

Государственное образовательное учреждение высшего профессионально-
го образования
Ивановский Государственный химико-технологический университет
Министерство образования и науки РФ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ФИЗИКЕ
ДЛЯ АБИТУРИЕНТОВ ИГХТУ**

Составители: В.Н.Петрова
Н.Л.Лебедева
Под редакцией Г.В.Гиричева

Иваново 2007

Составители: В.Н.Петрова, Н.Л.Лебедева; под ред. Г.В.Гиричева

УДК 53 (07)

Методические указания по физике для абитуриентов ИГХТУ / Иван. гос. хим.-технол. ун-т; Сост. В.Н.Петрова, Н.Л.Лебедева; Под ред. Г.В.Гиричева. – Иваново, 2007. - 44 с.

Методические указания предназначены для поступающих в ИГХТУ. Указания содержат примеры экзаменационных билетов прошлых лет. Теоретические основы курса физики последовательно и кратко представлены в виде основных законов и формул. Приведены примеры решения типовых задач по каждому разделу курса общей физики с подробными пояснениями и графическими иллюстрациями, разобраны основные операции над векторами.

Рецензент профессор. доктор химических. наук В.В. Рыбкин (Ивановский государственный химико-технологический университет)

Редактор

Лицензия ЛР №020459 от 10.04.97. Подписано в печать 27.04.97. Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага газетная. Усл. печ. л. __. Тираж _____ экз. Заказ _____.

Ивановский Государственный химико-технологический университет.
153460, г.Иваново, пр.Ф.Энгельса, 7.

ПРОГРАММА ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В ВУЗЫ ПО ФИЗИКЕ

При проведении испытаний (экзаменов) по физике основное внимание должно быть обращено на понимание абитуриентом сущности физических явлений и физических законов, на их умение толковать физический смысл величин и понятий, а также на умение решать задачи по разделам программы физики.

Экзаменуемый должен знать единицы основных физических величин системой единиц СИ и уметь пользоваться ими при расчетах.

Экзаменуемый должен проявить осведомленность в вопросах, связанных с историей важнейших открытий в физике и ролью отечественных и зарубежных ученых в развитии физики.

1. Механика

1.1. Кинематика

Механическое движение. Материальная точка. Траектория. Путь и перемещение. Скорость и ускорение. Равномерное и равноускоренное прямолинейное движение. Относительность движения. Сложение скоростей. Графическое представление движения. Графическое отображение зависимостей кинематических величин от времени при равномерном и равноускоренном движении.

Равномерное движение по окружности (центростремительное ускорение).

1.2. Динамики

Первый закон Ньютона. Инерциальная система отсчета. Принцип относительности Галилея.

Масса. Сила. Второй закон Ньютона. Сложение сил. Момент силы. Условия равновесия тел. Центр масс.

Третий закон Ньютона.

Силы упругости. Закон Гука. Силы трения. Силы трения покоя. Силы трения скольжения. Коэффициент трения. Движение тела с учетом силы трения.

Гравитационные силы. Закон всемирного тяготения. Силы тяжести. Вес тела. Движение тела под действием силы тяжести. Движение искусственных спутников. Невесомость. Первая космическая скорость.

1.3. Законы сохранения в механике

Импульс тела. Закон сохранения импульса. Реактивное движение. Значение работ К.Э. Циолковского для космонавтики.

Механическая работа. Мощность. Кинетическая и потенциальная энергия. Закон сохранения энергии в механике. Коэффициент полезного действия механизмов.

1.4. Жидкости и газы

Давление. Закон Паскаля для жидкостей и газов. Барометры и манометры. Сообщающиеся сосуды. Принцип устройства гидравлического пресса.

Атмосферное давление. Изменение атмосферного давления с высотой.

Архимедова сила. Условия плавания тел жидкости.

Движение жидкости по трубам. Зависимость давления жидкости от скорости ее течения.

2. Молекулярная физика. Тепловые явления

2.1. Основы молекулярно - кинетической теории

Опытные обоснования основных положений молекулярно- кинетической теории. Масса и размер молекул. Постоянная Авогадро. Броуновское движение. Взаимодействие молекул. Идеальный газ.

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа. Температура и ее измерение. Абсолютная температурная шкала. 2.2. Тепловые явления

Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева - Клапейрона). Универсальная газовая постоянная. Изотермический, изохорный и изобарный процессы.

Внутренняя энергия. Количество теплоты. Теплоемкость. Работа в термодинамике. Закон сохранения энергии в тепловых процессах (первый закон термодинамики). Применение первого закона термодинамики к изо-процессам. Адиабатный процесс. Необратимость тепловых процессов.

Принцип действия тепловых двигателей. КПД теплового двигателя и его максимальное значение. Тепловые двигатели и охрана природы.

Испарение и конденсация. Насыщенные и ненасыщенные пары. Кипение жидкостей. Зависимость температуры кипения от давления. Влажность воздуха.

Поверхностное натяжение жидкостей. Сила поверхностного натяжения. Смачивание. Капиллярные явления.

Кристаллические и аморфные тела. Свойства твердых тел. Упругая-деформация.

3. Основы электродинамики

3.1. Электростатика

Электрический заряд. Взаимодействие заряженных тел. Закон Кулона. Закон сохранения электрического заряда.

Электрическое поле. Напряженность электрического поля. Электрическое поле точечного заряда. Принцип суперпозиции полей. Проводники в электрическом поле.

Диэлектрики в электрическом поле. Диэлектрическая проницаемость.

Работа электрического поля по перемещению заряда. Потенциал и разность потенциалов. Потенциал поля точечного заряда. Связь между напряженностью электрического поля и потенциалом.

Емкость. Конденсаторы. Емкость плоского конденсатора. Энергия электрического поля.

3.2. Законы постоянного тока

Электрический ток. Сила тока. Закон Ома для участка цепи. Сопротивление проводников. Последовательное и параллельное соединение проводников. Электродвижущая сила. Закон Ома для полной цепи. Работа и мощность тока.

Электрический ток в различных средах. Электронная проводимость металлов. Зависимость сопротивления от температуры. Сверхпроводимость. Электрический ток в жидкостях. Законы электролиза. Электрический ток в газах.

Полупроводники. Электропроводность полупроводников и ее зависимость от температуры. Собственная и примесная проводимость полупроводников. Полупроводниковый диод. Транзистор.

3.3. Магнитное поле. Электромагнитная индукция

Магнитное взаимодействие токов. Магнитное поле. Индукция магнитного поля. Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле. Закон Ампера.

Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца.

Магнитные свойства вещества. Магнитная проницаемость. Ферромагнетизм.

Электромагнитная индукция. Магнитный поток. Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца. Явление самоиндукции. Индуктивность. Энергия магнитного поля.

4. Колебания и волны

4.1. Механические колебания и волны

Гармонические колебания. Амплитуда, период и частота колебаний. Математический маятник. Период колебаний математического маятника. Колебания груза на пружине.

Превращение энергии при гармонических колебаниях. Вынужденные колебания. Резонанс. Понятие об автоколебаниях.

Распространение механических волн в упругих средах. Скорость распространения. Длина волны. Поперечные и продольные волны.

Звуковые волны. Скорость звука. Громкость звука и высота тона.

4.2. Электромагнитные колебания и волны

Свободные электромагнитные колебания в контуре. Превращение энергии в колебательном контуре. Собственная частота колебаний в контуре.

Вынужденные электрические колебания. Переменный электрический ток. Генератор переменного тока. Действующие значения силы тока и напряжения. Резонанс в электрической цепи.

Трансформатор. Передача электроэнергии. Электромагнитные волны. Скорость их распространения. Излучение и прием электромагнитных волн. Принцип радиосвязи. Свойства электромагнитных волн.

5. Оптика

5.1. Геометрическая и волновая оптика

Прямолинейное распространение света. Закон отражения и преломления света. Показатель преломления. Полное внутреннее отражение. Предельный угол полного внутреннего отражения. Ход лучей в трехгранной призме. Построение изображений в плоском зеркале.

Собирающая и рассеивающая линзы. Формула тонкой линзы. Построение изображений в линзах. Фотоаппарат. Глаз. Очки.

Скорость света и ее опытное определение. Дисперсия. Спектральный анализ. Шкала электромагнитных волн.

Интерференция света и ее применение в технике.

Дифракция света. Дифракционная решетка.

5.1. Квантовая оптика

Непрерывный и линейчатый спектры. Спектральный анализ. Фотоэффект и его законы. Кванты света. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Постоянная Планка. Применение фотоэффекта в технике.

Световое давление. Опыты П.Н. Лебедева. Лазер.

6. Атомная и ядерная физика

Опыт Резерфорда по рассеянию α - частиц. Ядерная модель атома. Постулаты Бора. Испускание и поглощение света атомом.

Экспериментальные методы регистрации заряженных частиц. Радиоактивность. Изотопы. Альфа-, бета- и гамма-излучение. Протоны и нейтроны. Энергия связи атомных ядер. Ядерные реакции. Деление ядер урана. Ядерный реактор. Термоядерные реакции.

ПРИМЕРЫ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ БИЛЕТОВ

Ниже представлены два примера экзаменационных билетов.

Первый из них дается в том виде, в каком абитуриент получает его на экзамене с обязательным указанием максимальной оценки за ответ на каждое задание билета, которая может быть выставлена.

Второй сопровождается макетами ответов на задания экзаменационного билета.

Билет XXX

Задание 1.

Радиоактивность. Изотопы. Альфа-, бета- и гамма-излучение. Протоны и нейтроны. Энергия связи атомных ядер.

(10 баллов)

Задание 2.

Трансформатор. Передача электроэнергии. Электромагнитные волны. Скорость их распространения. Принцип радиосвязи.

(10 баллов)

Задание 3.

Найти частоту и длину волны излучения, масса фотонов которого равна массе покоя электрона.

(10 баллов)

Задание 4.

Какую работу совершит кислород массой 320 г при изобарном нагревании на 10 К?

(10 баллов)

Задание 5.

Материальная точка массой 1 кг равномерно движется по окружности со скоростью 10 м/с. Найти изменение импульса за одну четверть периода, половину периода, период.

(15 баллов)

Задание 6.

Среднее давление пара в цилиндре паровой машины 10^6 Па. Площадь поршня 200 см^2 , ход поршня 50 см, число оборотов в минуту 180. Найти мощность машины.

(20 баллов)

Задание 7.

Два шарика массой 2 г каждый подвешены в воздухе на тонких шелковых нитях длиной 2 м. Определить расстояние между центрами шариков после того как каждому из них был сообщен заряд $5 \cdot 10^{-8}$ Кл.

