Delta\varphi] = \frac{кг \cdot м^2 / с^2}{Кл} = \frac{Н \cdot м}{Кл} = \frac{Дж}{Кл} = \frac{В \cdot Кл}{Кл} = В$

Вычисления: $\Delta\varphi = \frac{9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot (25 \cdot 10^{12} - 10^{12})}{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 68{,}3(В)$

Ответ: $\Delta\varphi = 68{,}3$ В

Задача 4. **К пластинам плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов $\Delta\varphi_1 = 1{,}5$ кВ. Площадь пластин S =150 см^2 и расстояние между ними d = 5,0 мм. После отключения конденсатора от источника напряжения в пространство между пластинами внесли стекло ($\varepsilon = 7$). Определить: 1) разность потенциалов между пластинами после внесения диэлектрика; 2) емкость конденсатора C_1 и C_2 до и после внесения диэлектрика; 3) поверхностную плотность заряда σ на пластинах до и после внесения диэлектрика.**

Условие:

$\Delta\varphi_1 = 1{,}5$ кВ $=1{,}5 \cdot 10^3$ В;

$S = 150$см^2 $= 1{,}5 \cdot 10^{-2}$ м^2;

$d = 5$ мм $= 5 \cdot 10^{-3}$ м;

$\varepsilon_1 = 1$, $\varepsilon_2 = 7$;

$\Delta\varphi_2$ - ? C_1 -? C_2 - ?

σ_1 - ?, σ_2 - ?

Решение. Так как $E_1 = \Delta\varphi_1/d = \frac{\sigma}{\varepsilon_1\varepsilon_0}$ до внесения диэлектрика и

$E_2 = \Delta\varphi_2/d = \dfrac{\sigma}{\varepsilon_2\varepsilon_0}$ после внесения диэлектрика, то

$$\frac{\Delta\varphi_1}{\Delta\varphi_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$$

и

$$\Delta\varphi_2 = \varepsilon_1\Delta\varphi_1/\varepsilon_2.$$

Емкость конденсатора до и после внесения диэлектрика

$$C_1 = \frac{\varepsilon_1\varepsilon_0 S}{d}, \; C_2 = \frac{\varepsilon_2\varepsilon_0 S}{d}.$$

Заряд пластин после отключения от источника напряжения не меняется, т. е. Q = const. Поэтому поверхностная плотность заряда на пластинах до и после внесения диэлектрика

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{Q}{S} = \frac{C_1\Delta\varphi_1}{S} = \frac{C_2\Delta\varphi_2}{S}.$$

Вычисления: $\Delta\varphi_2 = \dfrac{1\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}}{7} = 214B$. $C_1 = \dfrac{1\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}\cdot 1{,}5\cdot 10^{-7}}{5\cdot 10^{-3}} = 26{,}5 n\Phi$;

$$C_2 = \frac{7\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}\cdot 1{,}5\cdot 10^{-7}}{5\cdot 10^{-3}} = 186 n\Phi.$$

Ответ: $\Delta\varphi_2$=214 В, C_1=26,5 пФ, C_2=186 пФ.

***Задача 5.* Найти сопротивление R железного стержня диаметром d = 1 см, если масса стержня m = 1 кг.**

Условие:

d = 1 см = 0,01 м;

m = 1 кг;

ρ=0,087 мкОм·м=8,7.10^{-8} Ом·м;

$\rho_{ж}$=7,7·10^3 кг/м^3;

R -?

Решение:

Сопротивление стержня определяется по формуле

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

где ρ - удельное сопротивление железа, ℓ, S - длина стержня и площадь поперечного сечения.

Масса проволоки

$$m = \rho_{ж} V = \rho_{ж} S l ,$$

где V - объем стержня, $\rho_{ж}$ - плотность стали.

Откуда длина стержня равна:

$$l = \frac{m}{S\rho_{ж}} = \frac{4m}{\pi d^2 \rho_{ж}} ,$$

поскольку площадь поперечного сечения стержня $S = \frac{\pi d^2}{4}$.

