



**Министерство образования и науки Российской Федерации
Рубцовский индустриальный институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова»**

В.В. Борисовский

ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ

**Методическое пособие и контрольные задания
для студентов заочной формы обучения
направления ЭиЭ**

Рубцовск 2014

ББК 530.1

Борисовский В.В. Введение в физику: Методическое пособие и контрольные задания для студентов заочной формы обучения направления ЭиЭ / Рубцовский индустриальный институт.- Рубцовск, 2014. - 58 с.

Методическое пособие предназначено для оказания помощи студентам заочной формы обучения инженерно-технических специальностей в изучении курса физики.

В пособии даны учебная программа курса, краткое изложение основных законов, примеры решения задач и контрольные задания. Приведены справочные данные, необходимые при выполнении контрольных заданий.

Рассмотрено и одобрено на заседании
НМС РИИ

Протокол № 1 от 26.02.2014 г.

Рецензент:

к.т.н., доцент

Э.С. Маршалов

Содержание

I. Учебная программа	4
II. Теоретический материал	6
§ 1. Механика	6
1.1. Основы кинематики	6
1.2. Законы динамики	8
1.3. Законы статики, гидро- и аэростатики	9
1.4. Законы сохранения	10
1.5. Механические колебания и волны	11
§ 2. Молекулярная физика. Термодинамика	12
2.1. Законы идеального газа	13
2.2. Основы термодинамики	14
§ 3. Электродинамика	16
3.1. Электростатика	16
3.2. Емкость и конденсаторы	17
3.3. Постоянный электрический ток	17
3.4. Магнитостатика	18
3.5. Явление электромагнитной индукции	19
3.6. Электромагнитные колебания и волны	20
§ 4. Оптика	21
4.1. Законы геометрической оптики	21
4.2. Зеркала	22
4.3. Тонкие линзы	23
4.4. Основные понятия и законы волновой оптики	25
§ 5. Основы специальной теории относительности	25
§ 6. Квантовая, атомная и ядерная физика	26
6.1. Квантовые свойства света	26
6.2. Атомная физика	26
6.3. Основные понятия и законы ядерной физики	27
III. Примеры решения задач	28
IV. Контрольная работа	47
Приложение	58

I. Учебная программа

1. Механика

Механическое движение и его относительность. Система отсчета. Материальная точка. Траектория. Путь и перемещение.

Скорость. Ускорение. Уравнения пути и скорости при прямолинейном равномерном и ускоренном движениях. Свободное падение. Движение по окружности с постоянной по модулю скоростью. Период и частота вращения. Центростремительное ускорение.

Первый закон Ньютона. Сила. Инерция. Инерциальные системы отсчета. Масса. Второй закон Ньютона. Третий закон Ньютона. Импульс. Закон сохранения импульса.

Сила и момент силы. Условие равновесия тел. Сила тяжести. Закон всемирного тяготения. Вес тела. Сила трения. Сила упругости. Закон Гука. Центростремительная сила.

Работа. Мощность. КПД механизмов. Кинетическая энергия. Потенциальная энергия. Закон сохранения энергии.

Давление. Атмосферное давление. Закон Паскаля. Сила Архимеда.

Механические колебания. Уравнение гармонических колебаний. Амплитуда, период, частота, фаза колебания. Период колебаний математического и пружинного маятников.

Механические волны. Поперечные и продольные волны. Длина волны. Звук. Громкость и высота тона. Тембр.

2. Молекулярная физика

Основные положения молекулярной физики. Количества вещества – моль. Абсолютная температура. Связь средней кинетической энергии с температурой.

Количество теплоты. Удельная теплоемкость. Удельная теплота плавления и парообразования.

Идеальный газ. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории. Уравнение состояния идеального газа (Менделеева-Клапейрона). Изопроцессы.

Испарение и конденсация. Влажность воздуха.

3. Термодинамика

Работа в термодинамике. Адиабатический процесс. Внутренняя энергия. Первый закон термодинамики.

Тепловые двигатели. Цикл Карно. КПД теплового двигателя. Второй закон термодинамики.

4. Электростатика

Два вида электрических зарядов. Закон сохранения заряда. Закон Кулона.

Электрическое поле. Напряженность и потенциал электрического поля. Разность потенциалов. Связь между напряженностью и потенциалом.

Диэлектрики в электрическом поле. Проводники в электрическом поле. Электрическая емкость. Конденсаторы. Энергия электрического поля конденсатора.

5. Постоянный ток

Сила тока. Напряжение. Закон Ома для участка цепи. Сопротивление. Удельное сопротивление. Последовательное и параллельное соединение проводников.

Электродвижущая сила. Закон Ома для полной цепи. Работа и мощность электрического тока. Закон Джоуля-Ленца.

Электрический ток в металлах, жидкостях, газах и полупроводниках. Закон электролиза.

6. Электромагнетизм

Магнитное поле. Индукция магнитного поля. Сила Ампера. Сила Лоренца.

Магнитный поток. Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея. Энергия магнитного поля.

Электромагнитные колебания. Колебательный контур. Переменный ток. Действующие значения тока и напряжения. Трансформатор.

7. Оптика

Прямолинейное распространение света. Закон отражения света. Закон преломления. Полное отражение.

Линза. Формула тонкой линзы. Построение изображений в линзах. Интерференция света. Дифракция света. Дифракционная решетка. Дисперсия света. Поляризация света.

8. Основы специальной теории относительности

Инвариантность скорости света. Принцип относительности Эйнштейна. Связь массы и энергии.

9. Квантовая физика

Тепловое излучение. Постоянная Планка. Энергия кванта света. Фотоэффект. опыты Столетова. Законы Столетова. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.

10. Атомная физика

Опыты по рассеянию альфа-частиц. Планетарная модель атома. Постулаты Бора. Боровская модель атома водорода. Спектры. Спектральный анализ.

11. Ядерная физика

Радиоактивность. Альфа-, бета-, гамма-излучения. Заряд ядра. Массовое число ядра. Энергия связи частиц в ядре.

Ядерные реакции. Сохранение заряда и массового числа при ядерных реакциях. Деление ядер. Синтез ядер. Выделение энергии при делении и синтезе ядер. Ядерная энергетика.

II. Теоретический материал

§ 1. Механика

1.1. Основы кинематики

Часть механики, в которой изучают законы движения тел без рассмотрения причин движения, называют **кинематикой**. **Механическим движением** называют изменение положения тела относительно других тел.

Системой отсчета называют систему координат, связанную с телом отсчета. Тело отсчета – это тело, относительно которого рассматривают положение других тел.

Материальной точкой называют тело, размерами которого в данной задаче можно пренебречь.

Траекторией называют линию, которую описывает материальная точка при своем движении. Траектория делится на прямолинейную (отрезок прямой) и криволинейную (отрезок кривой).

Отрезок траектории, который описывает материальная точка за данный промежуток времени, называется **путем**. Путь – скалярная величина.



Перемещение – это вектор, соединяющий начальное положение материальной точки с ее конечным положением (рис.1).

Рис. 1

Равномерным прямолинейным движением называют движение по прямой, при котором материальная точка за равные промежутки времени проходит одинаковый путь (перемещение). При этом скорость равномерного прямолинейного движения равна:

$$\vec{V} = \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t}, \text{ (м/с),}$$

а путь, пройденный материальной точкой,

$$S = v \cdot t. \quad (1.1)$$

Путь, перемещение и скорость материальной точки зависят от выбора системы отсчета (относительность движения). Скорость тела \vec{V} в неподвижной системе отсчета равна сумме скоростей этого тела \vec{V}_1 в подвижной системе отсчета и скорости \vec{V}_2 подвижной системы отсчета относительно неподвижной (формула сложения скоростей):

$$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2. \quad (1.2)$$

При неравномерном движении пользуются средней скоростью. Определяется средняя скорость отношением пути на определенном участке траектории ко времени прохождения этого пути

$$v_{\text{ср}} = \frac{\Delta S}{\Delta t}.$$

Мгновенной скоростью называют скорость тела в данной точке или данный момент времени.

Равнопеременное (ускоренное и замедленное) прямолинейное движение – это прямолинейное движение, при котором мгновенная скорость за любые равные промежутки времени изменяется на одну и ту же величину.

Изменение мгновенной скорости тела ко времени, за которое это изменение произошло, называют **ускорением**:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_t - \vec{v}_0}{t} = \frac{\Delta \vec{v}}{t} \quad (\text{м/с}^2). \quad (1.3)$$

Зависимость координаты тела от времени при равномерном прямолинейном движении имеет вид:

$$S = S_0 \pm vt, \quad (1.4)$$

где S_0 – начальная координата, v – скорость движения. При равнопеременном прямолинейном движении зависимость координаты от времени имеет вид

$$S = S_0 + v_0 t \pm \frac{at^2}{2}, \quad (1.5)$$

где v_0 – начальная скорость, a – ускорение.

Пройденный путь при равнопеременном движении по прямой определяется по формулам:

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad \text{и} \quad (1.6)$$

$$S = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2a}. \quad (1.7)$$

Свободным падением называют равноускоренное движение с постоянным ускорением $g=9,8 \text{ м/с}^2$. Оно происходит под действием силы тяжести.

Скорость при свободном падении определяется по формуле:

$$V = V_0 \pm gt. \quad (1.8)$$

Перемещение по вертикали рассчитывается по формуле

$$h = h_0 + V_0 t \pm \frac{gt^2}{2}. \quad (1.9)$$

При движении по окружности скорость тела направлена по касательной к окружности (линейная скорость). Кроме линейной скорости перемещение тела по окружности описывается поворотом радиуса окружности, соединяющего центр окружности с телом. Отношение угла поворота радиуса ко времени, в течение которого этот поворот выполнен, называется угловой скоростью ω :

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}. \quad (1.10)$$

Угловая скорость связана с линейной скоростью соотношением

$$V = \omega r, \quad (1.11)$$

где r - радиус окружности.

Время одного полного оборота тела называется **периодом** T , а величина, обратная периоду – частота вращения – ν . Угловая скорость равна

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu. \quad (1.12)$$

При равномерном движении по окружности модуль скорости не меняется, но меняется по направлению, в результате возникает центростремительное ускорение, направленное по радиусу к центру окружности:

$$a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = 4\pi^2 \nu^2 r. \quad (1.13)$$

1.2. Законы динамики

Часть механики, изучающая причины движения тел, называется *динамикой*.

Первый закон Ньютона: тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока на него не подействует другое тело или действие других тел скомпенсировано.

Свойства тела сохранять состояние покоя или прямолинейного равномерного движения называется *инертностью*, а явление сохранения скорости при уравновешенных внешних силах называется *инерцией*. *Инерциальными системами отсчета* называют системы, в которых выполняется первый закон Ньютона.

Масса – это мера инертности тела.

Сила – это мера действия одного тела на другое.

Второй закон Ньютона: сила, действующая на тело, равна произведению массы тела на ускорение, сообщаемое этой силой

$$\vec{F} = m\vec{a}. \quad (1.14)$$

Если на тело действует несколько сил, то ускорение совпадает по направлению с равнодействующей силой.

Третий закон Ньютона: силы, с которыми два тела действуют друг на друга, равны по модулю и противоположны по направлению

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2, \quad (1.15)$$

т.е. сила действия равна силе противодействия.

В механике существуют три вида сил: силы упругости, силы трения и силы гравитационного притяжения. Если тело (пружину) подвергнуть деформации, то возникают силы, препятствующие этой деформации. Такие силы называют силами упругости и они определяются по формуле:

$$F_{\text{упр}} = -kx, \quad (1.16)$$

где k – жесткость пружины (Н/м), x – деформация тела. Знак «-» указывает, что сила и деформация направлены в разные стороны.

При движении тел относительно друг друга возникают силы, препятствующие движению, которые называются *силами трения*. Различают *трение покоя* и *трение скольжения*. *Сила трения скольжения* находится по формуле:

$$F_{\text{тр}} = \mu N, \quad (1.17)$$

где N – сила нормального давления, прижимающая трущиеся поверхности друг к другу, μ – коэффициент трения.

Эта сила не зависит от площади трущихся тел. Коэффициент трения зависит от материала тел и качества обработки их поверхностей. *Трение покоя* возникает, если тела находятся в покое относительно друг друга. Сила трения покоя может меняться от нуля до некоторого максимального значения, определяемого по формуле (1.17).

Любые два тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними R :

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2}, \quad (1.18)$$

где γ – гравитационная постоянная.

Формула (1.18) является законом всемирного тяготения, а сила называется гравитационной.

Сила, с которой все тела притягиваются к Земле, является **силой тяжести** и определяется по формуле

$$P = mg. \quad (1.19)$$

Весом тела называют силу, с которой тело давит на горизонтальную опору или растягивает подвес. Если тело лежит на неподвижной опоре, то его вес равен силе тяжести $P=mg$. Если тело движется по вертикали с ускорением a , то его вес будет изменяться.

При движении тела с ускорением a , направленным вверх, его вес:

$$P = m(g + a), \quad (1.20)$$

т.е. больше веса покоящегося тела.

При движении тела с ускорением, направленным вниз, его вес

$$P = m(g - a), \quad (1.21)$$

В этом случае вес тела меньше веса покоящегося тела.

Невесомостью называется такое движение тела, при котором его ускорение равно ускорению свободного падения, т.е. $a=g$. Это возможно в том случае, если на тело действует только одна сила – сила тяжести.

1.3. Законы статики, гидро- и аэростатики

Тело (материальная точка) находится в состоянии равновесия, если векторная сумма сил, действующих на него, равна нулю.

Когда тело имеет ось вращения, то для достижения положения равновесия помимо равенства нулю суммы сил, необходимо, чтобы алгебраическая сумма моментов всех сил, действующих на тело, была равна нулю. Момент сил равен

$$M = F \cdot l, \quad (1.22)$$

где l – плечо силы. **Плечом силы** l называется кратчайшее расстояние между осью вращения и линией действия силы.

Рычаг находится в равновесии, если алгебраическая сумма моментов всех вращающих сил равна нулю.

Для характеристики действия силы в жидкостях и газах применяется **давление**, которое определяется отношением силы, действующей на площадку площадью S , к величине этой площади:

$$p = \frac{F}{S}. \quad (1.23)$$

Для жидкостей и газов внешнее давление распространяется по всем направлениям без изменений (закон Паскаля).

Если жидкость находится в поле силы тяжести, то на глубине h давление равно

$$p = \rho gh, \quad (1.24)$$

где ρ – плотность жидкости. Для воздуха над поверхностью Земли, который называют атмосферой, плотность с высотой уменьшается, поэтому форму-

ла (1.24) для атмосферы неприменима. Давление атмосферы на уровне поверхности Земли равно $760 \text{ мм.рт.ст.} = 10^5 \text{ Па}$.

Гидравлический пресс представляет собой два сообщающихся цилиндрических сосуда, заполненные трансформаторным маслом или иной жидкостью. Сосуды, имеющие разную площадь сечения, закрыты поршнями. Если к одному поршню приложить некоторую силу, то сила, приложенная ко второму поршню, будет зависеть от сечения второго поршня. Поскольку давление под поршнями должно быть одинаковым, то

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \text{ и } F_2 = \frac{F_1 S_2}{S_1}. \quad (1.25)$$

Чем больше отношение $\frac{S_2}{S_1}$, тем больший выигрыш в силе можно получить. Однако выигрыша в работе не будет.

На тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и равная весу жидкости или газа, вытесненного телом (закон Архимеда):

$$F_A = \rho_{\text{жидк}} g V_{\text{погр}}, \quad (1.26)$$

где $\rho_{\text{жидк}}$ – плотность жидкости, в которую погружено тело, $V_{\text{погр}}$ – объем погруженной части тела.

Тело плавает в жидкости или газе, когда выталкивающая сила, действующая на тело, равна силе тяжести, действующей на тело.

1.4. Законы сохранения

Импульс тела – это физическая величина, равная произведению массы тела на его скорость:

$$\vec{p} = m\vec{v}. \quad (1.27)$$

Для изолированной системы взаимодействующих тел (система, тела которой взаимодействуют только друг с другом) выполняется закон сохранения импульса: сумма импульсов изолированной системы до взаимодействия равна сумме импульсов этих же тел после взаимодействия.

Механической работой называют физическую величину, которая равна произведению силы, действующей на тело, на перемещение силы и на косинус угла между направлением силы и перемещения:

$$A = F \cdot S \cdot \cos\alpha. \quad (1.28)$$

Работа, совершаемая в единицу времени, называется мощностью

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot S \cdot \cos\alpha}{t} = F \cdot v \cdot \cos\alpha. \quad (1.29)$$

Коэффициент полезного действия (КПД) механизма определяется отношением работы полезной к работе затраченной

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}}} = \frac{N_{\text{пол}}}{N_{\text{затр}}}. \quad (1.30)$$

Способность тела совершать работу характеризуют величиной, которую называют **энергией**. Механическая энергия бывает **кинетической** и **потенциальной**. Кинетическая энергия поступательного движения материальной точки рассчитывается по формуле:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (1.31)$$

Энергия взаимного положения тел или частей одного и того же тела называется **потенциальной**. Потенциальной энергией обладает тело, поднятое над поверхностью Земли на высоту h :

$$E_{\text{п}} = mgh. \quad (1.32)$$

Энергия сжатой (или растянутой) пружины

$$E_{\text{м}} = \frac{kx^2}{2}, \quad (1.33)$$

где k – коэффициент жесткости пружины, x – абсолютная деформация пружины.

Сумма кинетической и потенциальной энергии составляет **механическую энергию**. Для изолированной системы тел в механике выполняется закон сохранения механической энергии: если между телами изолированной системы не действуют силы трения (или другие силы, приводящие к рассеянию энергии), то сумма механической энергии тел этой системы не изменяется.

1.5. Механические колебания и волны

Колебаниями называются движения, обладающие той или иной степенью повторяемости во времени. Колебания называются периодическими, если значения физических величин повторяются через равные промежутки времени.

Периодические колебания, в которых физическая величина X изменяется по закону синуса или косинуса, называются **гармоническими колебаниями**, т.е.

$$X = A \sin(\omega t + \varphi_0). \quad (1.34)$$

Величина A , равная наибольшему отклонению от положения равновесия, называется **амплитудой** колебаний. Аргумент синуса $\alpha = \omega t + \varphi_0$ определяет значение X в момент времени t и называется фазой колебаний, φ_0 – начальная фаза.

Время, за которое колеблющееся тело совершает одно полное колебание, называется **периодом** T . Зная период T , можно определить число полных колебаний за единицу времени, которое называется **частотой периодических колебаний** ν :

$$\nu = \frac{1}{T}. \quad (1.35)$$

Круговая или циклическая частота ω в формуле (1.34) равна

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}. \quad (1.36)$$

Гармонические колебания можно наблюдать с помощью маятников. **Математическим маятником** называется материальная точка, подвешенная на невесомой нерастяжимой нити и совершающая колебания в вертикальной плоскости. Период колебаний математического маятника определяется по формуле:

$$T = 2\pi\sqrt{l/g}, \quad (1.37)$$

где l – длина маятника, g – ускорение свободного падения.

Если один конец пружины закреплен, а к другому ее концу прикреплено тело массой m , то при выведении тела из положения равновесия возникнут ко-

лебания этого тела. Такой маятник называется **пружинным**. Период колебаний тела массой m на пружине определяется по формуле:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}, \quad (1.38)$$

где k – жесткость пружины.

Распространение колебаний в упругих средах называется волновым процессом или просто **волной**. Если колебания частиц среды происходят перпендикулярно направлению распространения волны, то такую волну называют **поперечной**.

В **продольной** волне колебания частиц среды происходят в направлении распространения волны.