(25 баллов)

Билет XXX

Задание 1.

Гравитационные силы. Закон всемирного тяготения. Сила тяжести.

Ответ на задание 1.

Две материальные точки притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними (закон всемирного тяготения)

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

где $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$ — гравитационная постоянная. Если тело массой m находится над поверхностью Земли на высоте h , то на него действует сила земного притяжения, равная по модулю

$$F = G \frac{m M_3}{(R_3 + h)^2}.$$

Эта сила называется силой тяжести F_T . Ускорение, вызванное этой силой, называется *ускорением свободного падения* g . Согласно второму закону Ньютона, $F_T = mg$, откуда

$$g = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}.$$

Если тело находится на поверхности Земли или на близком от нее расстоянии h , то можно принять, что

$$g = G \frac{M_3}{R_3^2}.$$

т.е. ускорение свободного падения имеет для всех тел не только одинаковое, но и не зависящее от массы этих тел постоянное значение.

Задание 2.

Явление самоиндукции Индуктивность. Энергия магнитного поля.

Ответ на задание 2.

При изменении силы тока в контуре будет изменяться также и сцепленный с ним магнитный поток; В результате в контуре индуцируется э.д.с. Возникновение э.д.с. индукции в проводящем контуре при изменении в нем силы тока называется явлением самоиндукции.

Сцепленный с контуром магнитный поток Φ пропорционален силе тока I в контуре

$$\Phi = LI,$$

где коэффициент пропорциональности L называется индуктивностью контура и измеряется в генри: 1 Гн - индуктивность такого контура, в котором ток силой 1 А создает пронизывающий контур магнитный поток 1 Вб. $1 \text{ Гн} = 1 \text{ Вб/А} = 1 \text{ В} \cdot \text{с/А}$

Индуктивность контура зависит от его геометрической формы, размеров, а также от магнитной проницаемости той среды, в которой он находится.

Э.Д.С. самоиндукции

$$\varepsilon_c = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Знак минус, обусловленный правилом Ленца, показывает, что явление самоиндукции приводит к замедлению изменения силы тока в нем.

Если ток во времени будет возрастать, то ток самоиндукции будет направлен ему навстречу и будет тормозить скорость его возрастания. Если ток в контуре во времени убывает, т.е. индукционный ток имеет такое же направление, как и убывающий ток, и замедляет его убывание.

Проводник, по которому протекает электрический ток, всегда окружен магнитным полем. Энергия магнитного поля контура с током

$$W_{\text{маг}} = \frac{LI^2}{2}$$

Задание 3.

Как изменится мощность электроплитки, если ее спираль укоротить вдвое?

Ответ на задание 3.

Дано: $l_2 = l_1/2$

Найти: P_2/P_1

Решение: при изменении длины спирали плитки изменяется ток, текущий по спирали, в то время как напряжение U в сети остается постоянным. Поэтому удобно воспользоваться формулой, которая выражает собой закон Джоуля – Ленца, в следующем виде:

$$P = \frac{U^2}{R}. \quad (1)$$

Сопротивление проводника цилиндрической формы пропорционально длине проводника и обратно пропорционально площади поперечного сечения

$$R = \rho \frac{l}{s}. \quad (2)$$

Из этих двух формул находим отношение

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{2l_1}{l_2} = 2$$

Ответ: мощность увеличится в 2 раза.

Задание 4.

При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул азота равна 830 м/с?

Ответ на задание 4.

Дано: $v_{кв} = 830$ м/с

молярная масса азота $M=0.028$ кг/моль

Найти: T

Решение: для решения задачи воспользуемся формулой, связывающей между собой температуру со средней кинетической энергией поступательного движения молекул

$$v_{кв} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \quad (1)$$

где k – постоянная Больцмана, m – масса молекулы.

Массу одной молекулы азота можно найти, поделив молярную массу на число Авогадро

$$m = \frac{M}{N_a} \quad (2)$$

Выразив температуру из уравнения (1) с учетом соотношения (2), получим

$$T = \frac{mv^2}{3k} = \frac{Mv^2}{3kN_a} = \frac{28 \cdot 10^{-3} \cdot 830^2}{3 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 6.02 \cdot 10^{23}} = 774 \text{ (К)}$$

Ответ: $T=774$ К

Задание 5.

Сколько времени падало тело, если за последние 2 с оно прошло 60 м.

Трением тела о воздух пренебречь.

Ответ на задание 5.

Дано: $t_2=2$ с, $s_2=60$ м

Найти: t

Решение: пройденный телом путь s за время t разобьем на две части – s_1 , путь, пройденный телом за время t_1 , и s_2 , путь, пройденный за время t_2 . Из кинематических уравнений движения с учетом равенства начальной скорости нулю имеем :

$$s = \frac{gt^2}{2}, \quad (1)$$

$$s_1 = \frac{gt_1^2}{2}, \quad (2)$$

$$s_2 = \frac{gt_2^2}{2}, \quad (3)$$

$$s_1 = s - s_2 \quad (4)$$

$$s - s_2 = \frac{g(t-t_2)^2}{2}. \quad (5)$$

Из этих формул получим

$$\frac{gt^2}{2} - s_2 = \frac{g(t-t_2)^2}{2} = \frac{gt^2}{2} - gtt_2 + \frac{gt_2^2}{2}, \text{ откуда}$$

$$t = \frac{2s_2 + gt_2^2}{2gt_2} = \frac{2 \cdot 60 + 10 \cdot 4}{2 \cdot 10 \cdot 2} = 4 \text{ (с).}$$

Ответ: $t=4$ с.

Задание 6.

Чему равен потенциал, до которого может зарядиться металлическая пластина, работа выхода электронов из которой 1.6 эВ, при длительном освещении потоком фотонов с энергией 4 эВ?

Ответ на задание 6.

Дано: $A_{\text{вых}}=1.6$ эВ,

$E_{\phi}=4$ эВ.

Найти: φ

Решение: при длительном освещении металлической пластины устанавливается динамическое равновесие между вырываемыми из пластины светом и возвращаемыми электрическим полем обратно на пластину электронами.

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$E_{\phi} = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}$$

можно записать следующим образом:

$E_{\phi} = A_{\text{вых}} + e\varphi$, где e – заряд электрона. Если энергия выражается в электрон-вольтах, то $e = 1$ а.е.з. (атомная единица заряда) Найдем потенциал пластины

$$\varphi = \frac{E_{\phi} - A_{\text{вых}}}{e} = 4 - 1.6 = 2.4 \text{ (В)}$$

Ответ: $\varphi = 2.4$ В.

Задание 7.

Струна длиной 1 м растянута с силой 100 Н. К середине струны прикреплен небольшой шарик массой 50 г. Определить период малых колебаний груза.

Ответ на задание 7.

Дано: $l=1$ м,

$F_H=100$ Н,

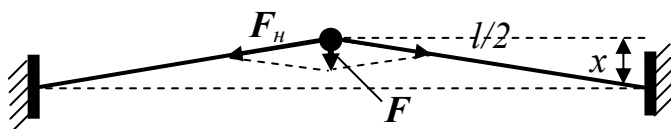
$m=50$ г

Найти: T

Решение: в случае малых колебаний изменением силы натяжения струны при колебаниях груза можно пренебречь. Из рисунка видно, что при малых отклонениях струны от равновесного положения справедливо соотношение

$$\frac{F}{2F_n} = \frac{x}{l/2},$$

где F – результирующая сила, действующая на груз при смещении его на расстояние x .



Для этой силы получим следующее выражение

$$F = \frac{4F_n}{l} x,$$

т.е. на груз действует сила, пропорциональная смещению, что по определению приводит к гармоническим колебаниям. Жесткость такой колебательной системы можно связать с периодом колебаний:

$$k = \frac{4F_n}{l}.$$

ЭЛЕМЕНТЫ ВЕКТОРНОГО АНАЛИЗА

1. Величины, значения которых могут быть выражены действительными числами, называются **скалярами**.

Примеры скаляров:

T - температура

m - масса

q - заряд

A - работа

2. Величины, значения которых определяются как числовым значением, так и направлением в пространстве, называются **векторами**.

Примеры векторов:

\vec{v} - скорость

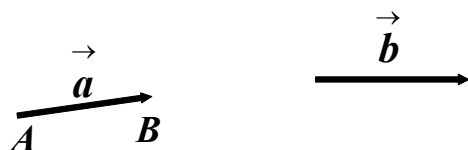
\vec{a} - ускорение

\vec{F} - сила

\vec{P} - импульс

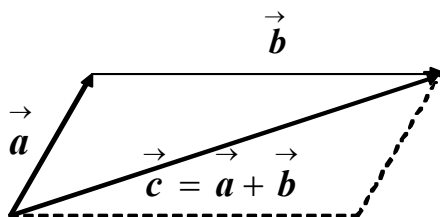
\vec{E} - напряженность электрического поля. \vec{B} - индукция магнитного поля.

Вектор - это направленный отрезок в пространстве, который изображается и обозначается как



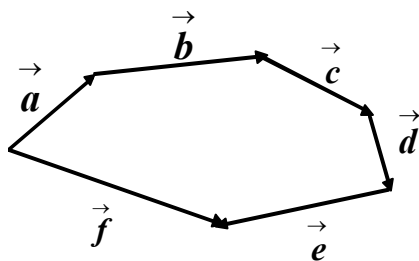
3. Длина вектора \vec{a} называется его *модулем* и обозначается символами $|\vec{a}|$ или a .

4. Чтобы найти сумму векторов \vec{a} и \vec{b} нужно при помощи параллельного переноса совместить конец одного вектора с началом другого (см. рис.) и соединить начало первого вектора с концом второго еще одним вектором \vec{c} , который и будет являться искомой суммой. Векторы \vec{a} и \vec{b} можно также сложить по правилу параллелограмма, когда начало обоих складываемых векторов помещается в одну точку, а суммарный вектор $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$ находится как диагональ построенного параллелограмма.

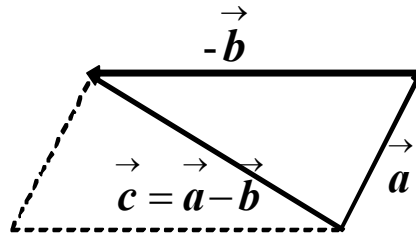


5. Сумма нескольких векторов $\vec{a} + \vec{b} + \dots + \vec{e} = \vec{f}$ определяется как

некоторый вектор \vec{f} , который замыкает ломаную, составленную из $\vec{a} + \vec{b}, \dots, \vec{e}$. (см. рис.).