Окончательно, сопротивление стержня равно:

$$R = \rho \frac{16m}{\pi^2 d^4 \rho_{ж}} .$$

Размерность: $[R] = \frac{Ом \cdot м \cdot кг}{м^4 \, кг/м^3} = Ом$

Вычисления: $R = \frac{16 \cdot 8{,}7 \cdot 10^{-8}}{\pi^2 \cdot 10^{-8} \cdot 7{,}7 \cdot 10^3} = 1{,}8\, мОм$

Ответ: R = 1,8 мОм

Задача 6. **Ток I =20 А, протекая по кольцу из медной проволоки сечением S = 1 мм^2, создает в центре кольца напряженность H = 178 А/м. Какая разность потенциалов U приложена к концам проволоки. образующей кольцо?**

Условие:

I=20A;

S = 1 мм^2 = 10^{-6} м^2;

H = 178 А/м;

$\rho = 0.017$ мкОм·м=1,7·10^{-8} Ом·м;

U-?

Решение:

Напряженность в центре кругового тока

$$H = \frac{I}{2r}, \qquad (1)$$

Откуда радиус витка равен $r = \frac{I}{2H}$. (2)

К концам проволоки приложено напряжение $U = IR,$ (3)

где сопротивление проволоки равно $R = \rho \frac{l}{S} = \rho \, 2\pi r / S$.

Подставив полученные значения R в (3), получим:

$$U = \frac{\pi \rho I^2}{HS} = 0{,}12B.$$

Размерность: $[U] = \frac{Ом \cdot м \cdot A^2}{A/м \cdot м^2} = Ом \cdot A = B$

Вычисления: $U = \frac{\pi \cdot 1{,}7 \cdot 10^{-8} \cdot 400}{178 \cdot 10^{-6}} = 0{,}12B$

Ответ: I = 0,12 В.

Задача 7. Заряженная частица движется в магнитном поле по окружности со скоростью υ = 10^6 м/с. Индукция магнитного поля B =0,3 Тл. Радиус окружности R = 4 см. Найти заряд q частицы, если известно, что ее энергия W=12 кэВ.

Условие:

υ =10^6 м/с;

B = 0,3 Тл;

R = 4 см = 0,04 м;

W=12кэВ= $1{,}92 \cdot 10^{-14}$Дж;

q-?

Решение:

В магнитном поле на частицу действует сила Лоренца: $\vec{F} = q[\vec{\upsilon}, \vec{B}]$.

Поскольку частица движется по окружности, $F = q\upsilon B$.

Сила Лоренца сообщает частице ускорение $a_n = \frac{\upsilon^2}{R}$.

Следовательно: $q\upsilon B=\dfrac{m\upsilon^2}{R}$. (1)

Энергия частицы: $W=\dfrac{m\upsilon^2}{2}$, отсюда $m\upsilon^2=2W$. (2)

Подставляя (2) в (1), получим:

$$q\upsilon B=\frac{2W}{R}.$$

Из этого уравнения найдем заряд частицы:

$$q=\frac{2W}{\upsilon BR}.$$

Размерность: $[q]=\dfrac{Дж}{м/с\cdot Тл\cdot м}=\dfrac{Дж\cdot с}{Тл\cdot м^2}=\dfrac{Н\cdot м\cdot с}{Н/А\cdot м\cdot м^2}=А\cdot с=Кл$.

Вычисления: $\mathrm{q}=\dfrac{2\cdot 1{,}92\cdot 10^{-14}}{10^6\cdot 0{,}3\cdot 0{,}04}=3{,}2\cdot 10^{-19}\ Кл$.

Ответ: $q = 3{,}2\cdot 10^{-19}$ Кл.

***Задача 8*. В однородном магнитном поле индукция которого B = 0.8 Тл. равномерно вращается рамка с угловой скоростью ω = 15 рад/с. Площадь рамки $S = 150$ см^2. Ось вращения находится в плоскости рамки и составляет угол $\alpha = 30^0$ с направлением магнитного поля. Найти максимальное значение ЭДС индукции E_0 во вращающейся рамке.**

Условие:

B = 0,8 Тл;

ω =15 рад/с;

S= 150 см^2 =1,5.10^{-2} м^2;

$\alpha = 30^0$;

E_0 - ?