Скорость распространения волны равна

$$v = \lambda/T, \quad (1.39)$$

где λ – длина волны – расстояние между двумя ближайшими точками, колеблющимися в одной фазе.

Звуковыми волнами называют волны, колебания в которых происходят с частотами от 16 до 20000 Гц. Скорость звука в воздухе равна 340 м/с, в воде – 1480 м/с, в стали – 5000 м/с.

Ультразвуковые волны имеют частоту колебаний больше 20000 Гц, инфразвуковые – меньше 16 Гц.

§ 2. Молекулярная физика. Термодинамика

Основные положения молекулярно-кинетической теории (МКТ) заключаются в следующем.

1. Вещества состоят из атомов и молекул.
2. Атомы и молекулы находятся в непрерывном хаотическом движении.
3. Атомы и молекулы взаимодействуют между собой с силами притяжения и отталкивания.

Характер движения и взаимодействия молекул и атомов определяет три агрегатных состояния вещества: твердое, жидкое и газообразное.

Относительной молекулярной массой M называют отношение массы m_0 молекулы к $1/12$ массы атома углерода m_c :

$$M = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_c}. \quad (2.1)$$

Количество вещества в молекулярной физике принято измерять в молях. **Молем** ν называется количество вещества, в котором содержится столько же атомов или молекул, сколько их содержится в 12 г углерода. Это число атомов в 12 г углерода называется **числом Авогадро**:

$$N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}. \quad (2.2)$$

Молярная масса $\mu = M \cdot 10^{-3}$ кг/моль – это масса одного моля вещества. Количество молей в веществе можно рассчитать по формуле

$$\nu = m/\mu. \quad (2.3)$$

2.1. Законы идеального газа

Газ, взаимодействием между молекулами которого можно пренебречь, называется идеальным газом. В идеальном газе взаимодействие между молекулами и со стенками сосуда происходит в виде упругих столкновений.

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа определяет давление p этого газа:

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{V^2}, \quad (2.4)$$

где m_0 – масса молекулы, n – концентрация молекул (число молекул в единице объема), \overline{V} – средняя квадратичная скорость движения молекул.

Уравнение состояния идеального газа – уравнение Менделеева-Клапейрона устанавливает связь между давлением p , объемом V и температурой T газа:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT, \quad (2.5)$$

где $R=8,31$ Дж/(моль·К) – газовая постоянная.

Если масса газа не меняется, то из уравнения (2.5) следует

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{\mu} R = const. \quad (2.6)$$

Это уравнение является **объединенным газовым законом**.

При $T=const$ для данной массы газа произведение давления на его объем есть величина постоянная

$$pV = const. \quad (2.7)$$

Такой процесс называется **изотермическим**, а формула (2.7) называется законом Бойля-Мариотта.

В координатах p - V изотерма – гипербола, а в координатах V - T и p - T – прямые (рис.2).

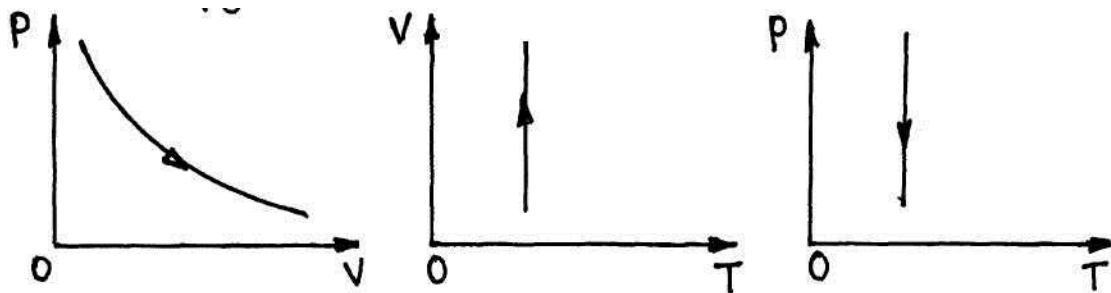


Рис.2

Изохорный процесс (закон Шарля): для данной массы газа при неизменном объеме отношение давления к температуре в градусах Кельвина есть величина постоянная (рис.3):

$$\frac{p}{T} = const. \quad (2.8)$$

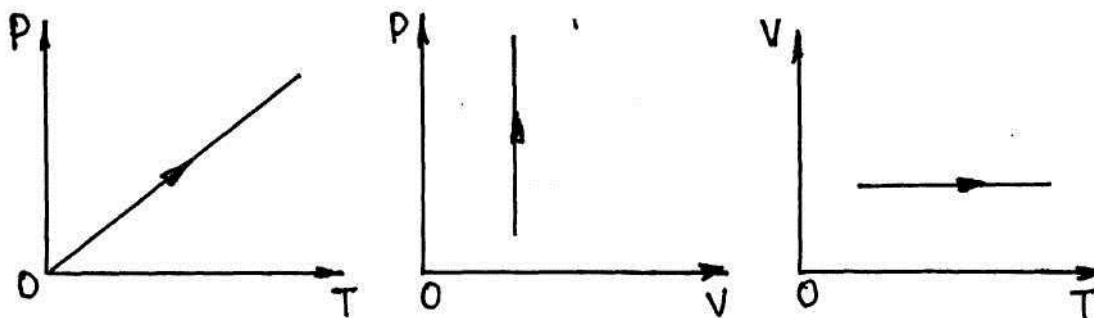


Рис. 3

Изобарный процесс (закон Гей-Люссака): для данной массы газа при неизменном давлении отношение объема газа к температуре в градусах Кельвина есть величина постоянная (рис.4):

$$\frac{V}{T} = const. \quad (2.9)$$

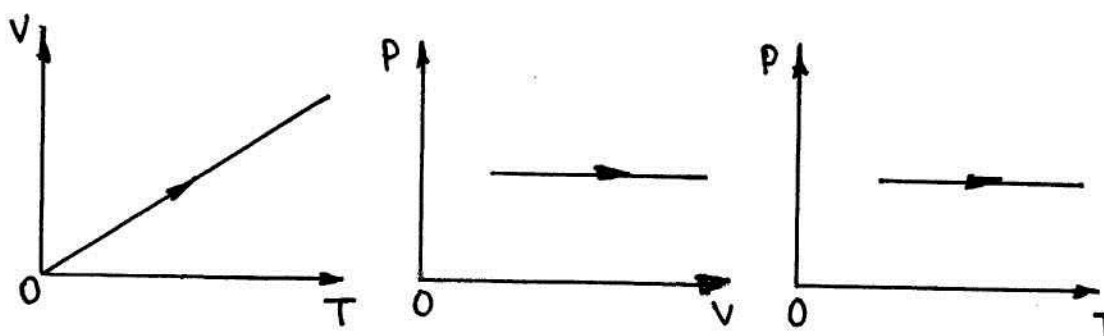


Рис.4

Закон Дальтона: давление смеси нескольких газов равно сумме парциальных давлений отдельных газов, входящих в эту смесь. Парциальное давление – это давление, которое создал бы каждый газ в отсутствие остальных.

$$p_{\text{смеси}} = p_1 + p_2 + p_3 + \dots \quad (2.10)$$

2.2. Основы термодинамики

Внутренняя энергия тела равна сумме кинетических энергий беспорядочного движения всех молекул тела и потенциальных энергий всех молекул друг с другом.

Внутренняя энергия идеального газа представляет собой сумму кинетических энергий беспорядочного движения молекул: так как молекулы идеального газа не взаимодействуют друг с другом, то их потенциальная энергия обращается в нуль.

Для идеального одноатомного газа внутренняя энергия равна

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT \quad (\text{Дж}). \quad (2.11)$$

Мера изменения внутренней энергии при теплообмене называется количеством теплоты Q и определяется по формуле:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (\text{Дж}), \quad (2.12)$$

где c – удельная теплоемкость, ΔT – разность температур.

Работа при изобарном расширении газа равна произведению давления газа на изменение его объема:

$$A = p(V_2 - V_1) = p\Delta V. \quad (2.13)$$

Закон сохранения энергии в тепловых процессах (первый закон термодинамики) говорит о том, что количество теплоты, переданное системе, равно сумме изменения внутренней энергии системы при переходе ее из одного состояния в другое и работы, совершаемой газом:

$$Q = \Delta U + A. \quad (2.14)$$

Применение первого закона термодинамики к изопроцессам:

а) изотермический процесс $T = \text{const}$, $\Delta T = 0$. В этом случае изменение внутренней энергии идеального газа равно $\Delta U = \frac{3}{2}R\Delta T = 0$, следовательно, $Q = A$. Все переданное газу тепло расходуется на совершение им работы против внешних сил.

б) изохорный процесс $V = \text{const}$, $\Delta V = 0$. В этом случае работа газа $A = p\Delta V = 0$, следовательно, $Q = \Delta U$. Все переданное газу тепло расходуется на увеличение его внутренней энергии.

в) изобарный процесс $p = \text{const}$, $\Delta p = 0$. В этом случае $Q = \Delta U + A$.

Адиабатический процесс происходит без теплообмена с окружающей средой $Q = 0$. В этом случае $A = -\Delta U$, т.е. изменение внутренней энергии газа происходит за счет совершения работы газа над внешними телами.

Количество теплоты, необходимое для нагревания вещества в одном агрегатном состоянии (твердом, жидком и газообразном), рассчитывается по формуле:

$$Q = cm(t_2 - t_1), \quad (2.15)$$

где c – удельная теплоемкость вещества, m – масса вещества, t_1 – начальная температура, t_2 – конечная температура.

Количество теплоты для плавления твердого тела определяется по формуле:

$$Q = \lambda m, \quad (2.16)$$

где λ – удельная теплота плавления, m – масса тела.

Количество теплоты, необходимое для испарения, рассчитывается по формуле:

$$Q = rm,$$

где r – удельная теплота парообразования, m – масса тела.

Для превращения тепловой энергии в механическую чаще всего пользуются тепловыми двигателями.

Коэффициентом полезного действия теплового двигателя называют отношение работы A , совершаемой двигателем, к количеству теплоты, полученному от нагревателя Q_1 :

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}, \quad (2.17)$$

где Q_2 – тепло, отданное холодильнику.

КПД идеальной тепловой машины с идеальным газом в качестве рабочего тела равен

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad (2.18)$$

где T_1 – температура нагревателя, T_2 – температура холодильника.

§ 3. Электродинамика

3.1. Электростатика

В электростатике рассматриваются свойства и закономерности системы неподвижно распределенных электрических зарядов, а также явления, происходящие в телах под действием этих зарядов.

Закон Кулона – основной закон электростатики – определяет силу взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов q_1 и q_2 , находящихся на расстоянии r друг от друга в вакууме:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (3.1)$$

где k – коэффициент пропорциональности. В СИ коэффициент $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Точечными зарядами называют такие заряды, расстояние между которыми гораздо больше их размеров.

Электрические заряды взаимодействуют друг с другом посредством электрических полей. Для описания электрического поля используются силовая характеристика – напряженность \vec{E} и энергетическая – потенциал φ .

Напряженность электрического поля в данной точке равна отношению силы \vec{F} , действующей на пробный заряд, к величине этого заряда q_0 :

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \text{ (В/м)}. \quad (3.2)$$

Направление вектора \vec{E} совпадает с направлением силы, действующей на положительный пробный заряд. Для точечного заряда напряженность поля равна

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}, \quad (3.3)$$

где q – заряд, создающий поле, r – расстояние от заряда до точки, где создается поле.

Если поле создается несколькими зарядами, то для определения \vec{E} используется принцип суперпозиции (суммирования):

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n. \quad (3.4)$$

Потенциалом электрического поля называют отношение потенциальной энергии заряда в данной точке W к точечному заряду q :

$$\varphi = \frac{W_p}{q} \text{ (В)}.$$

Если заряд перемещается из точки с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2 , то электрическое поле совершает работу

$$A = -(W_{p2} - W_{p1}) = -q(\varphi_2 - \varphi_1) = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU, \quad (3.5)$$

где $U = \varphi_1 - \varphi_2$ – разность потенциалов или напряжение.

Потенциал поля точечного заряда определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}. \quad (3.6)$$

Проекция напряженности \vec{E} электрического поля на какую-нибудь ось и потенциал связаны соотношением:

$$E_x = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}.$$

3.2. Емкость и конденсаторы. Энергия электрического поля

Емкостью тела называют величину отношения заряда на теле к потенциалу тела:

$$C = \frac{q}{\varphi}. \quad (3.7)$$

Измеряется емкость в фарадах $1\text{Ф} = \frac{1\text{Кл}}{1\text{В}}$; $1\text{Ф} = 10^6\text{мкФ} = 10^{12}\text{пкФ}$.

Емкость плоского конденсатора определяется по формуле:

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}, \quad (3.8)$$

где S – площадь обкладок, d – расстояние между ними, ϵ – диэлектрическая проницаемость среды между обкладками, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}\text{Ф/м}$ – электрическая постоянная.

Конденсаторы можно соединять в батареи. При параллельном соединении конденсаторов емкость батареи равна сумме емкостей отдельных конденсаторов:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots. \quad (3.9)$$

При последовательном соединении величина, обратная емкостям батареи, равна сумме обратных емкостей, входящих в батарею:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots. \quad (3.10)$$

Заряженный конденсатор обладает энергией, которая определяется по формуле:

$$W = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}. \quad (3.11)$$

3.3. Постоянный электрический ток

Электрический ток – направленное движение электрических зарядов. В разных веществах носителями заряда являются: в металлах – электроны, в жидкостях – положительные и отрицательные ионы (катионы и анионы), в газах – электроны и ионы. За направление тока принято направление движения положительных зарядов. Постоянным является ток, у которого величина и направление тока не меняются.

Количественно электрический ток характеризуют силой тока. Это заряд, прошедший за единицу времени через поперечное сечение проводника:

$$I = \frac{q}{t} \text{ (А)}. \quad (3.12)$$

Закон Ома для участка цепи имеет вид

$$I = \frac{U}{R}, \quad (3.13)$$

где R – электрическое сопротивление, являющееся характеристикой проводника, измеряется в Ом.

Сопротивление проводника зависит от его размеров и свойств материала:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (3.14)$$

где l – длина проводника, S – площадь поперечного сечения, ρ – удельное сопротивление, которое является характеристикой материала и его состояния, $[\rho]=\text{Ом}\cdot\text{м}$.

При соединении нескольких сопротивлений последовательно общее сопротивление равно сумме отдельных сопротивлений:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (3.15)$$

При параллельном соединении величина, обратная сопротивлению, равна сумме обратных сопротивлений

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Чтобы в цепи протекал электрический ток, цепь должна содержать источник тока. Количественно источники тока характеризуют их *электродвижущей силой* (ЭДС). Это отношение работы, которую совершают сторонние силы при переносе электрических зарядов по замкнутой цепи, к величине перенесенного заряда

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q}. \quad (3.16)$$

Если к зажимам источника тока подключено внешнее сопротивление R , а внутреннее сопротивление источника равно r , то в получившейся замкнутой цепи потечет ток, силу которого можно подсчитать по формуле:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}. \quad (3.17)$$

Это соотношение называют *законом Ома для полной цепи*.

Электрический ток, протекающий по проводникам, нагревает их, совершает при этом работу:

$$A = Q = qU = qIt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t, \quad (3.18)$$

где t – время, I – сила, U – разность потенциалов (напряжение), q – прошедший заряд.

Мощность электрического тока

$$P = UI = I^2R = \frac{U^2}{R}. \quad (3.19)$$

3.4. Магнитостатика

Характеристикой магнитного поля является вектор *магнитной индукции* \vec{B} . За направление вектора \vec{B} в данной точке магнитного поля принимается направление от южного полюса S к северному N магнитной стрелки, свободно устанавливающейся в магнитном поле.

Направление вектора магнитной индукции вокруг проводника с током определяется с помощью *правила правого винта*: направление перемещения правого винта при вращении должно совпадать с направлением вектора магнитной индукции. Единицей магнитной индукции является тесла (1 Тл).

Наглядно магнитное поле изображают с помощью линий магнитной индукции. Силовыми линиями магнитной индукции называются непрерывные

линии, касательные к которым в каждой точке, через которую они проходят, совпадают с вектором индукции. Число силовых линий магнитной индукции через поверхность контура площадью S характеризуется **магнитным потоком** Φ :

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha, \quad (3.20)$$

где α – угол между вектором магнитной индукции \vec{B} и нормалью к поверхности \vec{n} (перпендикуляр к поверхности). Единицей магнитного потока является вебер (1 Вб).

Если проводник с током I длиной l поместить в однородное магнитное поле с индукцией B , то на него действует сила Ампера:

$$F = BIl\sin\alpha, \quad (3.21)$$

где α – угол между направлением вектора \vec{B} и проводником с током.

Направление силы Ампера определяется по **правилу левой руки**: левую руку необходимо расположить так, чтобы четыре вытянутых пальца совпадали с направлением тока, силовые линии вектора магнитной индукции должны входить в ладонь, тогда отогнутый большой палец покажет направление действия силы Ампера.

На электрический заряд q , движущийся в магнитном поле со скоростью v , действует сила Лоренца:

$$F = qvB\sin\alpha, \quad (3.22)$$

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

Направление силы Лоренца определяется по правилу левой руки: левую руку необходимо расположить так, чтобы четыре пальца были направлены по направлению движения положительного заряда, вектор индукции должен входить в ладонь, тогда отогнутый большой палец покажет направление действия силы Лоренца.

3.5. Явление электромагнитной индукции

Если замкнутый проводящий контур охватывает магнитный поток, который меняется со временем, то в этом контуре возникает ЭДС и электрический ток. Явление их возникновения называется электромагнитной индукцией. ЭДС индукции определяется по основному закону электромагнитной индукции (закону Фарадея):

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad (3.23)$$

т.е. ЭДС индукции равна скорости изменения магнитного потока, пронизывающего проводящий контур. Знак «-» определяет направление индукционного тока, которое определяется по правилу Ленца: индукционный ток имеет такое направление, чтобы препятствовать изменению причины, вызвавшей этот ток.

При пропускании по замкнутому контуру тока I контур пронизывает собственный магнитный поток

$$\Phi = LI, \quad (3.24)$$

где L – коэффициент пропорциональности, зависящий от геометрии контура, называется индуктивностью или коэффициентом самоиндукции. Измеряется L в генри (Гн).

Если в контуре меняется сила тока I , то изменяется и магнитный поток. В этом случае в контуре возникает ЭДС самоиндукции:

$$\mathcal{E}_s = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}, \quad (3.25)$$

где $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ – скорость изменения силы тока в цепи.

Энергия магнитного поля определяется по формуле

$$W = \frac{LI^2}{2}. \quad (3.26)$$

3.6. Электромагнитные колебания и волны

Колебательным контуром называется электрическая цепь, состоящая из конденсатора с емкостью C и катушки с индуктивностью L (рис.5).

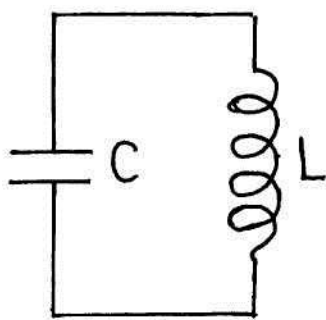


Рис. 5

Если зарядить конденсатор колебательного контура зарядом q , то он приобретет энергию $W_э = \frac{q^2}{2C}$. При зарядке конденсатора в контуре потечет ток и энергия заряженного конденсатора перейдет в энергию магнитного поля катушки $W_м = \frac{LI^2}{2}$ и затем наоборот. В контуре возникнут электромагнитные колебания с циклической частотой $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

Период свободных электромагнитных колебаний в контуре определяется по формуле Томсона

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Если катушка вращается в магнитном поле с индукцией \vec{B} , то в цепи, подключенной к катушке, возникают вынужденные электрические колебания. Такие колебания принято называть **переменным электрическим током**.