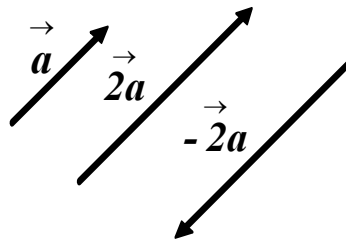


6. Разность векторов \vec{a} и \vec{b} рассматривается как сумма векторов \vec{a} и $-\vec{b}$ (см. рис.).



7. Умножение вектора на скаляр. Если k - действительное число и \vec{a} - вектор, то произведение $k \cdot \vec{a}$ - есть вектор с модулем $k \cdot |\vec{a}|$ и направлением, совпадающим с направлением вектора \vec{a} при $k > 0$, и с направлением, противоположным направлению вектора \vec{a} , при $k < 0$.

Пример. Пусть $k = +2$; -2 . Тогда



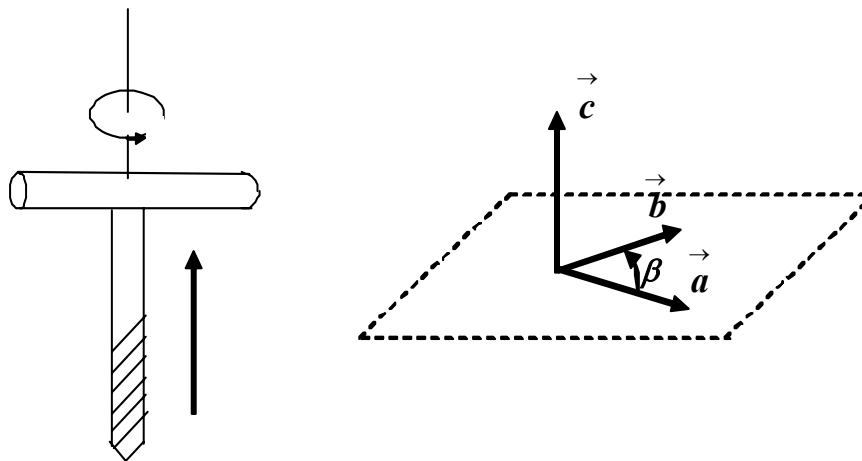
8. Скалярное произведение векторов \vec{a} и \vec{b} , обозначаемое как $\vec{a} \cdot \vec{b}$ или как $(\vec{a} \cdot \vec{b})$, есть **скалярная** величина, равная произведению модулей этих векторов, помноженному на косинус угла β между ними

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos\beta; \text{ где } \beta = \vec{a} \wedge \vec{b}$$

9. Векторное произведение \vec{a} и \vec{b} , обозначаемое как $\vec{a} \times \vec{b}$ или как $[\vec{a} \cdot \vec{b}]$, есть **вектор** \vec{c} , модуль которого равен произведению модулей этих векторов, помноженному на синус угла β между ними

$$|\vec{c}| = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \sin\beta$$

Вектор \vec{c} направлен перпендикулярно к плоскости, содержащей векторы \vec{a} и \vec{b} , так, чтобы при рассмотрении с его конца вектор \vec{a} мог



быть совмещен с вектором \vec{b} путем вращения против часовой стрелки (в сторону меньшего угла; см. рис.). Другими словами: при вращении ручки буравчика в направлении от \vec{a} к \vec{b} поступательное движение буравчика определит направление вектора \vec{c} .

Если вы хорошо знаете физику, то легко решаете задачи. Не менее очевидно и обратное заключение: если вы легко решаете задачи, то вы хорошо знаете физику. Поэтому решайте как можно больше задач!

КИНЕМАТИКА И ДИНАМИКА. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

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

- скорость равномерного прямолинейного движения тела:
S-путь, пройденный телом за время t

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

- ускорение тела

$$v = v_0 \pm a t$$

- скорость прямолинейного равнопеременного движения:
(+) - равноускоренное движение;
(-) - равнозамедленное движение;

\vec{v}_0 - начальная скорость



- путь, пройденный при равноускоренном или равнозамедленном движении

$$a_n = \frac{v^2}{r}$$

- ускорение тела при равномерном движении по окружности (центростремительное или нормальное ускорение)

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

- второй закон Ньютона:

\vec{F} - равнодействующая (резльтирующая) сила, равная геометрической сумме всех приложенных к телу сил

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

- третий закон Ньютона:

\vec{F}_{12} - сила, действующая со стороны второго тела на первое;

\vec{F}_{21} - сила, действующая со стороны первого тела на второе

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

- импульс тела (количество движения)



- другая форма записи 2 - го закона Ньютона

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

- сила гравитационного взаимодействия:

G - гравитационная постоянная;

m_1 и m_2 - массы взаимодействующих тел;

r - расстояние между телами

$$F_T = mg$$

- сила тяжести;

g - ускорение свободного падения

$$P = m(g \mp a)$$

- вес тела:

(+) - вес тела может быть больше силы тяжести, если тело движется с ускорением, направленным противоположно ускорению свободного падения, то есть вес данного тела больше веса покоящегося тела;

(-) - вес тела может быть меньше силы тяжести, если тело движется с ускорением, совпадающим по направлению с ускорением свободного падения.

Вес тела в этом случае меньше веса покоящегося тела

$$F_{\text{тр}} = \mu N$$

- сила трения:
 μ - коэффициент трения;
 N - сила реакции опоры

$$F_x = -kx$$

- закон Гука:
 F_x - сила упругости;
 k - коэффициент упругости (жесткость);
 x - изменение длины упругого тела

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

- центростремительная сила:
 F - сила, действующая на тело, движущееся по кривой с радиусом r

$$A = FS \cdot \cos\alpha$$

- механическая работа:
 F - сила, приложенная к телу;
 S - путь;
 α - угол между направлением силы и направлением перемещения

$$E_K = \frac{mv^2}{2}$$

- кинетическая энергия движущегося тела

$$E_{\text{п}} = mgh$$

- потенциальная энергия тела, поднятого над землей

$$E = \frac{kx^2}{2}$$

- потенциальная энергия упругой деформации

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

- мощность:
 A - работа;
 t - время

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{с}}}$$

- η - коэффициент полезного действия:
 $A_{\text{п}}$ - полезная работа;
 $A_{\text{с}}$ - полная совершенная работа

$$x = A \sin(\omega t + \alpha)$$

- уравнение гармонических колебаний:
 x - смещение колеблющегося тела от положения равновесия на момент времени t ;
 A - амплитуда колебаний;
 ω - циклическая частота (число колебаний за 2π се-

кунд), $\omega = 2\pi\nu$;
 α - начальная фаза

$$\nu = \frac{1}{T}, T = \frac{1}{\nu}$$

T - период колебаний;
 ν - частота колебаний

$$\begin{aligned} v &= A\omega\cos(\omega t + \alpha) \\ a &= -A\omega^2\sin(\omega t + \alpha) \end{aligned}$$

- скорость и ускорение материальной точки, совершающей гармонические колебания.

$$E_{\text{кин}} = \frac{kA^2 \cos^2(\omega t + \alpha)}{2}$$

- кинетическая энергия колеблющегося тела

$$E_{\text{пот}} = \frac{kA^2 \sin^2(\omega t + \alpha)}{2}$$

- потенциальная энергия колеблющегося тела

$$k = m\omega^2$$

- связь между коэффициентом упругости и циклической частотой

$$E = \frac{kA^2}{2}$$

- полная механическая энергия колеблющегося тела:

k - коэффициент упругости

- период колебаний математического маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{l/g}$$

l - длина маятника

$$T = 2\pi\sqrt{m/k}$$

- период колебаний пружинного маятника:

m - масса колеблющегося тела;

k - коэффициент упругости

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Мяч брошен со скоростью $v_0 = 10$ м/с под углом $\alpha = 40^\circ$ к горизонту. На какую высоту h поднимется мяч? На каком расстоянии l от места бросания он упадет на землю? Какое время t он будет в движении?

Дано:

$$v_0 = 10 \text{ м/с}$$

$$\alpha = 40^\circ$$

$$h - ?$$

$$l - ?$$

$$t - ?$$

Решение

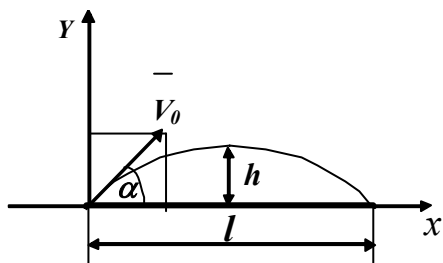
Найдем высоту h , на которую поднимется мяч, брошенный со скоростью v_0 под углом α к горизонту. Поскольку на мяч действует только сила тяжести, то во время полета меняется только проекция вектора скорости на ось y , а вдоль оси x движение является равномерным. Тогда в любой момент на стадии подъема:

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt_1, \quad (1)$$

$$h = (v_0 \sin \alpha)t_1 - gt_1^2/2. \quad (2)$$

В верхней точке $v_y = 0$, т.к. тело достигло максимальной высоты и перестало подниматься. Тогда из (1) получим:

$$v_0 \sin \alpha = gt_1,$$



где t_1 - время подъема мяча до верхней точки траектории. Тогда

$$t_1 = (v_0 \sin \alpha) / g.$$

Подставляя t_1 в (2), получим:

$$h = (v_0^2 \sin^2 \alpha) / 2g = 2,1 \text{ м.}$$

Найдем дальность l полета мяча. Т.к. вдоль оси x движение является равномерным, то

$$v_x = v_0 \cos \alpha = \text{const},$$

$$l = v_x t = (v_0 \cos \alpha) t \dots \dots \dots (1)$$

Приняв, что время подъема мяча до верхней точки траектории равно времени его

падения, получим полное время полета

$$t = t_1 + t_2 = 2t_1 = 2(v_0 \sin \alpha) / g = 1,3 \text{ с.}$$

Подставляя t в формулу (1), получим:

$$l = (v_0^2 \sin 2\alpha) / g = 10,0 \text{ м.}$$

Ответ: $h = 2,1 \text{ м}$, $l = 10,0 \text{ м}$, $t = 1,3 \text{ с}$.

Задача 2. Зависимость пройденного телом пути S от времени t дается уравнением: $S = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $A = 0,1 \text{ м}$; $B = -0,1 \text{ м/с}$; $C = 0,1 \text{ м/с}^2$, $D = 0,01 \text{ м/с}^3$. 1). Найти путь, пройденный телом за третью секунду движения; 2). Через какое время t после начала движения тело будет иметь ускорение $a = 1 \text{ м/с}^2$?