Решение:

Мгновенное значение ЭДС индукции определяется законом Фарадея

$$E=-\frac{d\Phi}{dt}. \qquad (1)$$

При вращении рамки магнитный поток через рамку изменяется по закону:

$$\Phi = BS\sin\alpha\cos\omega t\,. \qquad (2)$$

Подставив (2) в (1) и продифференцировав по времени, найдем мгновенное значение ЭДС индукции

$$E = BS\omega\sin\alpha\sin\omega t\,.$$

Максимального значения ЭДС достигнет при $\sin\omega t = 1$. Отсюда

$$E_0 = BS\omega\sin\alpha\,.$$

Вычисления: $E_0 = 0{,}8 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-2} \cdot 15 \cdot 0{,}5 = 0{,}09$ В

Ответ: $E_0 = 0{,}09$ В.

Задача 9. **Соленоид с сердечником из магнитного материала содержит N=1200 витков провода, прилегающих друг к другу. При силе тока I=4 А магнитный поток Ф = 6 мкВб. Определить индуктивность *L* соленоида и энергию *W* магнитного поля соленоида.**

Условие:

N = 1200;

I = 4A;

Ф = 6 мкВб = $6\cdot10^{-6}$Вб;

L - ? W - ?

Решение: Индуктивность *L* связана с потокосцеплением Ψ и силой тока *I* соотношением:

$$\Psi = L\cdot I.$$

(1)

Потокосцепление в свою очередь может быть выражено через поток и число витков *N* (при условии, что витки плотно прилегают друг к другу):

$$\Psi = N\cdot\Phi$$

.

(2)

Из выражений (1) и (2) находим интересующую нас индуктивность соленоида:

$$L = \frac{N\cdot\Phi}{I}\,. \qquad (3)$$

Энергия W магнитного поля соленоида с индуктивностью L при силе тока I, протекающего по его обмотке, может быть вычислена по формуле:

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 .$$

Подставив в эту формулу полученное ранее выражение индуктивности (3), получим:

$$W = \frac{1}{2} \cdot N \cdot \Phi \cdot I ;$$

Вычисления: $L = \dfrac{1{,}2 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{4} = 1{,}8\,(\textit{мГн})$

$$W = \frac{1}{2} \cdot 1{,}2 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{-6} \cdot 4 = 14{,}4(\textit{мДж})$$

Ответ: L = 1,8 мГн, W = 14,4 Дж

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2
ЗАДАЧИ

200. Имеются лежащие на одной прямой тонкий стержень длиной 1м и отстоящий от него на 0,5м маленький шарик. Стержень и шарик обладают зарядами по 10^{-6} Кл каждый. Определить силу их электростатического взаимодействия.

201. Если в центр квадрата, в вершинах которого находятся заряды по +2 нКл, поместить отрицательный заряд, то результирующая сила, действующая на каждый заряд, будет равна нулю. Вычислить величину отрицательного заряда.

202. Два одинаковых заряда находятся в воздухе на расстоянии 0,1 м друг от друга. Напряженность поля в точке, удаленной на расстоянии 0,06 м от одного и 0,08 м от другого заряда, равна 10 кВ/м. Определить потенциал поля в этой точке и величины зарядов.

203. На бесконечном тонкостенном цилиндре диаметром d=20 см равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью σ=4 мкКл/м^2. Определить напряженность поля в точке, отстоящей от поверхности цилиндра на расстоянии 15 см.

204. В поле бесконечной равномерно заряженной плоскости с поверхностной плотностью заряда 10 мкКл/м^2 перемещается заряд из точки, находящейся на расстоянии 0,1 м от плоскости, в точку на расстоянии 0,5 м от нее. Определить заряд, если при этом совершается работа 1 мДж.

205. Найти объемную плотность энергии электрического поля, создаваемого заряженной металлической сферой радиусом 5 см на расстоянии 5 см от ее поверхности, если поверхностная плотность заряда на ней 2 мкКл/м^2.

206. Заряд 1 нКл находится на расстоянии 0,2 м от бесконечно длинной равномерно заряженной нити. Под действием поля нити заряд перемещается на 0,1 м. Определить линейную плотность заряда нити, если работа сил поля равна 0,1 мкДж.

207. Конденсатор емкостью 3мкф зарядили до разности потенциалов 300В, а конденсатор емкостью 2 мкФ - до 200В. После зарядки конденсаторы соединили параллельно. Найти разность потенциалов на обкладках конденсаторов после их соединения.

