ПОЛНЫЕ РАЗВЁРНУТЫЕ ОТВЕТЫ НА ВСЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПО ФИЗИКЕ

МЕХАНИКА

1. Системы отсчёта. Закон движения материальной точки. Траектория, путь, перемещение. Скорость и ускорение. Принцип относительности Галилея

Система отсчёта — совокупность тела отсчёта, связанной с ним системы координат и синхронизированных часов. **Закон движения** — зависимость положения материальной точки от времени: $\vec{r} = \vec{r}(t)$.

Траектория — геометрическое место точек, через которые проходит материальная точка. **Путь** (s) — длина траектории, пройденная за определённый промежуток времени. **Перемещение** ($\vec{s} = \Delta\vec{r}$) — вектор, соединяющий начальное и конечное положения.

Скорость: мгновенная скорость $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$, средняя скорость $\vec{v}_{cp} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$. Направлена по касательной к траектории.

Ускорение: полное $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ разлагается на тангенциальное $a_\tau = \frac{dv}{dt}$ и нормальное $a_n = \frac{v^2}{R}$.

Принцип относительности Галилея — законы механики одинаковы во всех инерциальных системах отсчёта. При преобразованиях: $\vec{v}' = \vec{v} - \vec{V}$, $\vec{a}' = \vec{a}$.

2. Характеристики движения по окружности. Связь с линейными характеристиками. Прямая и обратная задачи кинематики

Угловые характеристики: угол поворота φ, угловая скорость $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$, угловое ускорение $\beta = \frac{d\omega}{dt}$.

Связь с линейными: $v = \omega R$, $a_\tau = \beta R$, $a_n = \omega^2 R$, $s = R\varphi$.

Прямая задача кинематики — по $\vec{r}(t)$ найти $\vec{v}(t)$ и $\vec{a}(t)$. **Обратная задача** — по $\vec{a}(t)$ и начальным условиям найти $\vec{v}(t)$ и $\vec{r}(t)$.

3. Масса и импульс. Инерциальные и неинерциальные системы отсчёта. Законы Ньютона

Масса (m) — мера инертности. **Импульс** $\vec{p} = m\vec{v}$ — количество движения.

Инерциальная система отсчёта — система, в которой справедливы законы Ньютона. **Неинерциальная** — движется с ускорением, возникают фиктивные силы.

Законы Ньютона: - **I закон**: $\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{v} = \text{const}$ - **II закон**: $\vec{F} = m\vec{a}$ или $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ - **III закон**: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$

4. Системы материальных точек. Импульс системы. Закон сохранения импульса. Теорема о центре масс. Движение с переменной массой

Центр масс: $\vec{r}_{cm} = \frac{\sum m_i\vec{r}_i}{M}$. **Импульс системы**: $\vec{P} = M\vec{v}_{cm}$.

Закон сохранения импульса: если $\vec{F} = 0$, то $\vec{P} = \text{const}$.

Теорема о движении центра масс: $\vec{F} = M\vec{a}_{cm}$.

Уравнение Циалковского: $m\frac{dv}{dt} = u\frac{dm}{dt}$, откуда $v - v_0 = u \ln \frac{m_0}{m}$.

5. Момент силы и момент импульса. Уравнение моментов

Момент силы: $\vec{M} = [\vec{r}, \vec{F}]$, модуль $M = rF \sin\alpha = Fd$.

Момент импульса: $\vec{L} = [\vec{r}, \vec{p}]$ или относительно оси $L_z = I\omega$.

Уравнение моментов: $\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}$ или $\frac{dL_z}{dt} = M_z$.

6. Момент инерции. Теорема Штейнера. Основное уравнение динамики вращения. Закон сохранения момента импульса

Момент инерции: $J = \int r^2 dm$. Примеры: стержень через конец $J = \frac{1}{3}ml^2$, диск $J = \frac{1}{2}mR^2$, шар $J = \frac{2}{5}mR^2$.

Теорема Штейнера: $J = J_{cm} + md^2$.

Основное уравнение динамики вращения: $M = J\beta$ или $\frac{dL}{dt} = M$.

Закон сохранения момента импульса: если $\sum M = 0$, то $L = \text{const}$.

7. Работа сил. Кинетическая и потенциальная энергия. Закон сохранения механической энергии

Работа: $A = \int \vec{F} \cdot d\vec{r}$. **Консервативные силы** — работа не зависит от пути. **Неконсервативные** — зависит от пути.

Кинетическая энергия: $K = \frac{1}{2}mv^2$ или $K = \frac{1}{2}J\omega^2$.

Потенциальная энергия: $U = mgh$ (гравитация), $U = \frac{1}{2}kx^2$ (упругость).

Первый закон: $\Delta K = A$.

Закон сохранения механической энергии: если только консервативные силы, то $E = K + U = \text{const}$.

МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

1. Свободные незатухающие гармонические колебания. Математический, пружинный и физический маятники

Гармоническое колебание: $x(t) = A\sin(\omega t + \varphi)$, где A — амплитуда, ω — циклическая частота, T = 2π/ω — период.

Характеристики: скорость $v = A\omega\cos(\omega t + \varphi)$, ускорение $a = -\omega^2 x$.

Дифференциальное уравнение: $\ddot{x} + \omega^2 x = 0$.

Математический маятник: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

Пружинный маятник: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$.

Физический маятник: $T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgd}}$, где J — момент инерции, d — расстояние до центра масс.

Энергия: полная $E = \frac{1}{2}mA^2\omega^2 = \text{const}$.

2. Затухающие колебания. Вынужденные колебания и резонанс

Затухающие колебания: $x(t) = A_0 e^{-\gamma t}\sin(\omega t + \varphi)$, где γ — коэффициент затухания, $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}$.

Логарифмический декремент: $\delta = \gamma T$. **Добротность**: $Q = \frac{\omega_0}{2\gamma}$.

Вынужденные колебания: под действием $F = F_0\sin(\Omega t)$. Амплитуда $A(\Omega) = \frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + (2\gamma\Omega)^2}}$.