Дано:
 $S = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$
 $A = 0,1 \text{ м}$
 $B = -0,1 \text{ м/с}$
 $C = 0,1 \text{ м/с}^2$
 $D = 0,01 \text{ м/с}^3$

Решение
 1) Путь, пройденный телом за третью секунду движения, можно найти как разность путей, пройденных к моментам времени $t = 3 \text{ с}$ и $t = 2 \text{ с}$:
 $S = S_3 - S_2 = B(3-2) + C(3^2 - 2^2) + D(3^3 - 2^3) =$
 $= -0,1(3 - 2) + 0,1(3^2 - 2^2) + 0,01(3^3 - 2^3) = 0,59 \text{ м}$
 2) Ускорение найдем, взяв вторую производную от пути по времени:
 $a = S'' = 2c + 6Dt$
 Откуда время равно:
 $t = \frac{a - 2c}{6D} = \frac{1 - 2 \cdot 0,1}{6 \cdot 0,01} = \frac{0,8}{0,06} = 13,3 \text{ с}$

1) $\Delta S = ?$
 2) $t = ?$

Ответ: 1) $S = 0,59$ м; 2) $t = 13,3$ с.

Задача 3. Мотоцикл движется по окружности радиусом 10 м. Найти максимальную скорость движения без проскальзывания, если коэффициент трения-сцепления между колесами и дорогой равен 0,8.

Дано: $r = 10$ м $\mu = 0,8$ ----- $v_{\max} - ?$	Решение Массу системы «мотоцикл + водитель» обозначим через m . На эту систему действуют: сила тяжести mg , реакция опоры N и сила трения $F_{\text{тр}}$, равная в данном случае центростремительной силе mv^2/r . Так как $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg$, то максимально допустимую скорость найдем из соотношения: $\mu mg = \frac{mv^2}{r}; \quad v = \sqrt{\mu gr}; \quad v = \sqrt{0,8 \cdot 9,8 \cdot 10} = 9 \text{ м/с.}$
---	---

Ответ: $v_{\max} = 9$ м/с

Задача 4. Человек массой 60 кг неподвижно стоит на тележке с массой 140 кг. Найти скорость тележки, если человек будет двигаться по ней с относительной скоростью 0,5 м/с (трением между тележкой и дорогой пренебречь).

Дано: $m = 60$ кг $M = 140$ кг $v = 0,5$ м/с ----- $u - ?$	Решение Когда человек стоит, то суммарный импульс системы равен нулю: $m \cdot 0 + M \cdot 0 = 0$ Когда человек начнет двигаться относительно тележки со скоростью v , то, в результате действия силы трения между подошвами человека и поверхностью тележки, последняя покажется в обратном направлении со скоростью u относительно Земли. Следовательно, скорость человека относительно Земли будет равна $v - u$. Однако, по закону сохранения импульса, суммарный импульс по-прежнему будет равным нулю. Тогда $m(v - u) - Mu = 0.$ Откуда $u = \frac{mv}{M + m}$, $u = \frac{60 \cdot 0,5}{60 + 140} = 0,15 \text{ м/с}$
---	---

Ответ: $u = 0,15$ м/с

Задача 5. Найти ускорение свободного падения на поверхности малой планеты радиусом 200 км и средней плотностью $8 \cdot 10^3$ кг/м³.

Дано:

$$R = 200 \text{ км} = 2 \cdot 10^5 \text{ м}$$

$$\rho = 8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$g_{\text{п}}$ - ?

Решение

По закону всемирного тяготения $F = G \frac{Mm}{R^2}$, где M - масса планеты, m - масса тела. С другой стороны, $F = mg_{\text{п}}$,

поэтому $G \frac{Mm}{R^2} = mg_{\text{п}}$, откуда $g_{\text{п}} = G \frac{M}{R^2}$.

Масса планеты $M = V\rho = (4/3)\pi R^3\rho$, следовательно,

$$g_{\text{п}} = (4/3)\pi R G \rho,$$
$$g_{\text{п}} = (4/3) \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} = 0,47 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $g_{\text{п}} = 0,47 \text{ м/с}^2$.

Задача 6. Груз, подвешенный на пружине, колеблется с амплитудой 3 см. Жесткость пружины 980 Н/м. Определить наибольшую кинетическую энергию груза.

Дано:

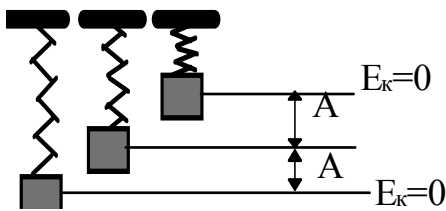
$$A = 3 \text{ см} = 0,03 \text{ м}$$

$$k = 980 \text{ Н/м}$$

E_{max} - ?

Решение

В момент прохождения груза через положение равновесия его скорость, а следовательно, и кинетическая энергия максимальны, причем E_{max} равна потенциальной энергии растянутой пружины при удлинении на величину амплитуды A :



$$E_{\text{max(к)}} = E_{\text{max(п)}} = \frac{kA^2}{2};$$

$$E_{\text{max(к)}} = \frac{980 \cdot 0,03^2}{2} = 0,44 \text{ Дж}$$

Ответ: $E_{\text{max(к)}} = 0,44 \text{ Дж}$.

Задача 7. Найти амплитуду A , период T , частоту ν и начальную фазу α колебания, заданного уравнением $x = 5 \sin \frac{39,2t + 5,2}{5}$ см.

Дано:

$$x = 5 \sin \frac{39,2t + 5,2}{5} \text{ см}$$

Решение

Уравнение гармонического колебания в общем виде записывается

$$x = A \sin(\omega t + \alpha).$$

Сравнивая оба выражения и учитывая, что $\omega = 2\pi\nu$, находим:

$$A = 5 \text{ см}, \quad \nu = \omega/2\pi = 1,25 \text{ Гц}, \quad T = 1/\nu = 0,8 \text{ с}, \quad \alpha = 1,04 \text{ рад.}$$

$$\text{Ответ: } A = 5 \text{ см}, \quad \nu = \omega/2\pi = 1,25 \text{ Гц}, \quad T = 1/\nu = 0,8 \text{ с}, \quad \alpha = 1,04 \text{ рад.}$$

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

$$PV = \text{const}$$

- закон Бойля - Мариотта (изотермический процесс)

$$T = \text{const};$$

P- давление идеального газа;

V- объем идеального газа

$$V = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} t\right) \quad \text{или} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

- закон Гей - Люссака (изобарный процесс)

$$P = \text{const};$$

V_0 - объем газа при $0 \text{ }^\circ\text{C}$;

t - температура, $^\circ\text{C}$;

T - температура, K

$$P = P_0 \left(1 + \frac{1}{273} t\right) \quad \text{или} \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

- закон Шарля (изохорный процесс)

$$V = \text{const};$$

P_0 - давление при $0 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\nu = \frac{m}{M}$$

ν - число молей;

m - масса газа;

M - молярная масса

$$N = \nu N_A$$

N - число молекул;

ν - число молей (количество вещества);

$N_A = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ 1/моль}$ - число Авогадро (число молекул в одном моле вещества)

$$n = \frac{N}{V}$$

- число молекул в единице объема

$$PV = \frac{m}{M} RT$$

- уравнение Менделеева-Клапейрона (уравнение состояния идеального газа):

$R = 8.314 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{K)}$ - (универсальная газовая постоянная)

$$PV = \frac{N}{N_A} RT$$

другие формы записи уравнения состояния идеального газа;

$$P = nkT$$

$$P = \rho \frac{RT}{M}$$

$$k = \frac{R}{N_A}$$

$$\bar{E} = \frac{3}{2}kT$$

$$P = \frac{3}{2}n\bar{E}$$

$$\bar{v}_{\text{кв}} = \sqrt{3kT / m_0}$$

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT$$

$$A' = P(V_2 - V_1)$$

$$P_h = P_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}}$$

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

$$C = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$$

$$A = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1) = P(V_2 - V_1)$$

ρ - плотность газа

- постоянная Больцмана

- средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы идеального газа

- основное уравнение молекулярно - кинетической теории

- средняя квадратичная скорость молекулы:
 m_0 - масса молекулы

- внутренняя энергия идеального газа, где m – масса газа, M – молярная масса, i – число степеней свободы:

$i = 3$ для одноатомного газа;

$i = 5$ для двухатомного газа;

$i = 6$ для многоатомного газа

- работа расширения газа (работа, совершаемая системой над внешними телами)

- барометрическая формула Лапласа:
где P_h и P_0 - давления газа на некоторой высоте h и высоте $h = 0$, соответственно;
 g - ускорение свободного падения;
 M - масса моля газа

- первый закон термодинамики:

Q - теплота, подведенная к системе;

ΔU - изменение внутренней энергии;

A' – работа, совершенная системой над внешними телами

- удельная теплоемкость

- работа при изобарическом процессе

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{P_1}{P_2} \quad - \text{ работа при изотермическом процессе}$$

$$F = \sigma l \quad - \text{ сила поверхностного натяжения жидкости:}$$

σ - коэффициент поверхностного натяжения;

l - периметр смачивания

$$A = \sigma \Delta S \quad - \text{ работа по изменению площади поверхности жидкости на величину } \Delta S$$

$$h = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{\rho g r} \quad - \text{ высота поднятия жидкости в капилляре радиуса } r :$$

θ - краевой угол смачивания;

ρ - плотность жидкости.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. В баллоне находилось 10 кг газа при давлении $P_1 = 10 \text{ МПа}$. Какую массу Δm газа взяли из баллона, если давление стало равным $P_2 = 2,5 \text{ МПа}$? Температуру газа считать постоянной.

<p>Дано: $P_1 = 10 \text{ МПа} = 10^7 \text{ Па}$ $P_2 = 2,5 \text{ МПа} = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Па}$ $m = 10 \text{ кг}$ $T = \text{const}$</p>	<p>Решение Запишем уравнение состояния газа для двух случаев (до изъятия массы газа Δm и после), учитывая, что объем и температура остаются неизменными:</p> $P_1 V = \frac{m}{M} RT, \quad P_2 V = \frac{m - \Delta m}{M} RT,$
---	---

Разделив уравнения одно на другое и выразив Δm ,

получим:

$$\Delta m = m \left(1 - \frac{P_2}{P_1}\right) = 10 \left(1 - \frac{2,5 \cdot 10^6}{10^7}\right) = 7,5 \text{ кг.}$$

$\Delta m = ?$

Ответ: $\Delta m = 7,5 \text{ кг}$

Задача 2. В сосуде объемом 80 л при температуре 58°C находится идеальный газ при давлении $2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$. Сколько молекул газа находится в этом сосуде?