208. К пластинам плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов U = 500В. Площадь пластин S = 200см^2, расстояние между ними d_1 = 1,5мм. Пластины раздвинули до расстояния d_2 = 1,5см. Найти энергию

W_1 и W_2 конденсатора до и после раздвижения пластин, если источник напряжения перед раздвижением: 1) отключался; 2) не отключался.

209. Протон пролетает в плоском конденсаторе, длина пластин которого ℓ = 10см, а напряженность электрического поля внутри – E = 40кВ/м. Какова первоначальная энергия протона, если он влетает в конденсатор параллельно пластинам, а вылетает под углом α = 15° к ним?

210. Узкий пучок электронов, обладающий энергией 1600эВ, проходит в вакууме посередине между пластинами плоского конденсатора. Какое минимальное напряжение необходимо подвести к пластинам, чтобы электроны не вышли за пределы пластин? Длина пластин ℓ = 2см, а расстояние между ними d = 1см.

211. Определить плотность электрического тока в железном проводнике, если тепловая энергия, выделяемая в единице объема за секунду, равна $9{,}8 \cdot 10^4$ Дж/(м^3 · с).

212. Определить напряженность электрического поля в медном проводнике объемом V = 10 см^3, если при прохождении по нему постоянного тока в течении t = 4 мин выделилось Q = 2 Дж теплоты. Удельное сопротивление меди равно ρ=0,017 мкОм.

213. Сколько витков нихромовой проволоки надо навить на фарфоровый цилиндр диаметром D =1,5 см, чтобы получить кипятильник, в котором в течении τ = 10 мин. закипит m = 120 г воды если ее начальная температура t = 10^{0}С? КПД принять равным η= 60%. Диаметр проволоки d =0,2 мм; напряжение U =100 В. ? Удельное сопротивление нихрома ρ = 100 мкОм.м.

214. Участок электрической цепи составлен из трех кусков провода одинаковой длины, изготовленных из одного и того же материала, соединенных последовательно. Сечения кусков провода равны S_1= lмм^2, S_2 = 2мм^2 и S_3 = 3мм^2. Разность потенциалов на концах участка U = 12В. Найти разность потенциалов на каждом куске провода.

215. Нихромовую проволоку длиной 20м включили последовательно с лампой мощностью 40Вт, для того, чтобы лампа, рассчитанная на напряжение 120В, давала нормальный накал при напряжении в сети 220В. Найти диаметр этой проволоки.

216. Имеется 120 - вольтовая лампочка мощностью 40Вт. Какое добавочное сопротивление надо включить последовательно с лампочкой, чтобы она давала нормальный накал при напряжении в сети 220В? Сколько метров нихромовой проволоки диаметром 3мм надо взять, чтобы получить такое сопротивление?

217. Миллиамперметр со шкалой от 0 до 15мА имеет сопротивление, равное 5 Ом. Как должен быть включен прибор в комбинации с сопротивлением (и каким) для измерения:1) силы тока от 0 до 0,15А; 2) разности потенциалов от 0 до 150В?

218. Катушка и амперметр, соединены последовательно и подключены к источнику тока. К клеммам катушки присоединен вольтметр с сопротивлением г = 4кОм. Амперметр показывает силу тока I = 0,3A, вольтметр - напряжение U = 120B. Определить сопротивление R катушки. Определить относительную погрешность γ, которая будет допущена при измерении сопротивления, если пренебречь силой тока, текущего через вольтметр.

219. Найти внутреннее сопротивление и ЭДС источника E , если при силе тока I_1 = 30 A мощность во внешней цепи P_1 = 180 Вт, а при силе тока I_2 = 10 A эта мощность равна P_2 = 200 Вт.

220. Элемент замыкают сначала на внешнее сопротивление R_1 = 2 0м, а затем на внешнее сопротивление R_2 = 0,5 Ом. Найти э.д.с. элемента и его внутреннее сопротивление, если известно, что в каждом из этих случаев, мощность, выделяемая во внешней цепи, одинакова и равна 2,54 Вт.

221. Найти внутреннее сопротивление аккумулятора r,если при увеличении внешнего сопротивления с R_1 = 3 Ом до R_2 = 10,5 Ом КПД схемы увеличился вдвое.