Напряжение, снимаемое с катушки, изменяется по закону

$$U = U_0 \sin \omega t, \quad (3.27)$$

где U_0 – амплитуда напряжения.

Если в цепь включен резистор (активное сопротивление), то сила тока определяется по формуле

$$I = I_0 \sin \omega t, \quad (3.28)$$

где I_0 – амплитудное значение силы тока.

Конденсатор оказывает переменному току сопротивление, которое рассчитывается по формуле

$$R_c = \frac{1}{\omega C}. \quad (3.29)$$

Ток, текущий через конденсатор, по фазе опережает напряжение на $\pi/2$, а напряжение отстает от тока на $\pi/2$.

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

$$R_L = \omega L. \quad (3.30)$$

Ток, текущий через катушку индуктивности, по фазе отстает от напряжения на $\pi/2$, а напряжение опережает ток на $\pi/2$.

Действующие значения тока и напряжения в цепи переменного тока равны:

$$U_d = \frac{U_0}{\sqrt{2}}, \quad I_d = \frac{I_0}{\sqrt{2}}.$$

Для преобразования переменных токов используется **трансформатор**. Трансформатор состоит из замкнутого стального сердечника, на который надето две катушки. Катушка, подключенная к источнику тока, - первичная, а к потребителю - вторичная. Отношение напряжения на первичной обмотке и вторичной обмотке трансформатора равно отношению числа витков в этих обмотках:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (3.31)$$

Величина $k = \frac{N_1}{N_2}$ называется **коэффициентом трансформации**. Если $k > 1$, то трансформатор понижающий, если $k < 1$, то трансформатор повышающий.

§ 4. Оптика

4.1. Законы геометрической оптики

Закон отражения света на границе раздела двух прозрачных сред: лучи, падающий и отраженный, лежат в одной плоскости с перпендикуляром, восстановленным в точку падения луча (рис.6); угол падения луча (α) равен углу отражения (β) $\alpha = \beta$.

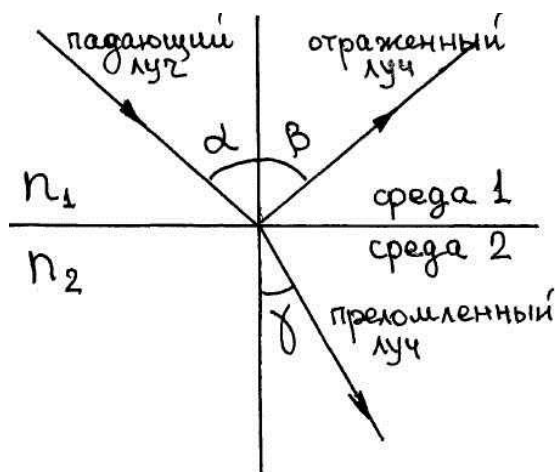


Рис. 6

Закон преломления света на границе раздела двух сред: луч падающий и луч преломленный лежат в одной плоскости с перпендикуляром, восстановленным в точку падения луча (рис.6); угол падения луча (α) и угол преломления (γ) взаимосвязаны между собой соотношением:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (4.1)$$

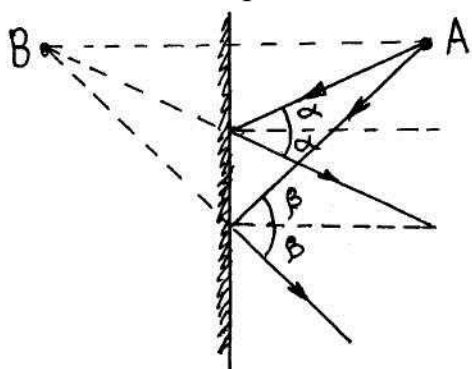
где n_1 и n_2 - показатели преломления первой и второй сред.

Показатель преломления среды показывает, во сколько скорость света в вакууме (C_0) больше, чем скорость света в данной среде (C_{cp}):

$$n = \frac{C_0}{C_{cp}}. \quad (4.2)$$

Если свет переходит из оптически более плотной среды в оптически менее плотную (например, из стекла в воздух), то при выполнении условия $\alpha > \alpha_0$, где α_0 – предельный угол полного внутреннего отражения ($\alpha_0 = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$), свет вообще не выйдет во вторую среду, а полностью отразится на границе раздела.

4.2. Зеркала

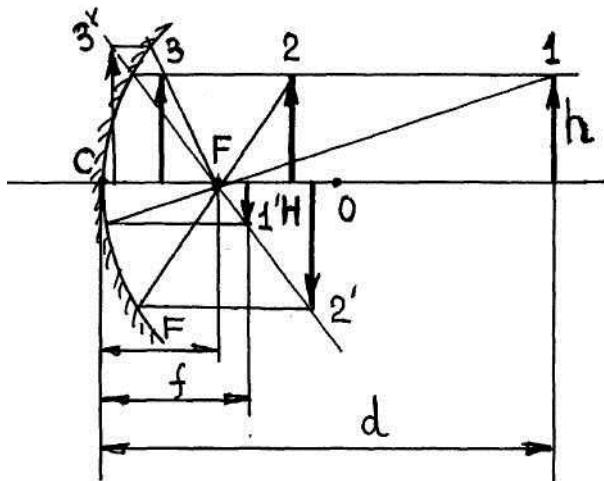


Закон отражения света применяется в оптических системах, которые называются зеркалами. Плоское зеркало создает мнимое (кажущееся) изображение. Предмет А и его мнимое изображение В расположены симметрично по отношению к поверхности зеркала (рис.7).

Если зеркально отражающая поверхность представляет собой часть шаровой поверхности, то такое зеркало называется сферическим.

Рис. 7

Центр сферической поверхности радиусом R называется оптическим центром (т. О). Прямая, проходящая через оптический центр и полюс зеркала (центр зеркала в точке С), называется главной оптической осью. Лучи, параллельные главной оптической оси, собираются в одной точке F, называемой фокусом зеркала, а расстояние от полюса зеркала С до фокуса F называется фокусным расстоянием F (рис.8).



Для лучей света, падающих на зеркало по малым углам, справедлива формула сферического зеркала

$$F = \frac{R}{2}. \quad (4.3)$$

Для лучей света, падающих на зеркало по малым углам, справедлива формула сферического зеркала

$$\frac{1}{F} = \frac{2}{R} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \quad (4.4)$$

где d – расстояние от зеркала до предмета, f – расстояние от зеркала до изображения.

Рис. 8

При построении изображения в вогнутом сферическом зеркале необходимо провести два луча: 1) луч, параллельный главной оптической оси, после отражения проходит через фокус; 2) луч, проходящий через фокус, после отражения идет параллельно главной оптической оси. Если предмет находится за оптическим центром, (положение 1), то изображение будет уменьшенным, перевернутым и действительным (положение 1'). Если предмет находится между фокусом и оптическим центром (положение 2), то изображение будет увеличенное, перевернутое и действительное. Если предмет находится между полюсом и фокусом (положение 3), то изображение будет увеличенным, прямым и

мнимым; именно этот вариант применения вогнутого зеркала чаще всего используется на практике.

Линейное увеличение (уменьшение) предмета, даваемое зеркалом (рис.8)

$$k = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}, \quad (4.5)$$

где H – высота изображения, h – высота предмета.

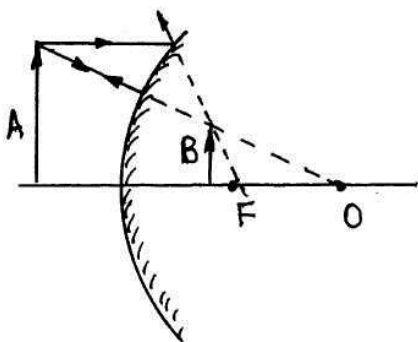


Рис. 9

В выпуклом сферическом зеркале получается уменьшенное мнимое изображение при положении предмета на любом расстоянии от зеркала (рис.9), поэтому такие зеркала применяются для увеличения угла обзора. У выпуклого зеркала фокус зеркала мнимый и в формуле зеркала фокусное расстояние берется со знаком «минус».

4.3. Тонкие линзы

Линзой называется прозрачное тело, ограниченное с двух сторон сферическими поверхностями (одна из поверхностей может быть плоскостью). Если радиусы кривизны сферических поверхностей много больше толщины линзы, то такая линза считается *тонкой*. Именно такие линзы применяются на практике.

Линзы, при прохождении через которые лучи, идущие от какой-либо точки, собираются, называются *собирающими*; если рассеиваются, то линзы называются *рассеивающими*.

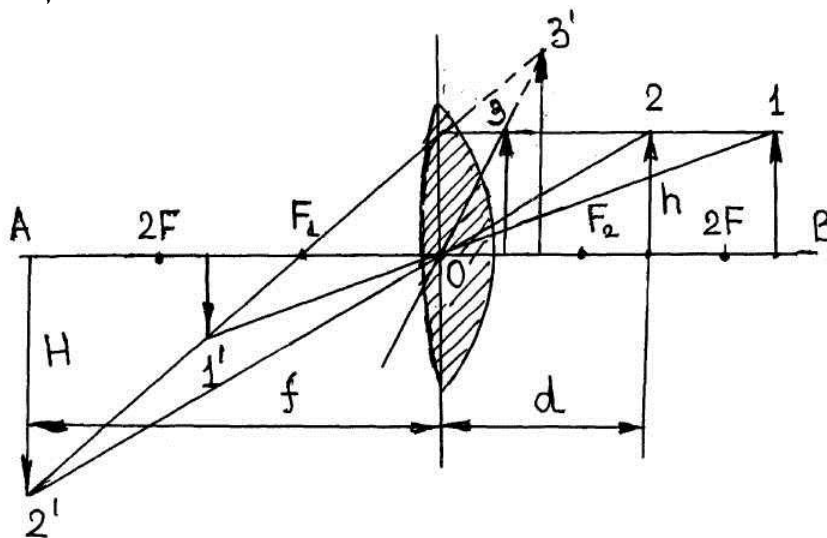


Рис. 10

Характеристики линз рассмотрим на примере двояковыпуклой собирающей линзы. Прямая, проведенная через центры сферических поверхностей линзы (AF_1OF_2B), называется *главной оптической осью*. Лучи света при прохождении через оптический центр линзы (точка O) не изменяют своего направления. Лучи, параллельные главной оптической оси, пересекаются в точке, лежа-

щей на этой оси и называемой **фокусом линзы**. У всякой линзы имеются два фокуса F_1 и F_2 (рис. 10), лежащие по обе стороны от нее на равном расстоянии от оптического центра.

При построении изображений в собирающей линзе пользуются в основном двумя лучами: 1) луч, параллельный главной оптической оси, после преломления в линзе проходит через фокус; 2) луч, прошедший через центр линзы, не меняет своего направления.

Для лучей света, падающих на тонкую линзу под малыми углами, справедлива формула линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \quad (4.6)$$

где F – фокусное расстояние линзы, d – расстояние от предмета до линзы, f – расстояние от изображения до линзы (рис. 10).

Линейное увеличение, даваемое линзой,

$$k = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}, \quad (4.7)$$

где H – высота изображения, h – высота предмета.

Величина D , обратная фокусному расстоянию F , называется **оптической силой** линзы:

$$D = \frac{1}{F}. \quad (4.8)$$

Единицей оптической силы линзы является диоптрий (дптр): 1 дптр=1/м.

Используя правила хода лучей для собирающей линзы, получим три возможных варианта построения изображения предмета. Если предмет находится за двойным фокусом ($d > 2F$, положение 1 на рис.10), то изображение будет уменьшенное, перевернутое, действительное ($1'$). Если предмет находится между $2F$ и F ($2F > d > F$, положение 2 на рис.10), то расстояние до изображения $f > 2F$ ($2'$) и изображение будет увеличенное, перевернутое, действительное. Если предмет находится между фокусом и оптическим центром ($d < F$, положение 3 на рис.10), то изображение будет увеличенное, прямое, мнимое ($3'$). Так работает оптическая система, которая носит название – лупа.

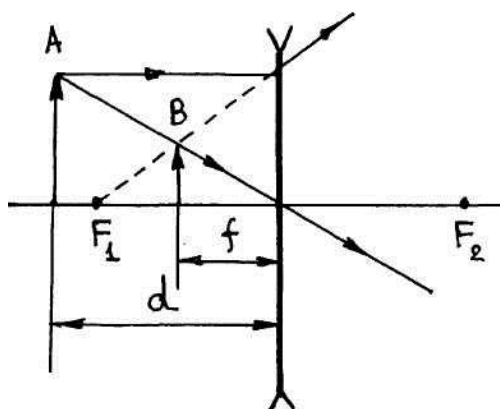


Рис. 11

В рассеивающей линзе при построении изображения пользуются двумя лучами: 1) луч, параллельный главной оптической оси, после преломления пойдет так, что его продолжение пойдет через мнимый фокус F_1 ; 2) луч, идущий через оптический центр, не меняет своего направления (рис.11). При построении изображения предмета в рассеивающей линзе всегда получается изображение уменьшенное, прямое и мнимое.

4.4. Основные понятия и законы волновой оптики

Интерференцией света называется явление наложения световых волн от двух или более источников, в результате которого в одних точках наблюдалось усиление колебаний, в других – ослабление. Для наблюдения четкой интерференционной картины необходимо, чтобы источники волн были когерентны. Это означает, что источники должны испускать волны одинаковой частоты и разность фаз между колебаниями с течением времени не должна изменяться.

Если разность хода лучей от источников света равна четному числу полуволн, то при наложении наблюдается усиление колебаний или **максимум интерференции**:

$$\Delta X = 2k \frac{\lambda}{2} (\text{max}), \quad (4.9)$$

если нечетному числу полуволн – **минимум интерференции**:

$$\Delta X = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} (\text{min}). \quad (4.10)$$

Дифракцией называют явление отклонения световых лучей от прямолинейного направления или захождение света в область геометрической тени. Дифракция наблюдается в тех случаях, если размеры препятствий и отверстий соизмеримы с длиной волны.

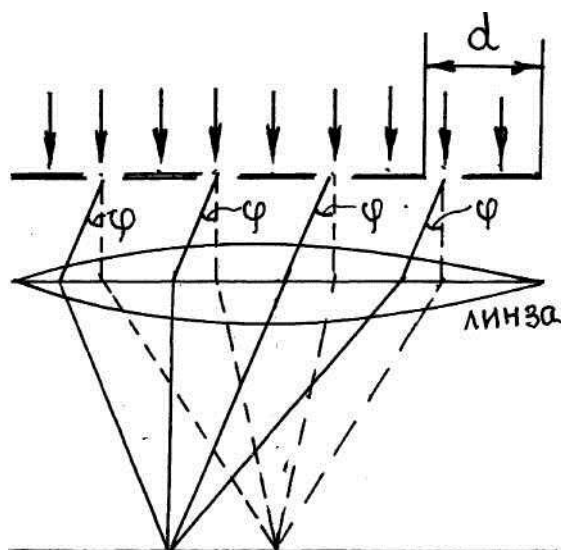


Рис. 12

Идущие под другим углом – в других точках. Накладываясь друг на друга, эти лучи дают максимум и минимум дифракционной картины. Условия наблюдения максимумов в дифракционной решетке имеет вид:

$$d \sin \varphi = k \lambda, \quad (4.11)$$

где k – целое число, $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$, λ – длина волны.

§ 5. Основы специальной теории относительности (СТО)

Специальная теория относительности Эйнштейна основывается на двух постулатах:

1) скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета. Она не зависит ни от скорости источника, ни от скорости приемника светового сигнала;

2) все процессы природы протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчета.

Между массой и энергией в соответствии с теорией относительности Эйнштейна существует взаимосвязь:

$$E = mc^2, \quad (5.1)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме.

§ 6. Квантовая, атомная и ядерная физика

6.1. Квантовые свойства света

Свет – это электромагнитная волна, обладающая квантовыми свойствами. Энергия кванта света определяется по формуле Планка:

$$\varepsilon = h\nu, \quad (6.1)$$

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

Фотоэффектом называется явление выбивания электронов с поверхности металла под действием квантов света. Законы Столетова для фотоэффекта показывают, что: 1) ток насыщения фототока пропорционален световому потоку; 2) фотоэффект наблюдается при частоте, больше критической частоты (красная граница) фотоэффекта; 3) скорость и кинетическая энергия фотоэлектрона увеличиваются с увеличением частоты падающего света.

Для объяснения фотоэффекта Эйнштейн привлек представление о фотонах (квантах света), предложенное Планком, и закон сохранения энергии и записал **уравнение Эйнштейна** для фотоэффекта в виде:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}, \quad (6.2)$$

где $A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона из металла, $\frac{mv^2}{2}$ – кинетическая энергия вылетевшего электрона.

6.2. Атомная физика

Модель атома (по Резерфорду) представляет собой положительно заряженное ядро, в котором сконцентрирована практически вся масса атома, и вокруг ядра по определенным орбитам вращаются электроны.

Постулаты Бора определяют распределение электронов по орбитам и по энергиям:

1) Электроны движутся в атоме по стационарным орбитам, на которых они обладают энергией, которая при движении по орбите не излучается.

Таких стационарных орбит в атоме несколько. Нижние орбиты называются основным состоянием атома, остальные – возбужденным состоянием.

2) Переходя с одной стационарной орбиты с энергией E_1 на другую с энергией E_2 , электрон испускает или поглощает энергию в виде кванта

$$h\nu = E_2 - E_1. \quad (6.3)$$

6.3. Основные понятия и законы ядерной физики

Ядро атома состоит из двух видов элементарных частиц – протонов и нейтронов. Так как атом в целом электрически нейтрален, то число протонов, заряд которых положительный, в ядре равно числу электронов, заряд которых отрицательный в атомной оболочке. Следовательно, число протонов в ядре равно атомному номеру элемента (Z) таблицы Менделеева. Сумму числа протонов Z и числа нейтронов N называют массовым числом и обозначают A :

$$A = Z + N. \quad (6.4)$$

A численно равно атомной массе элемента.

Самопроизвольный распад тяжелых ядер получил название радиоактивности. Он происходит с испусканием трех видов излучения; их называют α -, β - и γ -лучами. Число нераспавшихся ядер после радиоактивного излучения определяется по формуле:

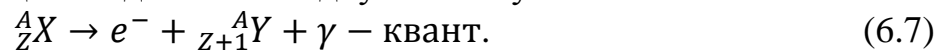
$$N = N_0 2^{-t/T}, \quad (6.5)$$

где N_0 – число ядер в начале распада, t – время распада, T – период полураспада (находится по таблице).

α -лучи – это поток ядер атомов гелия ${}^4_2\text{He}^{++}$ (дважды ионизированные атомы гелия). При α -распаде ядро теряет два протона и два нейтрона, тогда элемент X с порядковым номером Z и массовым числом A превращается в элемент Y с Z на два меньше и A на четыре меньше.



β -лучи – это электроны, движущиеся со скоростями, близкими к скорости света. При β -распаде из ядра вылетает электрон e^- , при этом образуется элемент, стоящий в таблице Менделеева на одну клеточку выше:



γ -лучи – квант электромагнитного излучения с очень короткой длиной волны. γ -излучение как самостоятельный вид распада не встречается, а сопровождает α - и β -распады.

Энергией связи ядра называют ту энергию, которая необходима для полного разделения ядра на отдельные нуклоны (протоны и нейтроны). Энергия связи атомных ядер определяется по формуле:

$$E_{\text{св}} = \Delta m c^2. \quad (6.8)$$

Величина Δm называется дефектом масс, который определяется по формуле:

$$\Delta m = Z m_H + N m_n - M_a, \quad (6.9)$$

где m_H – масса водорода, m_n – масса нейтрона, M_a – масса атома.