<p>Дано: $V = 80 \text{ л} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ $T = 58^\circ \text{C} = 331 \text{ К}$</p>	<p>Решение 1 способ: Уравнение состояния идеального газа</p>
---	---

$$P = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$$

$N - ?$

$$PV = \frac{m}{\mu} RT, \text{ где } \frac{m}{\mu} = \nu - \text{число молей.}$$

Известно, что число молекул в одном моле газа равно числу Авогадро N_A .

Поэтому число молекул в сосуде

$$N = \nu N_A = N_A \frac{PV}{RT} = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 8 \cdot 10^{-2}}{8,31 \cdot 331} = 3,5 \cdot 10^{24}.$$

2 способ:

Число молей в единице объема газа при температуре T и давлении P определяется из формулы $P = nkT$, где n - число молекул в единице объема

$$n = \frac{P}{kT}.$$

В данном объеме число молекул равно:

$$N = nV = \frac{PV}{kT} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 8 \cdot 10^{-2}}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 331} = 3,5 \cdot 10^{24}.$$

Ответ: $3,5 \cdot 10^{24}$ молекул.

Задача 3. Азот в количестве 12 г находится в закрытом сосуде объемом $V = 2 \text{ л}$ при температуре $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$. После нагревания давление в сосуде стало равным $P = 1,33 \text{ МПа}$. Какое количество теплоты Q сообщено газу при нагревании?

Дано:

$$m = 12 \text{ г} = 0,012 \text{ кг}$$

$$V = 2 \text{ л} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$T_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C} = 283 \text{ К}$$

$$P_2 = 1,33 \text{ МПа} = 1,33 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$Q - ?$

Решение

Запишем уравнение первого начала термодинамики:

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

Работа расширения газа $A' = P\Delta V$ в нашем случае равна нулю, т.к. $V = \text{const}$. Тогда получим

$$Q = \Delta U.$$

Изменение внутренней энергии ΔU можно рассчитать как:

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T.$$

Записав уравнение Менделеева-Клапейрона для начальной и конечной температур и вычитая одно из другого, можно получить

$$V \Delta P = \frac{m}{M} R \Delta T.$$

$$\text{Тогда } Q = \frac{i}{2} V \Delta P = \frac{i}{2} V (P_2 - P_1).$$

Давление P_1 найдем из уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$P_1 = \frac{m}{MV} RT_1 = \frac{0,012 \cdot 8,31 \cdot 283}{0,028 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 5,04 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Теплота Q , сообщенная системе, равна:

$$Q = \frac{5}{2} 2 \cdot 10^{-3} (1,33 \cdot 10^6 - 5,04 \cdot 10^5) = 4,13 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 4,13 \text{ кДж.}$$

Ответ: $Q = 4,13 \text{ кДж.}$

Задача 4. Плотность пара некоторого соединения углерода с водородом равна $\rho = 3 \text{ кг/м}^3$ при температуре 43°C и давлении $1,19 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Что это за газ ?

Дано:
 $\rho = 3 \text{ кг/м}^3$
 $P = 1,19 \cdot 10^5 \text{ Па}$

 $C_xH_y - ?$

Решение

Из уравнения Менделеева - Клапейрона:

$$PV = \frac{m}{M} RT ; \rho = \frac{m}{V} = \frac{PM}{RT} ;$$

$$M = \frac{\rho RT}{P} = \frac{3 \cdot 8,31 \cdot 320}{1,19 \cdot 10^5} = 0,072 \text{ кг/моль} = 72 \text{ г/моль.}$$

Формула соединения C_xH_y , причем $12x + y = 72$.

Очевидно, что молярную массу, равную 72 г/моль , имеет вещество с формулой C_5H_{12} .

Ответ: C_5H_{12} .

Задача 5. Мыльная вода вытекает из капилляра по каплям. В момент отрыва капли диаметр ее шейки равен $1,0 \text{ мм}$. Масса капли $0,0129 \text{ г}$. Определить коэффициент поверхностного натяжения.

Дано:
 $m = 0,0129 \text{ г} = 1,29 \cdot 10^{-5} \text{ кг}$
 $d = 1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}$

 $\sigma - ?$

Решение

Капля отрывается от капилляра при условии $P > F$, где P - сила тяжести, F - сила поверхностного натяжения.

Условие равновесия: $F = P$, $\sigma l = mg$, где l - периметр шейки капли,

$$l = \pi d; \sigma = \frac{mg}{\pi d},$$

$$\sigma = \frac{1,29 \cdot 10^{-5} \cdot 9,81}{3,14 \cdot 10^{-3}} = 4,05 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м.}$$

Ответ: $4,05 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м.}$

Задача 6. Каким должен быть внутренний диаметр d капилляра, чтобы при полном смачивании вода в нем поднималась на $\Delta h = 2 \text{ см}$? Задачу решить для случаев, когда капилляр находится: а) на Земле, б) на Луне.

Дано:
 $\Delta h = 2 \text{ см} = 0,02 \text{ м}$

$d - ?$

Решение

Высоту поднятия жидкости в капилляре можно найти по формуле

$$\Delta h = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{\rho g r}$$

При полном смачивании краевой угол θ равен нулю. Выразим радиус r капилляра:

$$r = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{\rho g \Delta h}$$

а) на Земле ускорение свободного падения составляет $g = 9,8 \text{ м/с}^2$, тогда

$$r = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{\rho g \Delta h} = \frac{2 \cdot 0,073 \cdot 1}{1000 \cdot 9,8 \cdot 0,02} = 7,4 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,74 \text{ мм.}$$

Диаметр капилляра: $d = 2r = 1,49 \text{ мм}$

б) на Луне ускорение свободного падения составляет $g = 1,7 \text{ м/с}^2$, тогда

$$r = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{\rho g \Delta h} = \frac{2 \cdot 0,073 \cdot 1}{1000 \cdot 1,7 \cdot 0,02} = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 4,4 \text{ мм.}$$

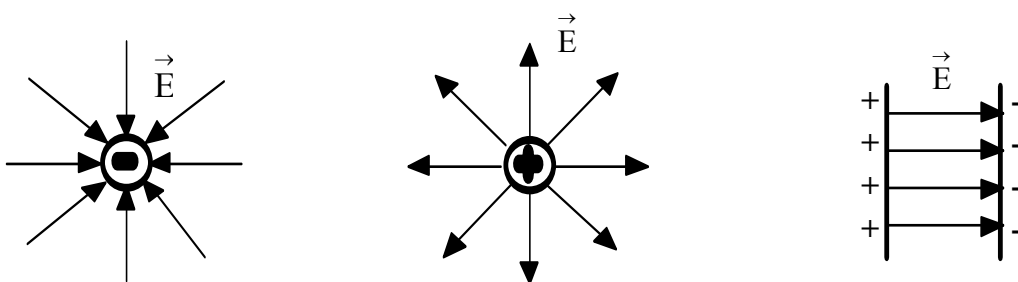
Диаметр капилляра: $d = 2r = 8,8 \text{ мм.}$

Ответ: а) $d = 1,49 \text{ мм}$, б) $d = 8,8 \text{ мм.}$

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Электрическое поле принято изображать с помощью так называемых силовых линий (линий вектора напряженности электрического поля). Силовые линии проводятся таким образом, чтобы касательная к ним в каждой точке совпадала с направлением вектора напряженности электрического поля \vec{E} . На рисунке приведены примеры изображения электрических полей с помощью силовых линий: положительно и отрицательно заряженных шариков и плоского конденсатора.

Силовые линии электрического поля незамкнуты, они начинаются на положительных зарядах и оканчиваются на отрицательных.



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

- закон Кулона;

$|q_1|, |q_2|$ - модули зарядов;

r - расстояние между зарядами;

K - коэффициент пропорциональности (в СИ коэффициент пропорциональности равен

$$K = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф},$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/\text{Нм}^2 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$)

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

- напряженность электрического поля в некоторой точке, численно равная силе, действующей на единичный положительный заряд, помещенный в эту точку поля

q_0 - пробный заряд;

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q}{r^2}$$

- напряженность электрического поля точечного заряда (шара):

q - заряд, создающий поле;

r - расстояние от центра заряда до данной точки поля;

ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость среды

Единица напряженности электрического поля -

$$\text{Н/Кл} = \text{В/м}$$

$$\varphi = \frac{W}{q_0}$$

- потенциал электрического поля:

W - потенциальная энергия; единица измерения потенциала - Вольт (В)

$$U = \varphi_1 - \varphi_2$$

- разность потенциалов в двух точках электрического поля

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$$

- потенциал электростатического поля точечного заряда (шара)

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

A - работа, совершаемая электростатическим полем при перемещении заряда q из точки 1 в точку 2

$$C = \frac{q}{\varphi}$$

- электрическая емкость проводника:

единицы емкости - фарад (Ф)

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R$$

- электрическая емкость сферического проводника радиусом R

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$$

- (электрическая) емкость плоского конденсатора:

S - площадь одной пластины конденсатора;

d - расстояние между пластинами

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

- емкость системы конденсаторов при их параллельном соединении

$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$	- емкость системы конденсаторов при последовательном соединении
$W = \frac{q\varphi}{2} = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$	- энергия заряженного проводника
$W = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$	- энергия заряженного конденсатора
$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$	- сила тока, единица силы тока - ампер, А; Δq - заряд, протекающий через сечение проводника за время Δt
$I = \frac{U}{R}$	- закон Ома для однородного участка электрической цепи; U - разность потенциалов на концах участка; R - сопротивление этого участка
$R = \rho \frac{l}{S}$	- сопротивление проводника; единица сопротивления - Ом; ρ - удельное сопротивление проводника; l - длина проводника; S - площадь поперечного сечения проводника
$\varepsilon = \frac{A}{q_0}$	- электродвижущая сила (ЭДС), единица измерения ЭДС - вольт (В); A - работа сторонних сил по перемещению заряда q ₀ по замкнутой цепи
$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$	- закон Ома для полной цепи; ε - ЭДС, действующая в цепи; R - внешнее сопротивление; r - внутреннее сопротивление источника ЭДС
$A = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t$	- работа электрического тока на участке цепи за время t
$P = UI = I^2R = U^2/R$	- мощность электрического тока, единица мощности - ватт (Вт)
$Q = IU\Delta t = I^2R\Delta t = \frac{U^2}{R}\Delta t$	количество теплоты, выделяемое на участке цепи за время Δt (закон Джоуля - Ленца).