Резонанс: максимум амплитуды при $\Omega = \sqrt{\omega_0^2 - 2\gamma^2} \approx \omega_0$.

3. Векторное представление гармонических колебаний. Сложение колебаний

Метод векторных диаграмм — представление колебания вращающимся вектором.

Сложение колебаний одной частоты: результирующая амплитуда $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$.

Сложение перпендикулярных колебаний — траектория эллипс или окружность в зависимости от разности фаз.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

1. Термодинамические параметры. Изопроцессы. Законы Дальтона и Авогадро

Параметры состояния: давление p, объём V, температура T, количество вещества v.

Изопроцессы: - Изобарный (p = const): $\frac{V}{T} = \text{const}$ - Изохорный (V = const): $\frac{p}{T} = \text{const}$ - Изотермический (T = const): $pV = \text{const}$ - Адиабатический (Q = 0): $pV^\gamma = \text{const}$

Закон Дальтона: $p = \sum p_i$ (сумма парциальных давлений).

Закон Авогадро: равные объёмы при одинаковых p и T содержат одинаковое число молекул. Молярный объём: $V_m = 22,4$ л/моль.

2. Молекулярно-кинетическая теория. Уравнение состояния идеального газа

Уравнение МКТ: $p = \frac{1}{3}nm_0\langle v^2\rangle$.

Средняя кинетическая энергия молекулы: $\langle K\rangle = \frac{3}{2}kT$.

Среднеквадратичная скорость: $v = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$.

Уравнение состояния идеального газа (Менделеева-Клапейрона): $pV = \nu RT$ или $pV = NkT$.

3. Внутренняя энергия. Первое начало термодинамики. Применение к изопроцессам

Внутренняя энергия идеального газа: $U = \frac{i}{2}\nu RT$, где i — число степеней свободы.

Работа газа: $A = \int pdV$. При расширении газ совершает положительную работу.

Первое начало термодинамики: $Q = \Delta U + A$.

Теплоёмкость: $C_V = \frac{i}{2}R$, $C_p = C_V + R$.

Применение к изопроцессам: - Изобарный: $Q = \nu C_p \Delta T$ - Изохорный: $Q = \nu C_V \Delta T$, A = 0 - Изотермический: $Q = A = \nu RT \ln\frac{V_2}{V_1}$, $\Delta U = 0$ - Адиабатический: Q = 0, $\Delta U = -A$

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

1. Элементарный заряд. Закон Кулона. Напряжённость поля. Принцип суперпозиции. Силовые линии

Элементарный заряд: $e = 1,602 \times 10^{-19}$ Кл.

Закон сохранения заряда: $\sum q_i = \text{const}$.

Закон Кулона: $F = k\frac{|q_1q_2|}{r^2}$, где $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$.

Напряжённость поля: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$. Для точечного заряда: $E = \frac{kQ}{r^2}$.

Принцип суперпозиции: $\vec{E} = \sum \vec{E}_i$.

Силовые линии — линии, касательные к которым совпадают с направлением $\vec{E}$.

2. Поток напряжённости. Теорема Гаусса

Поток: $\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A}$.

Теорема Гаусса: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$.

Применение: для бесконечной плоскости $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$, для цилиндра $E = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$, для шара снаружи $E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$.

3. Потенциал. Разность потенциалов. Связь E и φ. Эквипотенциальные поверхности

Потенциал: $\varphi = \frac{U}{q}$. Для точечного заряда: $\varphi = \frac{kQ}{r}$.

Разность потенциалов: $U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = \int_2^1 \vec{E} \cdot d\vec{l}$.

Связь E и φ: $\vec{E} = -\nabla\varphi$, или $E = -\frac{d\varphi}{dn}$.

Циркуляция: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$ (потенциальность поля).

Эквипотенциальные поверхности: $\vec{E}$ перпендикулярна поверхности, работа вдоль поверхности = 0.

4. Электроёмкость. Конденсаторы. Энергия. Объёмная плотность энергии

Электроёмкость: $C = \frac{Q}{\varphi}$. Шар: $C = 4\pi\varepsilon_0 R$.

Конденсатор: $C = \frac{Q}{U}$. Плоский: $C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d}$.

Соединение: параллельное $C = \sum C_i$, последовательное $\frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_i}$.

Энергия конденсатора: $W = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}CU^2$.

Объёмная плотность энергии: $w = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \varepsilon E^2$.

5. Диэлектрики. Поляризация. Вектор индукции. Теорема Гаусса в диэлектриках

Полярные молекулы — имеют дипольный момент даже без поля. **Неполярные** — без поля момента нет.

Вектор поляризации: $\vec{P} = \varepsilon_0 \chi_e \vec{E}$.

Вектор индукции: $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}$.

Теорема Гаусса для D: $\oint \vec{D} \cdot d\vec{A} = Q$.

6. Сила тока. Плотность тока. Законы Ома и Джоуля-Ленца. Правила Кирхгофа

Сила тока: $I = \frac{dq}{dt}$.

Плотность тока: $j = \frac{I}{S} = nev = \sigma E$.

Закон Ома: $I = \frac{U}{R}$ или локально $\vec{j} = \sigma \vec{E}$.

Сопротивление: $R = \rho\frac{l}{S}$.

Закон Джоуля-Ленца: $Q = I^2Rt$, мощность $P = I^2R$.

Правила Кирхгофа: - I (узлы): $\sum I_i = 0$ - II (контуры): $\sum IR = \sum \varepsilon$

ПОЛНЫЕ ВЫВОДЫ ФОРМУЛ (ВТОРОЙ ВОПРОС)

МЕХАНИКА

1. ВЫВОД ВТОРОГО ЗАКОНА НЬЮТОНА И ФОРМУЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Опыт показывает, что когда на тело действует сила, оно изменяет свою скорость — получает ускорение. Величина ускорения зависит как от величины силы, так и от массы тела.