222. Источник тока, имеющий ЭДС 15B и внутреннее сопротивление 0,4 Ом, питает током 10 ламп сопротивлением по 240 Ом и 5 ламп сопротивлением 145 Ом каждая. Лампы соединены параллельно, сопротивление подводящих проводов 2,5 Ом. Найти напряжение, под которым работают лампы.

223. Электропечь должна давать количество тепла Q = 100,6 кДж за время t = 10 мин. Какова должна быть длина нихромовой проволоки сечением $S = 5.10^{-7}$ $м^2$, если печь предназначена для электросети с напряжением U = 36 B ? Удельное сопротивление нихрома ρ = 100 мкОм·м.

224. Электрический чайник с 600$см^3$ воды при 9°С, сопротивление обмотки которого равно 16Ом, забыли выключить. Через сколько времени после включения вся вода в чайнике выкипит? Напряжение в сети 120В, К.П.Д. чайника 60%.

225. Какую мощность P потребляет нагреватель электрического чайника, если объем воды V = 1 л закипает через время t = 5 мин. Каково сопротивление нагревателя R, если напряжение в сети U = 120 ? Начальная температура воды t_0 = 13,5^{0}C. Теплоемкость воды c = 4,19кДж/кг.К. плотность воды ρ =10^3 кг/$м^3$

226. От батареи, ЭДС которой E = 600В, требуется передать энергию на расстояние L = 1км. Потребляемая мощность P = 5кВт. Найти минимальные потери мощности в сети, если диаметр медных проводящих проводов d = 0,5см.

227. От источника с напряжением U = 800В необходимо передать потребителю мощность P = 10кВт на некоторое расстояние. Какое наибольшее сопротивление может иметь линия передачи, чтобы потери энергии в ней не превышали 10 % от передаваемой мощности?

228. Напряжение на шинах электростанции равно 10кВ. Расстояние до потребителя 500км (линия двухпроводная). Станция должна передать потребителю мощность 100кВт. Потери напряжения на проводах не должны превышать 4%. Вычислить вес медных проводов на участке электростанция - потребитель.

229. Трамвайный вагон потребляет ток 100А при напряжении 600В и развивает силу тяги 3000Н. Определить скорость движения трамвая на горизонтальном участке пути, если КПД электродвигателя трамвая 80 %.

230. Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону $I = I_0\sin\omega t$. Найти заряд Q, проходящий через поперечное сечение проводника за время t, равное половине периода T, если начальная сила тока I_0 = 10А, циклическая частота $\omega = 50\pi$ $с^{-1}$.

231. Сила тока в проводнике сопротивлением R = 12 Ом равномерно убывает от I_1 = 5А до I_2 = 0 в течение t = 10с. Определить теплоту Q, выделившуюся в этом проводнике за указанный промежуток времени.

232. За время t = 8с при равномерно возраставшей силе тока в проводнике сопротивлением R = 8 Ом выделилось количество теплоты Q = 500Дж. Определить заряд q, прошедший в проводнике, если сила тока в начальный момент времени равна нулю.

233. Сила тока в проводнике сопротивлением R = 10 Ом за время t =50с равномерно нарастает от I_1 =5А до I_2 = 10А. Определить количество теплоты Q, выделившееся за это время в проводнике.

234. Напряжение на резисторе с сопротивлением R = 100 Ом меняется во времени по закону $U = k\sqrt{t}$, где $k = 2$, если время измеряется в секундах, напряжение - в вольтах. Найти количество теплоты, выделяющееся на резисторе за первые 100с.

235. Магнитная стрелка помещена в центре кругового витка, плоскость которого расположена вертикально и составляет угол $\varphi = 30°$ с плоскостью магнитного меридиана. Радиус витка R=20*см.*Определить угол α, на который повернётся магнитная стрелка, если по проводнику пойдёт ток силой I=25A. Горизонтальную составляющую индукцию магнитного поля Земли принять равной $B = 20 \cdot 10^{-3}$ $Тл$.

236. Два кольца с токами $I_1 = 5A$, $I_2 = 10A$ расположены так, что имеют общий центр, а плоскости их составляют угол $45°$. Найти индукцию магнитного поля в общем центре колец, если радиусы колец $R_1 = 12 см$; $R_2 = 16 см$.