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Во сколько раз сила ньютоновского притяжения между двумя протонами меньше силы их кулоновского отталкивания ?

Дано:

$$m_1 = m_2 = 1,6710^{-27} \text{ кг}$$

$$q_1 = q_2 = 1,610^{-19} \text{ Кл}$$

$$\frac{F_k}{F_n} - ?$$

Решение

$$F_n = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \text{ - сила притяжения;}$$

$$F_k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \text{ - сила Кулона;}$$

$$\frac{F_k}{F_n} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 G \cdot m^2};$$

$$\frac{F_k}{F_n} = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot (1,67 \cdot 10^{-27})^2} = 1,24 \cdot 10^{36}.$$

Ответ: $1,24 \cdot 10^{36}$.

Задача 2. Электрическое поле создано двумя точечными зарядами $q_1 = 30$ нКл, $q_2 = -10$ нКл. Расстояние d между зарядами равно 20 см. Определить напряженность электрического поля в точке, находящейся на расстоянии $r_1 = 15$ см от первого и на расстоянии $r_2 = 10$ см от второго заряда.

Дано:

$$q_1 = 30 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$q_2 = -10 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$d = 20 \text{ см} = 20 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

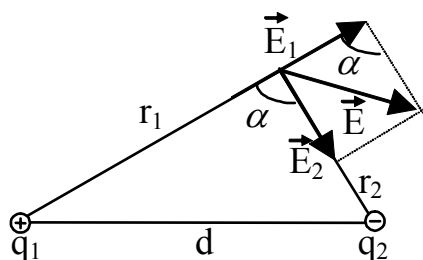
$$r_1 = 15 \text{ см} = 15 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$r_2 = 10 \text{ см} = 10 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Решение

Согласно принципу суперпозиции полей, напряженность \vec{E} электрического поля в искомой точке может быть найдена как векторная сумма напряженностей \vec{E}_1 и \vec{E}_2 полей, создаваемых каждым зарядом в отдельности: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$.

$E - ?$



Напряженности электрического поля, создаваемого в вакууме первым и вторым зарядами, равна:

$$E_1 = \frac{|q_1|}{4\pi\epsilon_0 r_1^2}; \quad E_2 = \frac{|q_2|}{4\pi\epsilon_0 r_2^2} \quad (1)$$

Вектор \vec{E}_1 направлен от заряда q_1 , т.к. $q_1 > 0$; вектор \vec{E}_2 направлен к заряду q_2 , т.к. $q_2 < 0$.

Модуль результирующего вектора E найдем по теореме косинусов:

$$E^2 = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 - 2E_1 E_2 \cos\alpha} \quad (2),$$

$\cos\alpha$ может быть найден из треугольника со сторонами r_1 , r_2 и d . так же по теореме косинусов

$$\cos\alpha = \frac{d^2 - r_1^2 - r_2^2}{-2r_1r_2},$$

$$\cos\alpha = \frac{(20 \cdot 10^{-2})^2 - (15 \cdot 10^{-2})^2 - (10 \cdot 10^{-2})^2}{-2 \cdot 15 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-2}} = -0,25.$$

Подставим выражения E_1 и E_2 из формул (1) в формулу (2)

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sqrt{\frac{q_1^2}{r_1^4} + \frac{q_2^2}{r_2^4} - 2 \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r_1^2 r_2^2} \cdot \cos\alpha};$$

$$E = 9 \cdot 10^9 \sqrt{\frac{(30 \cdot 10^{-9})^2}{(15 \cdot 10^{-2})^4} + \frac{(-10 \cdot 10^{-9})^2}{(10 \cdot 10^{-2})^4} - 2 \frac{(30 \cdot 10^{-9}) \cdot (-10 \cdot 10^{-9})}{(15 \cdot 10^{-2})^2 \cdot (10 \cdot 10^{-2})^2} \cdot (-0,25)} =$$

$$= 16,7 \text{ кВ/м}$$

Ответ: 16,7кВ/м

Задача 3. Конденсаторы соединены так, как показано на рисунке. Электроемкости конденсаторов $C_1 = 0,2 \text{ мкФ}$, $C_2 = 0,1 \text{ мкФ}$, $C_3 = 0,3 \text{ мкФ}$, $C_4 = 0,4 \text{ мкФ}$. Определить электроемкость C батареи конденсаторов.

Дано:

$$C_1 = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$C_2 = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$C_3 = 0,3 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$C_4 = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$C = ?$

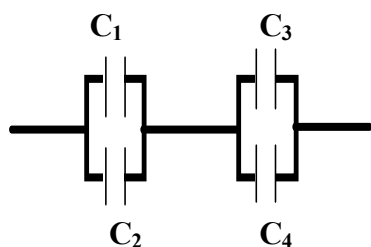
Решение

Конденсаторы C_1 и C_2 соединены параллельно друг другу, значит их общая емкость $C' = C_1 + C_2$.

То же самое для C_3 и C_4 : $C'' = C_3 + C_4$.

Тогда батареи C' и C'' соединены последовательно.

$$\text{Их общая емкость } C = \frac{C' \cdot C''}{C' + C''}.$$



$$C = \frac{(C_1 + C_2) \cdot (C_3 + C_4)}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4} = \frac{0,3 \cdot 10^{-6} \cdot 0,7 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-6}} =$$

$$0,21 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 0,21 \text{ мкФ}.$$

Ответ: 0,21 мкФ.

Задача 4. Электрическая плитка включена в цепь генератора с ЭДС $\epsilon = 220\text{В}$ и внутренним сопротивлением $r = 1 \text{ Ом}$. Амперметр, включенный последовательно с плиткой, показывает силу тока $I = 5\text{А}$. Чему равен КПД плитки, если воду объемом $V = 2 \text{ л}$ на ней можно нагреть от комнатной температуры до кипения за время $\tau = 20 \text{ минут}$.

Дано:

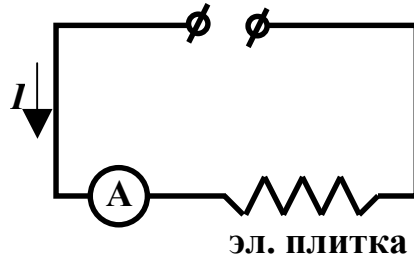
Решение

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 220 \text{ В} \\ r &= 1 \text{ Ом} \\ I &= 5 \text{ А} \\ V &= 2 \text{ л} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \\ \tau &= 20 \text{ мин} = 1200 \text{ с} \end{aligned}$$

КПД - ?

Изобразим электрическую схему цепи:

По закону Джоуля - Ленца количество теплоты, выделившееся в проводнике, $Q = I^2 R \tau$. Сила тока определяется по закону Ома $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$, откуда $R = (\varepsilon - Ir) / I$. Следовательно, $Q = I(\varepsilon - Ir)\tau$.



Теплота, затрачиваемая на нагревание воды (полезная теплота) $Q_{\text{п}} = mc_{\text{уд}}(t - t_0)$, где m - масса воды, $c_{\text{уд}}$ -

удельная теплоемкость воды,

t и t_0 - конечная и начальная температуры воды. Пусть $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$

Коэффициент полезного действия плитки η :

$$\eta = \frac{Q_{\text{п}}}{Q} 100\% = \frac{mc_{\text{уд}}(t - t_0)}{I(\varepsilon - Ir)\tau} \cdot 100\%,$$

$$m = \rho V = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 2 \text{ кг},$$

$$c_{\text{уд}} = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$$

$$\eta = \frac{2 \cdot 4190 \cdot (100 - 20) \cdot 100\%}{5 \cdot (220 - 5 \cdot 1) \cdot 1200} = 52 \%$$

Ответ: 52 %.

Задача 5. Найти падение напряжения на медном проводнике длиной 500 м и диаметром 2 мм, если сила тока в нем равна 2А.

Дано:

$$l = 500 \text{ м}$$

$$d = 2 \text{ мм} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$I = 2 \text{ А}$$

$$\rho_{\text{Cu}} = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

Решение

$$I = \frac{U}{R} \text{ - закон Ома для участка цепи.}$$

$$R = \rho \frac{l}{S}; \quad S = \pi r^2; \quad R = \frac{\rho l}{\pi r^2};$$

U - ?

$$U = IR = \frac{I \rho l}{\pi^2} = \frac{2 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 500}{3,14 \cdot (10^{-3})^2} = 5,4 \text{ В}$$

Ответ: $U = 5,4$ В.

Задача 6. Через аккумулятор с ЭДС $\varepsilon = 10$ В и внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом течет ток $I = 5$ А. Найти напряжение на зажимах источника.

Дано:
 $\varepsilon = 10$ В
 $I = 5$ А
 $r = 1$ Ом

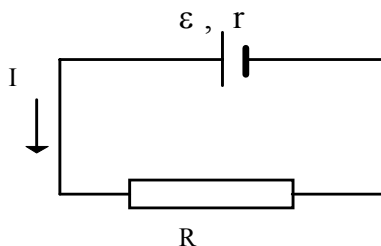
Решение

Запишем закон Ома для полной цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

Выразим отсюда напряжение U на зажимах источника тока, которое будет равно ЭДС за

U - ?



вычетом падения напряжения на внутреннем сопротивлении источника:

$$U = IR = \varepsilon - Ir = 10 - 5 \cdot 1 = 5 \text{ В.}$$

Ответ: $U = 5$ В.

Задача 7. Две электрические лампочки с сопротивлениями $R_1 = 360$ Ом и $R_2 = 240$ Ом включены в сеть: а) параллельно, б) последовательно. Какая из лампочек потребляет большую мощность? Во сколько раз?

Дано:
 $R_1 = 360$ Ом
 $R_2 = 240$ Ом

Решение

$P_1/P_2 = ?$

Мощность, потребляемую каждой из лампочек, можно рассчитать по одной из следующих формул, получающихся из закона Джоуля-Ленца:

$$P_i = \frac{U_i^2}{R_i} = I_i^2 R_i = I_i U_i,$$

где I_i и U_i - сила тока и падение напряжения на i -ом сопротивлении.