Исходные положения: - Из кинематики известно определение ускорения: $a = \frac{v-v_0}{t} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ - Масса m — мера инертности тела (сопротивления ускорению)

Вывод второго закона Ньютона:

Запишем определение ускорения:

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

Из опыта известно, что сила F прямо пропорциональна ускорению и массе:

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

Введя коэффициент пропорциональности, который по определению полагают равным единице в системе СИ:

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

Второй закон Ньютона гласит: ускорение, приобретаемое телом, прямо пропорционально действующей силе и обратно пропорционально массе тела.

Вывод формулы изменения импульса:

Из второго закона Ньютона:

$$\vec{F} = m\vec{a} = m\frac{d\vec{v}}{dt}$$

Используя определение импульса $\vec{p} = m\vec{v}$, подставим:

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

Для постоянной массы:

$$\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt}$$

Умножим обе части на dt:

$$\vec{F} \cdot dt = m \cdot d\vec{v} = d\vec{p}$$

Для конечных интервалов времени:

$$\boxed{\vec{F} \cdot \Delta t = m(\vec{v} - \vec{v}_0) = \Delta\vec{p}}$$

Произведение $\vec{F} \cdot t$ называется импульсом силы, а $m\vec{v}$ — **импульсом тела**.

Физический смысл: Импульс силы равен изменению импульса тела. Это альтернативная форма второго закона Ньютона, более удобная для решения задач с переменными силами.

---

2. ВЫВОД ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Рассмотрим замкнутую систему двух тел, которые взаимодействуют между собой.

Дано: - Два тела с массами m□ и m□ - Начальные скорости $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$ - Конечные скорости $\vec{v}_1'$ и $\vec{v}_2'$ - Время взаимодействия Δt

Вывод:

Для первого тела по второму закону Ньютона:

$$\vec{F}_{12} = m_1\vec{a}_1 = \frac{m_1(\vec{v}_1' - \vec{v}_1)}{\Delta t}$$

Для второго тела:

$$\vec{F}_{21} = m_2\vec{a}_2 = \frac{m_2(\vec{v}_2' - \vec{v}_2)}{\Delta t}$$

По третьему закону Ньютона (силы действия и противодействия):

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

Подставим:

$$\frac{m_1(\vec{v}_1' - \vec{v}_1)}{\Delta t} = -\frac{m_2(\vec{v}_2' - \vec{v}_2)}{\Delta t}$$

Умножим обе части на Δt и раскроем скобки:

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

Перенесём в левую часть начальные, в правую — конечные импульсы:

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

или

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_1' + \vec{p}_2'$$

$$\boxed{\sum_{i=1}^{n} m_i\vec{v}_i = \text{const}}$$

Закон сохранения импульса гласит: полный импульс замкнутой системы остаётся постоянным.

Это один из фундаментальных законов природы, являющийся следствием однородности пространства и третьего закона Ньютона.

---

3. ВЫВОД ФОРМУЛЫ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ

Момент инерции характеризует распределение масс тела относительно оси вращения.

Вывод из определения:

Рассмотрим твёрдое тело, вращающееся вокруг неподвижной оси. Разделим его на малые элементы массой dm_i, находящиеся на расстояниях r_i от оси вращения.

Кинетическая энергия каждого элемента:

$$dK_i = \frac{1}{2}dm_i v_i^2$$

Так как $v_i = \omega r_i$ (связь линейной и угловой скорости):

$$dK_i = \frac{1}{2}dm_i(\omega r_i)^2 = \frac{1}{2}r_i^2\omega^2 dm_i$$

Полная кинетическая энергия тела:

$$K = \sum dK_i = \sum \frac{1}{2}r_i^2\omega^2 dm_i = \frac{1}{2}\omega^2 \sum r_i^2 dm_i$$

Вынесем ω^2 из суммы (она одинакова для всех точек вращающегося тела):

$$K = \frac{1}{2}\omega^2 \left(\sum r_i^2 dm_i\right)$$

По определению:

$$\boxed{J = \sum r_i^2 dm_i = \int r^2 dm}$$

Момент инерции — это сумма произведений масс элементов тела на квадраты их расстояний до оси вращения.

Следствие: Кинетическая энергия вращающегося тела:

$$K = \frac{1}{2}J\omega^2$$

Это аналогично $K = \frac{1}{2}mv^2$ для поступательного движения, где J играет роль массы, а ω — роль скорости.

---

4. ВЫВОД ТЕОРЕМЫ ШТЕЙНЕРА

Теорема Штейнера позволяет найти момент инерции относительно произвольной оси, если известен момент инерции относительно параллельной оси через центр масс.

Дано: - Момент инерции относительно оси через центр масс: J_cm - Масса тела: M - Расстояние между параллельными осями: d

Вывод:

Рассмотрим систему материальных точек. Выберем две параллельные оси: 1. Ось 1 проходит через центр масс 2. Ось 2 находится на расстоянии d от оси 1

Для элемента массы dm, находящегося на расстояниях от осей: - От оси 1: r_cm - От оси 2: r

Геометрически (когда центр масс между осями в одной плоскости):

$$\vec{r} = \vec{r}_{cm} + \vec{d}$$

Возьмём скалярное произведение:

$$r^2 = |\vec{r}_{cm} + \vec{d}|^2 = r_{cm}^2 + d^2 + 2\vec{r}_{cm} \cdot \vec{d}$$

Момент инерции относительно оси 2:

$$J = \int r^2 dm = \int (r_{cm}^2 + d^2 + 2\vec{r}_{cm} \cdot \vec{d}) dm$$

Раскроем интеграл:

$$J = \int r_{cm}^2 dm + \int d^2 dm + 2\vec{d} \cdot \int \vec{r}_{cm} dm$$

Анализируем каждый член:

1. **Первый член:** $\int r_{cm}^2 dm = J_{cm}$ — момент инерции относительно оси через центр масс.
2. **Второй член:** $\int d^2 dm = d^2 \int dm = Md^2$ — так как d постоянна для всех точек.
3. **Третий член:** $\int \vec{r}_{cm} dm = M\vec{r}_{cm,cm} = 0$ — по определению центра масс этот интеграл равен нулю, так как центр масс находится в начале координат относительно оси через центр масс.