237. По проводнику, согнутому в виде прямоугольника со сторонами *а* = 8 *см* и *в* = 12 *см* течёт ток силой I = 50 *А*. Определить напряжённость Н и индукцию магнитного поля в точке пересечения диагоналей.

238. Перпендикулярно плоскости кольцевого тока 10 *А* радиусом 20 *см* проходит изолированный провод так, что он касается кольца. Ток в проводе равен 10 *А*. Найти суммарную напряжённость магнитного поля в центре кольца.

239. По трём длинным параллельным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии d = 10 *см* друг от друга, текут токи одинаковой силы I = 100 *А*. В двух проводах направления токов совпадают. Вычислить силу F, действующую на единицу длины каждого провода.

240. Напряжённость магнитного поля составляет 50 *А/м*. В этом поле находится плоская рамка площадью 10 $см^2$, которая может свободно вращаться. Плоскость рамки вначале совпадала с направлением поля. Затем по рамке кратковременно пустили ток 1 *А* и рамка получила угловое ускорение 100 $с^{-2}$. Считая вращающий момент постоянным, найти момент инерции рамки (μ=1).

241. Плоская круглая рамка состоит из 20 витков, радиусом 2 *см*. По ней протекает ток в 1 *А*. Нормаль к рамке составляет угол 90^{o} с направлением магнитного поля напряжённостью 30 *А/м*. Как и на сколько изменится вращающий момент, действующий на рамку, если из витков рамки сделать один круглый виток? Остальные данные считать прежними.

242. Плоский контур с током I = 5 *А* свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией B = 0,4 *Тл*. Площадь контура S = 200 $см^2$. Поддерживая ток в контуре неизменным, его повернули относительно оси, лежащей в плоскости контура, на угол α = 40^{o}. Определить совершённую при этом работу.

243. Напряжённость $\vec{H}$ магнитного поля в центре кругового витка равна $500\,А/м$. Магнитный момент витка $P_m = 6Ам^2$. Вычислить силу тока I в витке и радиус R витка.

244. Частица, несущая один элементарный заряд, влетела в однородное магнитное поле с индукцией B=0,01*Тл*. Определить момент импульса, которым обладала частица в магнитном поле, если радиус траектории частицы равен R = 0,5 *мм*.

245. Электрон движется в магнитном поле с индукцией B = $4\cdot10^{-3}$ *Тл* по окружности радиусом R = 0,8 *см*. Какова кинетическая энергия электрона?

246. Протон и α – частица, ускоренные одинаковой разностью потенциалов, влетают в однородное поле. Во сколько раз радиус R кривизны траектории протона больше радиуса кривизны траектории α – частицы?

247. Протон движется по окружности в однородном магнитном поле с индукцией B = 2 *Тл.* Определить силу эквивалентного кругового тока, создаваемого движением протона.

248. Плоский конденсатор, между пластинами которого создано электрическое поле напряжённостью E = 100 *В/м*, помещен в магнитное поле так, что силовые линии полей взаимно перпендикулярны. Какова должна быть индукция B магнитного поля, чтобы электрон с начальной энергией T = 4 *кэВ*, влетевший в пространство между пластинами конденсатора перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, не изменил направления скорости?

249. Квадратный контур со стороной a = 10 *см*, в котором течёт ток силой I = 6 *А*, находится в магнитном поле с индукцией B = 0,8 *Тл* под углом $\alpha = 50^o$ к линиям индукции. Какую работу нужно совершить, чтобы при неизменной силе тока в контуре изменить его форму с квадрата на окружность?

250. В однородном магнитном поле напряжённостью 1000*А/м* перемещается перпендикулярно полю провод длиной 40 *см* сопротивлением 10 *Ом* со скоростью 20 *м/с*. Какой ток пошёл бы по проводнику, если бы его замкнули? (влияние замыкающего повода не учитывать).

251. Число витков на единице длины однослойного соленоида без сердечника составляет $20\dfrac{1}{см}$, его длина 30 *см*, диаметр 2 *см*, сопротивление обмотки 300 *Ом*. В соленоиде ток увеличился от нуля до 5 *А*. Вычислить величину заряда, прошедшего через соленоид.

252. Силу тока в катушке равномерно увеличивают при помощи реостата на $\Delta I = 0{,}6A$ в секунду. Найти среднее значение ЭДС самоиндукции, если индуктивность катушки L = 5 *мГн*.