III. Примеры решения задач

1. Кинематика

1.1. Автомобиль, двигаясь равномерно, проходит третью часть пути со скоростью $v_1=20$ м/с, а остальной путь – со скоростью $v_2=10$ м/с. Определить среднюю скорость на всем пути.

Решение. Средняя скорость $v_{\text{ср}} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$, где ΔS – путь, пройденный автомобилем за время движения Δt . Разобьем весь путь на два участка - $S_1 = \frac{\Delta S}{3}$ и $S_2 = \frac{2\Delta S}{3}$, каждый из которых был пройден соответственно за время t_1 и t_2 . Время движения на первом участке $t_1 = \frac{S_1}{v_1} = \frac{\Delta S}{3v_1}$, на втором - $t_2 = \frac{S_2}{v_2} = \frac{2\Delta S}{3v_2}$. Общее время движения $\Delta t = t_1 + t_2 = \frac{\Delta S}{3v_1} + \frac{2\Delta S}{3v_2} = \frac{\Delta S}{3} \left(\frac{1}{v_1} + \frac{2}{v_2} \right)$. Подставляя время Δt в формулу для средней скорости и сокращая путь ΔS , получим окончательный результат $v_{\text{ср}} = \frac{3v_1v_2}{2v_1+v_2} = \frac{3 \cdot 20 \cdot 10}{2 \cdot 20 + 10} = 12$ м/с.

Ответ: $v_{\text{ср}} = 12$ м/с.

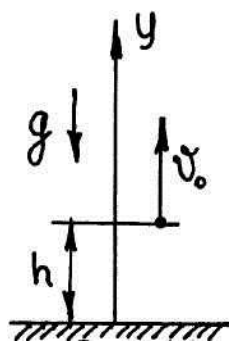
1.2. Крейсер движется по прямому курсу в неподвижной воде с постоянной скоростью $v_1=54$ км/ч. Катер, имеющий скорость $v_2=72$ км/ч, проходит расстояние от кормы движущегося крейсера до его носа и обратно за $t=40$ с. Найти длину крейсера.

Решение. Если длина крейсера равна l , скорость крейсера $v_1=54$ км/ч=15 м/с и скорость катера $v_2=72$ км/ч=20 м/с, то катер движется от кормы крейсера до его носа относительно крейсера со скоростью $\Delta v_1 = v_2 - v_1$ и затрачивает на это время $t_1 = \frac{l}{\Delta v_1} = \frac{l}{v_2 - v_1}$. В обратном направлении (от носа до кормы) катер движется относительно крейсера со скоростью $\Delta v_2 = v_2 + v_1$. Общее время движения катера от кормы крейсера до его носа и обратно

$$t = t_1 + t_2 = \frac{l}{v_2 - v_1} + \frac{l}{v_2 + v_1} = \frac{2v_2 l}{v_2^2 - v_1^2}.$$

Отсюда $l = \frac{t(v_2^2 - v_1^2)}{2v_2} = \frac{40(400 - 225)}{2 \cdot 20} = 175$ м.

Ответ: $l=175$ м.



1.3. С балкона высотой 15 м бросили вертикально вверх мяч с начальной скоростью 10 м/с. Найти время, через которое мяч упадет на Землю. Ускорение свободного падения принять равным 10 м/с^2 . Сопротивлением воздуха пренебречь.

Решение. Для решения задачи запишем уравнение движения мяча (рис.13): $y = h + v_0 t - \frac{gt^2}{2}$, где h – высота балкона, $v_0=10$ м/с – начальная скорость мяча. В момент падения мяча на Землю координата $y=0$, тогда получим уравнение

Рис. 13 $5t^2 - 10t - 15=0$, или $t^2 - 2t - 3 = 0$. Решая полученное уравнение, найдем время полета, равное 3 с.

Ответ: $t_{\text{п}}=3$ с.

1.4. С вышки в горизонтальном направлении бросили камень, который через $t=2$ с приземлился со скоростью $v=25$ м/с. На каком расстоянии от основания вышки упал камень? $g=10$ м/с².

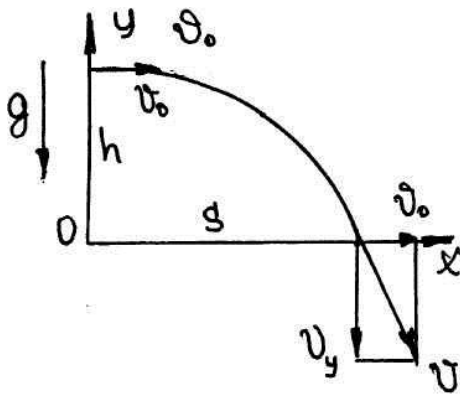


Рис. 14

Ответ: $S=30$ м.

1.5. Найти длину лопасти винта вертолета, если винт делает $N=50$ оборотов за $t=10$ с и центростремительное ускорение точек на конце винта равно $a_{цс}=2000$ м/с².

Решение. Центростремительное ускорение при вращении по окружности равно $a_{цс} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$, где v – линейная скорость, ω – угловая скорость, R – радиус вращения (в нашем случае – длина лопасти). Тогда $R = \frac{a_{цс}}{\omega^2}$, а угловая скорость $\omega = 2\pi\nu$, где ν – частота вращения $\nu = \frac{N}{t}$. Сделав все подстановки, получаем выражение для длины лопасти: $R = \frac{a_{цс} \cdot t}{2\pi^2 N^2} = \frac{2000 \cdot 10}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 50^2} = 2$ м.

Ответ: $R=2$ м.

2. Динамика

2.1. На летящий самолет действуют: в вертикальном направлении – сила тяжести $P=200$ кН и подъемная сила $F_{\Pi}=215$ кН, в горизонтальном направлении – сила тяги $F_T=30$ кН и сила сопротивления воздуха $F_c=10$ кН. $g=10$ м/с². Определить ускорение самолета.

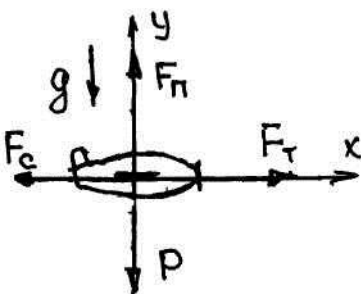


Рис. 15

$m = \frac{P}{g}$, а ускорение будет равно $a = \frac{F_R}{P} g = \frac{25}{200} \cdot 10 = 1,25$ м/с².

Ответ: $a=1,25$ м/с².

Решение. Схема приложения сил в системе координат x, y дана на рис.15. Ускорение самолета массой m находим по второму закону Ньютона: $a = \frac{F_R}{m}$, где F_R – модуль действия равнодействующей силы. Он находится через проекции вектора на оси x и y : $F_R = \sqrt{(F_T - F_c)^2 + (F_{\Pi} - P)^2}$. Подставляя значения сил F_{Π}, P, F_T и F_c , получим $F_R = 25$ кН. Массу m самолета найдем из выражения для силы тяжести $P=mg$, откуда

2.2. Грузовик массой $m=5000$ кг начинает движение с ускорением $a=1,5$ м/с². С каким ускорением будет двигаться грузовик, если после загрузки его масса увеличилась вдвое? Сила тяги мотора постоянна и равна $F_T=8000$ Н.

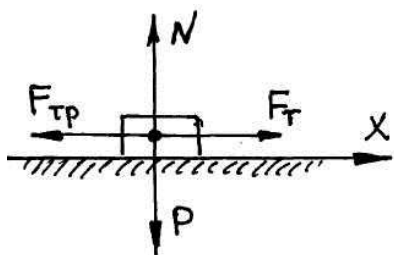


Рис. 16

Решение. Подставляем силы, действующие на автомобиль (рис.16) и определяем проекцию сил на направление x , которые будут определять ускорение: $F_T - F_{тр} = ma$. Сила трения $F_{тр} = \mu N$, где N – сила нормального давления, равна силе тяжести, тогда $F_{тр} = \mu mg$ и $a = \frac{F_T}{m} - \mu g$. Для грузовика без груза $a_1 = \frac{F_T}{m} - \mu g$, для грузовика с грузом - $a_2 = \frac{F_T}{2m} - \mu g$.

Чтобы решить эту систему двух уравнений, вычитаем одно уравнение из другого и после несложных выкладок приходим к ответу: $a_2 = a_1 - \frac{F_T}{2m} = 1,5 - \frac{8000}{2 \cdot 5000} = 0,7$ м/с².

Ответ: $a_2 = 0,7$ м/с².

2.3. Диск вращается в горизонтальной плоскости с постоянной угловой скоростью $\omega=3,14$ рад/с. На расстоянии $R=12$ см от оси на диске лежит тело. Каким должен быть минимальный коэффициент трения, чтобы тело не соскользнуло с диска? $g=9,8$ м/с².

Решение. Сила трения $F_{тр}$ является центростремительной силой, и тело движется с центростремительным ускорением, равным $a_{цс} = \frac{F_{тр}}{m}$. При движении

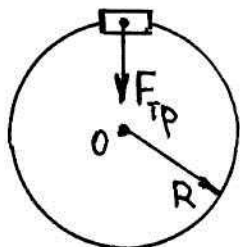


Рис. 17

по окружности с угловой скоростью ω центростремительное ускорение находим по формуле $a_{цс} = \omega^2 R$. Так как диск вращается в горизонтальной плоскости, то сила трения $F_{тр} = \mu N = \mu mg$. Тогда $\omega^2 R = \mu g$ и коэффициент трения $\mu = \frac{\omega^2 R}{g} = \frac{(3,14)^2 \cdot 0,12}{9,81} = 0,12$.

Ответ: $\mu = 0,12$.

2.4. По выпуклому мосту радиусом $R=100$ м едет грузовик массой $m=5$ т. При какой минимальной скорости это возможно, если максимальная нагрузка, которую может выдержать мост, равна $T=44$ кН? $g=9,8$ м/с².

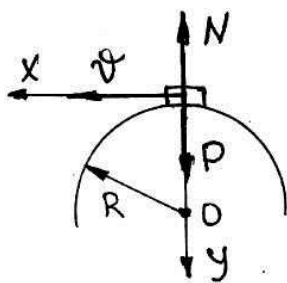


Рис. 18

Решение. Давление автомобиля на мост при движении с постоянной скоростью v будет максимально на вершине моста (рис.18). Равнодействующая сила, действующая на автомобиль, направлена к центру и равна проекции силы тяжести P и реакции опоры N на ось y . Эта сила создает центростремительное ускорение, т.е. $P - N = m \cdot a_{цс}$, где $P=mg$, а $a_{цс} = \frac{v^2}{R}$. Тогда находим минимальную

скорость по формуле $v = \sqrt{R(g - \frac{N}{m})}$. По третьему закону Ньютона сила реакции опоры равна силе давления автомобиля на мост $N=T$ и $v = \sqrt{R(g - \frac{N}{m})} = \sqrt{100(9,8 - \frac{44 \cdot 10^3}{5 \cdot 10^3})} = 10$ м/с.

Ответ: $v=10$ м/с.

2.5. Вверх по склону, составляющему $\alpha=30^\circ$ с горизонтом, поднимается с постоянной скоростью мотоцикл массой $m=150$ кг. Определить силу тяги, развиваемую мотором мотоцикла. Коэффициент трения мотоцикла о дорогу равен $\mu=0,1$. $g=10$ м/с².

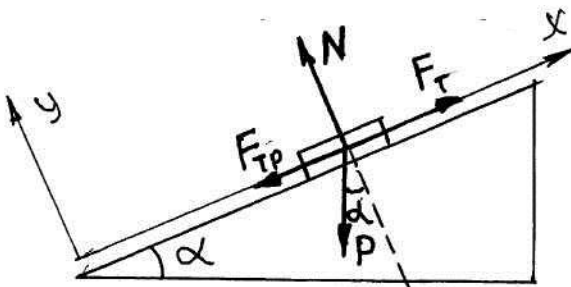


Рис. 19

Решение. Схема сил, действующих на тело, которое поднимается по наклонной плоскости, приведена на рис.19. Для определения силы тяги F_T в направлении x , выбранном по направлению F_T , проектируем все силы на это направление, и так как движение равномерное, то приравняем к нулю: $F_T - P \sin \alpha - F_{Tp} = 0$.

Отсюда $F_T = P \sin \alpha + F_{Tp}$. Силу трения находим $F_{Tp} = \mu N$, где N – сила нормального давления, которая равна силе реакции опоры. Для нахождения N проектируем силы на ось y и находим $N - P \cos \alpha = 0$. Отсюда $N = P \cos \alpha$ и $F_{Tp} = \mu P \cos \alpha$. Таким образом, сила тяги $F_T = mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha = mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = 150 \cdot 10(0,5 + 0,1 \cdot 0,86) = 880$ Н.

Ответ: $F_T=880$ Н.

2.6. Пуля массой $m=10$ г вылетела из винтовки со скоростью $v_1=800$ м/с, а в мишень вошла через $t=0,2$ с со скоростью $v_2=600$ м/с. Определить среднюю мощность силы сопротивления воздуха полету пули.

Решение. Мощность силы сопротивления (считаем ее положительной величиной) рассчитываем по формуле $N = \frac{A}{t}$. Работа силы сопротивления воздуха равна изменению кинетической энергии во время полета пули $A = E_{k1} - E_{k2} = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2}$. После подстановки получаем окончательное выражение для мощности: $N = \frac{m(v_1^2 - v_2^2)}{2t} = \frac{0,01 \cdot (64 - 36) 10^4}{2 \cdot 0,2} = 7$ кВт.

Ответ: $N=7$ кВт.

2.7. Пружина детского пистолета под действием усилия $F=9,8$ Н сжалась на $\Delta l = 4$ см. На какую высоту полетит пулька массой $m=1$ г при выстреле вертикально вверх? $g=9,8$ м/с².

Решение. Упругая энергия сжатой пружины при ее выпрямлении переходит в кинетическую энергию пули. Затем кинетическая энергия пули перейдет в ее потенциальную. В наивысшей точке потенциальная энергия $E_{п} = mgh$, а ки-

нетическая $E_k = 0$. Упругая энергия сжатой пружины $E_y = \frac{k\Delta l^2}{2}$, где k - жесткость пружины. Из формулы для упругой силы $F = k\Delta l$ находим $k = F/\Delta l$ и подставляем в уравнение упругой энергии $E_y = \frac{F\Delta l}{2}$, приравняв ее к потенциальной энергии пули, найдем высоту подъема пули $h = \frac{F\Delta l}{2mg} = \frac{9,8 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,001 \cdot 9,8} = 20$ м.

Ответ: $h=20$ м.

3. Механика жидкостей и газов. Молекулярная физика

3.1. Малый поршень гидравлического пресса за один ход опускается на $h_1=25$ см, а большой поднимается на $h_2=5$ см. Определить силу, передаваемую на большой поршень, если на малый поршень действует сила $F_1=20$ Н.

Решение. По закону Паскаля на каждый поршень действует одинаковое давление $p_1 = p_2$ или $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$. Так как жидкость несжимаема, то изменение объема под поршнями равны $\Delta V_1 = \Delta V_2$; $S_1 h_1 = S_2 h_2$. Следовательно, $\frac{S_2}{S_1} = \frac{h_1}{h_2}$ и тогда $F_2 = \frac{S_2}{S_1} F_1 = \frac{h_1}{h_2} F_1 = \frac{25}{5} \cdot 20 = 100$ Н.

Ответ: $F_2=100$ Н.

3.2. Тело в форме куба, ребро которого $l=10$ см, находится в воде. Верхняя грань куба удалена от поверхности воды на расстояние $h=0,9$ м. Чему равна сила, действующая со стороны воды на нижнюю грань? $g = 10$ м/с².

Решение. Давление p , оказываемое на нижнюю грань куба (без учета атмосферного давления), равно давлению столба жидкости высоты $(h+l)$, а именно $p = \rho g(h+l)$. Здесь ρ – плотность воды, g – ускорение свободного падения. Зная давление, находим силу $F = pS = \rho l^2$, где S – площадь грани. Таким образом, получаем конечное выражение

$$F = \rho g l^2 (h+l) = 1000 \cdot 10(0,1)^2 \cdot (0,9+0,1) = 100 \text{ Н.}$$

Ответ: $F=100$ Н.

3.3. Сила Архимеда уменьшает вес тела, полностью погруженного в воду, в $n=6$ раз. Чему равна плотность вещества, из которого изготовлено это тело? Выталкивающей силой воздуха пренебречь.

Решение. В воздухе вес тела равен силе тяжести тела $P_1 = mg = \rho_T V_T g$, где ρ_T и V_T – плотность и объем тела. В жидкости вес тела уменьшается на величину силы Архимеда $P_A = m_{ж} g = \rho_{ж} V_T g$, т.е. $P_2 = P_1 - P_A = (\rho_T - \rho_{ж}) V_T g$. Так как $n = \frac{P_1}{P_2}$, то $n = \frac{\rho_T}{(\rho_T - \rho_{ж})}$. Решив это уравнение относительно $\rho_T = \rho_{ж} \frac{n}{(n-1)}$, найдем $\rho_T = 1000 \cdot \frac{6}{5} = 1200$ кг/м³.

Ответ: $\rho_T = 1200$ кг/м³.

3.4. На сколько градусов увеличилась температура газа, первоначально имевшего температуру $t_1=17^0$ С, если средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа в результате нагрева возросла втрое ($\frac{E_2}{E_1} = 3$)?

Решение. Средняя энергия поступательного движения молекул газа равна $E=3/2kT$, где $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана, T – абсолютная темпе-

ратура, $T=t+273$. Так как $\frac{E_2}{E_1} = 3$ по условию задачи, то $\frac{E_2}{E_1} = \frac{T_2}{T_1} = 3$. Тогда приращение температуры $\Delta T = T_2 - T_1$ с учетом, что $T_2 = 3T_1$, будет равно $\Delta T = 3T_1 - T_1 = 2T_1$. Начальная температура $T_1 = t + 273 = 17 + 273 = 290$ К и $\Delta T = 2 \cdot 290 = 580$ К.

Ответ: $\Delta T = 580$ К.

3.5. Какова средняя квадратичная скорость движения молекул газа, который занимает объем $V = 1,2$ м³ при давлении $p = 30$ кПа? Масса газа $m = 0,3$ кг.

Решение. Средняя квадратичная скорость молекул газа $v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$ содержит величины, которые можно найти из уравнения Менделеева-Клапейрона $pV = \frac{m}{\mu}RT$. Отсюда получаем $\frac{RT}{\mu} = \frac{pV}{m}$. Подставляем это выражение в исходную формулу $v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3pV}{m}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 30000 \cdot 1,2}{0,3}} = 600$ м/с.

Ответ: $v_{\text{кв}} = 600$ м/с.

3.6. Некоторое количество водорода находится при температуре $T_1 = 200$ К и давлением $p_1 = 400$ Па. Газ нагревают до температуры $T_2 = 10000$ К, при которой молекулы водорода полностью распадаются на атомы. Определить новое значение давления газа, если его объем и масса остались без изменения.

Решение. Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для двух состояний газа:

$$1) \text{ до диссоциации: } p_1 V = \frac{m}{\mu_1} RT_1;$$

$$2) \text{ после диссоциации: } p_2 V = \frac{m}{\mu_2} RT_2.$$

Поделив второе уравнение на первое, получаем $p_2/p_1 = \frac{T_2 \mu_1}{T_1 \mu_2}$, откуда $p_2 = p_1 \frac{\mu_1}{\mu_2} \cdot \frac{T_2}{T_1}$. Молярная масса молекулярного водорода μ_1 отличается от молярной массы атомарного водорода в два раза, т.е. $\frac{\mu_1}{\mu_2} = 2$. Окончательно для давления получаем $p_2 = 2p_1 \cdot \frac{T_2}{T_1} = 2 \cdot 400 \left(\frac{10000}{200} \right) = 40000$ Па = 40 кПа.