Поэтому:

$$\boxed{J = J_{cm} + Md^2}$$

Теорема Штейнера гласит: момент инерции тела относительно произвольной оси равен моменту инерции относительно параллельной оси, проходящей через центр масс, плюс произведение массы на квадрат расстояния между осями.

МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

5. ВЫВОД УРАВНЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Физическая основа гармонических колебаний — наличие восстанавливающей силы, пропорциональной смещению.

Рассмотрим пружинный маятник:

Дано: - Груз массой m прикреплён к пружине жёсткостью k - При смещении на x от положения равновесия возникает сила: $\vec{F} = -k\vec{x}$ (закон Гука)

Вывод:

Применим второй закон Ньютона:

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

Подставим выражение для восстанавливающей силы:

$$-kx = m\frac{d^2x}{dt^2}$$

Разделим обе части на m:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x$$

или

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$$

Введём обозначение для циклической (угловой) частоты:

$$\omega^2 = \frac{k}{m}, \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Получаем **дифференциальное уравнение гармонических колебаний:**

$$\boxed{\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0}$$

или кратко: $\ddot{x} + \omega^2 x = 0$

Решение этого уравнения:

Предположим решение вида:

$$x(t) = A\sin(\omega t + \varphi_0)$$

Проверим, является ли оно решением:

Первая производная (скорость):

$$\frac{dx}{dt} = A\omega\cos(\omega t + \varphi_0)$$

Вторая производная (ускорение):

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2\sin(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 x(t)$$

Подставим в исходное уравнение:

$$-\omega^2 x + \omega^2 x = 0$$

□

Уравнение удовлетворяется!

Общее решение:

$$\boxed{x(t) = A\sin(\omega t + \varphi_0)}$$

где: - **A** — амплитуда (максимальное смещение) - **ω** = $\sqrt{k/m}$ — циклическая частота - **φ**□ — начальная фаза (определяется начальными условиями)

Период колебаний:

$$\boxed{T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}}$$

---

6. ВЫВОД ПЕРИОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Математический маятник — идеализированная система: материальная точка массой m, подвешенная на невесомой нерастяжимой нити длины l.

Вывод уравнения движения:

Рассмотрим маятник, отклонённый на малый угол θ от вертикали.

Применим второй закон Ньютона для вращательного движения:

$$M = I\beta$$

где M — момент возвращающей силы, I — момент инерции, β — угловое ускорение.

Возвращающая сила (составляющая веса вдоль касательной):

$$F_\tau = -mg\sin\theta$$

Знак минус указывает, что сила направлена противоположно углу отклонения (восстанавливающая).

Момент этой силы относительно точки подвеса:

$$M = -mgl\sin\theta$$

Момент инерции точки массой m на расстоянии l:

$$I = ml^2$$

Угловое ускорение:

$$\beta = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

Подставим в уравнение вращательного движения:

$$-mgl\sin\theta = ml^2\frac{d^2\theta}{dt^2}$$

Упростим (разделим на ml):

$$-g\sin\theta = l\frac{d^2\theta}{dt^2}$$

или

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l}\sin\theta = 0$$

Приближение для малых углов: $\sin\theta \approx \theta$ (в радианах)

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{l}\theta = 0$$

Это уравнение идентично уравнению гармонических колебаний с $\omega^2 = \frac{g}{l}$, откуда:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Период математического маятника:

$$\boxed{T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}}$$

Замечания: - **Период не зависит от массы маятника** — все маятники одинаковой длины колеблются с одинаковым периодом - **Период не зависит от амплитуды колебаний** (при малых углах) — это свойство называется **изохронностью** - **Период зависит только от длины нити и ускорения свободного падения**

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

7. ВЫВОД УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Физическая модель идеального газа: 1. Молекулы — материальные точки (размерами пренебрегаем) 2. Молекулы движутся хаотически 3. Столкновения молекул между собой и со стенками упругие 4. Среднее расстояние между молекулами » размера молекулы 5. Молекулы не взаимодействуют на расстоянии

Вывод из молекулярно-кинетической теории:

Шаг 1. Давление от столкновений молекул:

Рассмотрим молекулы, ударяющие о стенку площадью S за время Δt.

При столкновении с неподвижной стенкой нормальная компонента скорости молекулы v_x меняет знак. Импульс, передаваемый одной молекулой стенке:

$$\Delta p_i = 2m_0 v_x$$

Число молекул, пересекающих площадку в единицу времени (с учётом того, что в среднем только половина молекул движется в сторону стенки, и нужно учитывать распределение по скоростям):

$$\Delta N = \frac{1}{4} n \langle v \rangle S \Delta t$$

где n — концентрация молекул, $\langle v \rangle$ — средняя скорость.

Суммарный импульс, передаваемый стенке за время Δt:

Учитывая, что в среднем только одна из трёх координатных компонент скорости направлена перпендикулярно к стенке:

$$\Delta P = \frac{1}{3} n m_0 \langle v^2 \rangle S \Delta t$$

Давление — сила на единицу площади:

$$p = \frac{\Delta P}{S \Delta t} = \frac{1}{3} n m_0 \langle v^2 \rangle$$

или

$$\boxed{p = \frac{1}{3} \rho \langle v^2 \rangle}$$

где $\rho = nm_0$ — плотность газа.

Шаг 2. Связь средней кинетической энергии с температурой:

Средняя кинетическая энергия молекулы:

$$\langle K \rangle = \frac{1}{2} m_0 \langle v^2 \rangle$$

По определению температуры в молекулярной физике (из теоремы о равнораспределении энергии):

$$\langle K \rangle = \frac{3}{2}kT$$

откуда:

$$\frac{1}{2}m_0\langle v^2 \rangle = \frac{3}{2}kT$$

$$m_0\langle v^2 \rangle = 3kT$$

Шаг 3. Получение уравнения состояния:

Подставим в формулу давления:

$$p = \frac{1}{3}nm_0\langle v^2 \rangle = \frac{1}{3}n \cdot 3kT = nkT$$

Так как n = N/V (концентрация = число молекул / объём):

$$p = \frac{N}{V}kT$$

Умножим обе части на V:

$$pV = NkT$$

Число молекул N = ν·N_A (ν молей содержат νN_A молекул):

$$pV = \nu N_A kT$$

Произведение N_A·k = R (универсальная газовая постоянная):

$$R = N_A k = 6,022 \times 10^{23} \times 1,38 \times 10^{-23} = 8,314 \text{ Дж/(моль·К)}$$

Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева-Клапейрона):

$$\boxed{pV = \nu RT}$$

Альтернативные формы: - Для одного моля: $pV_m = RT$ - Через плотность: $p = \frac{\rho RT}{M}$, где M — молярная масса - Через концентрацию: $p = nkT$

---

8. ВЫВОД ФОРМУЛЫ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Внутренняя энергия — сумма кинетических энергий хаотического движения молекул (для идеального газа молекулы не взаимодействуют, поэтому потенциальная энергия взаимодействия = 0).