а) Для параллельного соединения лампочек напряжения на них одинаковы и, при отсутствии внутреннего сопротивления источника тока, равны ЭДС источника. Тогда

$$P_1 = \frac{\varepsilon^2}{R_1}, \quad P_2 = \frac{\varepsilon^2}{R_2},$$

$$P_1/P_2 = R_2/R_1 = 240/360 = 0.67, \text{ т.е. } P_1 < P_2.$$

б) При последовательном соединении лампочек падения напряжения пропорциональны величинам сопротивлений, тогда как сила тока во всей цепи одинакова. Тогда

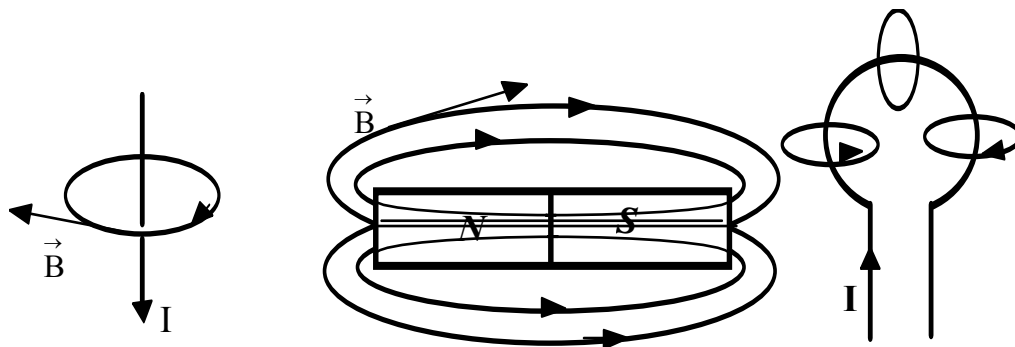
$$P_1 = I^2 R_1, \quad P_2 = I^2 R_2,$$

$$P_1/P_2 = R_1/R_2 = 360/240 = 1,5, \text{ т.е. } P_1 > P_2$$

Ответ: а) $P_1/P_2 = 0.67$ б) $P_1/P_2 = 1,5$.

МАГНЕТИЗМ

Для графического изображения магнитного поля используют силовые линии магнитного поля (линии магнитной индукции). Силовые линии проводят так, чтобы векторы магнитной индукции \vec{B} в любой точке этих линий были направлены по касательной. Линии магнитной индукции всегда замкнуты. Их направление определяется правилом правого буравчика: если вращать буравчик так, чтобы его поступательное движение совпадало с направлением тока, то вращательное движение ручки буравчика ука-



жет на направление магнитных силовых линий.

$$F_L = |q| v B \cdot \sin \alpha$$

- сила, действующая на заряд, движущийся в магнитном поле (сила Лоренца, магнитная сила);

q - заряд частицы;

B - магнитная индукция;

v - скорость частицы;

α - угол между направлениями вектора скоро-

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

сти частицы и вектора магнитной индукции
 - сила, действующая на элемент проводника Δl с током I , находящийся в магнитном поле B (сила Ампера);

α - угол между направлением тока в проводнике и направлением вектора магнитной индукции

$$B = \frac{\mu \mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{a}$$

- индукция магнитного поля, создаваемого прямым проводником на расстоянии a от проводника

$$B = \mu \mu_0 H$$

- связь между индукцией B и напряженностью H магнитного поля;

μ - магнитная проницаемость среды

$$\varepsilon_{\text{инд}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

- ЭДС индукции;

$\Delta \Phi$ - изменение магнитного потока за интервал времени Δt

$$\varepsilon_c = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

- ЭДС самоиндукции;

L - индуктивность цепи

ΔI - изменение тока за интервал времени Δt

$$W_{\text{маг}} = \frac{LI^2}{2}$$

- энергия магнитного поля

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Между полюсами магнита создается однородное магнитное поле, индукция которого равна 10^{-1} Тл. По проводу длиной 70 см, помещенному перпендикулярно силовым линиям, течет ток 70 А. Найти силу, действующую на провод.

Дано:

$$B = 10^{-1} \text{ Тл}$$

$$l = 70 \text{ см} = 7 \cdot 10^{-1} \text{ м}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$I = 70 \text{ А}$$

$$F_A = ?$$

Решение

На проводник с током в магнитном поле действует сила Ампера:

$$F_A = IB l \cdot \sin \alpha,$$

где $\alpha = 90^\circ$ - угол между вектором магнитной индукции и направлением тока. После подстановки числовых значений получаем:

$$F_A = 70 \cdot 10^{-1} \cdot 7 \cdot 10^{-1} \cdot \sin 90^\circ = 4,9 \text{ Н.}$$

Ответ: $F_A = 4,9 \text{ Н.}$

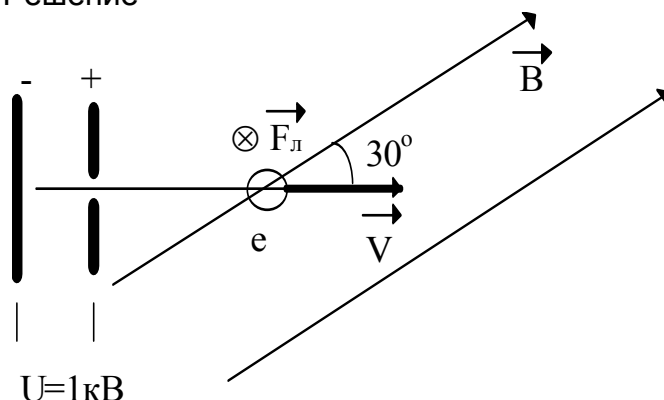
Задача 2. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U=1\text{кВ}$, влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B=1,19 \text{ Тл}$ под углом $\alpha=30^\circ$ к ли-

ниям индукции. Найти силу F , действующую на электрон со стороны магнитного поля.

Дано:
 $U=1\text{кВ}=1000\text{ В}$
 $B=1,19\text{ Тл}$
 $\alpha=30^\circ$

F -?

Решение



На заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле, действует сила Лоренца:

$F_L = qvB\sin\alpha$, где q - заряд частицы, v - ее скорость.

На рисунке приведено направление силы Лоренца (от нас), определенное по правилу левой руки с учетом знака заряда электрона «-».

Скорость электрона определим из условия, что он прошел ускоряющую разность потенциалов 1 кВ. Работа электрического поля по перемещению электрона $A=qU$ будет, по закону сохранения энергии, равна приобретенной электроном кинетической энергии:

$$A=\Delta W.$$

Приняв, что начальная скорость электрона равна нулю, получим $qU=mv^2/2$.

Откуда приобретенная электроном скорость равна:

$$v = (2qU/m)^{1/2} = (2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1000 / 9,1 \cdot 10^{-31})^{1/2} = 1,88 \cdot 10^7 \text{ м/с}.$$

Теперь вычислим силу Лоренца:

$$F_L = qvB\sin\alpha = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,88 \cdot 10^7 \cdot 1,19 \cdot \sin 30^\circ = 1,79 \cdot 10^{-12} \text{ Н}.$$

Ответ: $F_L = 1,79 \cdot 10^{-12} \text{ Н}.$

Задача 3. Круговой проволочный виток площадью $S = 0,01 \text{ м}^2$ находится в однородном магнитном поле, индукция которого $B = 1 \text{ Тл}$. Плоскость витка перпендикулярна к направлению магнитного поля. Найти среднюю ЭДС индукции $\mathcal{E}_{\text{ср}}$, возникающую в витке при выключении поля в течение времени $\Delta t = 10 \text{ мс}$.

Дано:
 $S = 0,01 \text{ м}^2$

Решение
 ЭДС индукции можно найти согласно формуле:

$$B = 1 \text{ Тл}$$

$$\Delta t = 10 \text{ мс} = 0,01 \text{ с} \quad \varepsilon_{\text{инд}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t},$$

$\varepsilon_{\text{инд}}$ - ?

где $\Delta \Phi$ - изменение магнитного потока, пронизывающего виток, за время Δt .

Магнитный поток рассчитывается по формуле:

$$\Phi = BS \sin \alpha,$$

где $\alpha = 0$ - угол между вектором магнитной индукции и нормалью к плоскости витка.

Поскольку поле выключают, то конечный поток $\Phi_2 = 0$, а изменение потока $\Delta \Phi = BS$.

Окончательно получаем:

$$\varepsilon_{\text{инд}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - 1 \cdot 0,01 / 0,01 = - 1 \text{ В}$$

Знак «-» в этой формуле можно опустить. Он лишь указывает на то, что направление ЭДС индукции определяется согласно правилу Ленца.

Ответ: $\varepsilon_{\text{инд}} = 1 \text{ В}$.

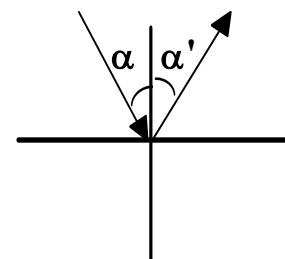
ОПТИКА

$$\alpha = \alpha'$$

- закон отражения:

α - угол падения;

α' - угол отражения



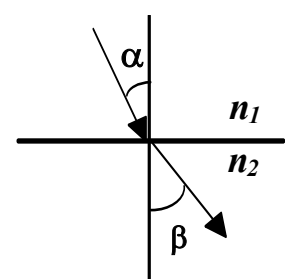
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21}$$

- закон преломления:

α - угол падения;

β - угол преломления;

n_{21} - относительный показатель преломления второй среды относительно первой.



$$n_{21} = \frac{n_1}{n_2}$$

n_2 - абсолютный показатель преломления второй среды;

n_1 - абсолютный показатель преломления первой среды

$$n = \frac{c}{v}$$

c - скорость света в вакууме;

v - скорость света в среде

$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$	α_0 - предельный угол полного внутреннего отражения
$L = n \cdot l$	- оптическая длина пути: n - показатель преломления среды; l - геометрическая длина пути
$\Delta = L_2 - L_1$	- оптическая разность хода лучей
$\Delta = \pm m \cdot \lambda$	- условие интерференционных максимумов: m = 1, 2, 3, ...;
	λ - длина волны
$\Delta = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$	- условие интерференционных минимумов
$d \cdot \sin \varphi = \pm k \lambda$	- формула главных максимумов при дифракции света на решетке: d - период решетки; φ - угол дифракции; λ - длина волны падающего света; k - порядок максимума
$E = h \cdot \nu$	- энергия фотона: h - постоянная Планка; ν - частота падающего света
$\nu = \frac{c}{\lambda}$	c - скорость света; λ - длина волны
$p = \frac{h \nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$	- импульс фотона
$h \cdot \nu = A_{\text{ВЫХ}} + \frac{mv^2}{2}$	- уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: $A_{\text{ВЫХ}}$ - работа выхода электрона из металла; $\frac{mv^2}{2}$ - кинетическая энергия электрона
$\nu_{\text{min}} = \frac{A_{\text{ВЫХ}}}{h}$	- красная граница фотоэффекта
$\lambda_{\text{max}} = \frac{hc}{A_{\text{ВЫХ}}}$	
$\frac{mv^2}{2} = eU_3$	U_3 - задерживающее напряжение: e - заряд электрона; m - масса электрона.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

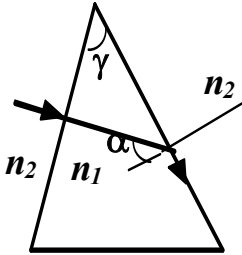
Задача 1. Каков преломляющий угол γ призмы из стекла с показателем преломления $n = 1,56$, если луч, падающий нормально на одну ее грань, выходит вдоль другой грани (см. рис.).