Ответ: $p_2 = 40$ кПа.

3.7. Кислород при давлении $p_1 = 100$ кПа и температуре $t_1 = 27^\circ$ С занимает объем $V_1 = 5$ л. При увеличении давления до $p_2 = 200$ кПа объем газа уменьшился на $\Delta V = 1$ л. Чему равна температура газа в этом состоянии?

Решение. Запишем уравнения состояния идеального газа для двух состояний:

$$1) \text{ начального } p_1 V_1 = \frac{m}{\mu} RT_1;$$

$$2) \text{ конечного } p_2 V_2 = \frac{m}{\mu} RT_2.$$

Поделив второе уравнение на первое, получаем отношение $\left(\frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} \right) = \frac{T_2}{T_1}$, из которого находим величину $T_2 = T_1 \left(\frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} \right)$. Учитывая, что конечный объем газа

$V_2 = V_1 - \Delta V$, а также $T_1 = t + 273$, получаем $T_2 = \frac{p_2(V_1 - \Delta V)(t + 273)}{p_1 V_1}$. В результате несложного расчета получаем ответ: $T_2 = \frac{200 \cdot 4 \cdot 300}{100 \cdot 5} = 480 \text{ К}$.

Ответ: $T_2 = 480 \text{ К}$.

3.8. Под поршнем в цилиндре, площадь основания которого равна $S = 0,01 \text{ м}^2$, находится газ при температуре $T_1 = 280 \text{ К}$ и давлением $p_1 = 100 \text{ кПа}$. На поршень положили груз весом $P = 200 \text{ Н}$, вследствие чего поршень опускается. На сколько градусов нужно нагреть газ для того, чтобы поршень вернулся в первоначальное положение? Массу поршня и трение не учитывать.

Решение. В первом случае на газ действует давление p_1 при температуре T_1 . После того, как поршень с грузом вернулся в первоначальное положение, на газ действует давление $p_2 = p_1 + \frac{P}{S}$ при температуре $T_2 = T_1 + \Delta T$, где ΔT необходимо определить. Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для начального состояния $p_1 V_1 = \frac{m}{\mu} R T_1$ и конечного $p_2 V_2 = \frac{m}{\mu} R T_2$. Поделив эти уравнения друг на друга, получаем $T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)$. Разность температур $\Delta T = T_2 - T_1 = \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right) T_1 = \left(\frac{p_1 + \frac{P}{S}}{p_1} - 1 \right) T_1 = \frac{P T_1}{p_1 S} = \frac{200 \cdot 280}{100 \cdot 10^3 \cdot 0,01} = 56 \text{ К}$.

Ответ: $\Delta T = 56 \text{ К}$.

3.9. Определить плотность смеси $m_1 = 0,028 \text{ кг}$ азота и $m_2 = 0,008 \text{ кг}$ кислорода при давлении $p = 83,1 \text{ кПа}$ и температуре $t = 127^\circ \text{ С}$.

Решение. Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для смеси газов: $pV = RT \frac{(m_1 + m_2)}{\mu}$, где μ – молярная масса смеси. Поскольку плотность смеси $\rho = \frac{(m_1 + m_2)}{V}$, из уравнения состояния газовой смеси получаем выражение для плотности: $\rho = p\mu / RT$. Теперь осталось найти молярную массу смеси μ . Для этого запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для каждого газа в смеси: $p_1 V = \frac{m_1}{\mu_1} RT$ и $p_2 V = \frac{m_2}{\mu_2} RT$. Сложив оба уравнения, получим $(p_1 + p_2)V = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right) RT$.

Поскольку по закону Дальтона в смеси $p = p_1 + p_2$ левые части первого и последнего уравнений равны, а значит, равны и правые. Приравнявая их, получаем формулу для молярной массы смеси:

$$\mu = \frac{m_1 + m_2}{\left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right)} = \frac{0,028 + 0,008}{\left(\frac{0,028}{0,028} + \frac{0,008}{0,032} \right)} = \frac{0,036}{(1 + 0,25)} = 0,0288 \text{ кг/моль}.$$

Произведем численный расчет по формуле

$$\rho = \frac{p\mu}{R(t + 273)} = \frac{83,1 \cdot 10^3 \cdot 0,0288}{8,31 \cdot 400} = 0,72 \text{ кг/м}^3.$$

Ответ: $\rho = 0,72 \text{ кг/м}^3$.

4. Тепловые явления

4.1. Работа внешних сил по сжатию в $N=10$ раз меньше увеличения внутренней энергии газа. Определить работу сжатия, если к газу подведено $Q=810$ Дж теплоты.

Решение. Поскольку работа A газа при его сжатии отрицательна, то первое начало будет записано в виде $Q=\Delta U-A$. Поделив это выражение на A , получим $Q/A=\Delta U/A-1$. Так как $\Delta U/A=N=10$, то $A = \frac{Q}{N-1} = \frac{810}{10-1} = 90$ Дж.

Ответ: $A=90$ Дж.

4.2. Гелию массой $m=0,4$ кг при изохорном процессе сообщается количество теплоты $Q=2493$ Дж. На сколько градусов при этом увеличится температура газа?

Решение. По первому началу термодинамики $Q=\Delta U-A$. Для изохорического процесса ($\Delta V=0$) работа газа равна нулю $A=0$, тогда $Q = \Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R \Delta T$.

Приращение температуры $\Delta T = \frac{2\mu Q}{3mR} = \frac{2 \cdot 0,04 \cdot 2493}{3 \cdot 0,4 \cdot 8,31} = 2$ К.

Ответ: $\Delta T=2$ К.

4.3. Кислород массой $m=320$ г нагревают при постоянном давлении на 20 К. Какую работу совершает газ в данном процессе?

Решение. Работа при изобарическом процессе $A = p\Delta V = p(V_2 - V_1) = pV_2 - pV_1$. Запишем уравнения состояния газа до нагревания $pV_1 = \frac{m}{\mu} RT_1$ и после нагревания $pV_2 = \frac{m}{\mu} RT_2$. Таким образом, $A = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1)$. Для кислорода $\mu=0,032$ г/моль и работа $A = \frac{0,32 \cdot 8,31 \cdot 20}{0,032} = 1662$ Дж.

Ответ: $A = 1662$ Дж.

4.4. КПД плавильной печи $\eta=20\%$. Сколько угля надо сжечь, чтобы нагреть $m=3$ т чугуна от $t_1=50^0$ С до температуры плавления $t_2=1150^0$ С? Удельная теплоемкость чугуна $c=600$ Дж/(кг·К), удельная теплота сгорания угля $q=30$ МДж/кг.

Решение. КПД плавильной печи η определяется как отношение полезной теплоты $Q_{\text{п}}$ к затраченной теплоте Q_3 : $\eta = \frac{Q_{\text{п}}}{Q_3}$. Полезная теплота – это та, которая идет на нагревание чугуна: $Q_{\text{п}} = cm(t_2 - t_1)$. Затраченная теплота была выделена при сгорании угля $Q_{\text{п}} = qm_{\text{т}}$, где $m_{\text{т}}$ – масса сгоревшего топлива. После подстановки этих выражений в формулу для КПД легко найти массу сгоревшего топлива $m_{\text{т}} = \frac{cm(t_2-t_1)}{\eta q} = \frac{600 \cdot 3000(1150-50)}{0,2 \cdot 3 \cdot 10^7} = 330$ кг.

Ответ: $m_{\text{т}} = 330$ кг.

4.5. Для охлаждения $m_1=1$ кг воды от температуры $t_1=34^0$ С положили в воду $m_2=0,5$ кг льда при $t_2=0^0$ С. Сколько льда растаяло к моменту, когда температура воды понизилась до $t_3=0^0$ С? Удельная теплоемкость воды $c=4,2$ кДж/(кг·К). Удельная теплота плавления льда равна $\lambda=340$ кДж/кг.

Решение. Теплота, выделившаяся при охлаждении воды, дается выражением $Q_1 = cm(t_1 - t_3)$. Выделившаяся теплота идет на плавление льда $Q_2 = \lambda \Delta m_2$. Приравняв $Q_1=Q_2$, найдем, сколько льда расплавится:

$$\Delta m_2 = \frac{cm(t_1 - t_3)}{\lambda} = \frac{4,2 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot (34 - 0)}{340 \cdot 10^3} = 0,42 \text{ кг.}$$

Ответ: $\Delta m_2 = 0,42$ кг.

4.6. Идеальная тепловая машина за один цикл совершает работу $A=200$ Дж и отдает холодильнику 400 Дж. Во сколько раз температура нагревателя этой машины больше температуры холодильника?

Решение. КПД тепловой машины $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{A}{Q_1}$, где Q_1 - теплота, полученная от нагревателя, Q_2 - теплота, отданная холодильнику, и $A = Q_1 - Q_2$ - работа тепловой машины. С другой стороны, для идеальной тепловой машины $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$. Приравняв оба уравнения, получим $\frac{T_1}{T_2} = 1 + \frac{A}{Q_2} = 1 + \frac{200}{400} = 1 + 0,5 = 1,5$.

Ответ: $\frac{T_1}{T_2} = 1,5$.

5. Электростатика

5.1. Два одинаковых шарика с зарядами $q_1=2$ нКл и $q_2=8$ нКл находились на расстоянии $r_1=2$ м друг от друга в вакууме. После приведения шариков в соприкосновение их развели на расстояние, при котором сила взаимодействия зарядов осталась прежней. На какое расстояние развели заряды?

Решение. Запишем закон Кулона между зарядами до соприкосновения $F_1 = \frac{k \cdot q_1 \cdot q_2}{r_1^2}$. После соприкосновения общий заряд $q_1 + q_2$ распределится между шариками поровну, т.е. $q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2}$ и сила взаимодействия между зарядами будет равна $F_2 = \frac{k(q_1 + q_2)^2}{r_2^2 \cdot 4}$. По условию задачи $F_1 = F_2$, т.е. $\frac{k q_1 q_2}{r_1^2} = \frac{k(q_1 + q_2)^2}{4 r_2^2}$ и $r_2 = \frac{r_1(q_1 + q_2)}{2\sqrt{q_1 q_2}} = \frac{2(2+8) \cdot 10^{-9}}{2\sqrt{2 \cdot 8} \cdot 10^{-9}} = 2,5$ м.

Ответ: $r_2 = 2,5$ м.

5.2. Определить силу, с которой одна пластинка плоского воздушного конденсатора действует на другую. Конденсатор обладает зарядом $q=177$ нКл, площадь пластины $S=100$ см².

Решение. Силу F , действующую на заряд q (распределенный по пластине), можно найти из соотношения $F=qE$, где E - напряженность поля, создаваемого другой пластиной, $E = \frac{q}{S \cdot 2\epsilon_0}$. Таким образом, $F = \frac{q^2}{2\epsilon_0 S} = \frac{177^2 \cdot 10^{-18}}{2 \cdot 100 \cdot 10^4 \cdot 8,85 \cdot 10^{-2}} = 177 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 177 \text{ мН}$.

Ответ: $F=177$ мН.

5.3. В двух вершинах прямоугольного треугольника находятся точечные заряды $q_1=8$ нКл и $q_2=24$ нКл. Найти напряженность электрического поля в вершине прямого угла треугольника, если меньший заряд находится от вершины на расстоянии $a=0,3$ м, а больший - на расстоянии $b=0,6$ м.

Решение. По принципу суперпозиции электрических полей для вектора напряженности результирующего поля в точке О: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$. Как видно из рис.20, несложно перейти от векторной формы к скалярной $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$.

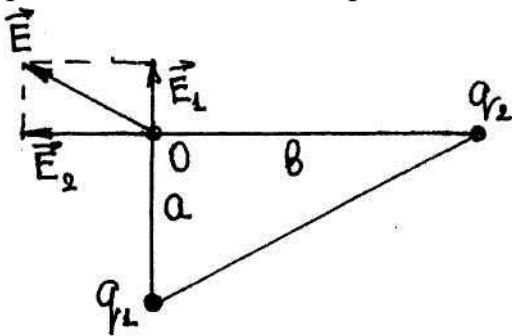


Рис. 20

Подставим в это соотношение выражения для напряженности полей двух точечных зарядов: $E_1 = \frac{kq_1}{r_1^2}$ и $E_2 = \frac{kq_2}{r_2^2}$. После преобразований получим $E = k \sqrt{\left(\frac{q_1}{r_1^2}\right)^2 + \left(\frac{q_2}{r_2^2}\right)^2}$, если учесть, что $q_2=3q_1$, а $r_2=2r_1$. Тогда имеем $E = k \left(\frac{q_1}{r_1^2}\right) \sqrt{\frac{25}{16}} = 9 \cdot 10^9 \left(\frac{8 \cdot 10^{-9}}{0,3^2}\right)^{\frac{5}{4}} = 1000 \text{ В/м}$.

Ответ: $E=1000 \text{ В/м}$.

5.4. Между горизонтальными пластинами плоского воздушного конденсатора подано напряжение $U=100 \text{ В}$. Заряженная пылинка массой $m=10 \text{ мг}$ висит неподвижно между двумя пластинами конденсатора. Чему равен заряд пылинки, если расстояние между пластинами равно $d=50 \text{ мм}$?

Решение. На пылинку действуют две силы: сила тяжести $P=mg$ и электрическая сила $F=qE$. Эти силы направлены в противоположные стороны и уравновешивают друг друга $mg=qE$. Так как $E = \frac{U}{d}$, то $q = \frac{mgd}{U} = \frac{10 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 0,05}{100} = 50 \cdot 10^{-9} = 50 \text{ нКл}$.

Ответ: $q=50 \text{ нКл}$.

5.5. Какую скорость будет иметь электрон, пройдя в электрическом поле разность потенциалов $U=1,82 \text{ В}$? Начальная скорость электрона равна нулю.

Решение. При прохождении зарядом q разности потенциалов U электрическое поле совершает работу $A=qU$. Эта работа идет на увеличение кинетической энергии заряда (электрона) $A = \Delta W = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$. Отсюда следует равенство $qU = \frac{mv^2}{2}$. Скорость электрона будет равна $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,82}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 8 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 800 \text{ км/с}$.

Ответ: $v=800 \text{ км/с}$.

5.6. Плоский конденсатор со слюдяной изоляцией заряжен до разности потенциалов $U=150 \text{ В}$ и отключен от источника тока. Диэлектрическая проницаемость слюды $\epsilon=7$. Чему будет равна разность потенциалов между обкладками конденсатора, если слюду удалить?

Решение. Заряд конденсатора на обкладках с изолятором $q_1 = C_1 U_1$, после удаления изолятора $q_2 = C_2 U_2$. Так как источник отключен, то $q_1=q_2$ и $C_1 U_1=C_2 U_2$. Отсюда находим $U_2 = \frac{C_1 U_1}{C_2}$. Емкость плоского конденсатора с изолятором $C_1 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$ и без изолятора $C_2 = \frac{\epsilon_0 S}{d}$. Отношение этих емкостей $\frac{C_1}{C_2} = \epsilon$ и $U_2 = \epsilon U_1 = 7 \cdot 150 = 1050 \text{ В}$.

Ответ: $U_2=1050 \text{ В}$.

5.7. Во сколько раз возрастает энергия воздушного конденсатора, подключенного к источнику тока, если расстояние между пластинами увеличить вдвое $d_2=2d_1$ и поместить между ними диэлектрик с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon=6$?

Решение. Поскольку конденсатор остается подключенным к источнику тока, напряжение на нем не изменяется $U_1=U_2$. Энергия конденсатора в начале $W_1 = \frac{C_1 U_1^2}{2} = \frac{\varepsilon_0 S U_1^2}{2d_1}$, после изменений $W_2 = \frac{C_2 U_2^2}{2} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S U_2^2}{2d_2}$, и так как $d_2=2d_1$, то $W_2 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S U_2^2}{4d_1}$.

Ответ: отношение $\frac{W_2}{W_1} = 3$.

6. Постоянный ток

6.1. К аккумулятору с внутренним сопротивлением $r=2$ Ом и ЭДС $\varepsilon=12$ В подключена электрическая лампочка сопротивлением $R=8$ Ом. Определить заряд, который будет перенесен через лампочку за $\Delta t=5$ минут.

Решение. Из определения силы тока $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ найдем заряд, прошедший через проводник за время Δt : $\Delta q = I \Delta t$. Силу тока найдем из закона Ома для полной цепи $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$. Тогда $\Delta q = \frac{\varepsilon \Delta t}{R+r} = \frac{12 \cdot 5 \cdot 60}{8+2} = 360$ Кл.

Ответ: $\Delta q=360$ Кл.

6.2. Цепь, состоящая из резистора сопротивлением $R_1=2$ Ом, включенного последовательно с параллельно соединенными резисторами $R_2=5$ Ом и $R_3=20$ Ом. Ток через резистор R_2 равен $I_2=1$ А. Найти ток в резисторе R_1 .

Решение. Для разветвленной цепи, изображенной на рис.21, справедливо соотношение: $I_1=I_2+I_3$. Здесь пока не известен ток I_3 . При параллельном включении напряжение на $R_2 - U_2=I_2 R_2$ и на $R_3 - U_3=I_3 R_3$ равны $U_2=U_3$. Из $I_3 R_3=I_2 R_2$ находим $I_3=I_2(R_2/R_3)$. В итоге для тока на резисторе R_1 получаем $I_1=I_2(1+R_2/R_3)=1(1+5/20)=1,25$ А.

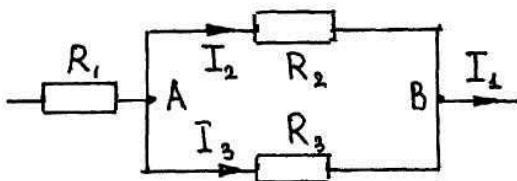


Рис. 21

Ответ: $I_1=1,25$ А.

6.3. Определить сопротивление подключенного параллельно к амперметру шунта, позволяющего измерять ток до $I=5$ А. Амперметр имеет шкалу на $I_A=1$ А и внутренне сопротивление $R_A=5$ Ом.

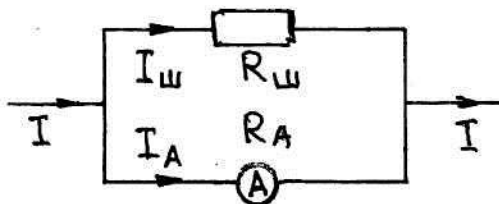


Рис. 22

Решение. Схема подключения шунта сопротивлением $R_{ш}$ изображена на рис. 22. Предполагается, что через неразветвленный участок цепи течет максимальный ток I , в то время как через амперметр проходит максимально допустимый ток I_A . Запишем закон

Ома для двух разветвленных участков цепи для шунта: $I_{ш}=U_{ш}/R_{ш}$ и для амперметра: $I_A=U_A/R_A$. При параллельном соединении проводников падения напряжений на них одинаковы: $U_{ш}=U_A$ или $I_{ш} R_{ш}=I_A R_A$. Отсюда находим $R_{ш}=R_A(I_A/I_{ш})$. Для разветвленной цепи справедливо

$I = I_{\text{ш}} + I_A$, откуда $I_{\text{ш}} = I - I_A$. Окончательно для сопротивления шунта получаем: $R_{\text{ш}} = R_A I_A / (I - I_A) = 5 \cdot 1 / (5 - 1) = 1,25$ Ом.

Ответ: $R_{\text{ш}} = 1,25$ Ом.

6.4. К аккумулятору с внутренним сопротивлением $r = 2$ Ом и ЭДС $\varepsilon = 12$ В подключены две последовательно соединенные лампочки сопротивлением по $R = 5$ Ом каждая. Определить мощность, выделяющуюся в одной лампочке.