Вывод:

Для одной молекулы:

Средняя кинетическая энергия одной молекулы определяется из теоремы о равнораспределении энергии: **на каждую степень свободы приходится энергия** $\frac{1}{2}kT$.

Для молекулы с i степенями свободы:

$$\langle K_1 \rangle = \frac{i}{2}kT$$

где: - Для одноатомного газа (He, Ar): i = 3 (только поступательное движение) - Для двухатомного газа (O□, N□): i = 5 (3 поступательных + 2 вращательных степени) - Для многоатомного газа: i = 6 (3 поступательных + 3 вращательных степени)

Для одного моля газа:

В одном моле число молекул = N_A (число Авогадро):

$$U_1 = N_A \cdot \frac{i}{2}kT = \frac{i}{2}N_AkT = \frac{i}{2}RT$$

где использовано соотношение R = N_A·k.

Для ν молей газа:

$$\boxed{U = \nu \cdot U_1 = \nu \cdot \frac{i}{2}RT = \frac{i}{2}\nu RT}$$

Обобщённая формула:

$$\boxed{U = \frac{i}{2}\nu RT}$$

где i — число степеней свободы молекулы.

Следствия:

1. **Внутренняя энергия зависит только от температуры:** U = U(T)
2. **При постоянном числе молей изменение внутренней энергии:**

$$\Delta U = \frac{i}{2}\nu R\Delta T = \nu C_V \Delta T$$

где молярная теплоёмкость при постоянном объёме:

$$\boxed{C_V = \frac{i}{2}R}$$

3. **Внутренняя энергия не зависит от давления и объёма** (только от T)

---

9. ВЫВОД ПЕРВОГО НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ

Физическая основа — закон сохранения энергии для термодинамических процессов.

Рассмотрим систему, которой сообщена теплота Q и которая совершила работу A:

Анализ энергетических процессов:

1. **Теплота, сообщённая системе (Q)** — энергия, передаваемая тепловым способом.
2. **Работа, совершённая системой (A)** — энергия, расходуемая на расширение против внешнего давления:

$$A = \int p\, dV$$

3. **Изменение внутренней энергии (ΔU)** — изменение кинетической энергии молекул и их взаимодействия.

Применение закона сохранения энергии:

Энергия, поступившая в систему в виде теплоты, распределяется между: - Увеличением внутренней энергии системы (ΔU) - Совершением работы против внешних сил (A)

Математически:

$$\boxed{Q = \Delta U + A}$$

или в дифференциальной форме:

$$\boxed{dQ = dU + pdV}$$

Физический смысл:

Уравнение выражает закон сохранения энергии: энергия, переданная системе извне в виде теплоты, либо увеличивает её внутреннюю энергию, либо преобразуется в работу, либо распределяется между этими двумя формами.

Частные случаи:

1. **Изохорный процесс (V = const, A = 0):**

   $$Q = \Delta U = \nu C_V \Delta T$$

   Вся теплота идёт на изменение внутренней энергии.

2. **Изобарный процесс (p = const):**

   $$Q = \Delta U + p\Delta V = \nu C_V \Delta T + \nu R \Delta T = \nu C_p \Delta T$$

   где $C_p = C_V + R$ — молярная теплоёмкость при постоянном давлении.

3. **Изотермический процесс (T = const, ΔU = 0):**

   $$Q = A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

   Вся теплота преобразуется в работу.

4. **Адиабатический процесс (Q = 0):**

   $$0 = \Delta U + A \Rightarrow A = -\Delta U$$

   Вся работа совершается за счёт убыли внутренней энергии.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

10. ВЫВОД ЗАКОНА КУЛОНА

Исторический контекст: Французский физик Шарль Кулон в 1785 году экспериментально установил закон взаимодействия точечных зарядов, используя крутильный маятник.

Экспериментальные факты:

1. Сила взаимодействия пропорциональна первому заряду: $F \sim q_1$
2. Сила взаимодействия пропорциональна второму заряду: $F \sim q_2$
3. Сила обратно пропорциональна квадрату расстояния: $F \sim 1/r^2$
4. Сила направлена вдоль линии, соединяющей заряды

Вывод закона:

Объединяя все экспериментальные зависимости:

$$F \sim \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Введём коэффициент пропорциональности k:

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

В системе СИ:

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8,99 \times 10^9 \text{ Н·м}^2\text{/Кл}^2$$

где $\varepsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12}$ Ф/м — электрическая постоянная (константа электромагнетизма).

Векторная форма закона Кулона:

$$\vec{F}_{12} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\vec{e}_{12}$$

где $\vec{e}_{12}$ — единичный вектор от первого заряда ко второму.

Свойства: - **Одноимённые заряды** отталкиваются (F > 0, берётся со знаком +) - **Разноимённые заряды** притягиваются (F < 0, берётся со знаком -) - Силы действуют на оба заряда парой (третий закон Ньютона)

---

11. ВЫВОД ТЕОРЕМЫ ГАУССА

Теорема Гаусса связывает поток электрического поля через замкнутую поверхность с полным зарядом внутри этой поверхности.

Вывод для точечного заряда:

Рассмотрим точечный положительный заряд Q в центре сферы радиусом R.

Напряжённость поля на сфере (из закона Кулона):

$$E = k\frac{|Q|}{R^2}$$

Поле направлено радиально наружу (для положительного заряда).