Дано:

$$n_1 = 1,56 \text{ (стекло)}$$

$$n_2 = 1,0 \text{ (воздух)}$$

$\gamma - ?$



Решение

Угол падения α является предельным:

$$\sin \alpha = \frac{n_2}{n_1} ; \sin \alpha = \frac{1}{1,56} ;$$

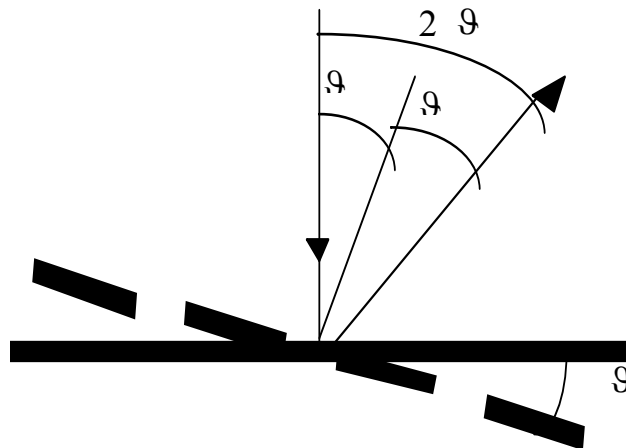
$$\alpha = \arcsin \frac{1}{1,56} = 39^\circ 52'$$

Углы α и γ равны, как углы со взаимно перпендикулярными сторонами $\gamma = \alpha = 39^\circ 52'$.

Ответ: $\gamma = \alpha = 39^\circ 52'$.

Задача 2. Вертикальный луч света падает на горизонтально расположенное зеркало. Зеркало поворачивается на угол ϑ около вертикальной оси. На какой угол повернется отраженный луч ?

Решение



При повороте зеркала на угол ϑ на такой же угол повернется и нормаль к зеркалу. Из геометрических соображений легко можно понять, что отраженный луч повернется на угол, равный 2ϑ .

Ответ: угол поворота отраженного луча равен 2ϑ .

Задача 3. На дифракционную решетку нормально падает пучок света от разрядной трубки, наполненной гелием. На какую линию в спектре третьего порядка накладывается красная линия гелия ($\lambda_1 = 6,7 \cdot 10^{-5}$ см) спектра второго порядка ?

Дано:

Решение

$$\lambda_1 = 6,7 \cdot 10^{-5} \text{ см} = 6,7 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$k_1 = 2$$

$$k_2 = 3$$

$$\lambda_2 - ?$$

Для того, чтобы произошло наложение спектров, необходимо, чтобы совпадали углы отклонения накладывающихся лучей.

$$d \cdot \sin \varphi = k_1 \cdot \lambda_1, \quad d \cdot \sin \varphi = k_2 \cdot \lambda_2,$$

$$k_1 \cdot \lambda_1 = k_2 \cdot \lambda_2,$$

$$\lambda_2 = \frac{k_1 \cdot \lambda_1}{k_2} = \frac{2 \cdot 6,7 \cdot 10^{-7}}{3} = 4,46 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Ответ: $4,46 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$

Задача 4. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна 2750 \AA . Найти : 1) работу выхода электрона; 2) максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых из этого металла светом с длиной волны $\lambda = 1800 \text{ \AA}$.

Дано:

$$\lambda_{\text{max}} = 2750 \text{ \AA} = 2750 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

$$\lambda = 1800 \text{ \AA} = 1800 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

$$A_{\text{вых}} - ?$$

Решение

$$1) A_{\text{вых}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{max}}},$$

$$A_{\text{вых}} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{2750 \cdot 10^{-10}} = 7,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

$$2) E = \frac{hc}{\lambda} - \text{энергия кванта.}$$

По уравнению Эйнштейна :

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2},$$

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}} = 1,1 \cdot 10^{-18} - 7,2 \cdot 10^{-19} =$$

$$= 3,8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,8 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 9,1 \cdot 10^5 \text{ м/с.}$$

Ответ: $9,1 \cdot 10^5 \text{ м/с.}$

АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

$$A = Z + N$$

A - массовое число;

Z - число протонов в ядре (заряд ядра);

N - число нейтронов

$$E_{\text{св}} = c^2 \Delta m$$

- энергия связи

$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_{\text{я}}$ - дефект массы;
 m_p - масса протона;
 m_n - масса нейтрона;
 $m_{\text{я}}$ - масса ядра;
 $m_{\text{я}} = m_a - Zm_e$; m_a - масса атома, m_e - масса электрона

${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 \text{He}$ - правило смещения при α - распаде,
 где ${}^4_2 \text{He}$ - α - частица

${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + {}^0_{-1} e$ - правило смещения при β - распаде,
 где ${}^0_{-1} e$ - электрон

$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$ - частота излучения, возникающего при переходе атома из состояния E_2 в состояние E_1 ;

h - постоянная Планка;

E_2 и E_1 - стационарные состояния с большей и меньшей энергией, соответственно

$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ - закон радиоактивного распада:

N_0 - число радиоактивных атомов в начальный момент времени ($t = 0$);

N - число нераспавшихся атомов к моменту времени t

$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ λ - постоянная распада ;

$T_{1/2}$ - период полураспада

$E = mc^2$ - соотношение Эйнштейна:

E - полная энергия частицы;

m - релятивистская масса частицы;

c - скорость света.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Каким импульсом обладает фотон с частотой $5 \cdot 10^{14}$ Гц ? Какова масса этого фотона ?

Дано:

$$\nu = 5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

Решение

Импульс фотона:

$$P_{\text{ф}} = \frac{h\nu}{c} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 5 \cdot 10^{14}}{3 \cdot 10^8} = 1,1 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

$P_{\text{ф}} - ?$ $m_{\text{ф}} - ?$

Масса фотона:

$$E_{\text{ф}} = m_{\text{ф}} c^2 ; \quad m_{\text{ф}} = \frac{E_{\text{ф}}}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} ;$$

$$m_{\Phi} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 5 \cdot 10^{14}}{(3 \cdot 10^8)^2} = 3,7 \cdot 10^{-36} \text{ кг.}$$

Ответ: $P_{\Phi} = 1,1 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$, $m_{\Phi} = 3,7 \cdot 10^{-36} \text{ кг.}$

Задача 2. На сколько изменилась кинетическая энергия электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с длиной волны $\lambda = 486 \text{ нм}$?

Дано:
 $\lambda = 486 \text{ нм} = 4,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$

$\Delta E_{\text{кин}} - ?$

Решение

При излучении фотона атомом энергия последнего уменьшается, согласно закону сохранения энергии, на величину, равную энергии излученного фотона. Приняв, что изменение энергии атома проявится целиком в виде изменения кинетической энергии электрона, получим:

$$\Delta E_{\text{кин}} = hc/\lambda,$$

где c - скорость света в вакууме, h - постоянная Планка.

Окончательно имеем:

$$\Delta E_{\text{кин}} = hc/\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{486 \cdot 10^{-7}} = 4,1 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Ответ: $\Delta E_{\text{кин}} = 4,1 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$

Задача 3. Найти постоянную распада λ радона, если известно, что число атомов радона уменьшается за время $t = 1 \text{ сут.}$ на $18,2 \%$.

Дано:
 $t = 1 \text{ сут.} = 8,64 \cdot 10^4 \text{ с}$
 $\Delta N = 0,182N_0$

$\lambda - ?$

Решение

Запишем закон радиоактивного распада:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t},$$

$$\Delta N = N_0 - N = 0,182N_0,$$

$$N = (1 - 0,182) N_0 = 0,818N_0,$$

$$0,818N_0 = N_0 e^{-\lambda \cdot t},$$

$$\text{откуда } \lambda = \frac{-\ln 0,818}{t} = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}.$$

Ответ: $\lambda = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}.$

Задача 4. Какой изотоп образуется из ${}^{232}_{90}\text{Th}$ после четырех α - распадов и двух β - распадов ?

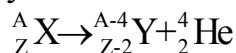
Дано:



$P_{\Phi} - ?$ $m_{\Phi} - ?$

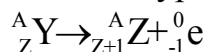
Решение

Каждый α - распад соответствует испусканию ядром ${}^{232}_{90}\text{Th}$ одного ядра ${}^4_2\text{He}$. Это приведет к уменьшению массы ядра на 4 а.е.м., а заряда - на 2:



После четырех α - распадов получим ядро ${}^{216}_{82}\text{Y}$.

Каждый β - распад приводит к испусканию электрона и, соответственно, увеличению заряда ядра на 1 согласно уравнению:



После двух β - распадов получим ядро ${}^{216}_{84}\text{Z}$. Ядро с данным зарядом соответствует изотопу полония-216.

Ответ: ${}^{216}_{84}\text{Po}$

НЕКОТОРЫЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ

Гравитационная постоянная	$G = 6,6720 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$
Ускорение свободного падения (нормальное)	$g_n = 9,80665 \text{ м/с}^2$
Нормальное атмосферное давление	$p_0 = 101325 \text{ Па} = 760 \text{ мм.рт.ст} = 1 \text{ атм}$
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Объем одного моля идеального газа при нормальных условиях	$V_M = RT_0/P_0 = 22,41383 \text{ м}^3/\text{моль}$
Универсальная газовая постоянная	$R = 8,31441 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Постоянная Больцмана	$k = R/N_A = 1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Скорость света в вакууме	$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} = 1,25663706144 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = (\mu_0 c^2)^{-1} = 8,85418782 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Масса покоя электрона	$m_e = 9,109534 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$

Масса покоя протона	$m_p = 1,6726485 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса покоя нейтрона	$m_n = 1,6749543 \cdot 10^{-27}$ кг
Атомная единица массы	1 а. е. м. = $1,6605655 \cdot 10^{-27}$ кг (соответствует энергии 931,3 МэВ)
Элементарный заряд	$e = 1,6021892 \cdot 10^{-19}$ Кл
Постоянная Планка	$h = 6,626176 \cdot 10^{-34}$ Дж/с