Решение. Мощность, выделяющуюся в одной лампочке, можно рассчитать по формуле $P = I^2 R$. Ток в цепи определяем по закону Ома для полной цепи $I = \frac{\varepsilon}{2R + r} = \frac{12}{2 \cdot 5 + 2} = 1$ А. Мощность, выделяемая на лампочке, равна $P = 1^2 \cdot 5 = 5$ Вт.

Ответ: $P = 5$ Вт.

6.5. Шнур питания изготовлен из проводника с удельным сопротивлением $\rho = 40$ нОм·м и плотностью $D = 8000$ кг/м³. Определить массу материала, пошедшего на изготовление провода, если его поперечное сечение $S = 3$ мм² и сопротивление $R = 0,01$ Ом.

Решение. Масса проводника m пропорциональна его объему: $m = DV = DSl$, где l – длина проводника. Длина также входит в формулу для определения сопротивления: $R = \rho \frac{l}{S}$, откуда $l = \frac{RS}{\rho}$. Окончательно для массы проводника получаем $m = \frac{DRS^2}{\rho} = \frac{8000 \cdot 0,01 \cdot 9 \cdot 10^{-12}}{40 \cdot 10^{-9}} = 0,018$ кг.

Ответ: $m = 0,018$ кг.

7. Электромагнетизм

7.1. В вертикальном магнитном поле лежат горизонтальные рельсы на расстоянии $l = 2$ м друг от друга. Между рельсами приложено напряжение. Если на рельсы перпендикулярно им положить металлический стержень массой $m = 0,5$ кг, то по нему потечет ток $I = 50$ А и он покатится с ускорением $a = 2$ м/с². Определить магнитную индукцию. Трением пренебречь.

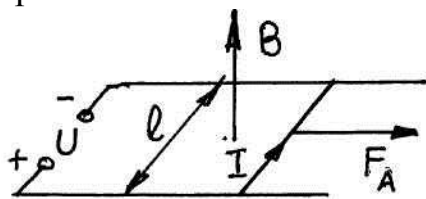


Рис. 23

Решение. Схема задачи приведена на рис. 23. На проводник с током I со стороны магнитного поля с индукцией B действует сила Ампера $F_A = IlB \sin(\widehat{I, B})$, которая в данном случае максимальна $F_A = Bil$. Эта сила вызывает равноускоренное движение проводника $F_A = ma$ или $Bil = ma$. Отсюда находим магнитную индукцию $B = \frac{ma}{il} = \frac{0,5 \cdot 2}{50 \cdot 2} = 0,01$ Тл.

Ответ: $B = 0,01$ Тл.

7.2. Прямой проводник с током $I = 0,2$ А помещен в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,1$ Тл. Длина проводника $l = 5$ см. Найти работу силы Ампера по перемещению проводника на $S = 8$ мм, если направления линий индукции, тока и перемещения взаимно перпендикулярны.

Решение. Направление перемещения проводника с током совпадает с направлением силы Ампера, действующей на него со стороны магнитного поля (рис. 23). При этом сила Ампера совершает механическую работу $A = F_A S$.

Подставляя выражение для силы Ампера $F_A = BIl$, получаем $A = BIlS = 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,05 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 10^{-6} = 8 \text{ мкДж}$.

Ответ: $A=8 \text{ мкДж}$.

7.3. Протон под действием однородного магнитного поля с индукцией $B=0,1 \text{ Тл}$ равномерно вращается по окружности с радиусом $R=5 \text{ см}$. Определить период вращения, считая удельный заряд протона равным $\frac{q}{m} = 0,1 \frac{\text{Кл}}{\text{мкг}}$.

Решение. Под действием силы Лоренца $F_{\text{л}}$ протон совершает равномерное движение по окружности, т.е. $Bqv = \frac{mv^2}{R}$. Отсюда радиус $R = \frac{mv}{qB}$. Период обращения $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}}{0,1 \cdot 10^6 \cdot 0,1} = 0,628 \cdot 10^{-3} \text{ с} = 0,628 \text{ мс}$.

Ответ: $T=0,628 \text{ мс}$.

7.4. За $t=2 \text{ с}$ индукция однородного магнитного поля равномерно изменилась от $B_1=0,3 \text{ Тл}$ до $B_2=0,1 \text{ Тл}$. В результате этого в круговом витке, помещенном в магнитное поле, возникла ЭДС индукции $\varepsilon_1=20 \text{ мВ}$. Найти площадь витка, если угол между вектором магнитной индукции и нормалью к плоскости витка равен 60° .

Решение. Запишем закон Фарадея для ЭДС индукции, возникающей в контуре: $\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, где $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$. Величина начального магнитного потока сквозь замкнутый контур $\Phi_1 = B_1 S \cos\alpha = B_1 S/2$. Аналогично для конечного потока: $\Phi_2 = B_2 S \cos\alpha = B_2 S/2$. Подставляя эти два выражения в закон Фарадея, получаем: $\varepsilon_1 = -\frac{(B_2 - B_1)S}{2\Delta t}$. Наконец, выражаем отсюда площадь $S = \frac{2\Delta t \varepsilon_1}{B_1 - B_2} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,02}{0,3 - 0,1} = 0,4 \text{ м}^2$.

Ответ: $S=0,4 \text{ м}^2$.

7.5. Самолет летит горизонтально со скоростью $v=900 \text{ км/ч}$. Размах крыльев самолета $l=12 \text{ м}$. Вертикальная составляющая земного магнитного поля равна $B=50 \text{ мкТл}$. Найти ЭДС индукции, возникающую в крыльях самолета.

Решение. По закону Фарадея ЭДС индукции $\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, где $\Delta\Phi$ в данном

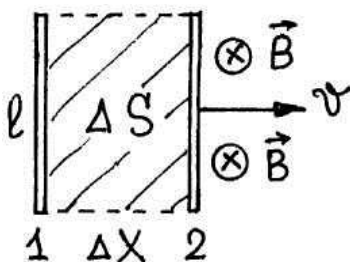


Рис. 24

случае есть магнитный поток через площадь ΔS , пререченную проводником при его движении за время Δt (рис. 24). Магнитный поток $\Delta\Phi = B \cdot \Delta S$ и $\varepsilon_i = -\frac{B \cdot \Delta S}{\Delta t}$. Так как $\Delta S = l \Delta x$, а $\frac{\Delta x}{\Delta t} = v$, то $\varepsilon_i = -Blv$. Проводим расчет ЭДС индукции $|\varepsilon_i| = 50 \cdot 10^{-6} \cdot 12 \cdot \frac{900 \cdot 10^3}{3600} = 0,15 \text{ В}$.

Ответ: $|\varepsilon_i| = 0,15 \text{ В}$.

7.6. Катушка с током $I_1=2 \text{ А}$ создает магнитное поле, поток индукции которого через поперечное сечение катушки равен $\Phi=0,5 \text{ Вб}$. За время Δt ток в катушке равномерно уменьшается до $0,5 \text{ А}$, в катушке при этом возникает ЭДС индукции $\varepsilon_i=1 \text{ В}$. Определить время Δt .

Решение. Время Δt найдем из выражения для ЭДС самоиндукции: $\varepsilon_s = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$, где приращение тока в катушке известно: $\Delta I = I_2 - I_1$. Находим отсюда $\Delta t = \frac{L(I_1 - I_2)}{\varepsilon_s}$. Индуктивность катушки согласно определению $L = \frac{\Phi_1}{I_1}$. Время изменения тока в катушке $\Delta t = \frac{\Phi_1(I_1 - I_2)}{I_1 \varepsilon_s} = \frac{0,5 \cdot 0,5}{2 \cdot 1} = 0,125$ с.

Ответ: $\Delta t = 0,125$ с.

7.7. При уменьшении силы тока в проволочной катушке с $I_1=6$ А до $I_2=4$ А произошло уменьшение энергии магнитного поля на $\Delta W=2$ Дж. Определить, на сколько уменьшилась величина магнитного потока, пронизывающего катушку.

Решение. Запишем выражение для магнитного потока, пронизывающего катушку для двух значений тока: $\Phi_1=LI_1$ и $\Phi_2=LI_2$. Взяв разность этих потоков $\Delta\Phi=\Phi_1-\Phi_2=L(I_1-I_2)$, видим, что здесь неизвестна индуктивность катушки L . Для нахождения L запишем значения магнитной энергии для двух случаев $W_1 = \frac{LI_1^2}{2}$ и $W_2 = \frac{LI_2^2}{2}$ и найдем их разность $\Delta W = \frac{L}{2}(I_1^2 - I_2^2)$. Отсюда находим индуктивность $L = \frac{2\Delta W}{(I_1^2 - I_2^2)}$. После подстановки L в выражение для $\Delta\Phi$ и преобразований получаем: $\Delta\Phi = \frac{2\Delta W}{(I_1 + I_2)} = \frac{2 \cdot 2}{6 + 4} = 0,4$ Вб.

Ответ: $\Delta\Phi=0,4$ Вб.

8. Колебания и волны

8.1. Груз, висящий на пружине, оттянули вниз и отпустили. За какое время от начала движения груз пройдет путь, равный половине амплитуды? Период колебания груза равен $T=2,4$ с.

Решение. Уравнение гармонических колебаний имеет вид $x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$. В момент времени $t=0$ смещение равно амплитуде $x(0)=A$. Это означает, что $\sin\varphi_0 = 1$ и начальная фаза $\varphi_0 = \pi/2$. Тогда закон колебаний $x(t) = A \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = A \cos\omega t$. В интересующий нас момент времени смещение $x(t)=A/2$. Из равенства $\frac{A}{2} = A \cos\omega t$ следует, что $\cos\omega t = 1/2$, т.е. $\omega t = \pi/3$. Учитывая, что $\omega = 2\pi/T$, получаем выражение для времени $t=T/6=2,4/6=0,4$ с.

Ответ: $t=0,4$ с.

8.2. Полная энергия колебаний груза на пружине равна $W=0,1$ Дж. Определить максимальную силу, действующую на тело в процессе колебаний, если амплитуда колебаний составляет $A=5$ см.

Решение. Возвращающая сила пружины определяется по закону Гука: $F=k|x|$. Эта сила максимальна в крайнем положении, т.е. $F_{\max}=kx_{\max}=kA$. Коэффициент жесткости k находим из формулы для потенциальной энергии пружины $W = \frac{kA^2}{2}$, откуда $k = \frac{2W}{A^2}$. Для максимальной силы получаем $F_{\max} = \frac{2W}{A} = \frac{2 \cdot 0,1}{0,05} = 4$ Н.

Ответ: $F_{\max} = 4$ Н.

8.3. Когда груз неподвижно висел на вертикальной пружине, ее удлинение составило $l_0=2,5$ см. Затем груз оттянули и отпустили, вследствие чего он начал совершать гармонические колебания. Какова циклическая частота колебаний груза? $g=10$ м/с².

Решение. Циклическая частота колебаний пружинного маятника определяется выражением $\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{k/m}$. В состоянии устойчивого равновесия сила упругости равна силе тяжести $kl_0 = mg$, отсюда $\frac{k}{m} = g/l_0$ и $\omega = \sqrt{g/l_0}$. Таким образом, циклическая частота $\omega = \sqrt{\frac{10}{0,025}} = 20$ рад/с.

Ответ: $\omega = 20$ рад/с.

8.4. Колебательный контур с конденсатором емкостью $C_1=0,5$ мкФ настроен на частоту $\nu_1=600$ Гц. Если параллельно этому конденсатору подключить другой конденсатор, то частота колебаний в контуре станет равной $\nu_2=200$ Гц. Найти емкость второго конденсатора.

Решение. Начальная частота $\nu_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}}$. После подключения второго конденсатора частота равна $\nu_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_1+C_2)}}$. Взяв отношение частот, получаем $\frac{\nu_1}{\nu_2} = \sqrt{\frac{C_1+C_2}{C_1}} = \sqrt{1 + \frac{C_2}{C_1}}$. Отсюда $C_2 = C_1 \left[\left(\frac{\nu_1}{\nu_2} \right)^2 - 1 \right] = 8C_1 = 8 \cdot 0,5 = 4$ мкФ.

Ответ: $C_2=4$ мкФ.

8.5. При резонансе в колебательном контуре с индуктивностью $L=20$ мГн и емкостью $C=50$ мкФ амплитуда тока равна $I_0=3$ А. Определить амплитуду напряжения на конденсаторе.

Решение. В колебательном контуре происходит преобразование энергии электрической $W_э = \frac{CU^2}{2}$ в энергию магнитного поля $W_м = \frac{LI^2}{2}$. Приравняв энергии $\frac{CU^2}{2} = \frac{LI^2}{2}$, найдем максимальное напряжение $U = I\sqrt{L/C} = 3\sqrt{\frac{20 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 10^{-6}}} = 60$ В.

Ответ: $U=60$ В.

8.6. В некоторой среде распространяются волны. За время, в течение которого частица среды совершает $N=140$ колебаний, волна распространилась на $l=98$ м. Определить длину волны.

Решение. Длина волны $\lambda = v/\nu$, где v – скорость волны, ν – частота колебаний. Скорость находим $v = l/t$, а частоту $\nu = N/t$. Таким образом, $\lambda = \frac{lt}{tN} = \frac{l}{N} = \frac{98}{140} = 0,7$ м.

Ответ: $\lambda=0,7$ м.

8.7. Скорость звука в воде $v=1450$ м/с. На каком минимальном расстоянии находятся точки, совершающие колебания в противофазе, если частота колебаний $\nu=725$ Гц?

Решение. Определяем длину волны $\lambda = \frac{v}{\nu} = 2$ м. Длине волны соответствует разность фаз 2π , а точкам, колеблющимся в противофазе – π . Следова-

тельно, максимальное расстояние между двумя точками, колеблющимися в противоположных фазах, $l=2/2=1$ м.

Ответ: $l=1$ м.

9. Оптика

9.1. Плоское зеркало подвешено на вертикальной стене. Человек ростом $h=170$ см стоит перед зеркалом. Какой максимальной высоты должно быть зеркало, чтобы человек видел себя в полный рост?

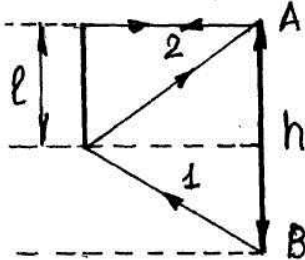


Рис.25

Решение. Условию задачи удовлетворяет построение хода лучей, приведенное на рис. 25. Человек видит себя в зеркале полностью только тогда, когда в его глаз (точка А) приходят, испытав отражение, лучи, исходящие от самой нижней точки человека (точка В), так и от самой верхней (точка А). Из рисунка видно, что это возможно при высоте зеркала $l=h/2=85$ см.

Ответ: $l=85$ см.

9.2. Частота световой волны равна $\nu=5 \cdot 10^{14}$ Гц. Определить, на сколько длина этой волны в вакууме больше, чем в среде с показателем преломления, равным $n=1,5$.

Решение. Длина волны в вакууме $\lambda_0 = \frac{c_0}{\nu}$, где c_0 – скорость света в вакууме. Длина волны в среде $\lambda = c/\nu$, где c – скорость света в среде. Отношение $\frac{\lambda_0}{\lambda} = \frac{c_0}{c} = n$, отсюда $\lambda = \lambda_0/n$. Найдем $\Delta\lambda = \lambda_0 - \lambda = \lambda_0 - \frac{\lambda_0}{n} = \lambda_0 \left(1 - \frac{1}{n}\right) = \lambda_0 \left(\frac{n-1}{n}\right)$ и $\Delta\lambda = \frac{c_0}{\nu} \left(\frac{n-1}{n}\right)$, $\Delta\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{14}} \left(\frac{1,5-1}{1,5}\right) = 2 \cdot 10^{-7}$ м = 200 нм.

Ответ: $\Delta\lambda = 200$ нм.

9.3. Распространяющийся в жидкости луч света падает на плоскую поверхность стекла. Синус угла падения равен $\sin\alpha=0,8$. Угол между отраженным и преломленным в стекле лучами прямой. Определить показатель преломления стекла, если показатель преломления жидкости $n_1=1,33=4/3$.

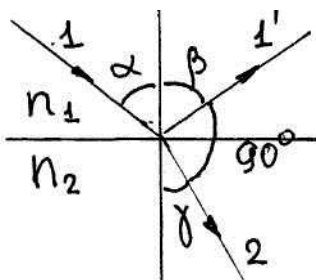


Рис. 26

Решение. Ход лучей дан на рис. 26. Закон преломления на границе жидкость-стекло: $\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{n_2}{n_1}$, отсюда $n_2 = n_1 \frac{\sin\alpha}{\sin\gamma}$. Так как угол между лучами 1 и 2 равен 90° , то $\gamma=90^\circ-\alpha$, а $\sin(90^\circ - \alpha) = \cos\alpha = \sqrt{1 - \sin^2\alpha}$. Найдем n_2 по формуле $n_2 = n_1 \frac{\sin\alpha}{\sqrt{1 - \sin^2\alpha}} = 1,33 \frac{0,8}{0,6} = 1,77$.

Ответ: $n=1,77$.

9.4. С помощью линзы, оптическая сила которой $D=4$ дптр, наблюдают увеличенное в $k=5$ раз мнимое изображение предмета. На каком расстоянии перед линзой поместили этот предмет?

Решение. Увеличенное мнимое изображение получается с помощью собирающей линзы (рис.27). Так работает лупа.

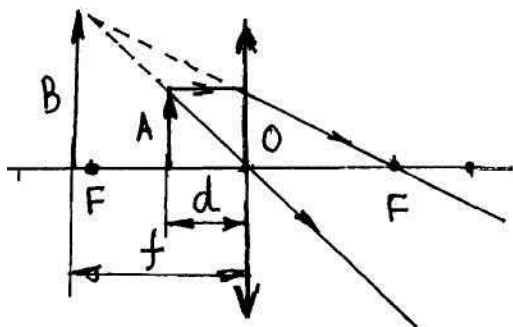


Рис. 27

Формула линзы будет записана в этом случае:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$$

Оптическая сила $D = \frac{1}{F}$, и тогда

$$D = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$$

По определению увеличение $k = \frac{f}{d}$

Откуда $f = kd$, подставляем в формулу линзы

$$D = \frac{1}{d} - \frac{1}{kd} = \frac{1}{d} \left(1 - \frac{1}{k} \right) = \frac{1}{d} \left(\frac{k-1}{k} \right) \text{ и находим}$$

$$d = \frac{k-1}{kD} = \frac{5-1}{5 \cdot 4} = 0,2 \text{ м.}$$

Ответ: d=0,2 м.

9.5. Фокусное расстояние собирающей линзы F=10 см, расстояние от предмета до ее переднего фокуса l=5 см. Найти высоту предмета, если высота его изображения H=4 см.

Решение. При указанном положении предмета (AA') изображение (BB') будет действительное (рис. 28).