Поток через сферу:

$$\Phi = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \oint_S E\, dA$$

(так как $\vec{E}$ параллелен d$\vec{A}$ везде на сфере)

$$\Phi = E \cdot S_{\text{сферы}} = k\frac{Q}{R^2} \cdot 4\pi R^2 = 4\pi k Q$$

Учитывая $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$:

$$\Phi = 4\pi \cdot \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot Q = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

Обобщение для произвольной поверхности:

Используя принцип суперпозиции и геометрические аргументы (считая поток от зарядов внутри и снаружи поверхности), доказывается, что:

Теорема Остроградского-Гаусса:

$$\boxed{\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{\text{внутри}}}{\varepsilon_0}}$$

Дифференциальная форма (через дивергенцию):

$$\boxed{\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}}$$

где ρ — объёмная плотность заряда.

Физический смысл: - Электрические поля создаются электрическими зарядами - Чем больше заряд внутри поверхности, тем больше поток поля через неё - **Заряды вне поверхности не влияют на полный поток** (их вклады взаимно компенсируются)

---

12. ВЫВОД ФОРМУЛЫ ЁМКОСТИ ПЛОСКОГО КОНДЕНСАТОРА

Плоский конденсатор состоит из двух параллельных металлических пластин (обкладок) площадью S, разделённых диэлектриком толщиной d.

Вывод:

Шаг 1. Поле между пластинами:

При наличии зарядов +Q и -Q на пластинах, каждая пластина создаёт поле. Для бесконечной заряженной плоскости с поверхностной плотностью σ = Q/S поле:

$$E_{\text{одной}} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon}$$

Поле от двух пластин складывается внутри конденсатора:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon}$$

где ε — диэлектрическая проницаемость материала между пластинами.

Шаг 2. Напряжение между пластинами:

Напряжение (разность потенциалов) — это интеграл от напряжённости поля:

$$U = \int_0^d E\,dx = E \cdot d = \frac{\sigma d}{\varepsilon_0\varepsilon}$$

Подставим σ = Q/S:

$$U = \frac{Q/S \cdot d}{\varepsilon_0\varepsilon} = \frac{Qd}{\varepsilon_0\varepsilon S}$$

Шаг 3. Определение ёмкости:

По определению электроёмкость:

$$C = \frac{Q}{U}$$

Подставим выражение для U:

$$C = \frac{Q}{\frac{Qd}{\varepsilon_0 \varepsilon S}} = \frac{Q \cdot \varepsilon_0 \varepsilon S}{Qd} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$$

Формула ёмкости плоского конденсатора:

$$\boxed{C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d}}$$

Физический смысл результата: - **Ёмкость пропорциональна площади пластин** (S ↑ □ C ↑): больше площадь — больше способность накапливать заряд - **Ёмкость обратно пропорциональна расстоянию** (d ↑ □ C ↓): больше расстояние между пластинами — слабже взаимодействие, меньше ёмкость - **Ёмкость пропорциональна диэлектрической проницаемости** (ε ↑ □ C ↑): диэлектрик увеличивает ёмкость

---

13. ВЫВОД ЗАКОНА ОМА

Закон Ома — экспериментально установленный закон, связывающий ток, напряжение и сопротивление.

Исторический контекст: Немецкий физик Георг Ом установил закон в 1826 году на основе экспериментов с различными проводниками.

Вывод из микроскопической теории:

Шаг 1. Движение электронов в электрическом поле:

Когда к концам проводника прикладывается напряжение U, в проводнике появляется электрическое поле E = U/l (где l — длина проводника).

На каждый электрон действует сила:

$$F = eE$$

Электрон получает ускорение:

$$\vec{a} = -\frac{e\vec{E}}{m}$$

где e — заряд электрона, m — его масса.

Шаг 2. Установление дрейфовой скорости:

Между ускоряющим действием поля и сопротивлением среды (столкновениями с атомами кристаллической решётки) устанавливается равновесие. Электроны приобретают среднюю **дрейфовую скорость**:

$$v_d = \mu E$$

где μ — подвижность носителей заряда (константа, зависящая от материала).

Шаг 3. Связь плотности тока с полем (микроскопическая форма закона Ома):

Плотность тока (ток на единицу площади сечения) определяется числом электронов, пересекающих единичную площадь в единицу времени:

$$j = ne|v_d| = ne\mu E$$

где n — концентрация свободных электронов.

Определим удельную электрическую проводимость:

$$\sigma = ne\mu$$

Тогда:

$$\boxed{\vec{j} = \sigma \vec{E}}$$

Это **микроскопическая форма закона Ома:** плотность тока пропорциональна напряжённости поля.

Шаг 4. Интегральная форма закона Ома:

Рассмотрим однородный проводник длины l и площади поперечного сечения S.

Полный ток:

$$I = j \cdot S = \sigma E \cdot S$$

Напряжение между концами проводника:

$$U = E \cdot l$$

Отсюда:

$$I = \sigma \frac{U}{l} \cdot S = \frac{\sigma S}{l} \cdot U = \frac{U}{R}$$

где сопротивление:

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

ρ = 1/σ — удельное электрическое сопротивление материала (зависит от материала и температуры).