253. Замкнутый соленоид (тороид) со стальным сердечником имеет n=10см витков на каждый сантиметр длины. По соленоиду течет ток силой I=2A. Вычислить магнитный поток Ф в сердечнике, если его сечение S=4см^2. При решении использовать график B(H).

254. Обмотка тороида имеет n=8 витков на каждый сантиметр длины (по средней линии тороида). Вычислить объемную плотность энергии W магнитного поля при силе тока I=2 A. Сердечник выполнен из стали, и магнитное поле во всем объеме однородно. При решении использовать график B(H).

255. В электрической цепи, содержащей сопротивление r = 20 *Ом* и индуктивность L = 0,6 *Гн*, течёт ток силой I = 20 *А*. Определить силу тока в цепи через Δt = 0,2 *мс* после её размыкания.

256. Источник тока замкнули на катушку сопротивлением r=200*Ом.* По истечении времени t = 0,1 *с* сила тока замыкания достигла 0,95 предельного значения. Определить индуктивность катушки.

257. Энергия поля однослойного соленоида при токе в 1,2 *А* равна 2 *Дж*. Чему равна магнитная проницаемость сердечника, если плотность витков соленоида $10\frac{1}{см}$, длина его 1 *м*, площадь поперечного сечения 10 *см* ^{2}.

258. Обмотка соленоида содержит n = 20 витков на каждый сантиметр длины. При какой силе тока объёмная плотность энергии магнитного поля будет ω = 0,1 *Дж/м* ^{3}?. Сердечник выполнен из немагнитного материала, и магнитное поле во всём объёме однородно.

259. Объёмная плотность энергии однородного магнитного поля в воздухе 500 *Дж/м* ^{3}. В этом поле перпендикулярно ему расположен прямолинейный проводник с током 50 *А*. С какой силой поле действует на единицу длины проводника?

1. Основные физические постоянные

Физические постоянные	Обозначения	Значения
Ускорение свободного падения	g	9,81 м/с^2
Гравитационная постоянная	G	$6{,}67\cdot10^{-11}$ м^3/кг·с^2
Постоянная Авогадро	N_A	$6{,}62\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$
Молярная газовая постоянная	R	8,31Дж/моль·К
Постоянная Больцмана	k	$1{,}38\cdot10^{-23}$ Дж/К
Элементарный заряд (заряд электрона)	e	$1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл
Скорость света в вакууме	c	$3\cdot10^{8}$ м/с
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5{,}67\cdot10^{-8}$ Вт/м^2·К^4
Постоянная закона смещения Вина	b	$2{,}9\cdot10^{-3}$ м·К
Постоянная Планка	h	$6{,}62\cdot10^{-34}$ Дж·с
Комптоновская длина волны электрона	λ_C	$2{,}43\cdot10^{-12}$ м
Атомная единица массы	а.е.м.	$1{,}66\cdot10^{-27}$ кг
Электрическая постоянная	ε_0	$8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi\cdot10^{-7}$ Гн/м

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Приставка			Приставка		
Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
экса	Э	10^{18}	деци	д	10^{-1}
пэта	П	10^{15}	санти	с	10^{-2}
тера	Т	10^{12}	милли	м	10^{-3}
гига	Г	10^{9}	микро	мк	10^{-6}
мега	М	10^{6}	нано	н	10^{-9}
кило	к	10^{3}	пико	п	10^{-12}
гекто	г	10^{2}	фемто	ф	10^{-15}
дека	да	10^{1}	атто	а	10^{-18}

Греческий алфавит

Обозначения букв	**Названия букв**	**Обозначения букв**	**Названия букв**
Α,α	альфа	Ν,ν	ню (ни)
Β,β	бета	Ξ,ξ	кси
Γ,γ	гамма	Ο,ο	омикрон
Δ,δ	дельта	Π,π	пи
Ε,ε	эпсилон	Ρ,ρ	Ро
Ζ,ζ	дзета	Σ,σ	сигма
Η,η	эта	Τ,τ	тау
Θ,θ	тета	Υ,υ	ипсилон
Ι,ι	йота	Φ,φ	фи
Κ,κ	каппа	Χ,χ	хи
Λ,λ	лямбда	Ψ,ψ	пси
Μ,μ	ми (мю)	Ω,ω	омега