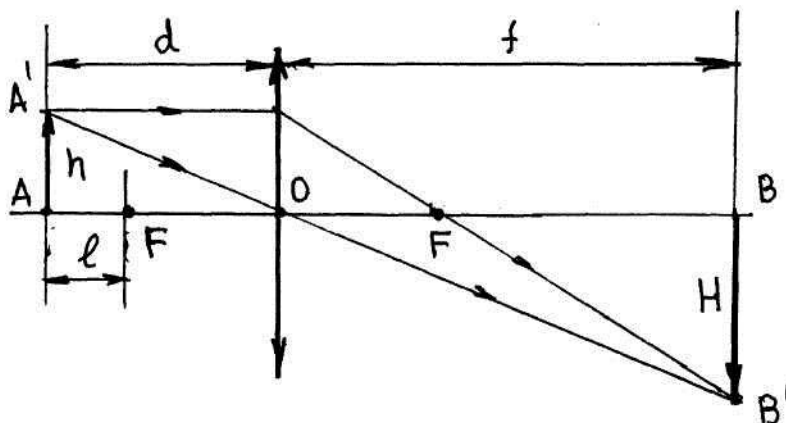


Рис. 28

Из подобия треугольников OAA' и OBB' увеличение $\frac{H}{h} = \frac{f}{d}$, и тогда $h = H \frac{d}{f}$. Для нахождения отношения $\frac{d}{f}$ запишем формулу линзы $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ и домножим левую и правую части на d: $\frac{d}{F} = 1 + \frac{d}{f}$ и $\frac{d}{f} = \frac{d}{F} - 1 = \frac{d-F}{F} = \frac{l}{F}$. Найдем высоту предмета $h = H \frac{l}{F} = 4 \cdot \frac{5}{10} = 2 \text{ см.}$

Ответ: h=2 см.

9.6. На дифракционную решетку, имеющую постоянную решетки d=2400 нм, нормально падает свет с $\lambda=500 \text{ нм}$. Определить наибольший порядок максимума, который наблюдается для данной длины волны.

Решение. Формула дифракционной решетки имеет вид $d \sin \varphi = k \lambda$. Величина левой части ограничена максимальным значением функции $\sin \varphi = 1$. Следовательно, $d \cdot 1 = k_{max} \lambda$ и тогда $k_{max} = \frac{d}{\lambda} = \frac{2400}{500} = 4,8$. Порядок максимума должен быть целым. Округлять в сторону увеличения нельзя, чтобы не

нарушилось исходное уравнение. Отбрасывая дробную часть, получим $k_{max} = 4$.

Ответ: $k_{max} = 4$.

9.7. На дифракционную решетку падает нормально поток белого света. В направлении угла $\varphi=30^\circ$ для длины волны $\lambda_1 = 450$ нм наблюдается максимум пятого порядка $k_1=5$. Определить синус угла, в направлении которого для длины волны 600 нм наблюдается максимум третьего порядка $k_2=3$.

Решение. Запишем условие максимумов для дифракции двух световых волн с длинами λ_1 и λ_2 : $d\sin\varphi_1 = k_1\lambda_1$ и $d\sin\varphi_2 = k_2\lambda_2$. Поделив почленно одно уравнение на другое, получим отношение $\frac{\sin\varphi_1}{\sin\varphi_2} = \frac{k_1\lambda_1}{k_2\lambda_2}$. Отсюда следует выражение для синуса угла, под которым наблюдается максимум с $k_2=3$: $\sin\varphi_2 = \frac{k_2\lambda_2}{k_1\lambda_1}\sin\varphi_1$ и $\sin\varphi_2 = \frac{3 \cdot 600}{5 \cdot 450} \cdot 0,5 = 0,4$.

Ответ: $\sin\varphi_2 = 0,4$.

10. Атомная и ядерная физика

10.1. Электрон в атоме находится в возбужденном состоянии с энергией, равной -2,35 эВ. Чему станет равной энергия электрона, если атом испустит фотон частотой $4 \cdot 10^{14}$ Гц?

Решение. В соответствии с правилом Бора энергия испущенного фотона $\varepsilon = E_2 - E_1$, где E_1 и E_2 – энергии уровней. Подставляя сюда выражение для энергии кванта $\varepsilon = h\nu$, находим энергию электрона $E_1 = E_2 - h\nu$ после перехода. Удобнее сначала вычислить в электронвольтах энергию фотона: $h\nu = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 4 \cdot 10^{14}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 1,65$ эВ. Окончательно $E_1 = -2,35 - 1,65 = -4$ эВ.

Ответ: $E_1 = -4$ эВ.

10.2. Два образца цезия облучаются светом от двух разных источников света с частотами $\nu_1 = 6 \cdot 10^{14}$ Гц и $\nu_2 = 5 \cdot 10^{14}$ Гц. Максимальные кинетические энергии фотоэлектронов при этом отличаются в два раза $n=2$. Определить работу выхода электронов из цезия.

Решение. Уравнение фотоэффекта для двух случаев: $h\nu_1 = A_{\text{вых}} + E_1$ и $h\nu_2 = A_{\text{вых}} + E_2$. Из каждого уравнения находим кинетическую энергию: $E_1 = h\nu_1 - A_{\text{вых}}$ и $E_2 = h\nu_2 - A_{\text{вых}}$ и берем отношение $\frac{E_1}{E_2} = 2$; $2 = \frac{h\nu_1 - A_{\text{вых}}}{h\nu_2 - A_{\text{вых}}}$. Отсюда находим работу выхода $A_{\text{вых}} = \frac{h(n\nu_2 - \nu_1)}{n-1} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34}(2 \cdot 5 - 6) \cdot 10^{14}}{2-1} = 2,64 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Ответ: $A_{\text{вых}} = 2,64 \cdot 10^{-19}$ Дж.

10.3. В результате взаимодействия ядра азота ${}^{14}_7\text{N}$ с ядром гелия ${}^4_2\text{He}$ образуется изотоп кислорода и протон. Чему равно массовое число образовавшегося изотопа кислорода?

Решение. Эта ядерная реакция записывается в следующем виде: ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^y_x\text{O} + {}^1_1\text{p}$. По закону сохранения нуклонов для массовых чисел $14+4=y+1$. Отсюда $y=17$.

Ответ: $A=17$.

10.4. Дефект массы ядра гелия ${}^4_2\text{He}$ равен $\Delta m = 0,005$ а.е.м. Определить удельную энергию связи этого ядра.

Решение. Энергия связи ядра в МэВ определяется по формуле $E_{\text{св}} = 931\Delta m$ (МэВ). Удельная энергия $\varepsilon = \frac{E_{\text{св}}}{A} = \frac{931\Delta m}{4} = \frac{931 \cdot 0,005}{4} = 1,16 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$.

Ответ: $\varepsilon = 1,16 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$.

10.5. В результате взаимодействия ядер дейтерия, масса которого $m_1 = 2,014$ а.е.м., с ядром трития массой $m_2 = 3,016$ а.е.м. образуется ядро атома гелия массой $m_3 = 4,001$ а.е.м. и нейтрон массой $m_4 = 1,009$ а.е.м. Какая энергия выделяется при этой термоядерной реакции?

Решение. Данная термоядерная реакция имеет вид ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$. Энергию ядерной реакции найдем по формуле $\Delta E^0 = 931\Delta m$ (МэВ), где Δm - дефект масс ядерной реакции, равный $\Delta m = (m_1 + m_2) - (m_3 + m_4) = (2,014 + 3,016) - (4,001 + 1,009) = 0,02$ а.е.м. Зная Δm , найдем энергию, которая выделяется при термоядерной реакции $\Delta E = 931 \cdot 0,02 = 18,62$ МэВ.

Ответ: $\Delta E = 18,62$ МэВ.

IV. Контрольная работа

4.1. Методические рекомендации

Контрольная работа содержит тринадцать задач. Вариант задания контрольной работы определяется в соответствии с последней цифрой шифра зачетной книжки по таблице для контрольных заданий.

Вариант	Номера задач												
1	1	11	21	31	41	51	61	71	81	91	101	111	121
2	2	12	22	32	42	52	62	72	82	92	102	112	122
3	3	13	23	33	43	53	63	73	83	93	103	113	123
4	4	14	24	34	44	54	64	74	84	94	104	114	124
5	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125
6	6	16	26	36	46	56	66	76	86	96	106	116	126
7	7	17	27	37	47	57	67	77	87	97	107	117	127
8	8	18	28	38	48	58	68	78	88	98	108	118	128
9	9	19	29	39	49	59	69	79	89	99	109	119	129
10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130

При выполнении контрольной работы следует выполнять следующие правила:

- 1) указать на титульном листе наименование дисциплины, фамилию и инициалы студента, шифр и домашний адрес;
- 2) контрольную работу следует выполнять аккуратно, оставляя поля для замечаний;
- 3) задачу переписывать полностью, физические величины выписывать отдельно и осуществить перевод в СИ;
- 4) для пояснения решения задачи там, где это нужно, сделать чертеж;
- 5) решение и используемые формулы сопровождать пояснениями;
- 6) задачу рекомендуется решать в общем виде.

4.2. Контрольные задачи

1. С вышки бросили камень в горизонтальном направлении. Через две секунды камень упал на землю на расстоянии 30 м от основания вышки. Какова конечная скорость падения? $g = 10 \text{ м/с}^2$.

2. Самолет летит на высоте 6000 м по прямой со скоростью 360 км/ч. Летчик должен сбросить бомбу в цель впереди самолета. Под каким к вертикали углом он должен видеть цель в момент бомбометания? $g = 10 \text{ м/с}^2$.

3. Тело, движущееся равноускоренно, проходит одинаковые, следующие друг за другом отрезки пути длиной 15 м за время, равное 2 с и 1 с соответственно. Найти ускорение тела.

4. Теплоход, длина которого 300 м, движется по прямому курсу в озере с постоянной скоростью. Катер, имеющий скорость 90 км/ч, проходит расстояние от кормы движущегося теплохода до его носа и обратно за 37,5 с. Найти скорость теплохода.

5. Длина шкалы спидометра 15 см. Он измеряет скорость автомобиля в пределах от нуля до 150 км/ч. Найдите среднюю скорость указателя спидометра, если автомобиль движется с ускорением 2 м/с^2 .

6. Самолет летит на высоте 4500 м по прямой со скоростью 100 м/с. Летчик должен сбросить бомбу в цель, летящую впереди самолета. На каком расстоянии от цели должна находиться точка на земле, над которой находится самолет в момент сброса бомбы? $g = 10 \text{ м/с}^2$.

7. Мяч бросают горизонтально с вершины горы. Наклон горы к горизонту составляет 30° . С какой высоты должен быть брошен мяч, чтобы он упал на гору на расстоянии 4,8 м от вершины? Сопротивление воздуха не учитывать, $g = 10 \text{ м/с}^2$.

8. Мяч брошен вертикально вверх с некоторой высоты со скоростью 3 м/с. Найти среднюю скорость мяча в течение первой секунды. $g = 10 \text{ м/с}^2$.

9. Два груза разной массы связаны тонкой нитью, перекинутой через невесомый блок радиусом 5 см. Найти угловую скорость блока через 10 секунд после начала движения грузов, если более тяжелый груз опустился за это время на 0,5 м.

10. При снижении вертолет опускался вертикально с постоянной скоростью 10 м/с. Начиная с некоторой высоты h и до посадки он опускался равнозамедленно с ускорением $0,2 \text{ м/с}^2$. Сколько оборотов сделал винт вертолета за время снижения с высоты h до посадки, если угловая скорость вращения винта $31,4 \text{ рад/с}$?

11. В нижней точки «мертвой петли» вес летчика составляет 7,2 кН. Масса летчика 80 кг, радиус петли 320 м. Определить скорость самолета. $g = 10 \text{ м/с}^2$.

12. Два тела, массы которых 50 г и 100 г, связанные невесомой нитью, лежат на гладкой горизонтальной поверхности стола. С какой силой можно тянуть первое тело, чтобы нить, способная выдержать нагрузку, равную 5 Н, не оборвалась?

13. Через невесомый блок переброшена нерастяжимая нить с двумя грузами. К одному концу нити подвешен меньший груз массой 186 г. Определить массу большого груза на другом конце нити, если грузы движутся с ускорением $0,5 \text{ м/с}^2$. $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

14. Один конец пружины длиной 0,3 м закреплен, к другому привязан груз массой 0,2 кг. При вращении пружины с грузом в горизонтальной плоскости с угловой скоростью 7 рад/с пружина удлинилась на 5 см. Определить коэффициент жесткости пружины.

15. Тело массой 2 кг, брошенное вертикально вверх со скоростью 30 м/с, достигло максимальной высоты подъема через 2 с. Определить силу сопротивления воздуха. $g = 10 \text{ м/с}^2$.

16. Автомобиль массой 5 тонн проходит по выпуклому мосту со скоростью 6 м/с. Определить вес автомобиля на середине моста, если радиус кривизны моста 50 м. $g = 10 \text{ м/с}^2$.

17. Поворот дороги имеет радиус закругления 80 м. Определить наибольшую скорость автомобиля, при которой его еще не заносит на повороте, если коэффициент трения скольжения шин о дорогу 0,25.

18. Буксир тянет баржу массой 150 тонн. Баржа, двигаясь равноускоренно, за 5 минут проходит путь 600 м. Найти силу тяги буксира, если сила сопротивления воды равна 3000 Н.

19. Космический корабль массой 1000 тонн поднимается с земли вертикально вверх. Сила тяги двигателя составляет 19,8 МН. Пренебрегая потерей топлива и сопротивлением среды, определить скорость корабля в конце первой минуты подъема. $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

20. В неподвижном лифте гирька, подвешенная на пружине, растягивает ее на 14 см. На сколько сантиметров растягивается пружина при опускании лифта с ускорением $1,4 \text{ м/с}^2$? $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

21. Мальчик с санками стоит на ледяном катке. Какую работу должен совершить мальчик, толкнув санки, чтобы они после толчка покатились по льду со скоростью 4 м/с? Масса санок 5 кг, мальчика – 20 кг. Трением о лед пренебречь.

22. На дистанции 20 м человек массой 60 кг увеличил скорость от 2 до 8 м/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить среднюю мощность бегуна на этой дистанции.

23. Два мяча прижаты друг к другу и мгновенно отпущены. Первый мяч отскочил за некоторое время в горизонтальном направлении на 1,2 м, а другой за это же время – на 1,5 м. Найти отношение кинетической энергии первого мяча к энергии второго в момент их разъединения.

24. На покоящийся груз массой 1,5 кг в течение двух секунд подействовала сила 17,7 Н, направленная вертикально вверх. Пренебрегая затратами энергии на трение, найти работу силы. $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

25. Стальной шарик массой 0,2 кг падает с высоты 595 см и вдавливается в грунт на глубину 5 см. Определить среднюю силу сопротивления грунта.

26. Тело соскальзывает без трения по наклонному желобу, переходящему в вертикальную петлю радиусом 1 м. С какой минимальной высоты должно начать движение тело, чтобы не оторваться от желоба в верхней точке петли?

27. С поверхности Земли вертикально вверх с $v_0 = 2 \text{ м/с}$ бросили шар массой 0,5 кг. На какой высоте его кинетическая энергия будет равна потенциальной? $g = 10 \text{ м/с}^2$.

28. Найти работу, которую нужно совершить, чтобы увеличить скорость от 2 до 5 м/с на расстоянии 10 м. На всем пути действует сила трения 2 Н. Масса тела 2 кг.

29. Мяч массой 0,5 кг брошен вертикально вверх с начальной кинетической энергией 150 Дж. Определить, на какую высоту поднимется мяч. Силу сопротивления воздуха принять постоянной и равной 1 Н, а $g = 10 \text{ м/с}^2$.

30. Снаряд массой 10 кг движется внутри ствола орудия 0,005 с. Средняя сила давления пороховых газов 1,2 МН. Определить скорость снаряда при вылете из ствола.

31. В пресном озере плавает льдина цилиндрической формы. Верхняя поверхность льдины выступает над поверхностью воды на 0,1 м. Найти полную высоту льдины. Плотность льда 900 кг/м^3 .

32. Вес металлического шарика, измеренный пружинными весами, равен 19,8 Н. При погружении шарика в воду те же весы показывают 10 Н. Определить объем шарика. $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

33. Теплоход переходит из моря в реку. Для того, чтобы его осадка не изменилась, с него сняли 90 т груза. Найти массу теплохода с грузом до перехода в реку. Плотность морской воды равна 1030 кг/м^3 .

34. Брусок из дерева плавает в воде, погружаясь на три четвертых своего объема. Какова плотность дерева?

35. Найти наименьший объем льдины, способной удержать на воде человека, масса которого 70 кг. Плотность льда 900 кг/м^3 .

36. Глыба льда массой 450 тонн плавает в воде. Объем надводной части глыбы 50 м^3 . Найти полный объем глыбы.

37. Экскаватор переправляется через реку на понтоне, имеющем форму прямоугольного параллелепипеда с площадью горизонтальной грани 80 м^2 . Под действием веса экскаватора осадка понтона увеличилась на 40 см. Найти массу экскаватора.

38. Полый металлический шар массой 500 кг плавает в воде, погрузившись ровно наполовину. Найти объем шара.

39. В воде плавает прямоугольная коробка, площадь основания которой равна $0,01 \text{ м}^2$. На сколько сантиметров погрузится коробка в воду, если в нее положить груз массой 0,2 кг?

40. Брусок из дерева плотностью 750 кг/м^3 плавает в воде. Какая часть объема погружена в воду?

41. Бутылка, наполненная газом при давлении 100 кПа и температуре 300 К, плотно закрыта пробкой площадью $2,5 \text{ см}^2$. До какой температуры надо нагреть газ, чтобы пробка вылетела из бутылки, если сила трения, действующая в момент вылета, равна 12 Н?

42. С какой максимальной силой прижимается к телу человека медицинская банка, если площадь ее отверстия 20 см^2 ? В момент прикладывания к телу воздух в ней нагрет до температуры 336 К, а температура окружающего воздуха 294 К. Атмосферное давление 100 кПа. Изменением объема воздуха в банке из-за втягивания кожи пренебречь.

43. Во фляжке объемом 0,5 л находится 0,3 л воды. Турист пьет из нее воду, плотно прижав губы к горлышку так, что во фляжку не попадает наружный воздух. Сколько граммов воды выпил турист, если давление воздуха во фляжке понизилось до 80 кПа? Давление наружного воздуха 100 кПа.

44. В запаянном откачанном сосуде находится вода, занимающая объем, равный одной четвертой объема сосуда. Найти давление водяного пара при температуре 720 К, зная, что при этой температуре вся вода превращается в пар.

45. Найти молярную массу смеси 32 г кислорода и 28 г азота.

46. В цилиндрическом сосуде, расположенном горизонтально, под поршнем находится газ. Поршень может свободно перемещаться в цилиндре без трения. Давление газа равно 100 кПа. Какую внешнюю силу надо приложить к поршню, чтобы уменьшить объем газа в два раза? Площадь поршня 10 см². Сжатие газа изотермическое.

47. Давление воздуха в металлическом баллоне за 60 ходов поршневого насоса изменилось от 100 до 140 кПа. Найти объем поршневого насоса, если объем баллона 150 л. Процесс изотермический.

48. Посередине горизонтальной, закрытой с обоих концов трубки длиной 70 см, заполненной газом, находится в равновесии подвижная теплонепроницаемая перегородка. Слева от перегородки $t_1=127^{\circ}\text{C}$, а справа $t_2=87^{\circ}\text{C}$. На каком расстоянии от левого конца трубки установится перегородка, если температура всего газа станет 27°C ?

49. В закрытой пробкой бутылке объемом 1,1 л находится воздух при давлении 100 кПа. Бутылку опускают горлышком вниз на глубину 1 м и открывают. Какой объем займет воздух в бутылке, если атмосферное давление равно 100,2 кПа? Температура везде одинаковая.

50. Баллон объемом 50 л наполнен воздухом при $t_1=27^{\circ}\text{C}$ до давления 1 МПа. Какой объем воды можно вытеснить из цистерны подводной лодки воздухом этого баллона, если вытеснение производится на глубине 40 м? Температура воздуха после расширения 0°C . Атмосферное давление 100 кПа. $g = 10\text{ м/с}^2$.

51. Мощность двигателя автомобиля 69 кВт. Найти ежесекундный расход бензина, если КПД двигателя 25%. Удельная теплота сгорания бензина 46 МДж/кг.