Макроскопическая форма закона Ома:

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

или эквивалентно:

$$\boxed{U = IR}$$

Единица сопротивления: Ом (Ω) = В/А

Физический смысл: - **Ток прямо пропорционален приложенному напряжению**: при увеличении U ток увеличивается - **Ток обратно пропорционален сопротивлению**: R ↑ □ I ↓ - **Сопротивление зависит от трёх факторов:** - **ρ** — удельное сопротивление материала - **l** — длина проводника (R ↑ с увеличением l) - **S** — площадь сечения (R ↓ с увеличением S)

ПОЛНЫЕ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ (ТРЕТИЙ ВОПРОС)

МЕХАНИКА

Задача 1: Движение материальной точки

Условие: Материальная точка движется согласно закону $x(t) = 5t - 2t^2 + 0,5t^3$ (м). Найти: - а) положение при t = 2 с - б) скорость при t = 2 с - в) ускорение при t = 2 с

Решение:

Дано: - $x(t) = 5t - 2t^2 + 0,5t^3$ м - t = 2 с

Найти: x(2), v(2), a(2)

Теория: Скорость $v(t) = \frac{dx}{dt}$, ускорение $a(t) = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$

Вычисления:

а) **Положение при t = 2 с:**

$$x(2) = 5 \cdot 2 - 2 \cdot 2^2 + 0,5 \cdot 2^3 = 10 - 8 + 4 = 6 \text{ м}$$

б) **Скорость:** Найдём первую производную:

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = 5 - 4t + 1,5t^2$$

При t = 2 с:

$$v(2) = 5 - 4(2) + 1,5(2)^2 = 5 - 8 + 6 = 3 \text{ м/с}$$

в) **Ускорение:** Найдём вторую производную:

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = -4 + 3t$$

При t = 2 с:

$$a(2) = -4 + 3(2) = 2 \text{ м/с}^2$$

Ответ: x(2) = 6 м, v(2) = 3 м/с, a(2) = 2 м/с²

Задача 2: Свободное падение

Условие: Тело падает с высоты h = 45 м. Найти: - а) время падения - б) скорость в момент падения - в) среднюю скорость за всё время падения

Решение:

Дано: - h = 45 м - g = 10 м/с² (упрощённое значение) - v_0 = 0 (падает свободно)

Теория: При свободном падении $h = \frac{1}{2}gt^2$, $v = gt$, $\langle v \rangle = \frac{h}{t} = \frac{v+v_0}{2}$

Вычисления:

а) **Время падения:**

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 45}{10}} = \sqrt{9} = 3 \text{ с}$$

б) **Скорость в момент падения:**

$$v = gt = 10 \times 3 = 30 \text{ м/с}$$

в) **Средняя скорость:**

$$\langle v \rangle = \frac{v + v_0}{2} = \frac{30 + 0}{2} = 15 \text{ м/с}$$

Физический смысл: При свободном падении скорость растёт равномерно от нуля до 30 м/с, а средняя скорость равна половине конечной.

Ответ: t = 3 с, v = 30 м/с, $\langle v \rangle$ = 15 м/с

Задача 3: Движение по окружности

Условие: Материальная точка движется по окружности радиусом R = 0,5 м с постоянной угловой скоростью ω = 4 рад/с. Найти: - а) период обращения - б) линейную скорость - в) центростремительное ускорение

Решение:

Дано: - R = 0,5 м - ω = 4 рад/с

Теория: - $T = \frac{2\pi}{\omega}$ - $v = \omega R$ - $a_n = \omega^2 R = \frac{v^2}{R}$

Вычисления:

а) **Период обращения:**

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{4} = 0,5\pi \approx 1,57 \text{ с}$$

б) **Линейная скорость:**

$$v = \omega R = 4 \times 0,5 = 2 \text{ м/с}$$

в) **Центростремительное ускорение:**

$$a_n = \omega^2 R = 16 \times 0,5 = 8 \text{ м/с}^2$$

Ответ: T ≈ 1,57 с, v = 2 м/с, a□ = 8 м/с²

Задача 4: Второй закон Ньютона и импульс

Условие: На тело массой m = 2 кг действует сила F = 10 Н. Найти: - а) ускорение - б) скорость через t = 5 с (если v□ = 0) - в) импульс, полученный телом

Решение:

Дано: - m = 2 кг - F = 10 Н - t = 5 с, v□ = 0

Теория: - $\vec{F} = m\vec{a}$ - $v = v_0 + at$ - $\vec{p} = m\vec{v}$ или $\vec{p} = \vec{F}t$

Вычисления:

а) **Ускорение:**

$$a = \frac{F}{m} = \frac{10}{2} = 5 \text{ м/с}^2$$

б) **Скорость через 5 с:**

$$v = v_0 + at = 0 + 5 \times 5 = 25 \text{ м/с}$$

в) **Импульс:**

$$p = Ft = 10 \times 5 = 50 \text{ кг·м/с}$$

или

$$p = mv = 2 \times 25 = 50 \text{ кг·м/с}$$

□

Ответ: a = 5 м/с², v = 25 м/с, p = 50 кг·м/с

Задача 5: Закон сохранения импульса

Условие: Два шара массами m□ = 1 кг и m□ = 2 кг движутся навстречу друг другу с скоростями v□ = 5 м/с и v□ = -3 м/с. После столкновения первый шар останавливается (v□' = 0). Найти скорость второго шара после столкновения.

Решение:

Дано: - m□ = 1 кг, v□ = 5 м/с - m□ = 2 кг, v□ = -3 м/с (движется влево) - v□' = 0

Теория: Для замкнутой системы импульс сохраняется: $\sum m_i v_i = \text{const}$

Вычисления:

Импульс до столкновения:

$$p = m_1 v_1 + m_2 v_2 = 1 \times 5 + 2 \times (-3) = 5 - 6 = -1 \text{ кг·м/с}$$

Импульс после столкновения:

$$p = m_1 v_1' + m_2 v_2' = 1 \times 0 + 2 \times v_2' = 2v_2'$$

По закону сохранения импульса:

$$p = p$$
$$-1 = 2v_2'$$
$$v_2' = -0,5 \text{ м/с}$$

Физический смысл: Второй шар продолжает двигаться влево, но медленнее.