52. Сколько алюминия при температуре 305 К можно нагреть до температуры 932°C в печи, КПД которой равен 24%, если сжечь 24 кг нефти? Удельная теплоемкость алюминия 900 Дж/(кг·К), теплота сгорания нефти 45 МДж/кг.

53. После опускания в воду, имеющую температуру 10°C , тела, нагретого до 100°C , установилась температура 40°C . Какой станет температура воды, если, не вынимая первого тела, в нее опустить еще одно такое тело, нагретое до 100°C ?

54. Какое количество теплоты потребуется, чтобы испарить 0,5 кг воды, взятой при 20°C ? Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг·К), удельная теплота парообразования 2260 кДж/кг.

55. Какое количество водяного пара при температуре 100°C нужно ввести в сосуд с водой, чтобы нагреть воду от 0°C до 100°C ? Масса воды 2,3 кг. Потери тепла на нагревание посуды не учитывать. Удельная теплоемкость воды 4,2 кДж/(кг·К), удельная теплота парообразования 2300 кДж/кг.

56. Сколько каменного угля (теплота сгорания 20 МДж/кг) надо израсходовать, чтобы из 100 кг снега, взятого при температуре -40°C , получить воду при 0°C ? Удельная теплоемкость снега 2 кДж/(кг·К), удельная теплота плавления 320 кДж/кг.

57. Какая масса воды должна пройти через радиаторы отопления, охлаждаясь на 13 К, для нагревания воздуха в закрытой комнате, масса которого

175,5 кг, от 10 до 20⁰ С? Удельная теплоемкость воды 4,5 кДж/(кг·К), удельная теплоемкость воздуха 1000 Дж/(кг·К). Потери тепла на пол, стены и окна составляет 40%.

58. Какую массу льда при температуре 0⁰ С можно расплавить, если подвести к нему такое количество теплоты, которое необходимо затратить, чтобы нагреть два литра воды на 66⁰ С? Удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг, удельная теплоемкость воды равна 4,19 кДж/(кг·К).

59. Сколько энергии потребуется затратить, чтобы расплавить 2 кг свинца, взятого при 27⁰ С? Температура плавления свинца 327⁰ С, удельная теплоемкость 130 Дж/(кг·К). Удельная теплота плавления 22,5 кДж/кг.

60. Два литра воды превратили в пар, нагревая от 20⁰ С на газовой горелке. Определить КПД горелки, если было израсходовано 200 литров газа. Удельная теплота сгорания газа 40 МДж/м³. Удельная теплоемкость воды 4,2 кДж/(кг·К), удельная теплота парообразования 2,3 МДж/кг.

61. Напряженность электрического поля между обкладками плоского воздушного конденсатора, находящимися на расстоянии 9,1 см друг от друга, равна 320 В/м. Электрон из состояния покоя проходит путь от отрицательной пластины к положительной. Какую скорость он будет иметь в конце пути?

62. Шарик массой 0,4 г и зарядом 0,5 мкКл подвешен на нити в однородном электрическом поле, силовые линии которого горизонтальны. Определить напряженность электрического поля, если угол отклонения нити от вертикали равен 45⁰. $g = 10 \text{ м/с}^2$.

63. Во сколько раз увеличится емкость плоского воздушного конденсатора с вертикальным расположением пластин, если конденсатор погрузить до половины в жидкий диэлектрик с диэлектрической проницаемостью, равной $\epsilon=5$?

64. Конденсатор состоит из нескольких латунных листов, проложенных стеклянными прокладками толщиной 2 мм. Площадь листа 200 см², диэлектрическая проницаемость стекла 7. Определить количество листов, если емкость конденсатора 17,7 пФ.

65. Пластины воздушного конденсатора отсоединили от источника тока, раздвинули вдвое и зазор заполнили диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon=4$. Во сколько раз уменьшилась энергия электростатического поля?

66. Заряженный шарик движется из точки с потенциалом 1400 В в точку, потенциал которой равен нулю. Найти начальную скорость шарика, если его конечная скорость 0,4 м/с. Заряд шарика 40 нКл, масса 1,6 г.

67. Два одинаковых конденсатора соединили последовательно, батарею зарядили от источника с ЭДС 360 В, а затем отключили. Заряженные конденсаторы с помощью переключателя соединили параллельно одноименно заряженными обкладками. Определить напряжение на конденсаторах.

68. Воздушный плоский конденсатор заряжен до разности потенциалов 20 кВ. Площадь пластины 40 см², расстояние между пластинами 1,77 мм. Определить количество теплоты, выделившееся при разрядке конденсатора, если 10% энергии конденсатора рассеивается в виде электромагнитных волн.

69. Электрон с начальной кинетической энергией 100 эВ пролетает ускоряющую разность потенциалов 100 В. Определить отношение конечной скорости к начальной.

70. В трех вершинах квадрата находятся одинаковые положительные заряды 5 нКл. Напряженность поля в четвертой вершине 955 В/м. Найти длину стороны квадрата.

71. В ускорителе пучок частиц движется по круговой орбите радиусом 2 м со скоростью 6280 км/с. Средний ток, создаваемый пучком, равен 12 А. Определить заряд пучка.

72. Определить сопротивление между соседними вершинами проволочного куба, если сопротивление каждого ребра 12 Ом.

73. Аккумулятор с ЭДС 12 В подключен к источнику напряжения 15 В. Какое дополнительное сопротивление должно быть включено в цепь для того, чтобы сила зарядного тока не превышала 1 А? Внутреннее сопротивление аккумулятора 2 Ом.

74. Цепь из четырех одинаковых параллельно соединенных лампочек, каждая из которых рассчитана на 3 В и 0,3 А, нужно подключить к источнику с напряжением 5,4 В. Какое дополнительное сопротивление потребуется для этого подсоединить последовательно к цепи лампочек?

75. Спираль электроплитки изготовлена из проволоки сечением $0,5 \text{ мм}^2$. Удельное сопротивление материала проволоки $5,5 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$. Определить длину проволоки, необходимой для изготовления спирали, чтобы при включении в сеть 220 В плитка потребляла 880 Вт.

76. Электрокамин имеет две электрические спирали. При отдельном их включении одна из спиралей повышает температуру в комнате на 1 К за 4 минуты, а другая – за 12 минут. На сколько минут надо включить одновременно обе спирали, чтобы повысить температуру на 2 К?

77. Аккумулятор с ЭДС 12 В и внутренним сопротивлением 4 Ом питает лампочку, потребляющую мощность 9 Вт. Определить, на какое напряжение рассчитана лампочка.

78. Электрокамин имеет три нагревательных элемента сопротивлением 5, 6 и 8 Ом. При параллельном включении их в сеть на первом сопротивлении выделяется 600 Дж теплоты. Определить за это время количество теплоты в камине.

79. Электромотор имеет омическое сопротивление 1,98 Ом и приводится в движение от сети 110 В. Ток, проходящий через мотор при его работе, равен 10 А. Определить КПД мотора.

80. Аккумулятор один раз подключается к цепи с сопротивлением 2 Ом, другой раз – 32 Ом. И в той и другой цепи при этом выделяется одна и та же мощность. Определить внутреннее сопротивление аккумулятора и его ЭДС.

81. Определить период вращения заряженной частицы, влетевшей в однородное постоянное магнитное поле перпендикулярно к линиям индукции этого поля. Индукция магнитного поля 3,14 мТл, заряд частицы 5 нКл, масса частицы 10 пг.

82. В пространстве, где существуют одновременно однородные и постоянные взаимно перпендикулярные электрическое и магнитное поля, перпендикулярно этим полям по прямой движется электрон. Найти модуль индукции магнитного поля, если напряженность электрического поля 5 кВ/м , а скорость электрона 50 км/с .

83. Катушка с током $0,5 \text{ А}$ и площадью поперечного сечения 100 см^2 помещена в однородное магнитное поле с индукцией 2 Тл . Ось катушки перпендикулярна линиям индукции поля. Найти число витков катушки, если в магнитном поле на катушку с током действует момент сил $0,3 \text{ Нм}$.

84. В однородном магнитном поле с индукцией 2 Тл находится катушка из 15 витков с площадью поперечного сечения $0,01 \text{ м}^2$. Ось катушки параллельна линиям магнитной индукции. Определить среднюю ЭДС индукции, возникающую в катушке при повороте катушки вокруг оси, перпендикулярной к линиям индукции на угол 90° за $0,5 \text{ с}$.

85. В однородном магнитном поле с индукцией $0,49 \text{ Тл}$ находится проводник. Проводник и линии магнитной индукции взаимно перпендикулярны и лежат в горизонтальной плоскости. При какой силе тока проводник будет висеть не падая? Масса единицы длины проводника 5 г/м .

86. Катушка из 100 витков находится в магнитном поле с индукцией 10 мТл . Ось катушки параллельна линии индукции. При повороте катушки на 90° за $0,2 \text{ с}$ возникает ЭДС $0,5 \text{ В}$. Найти площадь поперечного сечения катушки.

87. Прямоугольная рамка площадью 40 см^2 с сопротивлением $0,1 \text{ Ом}$ находится в магнитном поле с индукцией $0,3 \text{ Тл}$. Плоскость рамки перпендикулярна к линиям индукции поля. Найти среднее значение силы тока в рамке, если ее за $0,2 \text{ с}$ растянуть в линию, взяв за противоположные вершины.

88. Альфа-частица в однородном магнитном поле вращается по окружности радиусом 3 см . Период вращения $0,628 \text{ мс}$. Определить величину магнитной индукции поля. Удельный заряд альфа-частицы считать равным $0,05 \text{ Кл/мкг}$.

89. При равномерном уменьшении тока в проволочной катушке от 12 до 8 А за 2 с возникает ЭДС самоиндукции $0,8 \text{ В}$. Определить энергию магнитного поля в этой катушке при токе 3 А .

90. Рамка площадью 300 см^2 и сопротивлением 2 Ом помещена в магнитное поле. Плоскость рамки находится под углом 30° к вектору индукции. Определить силу индукционного тока, возникающего в рамке при равномерном изменении магнитной индукции от $0,3$ до $0,1 \text{ Тл}$ в течение 3 с .

91. Шарик массой 10 г скреплен с пружиной жесткостью 400 Н/м . Под действием удара шарик в положении равновесия приобрел скорость 10 м/с , направленную вдоль оси пружины. Найти амплитуду возникших при этом колебаний шарика.

92. Во сколько раз увеличится период колебаний математического маятника при переносе его с Земли на Луну? Принять, что масса Луны в 81 раз меньше массы Земли, а радиус Земли в 4 раза больше радиуса Луны.

93. Колебательный контур состоит из катушки и двух одинаковых конденсаторов, включенных параллельно. Во сколько увеличится частота соб-

ственных колебаний контура, если эти конденсаторы включить последовательно?

94. Чему равна емкость колебательного контура, настроенного в резонанс с радиостанцией, которая работает на частоте 50 кГц? Индуктивность контура 20 мГн.

95. Амплитуда гармонических колебаний материальной точки равна 2 см, а полная энергия колебаний 0,3 мкДж. При каком смещении от положения равновесия на колеблющуюся точку действует сила 22,5 мкН?

96. Материальная точка массой 10 г совершает гармонические колебания с периодом 0,628 с. Полная энергия колеблющейся точки равна 0,2 мДж. Определить амплитуду колебаний.

97. Через какой наименьший промежуток времени от начала движения точка, совершающая гармонические колебания, сместится из положения равновесия на половину амплитуды, если за 240 с она совершает 10 полных колебаний?

98. Груз, свободно колеблющийся на пружине вдоль ее оси, удаляясь от положения равновесия, за время 0,01 с сместился с расстояния 0,5 см от положения равновесия до наибольшего, равного 1 см. Чему равен период его колебаний?

99. Шарик массой 50 г подвешен на пружине с коэффициентом жесткости 49 Н/м. Шарик поднимают до такого положения, при котором пружина не напряжена, и отпускают без толчка. Пренебрегая трением и массой пружины, найти амплитуду возникших колебаний.

100. Входной колебательный контур радиоприемника с конденсатором емкостью 90 пФ настроен на длину волны 9 м. Определить индуктивность катушки этого контура.

101. Предмет поместили перед собирающей линзой так, что наблюдается действительное изображение, в 2 раза больше самого предмета. Затем предмет переместили вдоль оптической оси так, что изображение стало в 2 раза меньше предмета. На сколько изменили расстояние от предмета до линзы? Фокусное расстояние линзы 1 м.

102. Чему равно наименьшее расстояние между предметом и его действительным изображением в собирающей линзе, если ее фокусное расстояние равно 40 см?

103. Монохроматический свет с длиной волны в вакууме 500 нм падает по нормали на дифракционную решетку, помещенную в жидкую среду с показателем преломления 1,4. Период решетки 4 мкм. Определить синус угла, под которым наблюдается второй ($k=2$) максимум интенсивности.

104. Определить показатель преломления прозрачной жидкости, если длина волны зеленого цвета в ней равна 550 нм при энергии фотонов, равной 1,5 эВ.

105. Накаленная нить лампочки и ее действительное изображение, полученное с помощью линзы, равны по величине. Оптическая сила линзы 4 диоптрии. На какое расстояние нужно передвинуть лампочку от первоначального положения, чтобы ее изображение уменьшилось в 5 раз?

106. Предмет в виде отрезка длиной 0,4 м расположен вдоль оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием 0,6 м. Середина отрезка находится на расстоянии 0,9 м от линзы. Линза дает действительное изображение всех точек предмета. Определить продольное увеличение предмета.

107. Предмет находится на расстоянии 15 м от объектива фотоаппарата. Высота изображения на фотопленке при этом равна 0,03 м. Если расстояние от предмета до объектива уменьшить до 10 м, то высота изображения станет равной 0,05 м. Найти фокусное расстояние объектива.

108. Свет с частотой $4 \cdot 10^{14}$ Гц падает перпендикулярно на дифракционную решетку, расположенную в жидкости с показателем преломления 1,5. Период решетки 10 мкм. Определить порядок максимума k интенсивности света под углом 30° .

109. Плоская поверхность плоско-выпуклой линзы с фокусным расстоянием 12 см покрыта зеркальным слоем. На расстоянии 24 см от линзы со стороны выпуклой поверхности находится точечный источник света. Определить расстояние от линзы до изображения источника.

110. С помощью собирающей линзы получено уменьшенное действительное изображение предмета на экране. Размер предмета 6 см, а размер изображения 3 см. Оставляя предмет и экран неподвижными, перемещают линзу в сторону предмета и получают второе четкое изображение. Определить величину этого изображения.

111. При освещении катода фотоэлемента светом частоты 10^{15} Гц фототок с поверхности катода прекращается при разности потенциалов между катодом и анодом, равной 2 В. Определить работу выхода электрона из материала катода.

112. На изолированную металлическую пластинку, потенциал которой равен нулю, направлено монохроматическое излучение с частотой $8 \cdot 10^{14}$ Гц. До какого потенциала зарядится пластинка при длительном освещении, если работа выхода электронов из нее равна 2 эВ?

113. Найти частоту света, вырывающего из металла электроны, которые полностью задерживаются разностью потенциалов 3,3 В. Фотоэффект начинается при частоте света $6 \cdot 10^{14}$ Гц.

114. Катод фотоэлемента освещается светом с длиной волны 500 нм. При задерживающей разности потенциалов между катодом и анодом 1,2 В фототок прекращается. Определить работу выхода электрона из материала катода.

115. Во сколько раз длина волны излучения, падающего на металлическую пластинку, меньше длины волны красной границы фотоэффекта, если кинетическая энергия вылетающих электронов в два раза больше работы выхода электронов из материала катода?

116. Катод фотоэлемента освещается светом с длиной волны, которую необходимо определить. Известно, что при задерживающей разности потенциалов между катодом и анодом, равной 2 В, фототок прекращается. Работа выхода электрона из материала катода равна 2,125 эВ.

117. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна $6 \cdot 10^{14}$ Гц. Определить величину задерживающей разности потенциалов, которую

нужно приложить, чтобы задержать электроны, испускаемые под действием лучей с частотой 10^{15} Гц.

118. Одна из пластин плоского воздушного незаряженного конденсатора освещается светом 10^{15} Гц. Фотоэлектроны, попадающие на другую пластину, заряжают ее, в результате чего между обкладками конденсатора возникает разность потенциалов. Определить максимальное значение разности потенциалов, если работа выхода электрона равна 2 эВ.

119. Излучение с частотой 10^{15} Гц падает на металлическую поверхность. При увеличении частоты в 1,2 раза задерживающее напряжение между катодом и анодом пришлось увеличивать в 1,5 раза. Определить частоту красной границы фотоэффекта для материала фотокатода.

120. Электрон, ускоренный электрическим полем, приобрел скорость, при которой его полная энергия стала в 2,6 раза больше энергии покоя. Чему равна разность потенциалов, пройденная электроном?

121. Найти период полураспада радиоактивного изотопа, если его активность за время 10 суток уменьшилась на 24% по сравнению с первоначальной.

122. На сколько процентов уменьшилась активность изотопа иридия $^{192}_{77}\text{Ir}$ за время 15 суток?

123. Некоторый радиоактивный изотоп имеет постоянную распада $\lambda = 4 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{с}}$. Через какое время распадется 75% первоначальной массы атомов?

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

125. Написать недостающие обозначения в реакции: $^{27}_{13}\text{Al}(\alpha; p)X$.

126. Написать недостающие обозначения в реакции: $^{14}_7\text{N}(n; X)^{14}_6\text{C}$.

127. Вычислить энергию ядерной реакции $^9_4\text{Be} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^{10}_5\text{B} + ^1_0\text{n}$. Освобождается или поглощается энергия?

128. Вычислить энергию ядерной реакции $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$. Освобождается или поглощается энергия?

129. Вычислить энергию ядерной реакции $^6_3\text{Li} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^7_3\text{Li} + ^1_1\text{p}$. Освобождается или поглощается энергия?

130. Найти энергию связи бора $^{10}_5\text{B}$.

Приложение

1. Физические постоянные

1. Ускорение свободного падения
2. Плотность воды
3. Молярная масса кислорода
4. Молярная масса азота
5. Молярная масса водорода
6. Универсальная газовая постоянная
7. Заряд электрона
8. Диэлектрическая проницаемость вакуума
9. Скорость света в вакууме
10. Постоянная Планка
11. Электронвольт

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

$$\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$\mu = 0,032 \text{ кг/моль}$$

$$\mu = 0,028 \text{ кг/моль}$$

$$\mu = 0,002 \text{ кг/моль}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

$$c_0 = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

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

$$\text{эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

2. Массы атомов легких изотопов

Изотоп	Символ	Масса, а.е.м	Изотоп	Символ	Масса, а.е.м
Нейтрон	${}_0^1n$	1,00867	Бор	${}_{5}^{10}B$	10,01294
Водород	${}_1^1H$	1,00783		${}_{5}^{11}B$	11,00930
	${}_1^2H$	2,01410	Углерод	${}_{6}^{14}C$	12,00000
	${}_1^3H$	3,01606		${}_{6}^{13}C$	13,00335
Гелий	${}_2^3He$	3,01603		${}_{6}^{14}C$	14,00324
Литий	${}_3^6Li$	6,01513	Азот	${}_{7}^{14}N$	14,00307
	${}_3^7Li$	7,01601	Кислород	${}_{8}^{16}O$	15,99491
Бериллий	${}_4^7Be$	7,01693		${}_{8}^{17}O$	16,99913
	${}_4^9Be$	9,01219			

Борисовский Василий Васильевич

ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ

Методическое пособие и контрольные задания
для студентов заочной формы обучения
направления ЭиЭ

Редактор Е.Ф. Изотова

Подписано к печати 26.02.13. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 3,6. Тираж 100 экз. Зак. 141248. Рег. № 100.

Отпечатано в РИО Рубцовского индустриального института
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.