Ответ: v□' = 0,5 м/с (в направлении первоначального движения второго шара)

Задача 6: Работа и кинетическая энергия

Условие: Автомобиль массой m = 1000 кг разгоняется с v□ = 0 до v = 20 м/с. Найти: - а) изменение кинетической энергии - б) работу, совершённую силой тяги - в) среднюю мощность, если время разгона t = 10 с

Решение:

Дано: - m = 1000 кг - v□ = 0, v = 20 м/с - t = 10 с

Теория: - $K = \frac{1}{2}mv^2$ - $A = \Delta K$ - $P = \frac{A}{t}$

Вычисления:

а) **Изменение кинетической энергии:**

$$K_0 = 0, \quad K = \frac{1}{2} \times 1000 \times 400 = 200000 \text{ Дж} = 200 \text{ кДж}$$
$$\Delta K = 200000 \text{ Дж}$$

б) **Работа, совершённая силой тяги:**

$$A = \Delta K = 200000 \text{ Дж}$$

в) **Средняя мощность:**

$$P = \frac{A}{t} = \frac{200000}{10} = 20000 \text{ Вт} = 20 \text{ кВт}$$

Ответ: ΔK = 200 кДж, A = 200 кДж, P = 20 кВт

Задача 7: Потенциальная и полная механическая энергия

Условие: Мяч падает с высоты h = 20 м, масса m = 0,5 кг. Найти: - а) потенциальную энергию в начальной точке - б) кинетическую энергию в момент падения - в) скорость в момент падения

Сопротивлением воздуха пренебречь.

Решение:

Дано: - h = 20 м, m = 0,5 кг, g = 10 м/с², v□ = 0

Теория: - $U = mgh$, $K = \frac{1}{2}mv^2$ - $E = K + U =$ const (закон сохранения энергии)

Вычисления:

а) **Потенциальная энергия в начальной точке:**

$$U_0 = mgh = 0,5 \times 10 \times 20 = 100 \text{ Дж}$$

б) **Полная энергия:**

$$E = U_0 + K_0 = 100 + 0 = 100 \text{ Дж}$$

В момент падения (h = 0):

$$E = K + U = K + 0 = 100 \text{ Дж}$$
$$K = 100 \text{ Дж}$$

в) **Скорость в момент падения:**

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = 100$$

$$v = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{200}{0,5}} = \sqrt{400} = 20 \text{ м/с}$$

Ответ: U□ = 100 Дж, K = 100 Дж, v = 20 м/с

МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Задача 8: Гармонические колебания

Условие: Материальная точка совершает гармонические колебания: $x(t) = 0,1\sin(2\pi t)$ м. Найти: - а) амплитуду и период - б) максимальную скорость - в) максимальное ускорение

Решение:

Дано: $x(t) = 0,1\sin(2\pi t)$ м

Сравнение с общей формой: $x(t) = A\sin(\omega t + \varphi_0)$

Вычисления:

а) **Амплитуда и период:** - A = 0,1 м - ω = 2π рад/с - $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{2\pi} = 1$ с

б) **Максимальная скорость:**

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = 0,1 \times 2\pi\cos(2\pi t) = 0,2\pi\cos(2\pi t)$$

$$v_{max} = A\omega = 0,1 \times 2\pi = 0,2\pi \approx 0,628 \text{ м/с}$$

в) **Максимальное ускорение:**

$$a(t) = -A\omega^2\sin(2\pi t) = -0,1 \times 4\pi^2\sin(2\pi t)$$

$$a_{max} = A\omega^2 = 0,1 \times (2\pi)^2 = 0,4\pi^2 \approx 3,95 \text{ м/с}^2$$

Ответ: A = 0,1 м, T = 1 с, v_max ≈ 0,628 м/с, a_max ≈ 3,95 м/с²

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Задача 9: Уравнение состояния газа

Условие: В цилиндре объёмом V = 10 л находится кислород массой m = 32 г при T = 300 К. Найти давление газа.

(M(O□) = 32 г/моль)

Решение:

Дано: - V = 10 л = 0,01 м³ - m = 32 г = 0,032 кг - T = 300 К - M = 0,032 кг/моль - R = 8,314 Дж/(моль·К)

Теория: $pV = \nu RT$, где $\nu = \frac{m}{M}$

Вычисления:

Количество вещества:

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{32}{32} = 1 \text{ моль}$$

Давление:

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{1 \times 8,314 \times 300}{0,01} = \frac{2494,2}{0,01} = 249420 \text{ Па} \approx 249 \text{ кПа}$$

Ответ: p ≈ 249 кПа ≈ 2,46 атм

Задача 10: Теплоёмкость газа

Условие: Одноатомный идеальный газ (ν = 2 моля) нагревается при постоянном объёме на ΔT = 50 К. Найти: - а) количество подведённой теплоты - б) изменение внутренней энергии - в) работу, совершённую газом

Решение:

Дано: - ν = 2 моль (одноатомный, i = 3) - ΔT = 50 К - V = const (изохорный процесс) - R = 8,314 Дж/(моль·К)

Теория: - $C_V = \frac{i}{2}R$ - При V = const: $Q = \nu C_V \Delta T$, $\Delta U = Q$, A = 0

Вычисления:

а) **Молярная теплоёмкость:**

$$C_V = \frac{3}{2} \times 8,314 = 12,471 \text{ Дж/(моль·К)}$$

Теплота:

$$Q = \nu C_V \Delta T = 2 \times 12,471 \times 50 = 1247,1 \text{ Дж} \approx 1,25 \text{ кДж}$$

б) **Изменение внутренней энергии:**

$$\Delta U = Q = 1247,1 \text{ Дж} \approx 1,25 \text{ кДж}$$

в) **Работа:**

$$A = 0$$

(объём не меняется)

Проверка: $Q = \Delta U + A$: $1247,1 = 1247,1 + 0$ ✓

Ответ: Q ≈ 1,25 кДж, ΔU ≈ 1,25 кДж, A = 0

Задача 11: Первое начало термодинамики

Условие: Газ расширяется при постоянном давлении p = 200 кПа от V_1 = 5 л до V_2 = 10 л. Если газ получил теплоту Q = 1,5 кДж, найти изменение внутренней энергии.

Решение:

Дано: - p = 200 кПа = 200000 Па - V_1 = 0,005 м³, V_2 = 0,01 м³ - Q = 1500 Дж - p = const (изобарный процесс)

Теория: - $A = p(V_2 - V_1)$ - $Q = \Delta U + A$

Вычисления:

Работа, совершённая газом:

$$A = p(V_2 - V_1) = 200000 \times (0,01 - 0,005) = 200000 \times 0,005 = 1000 \text{ Дж}$$

Изменение внутренней энергии:

$$\Delta U = Q - A = 1500 - 1000 = 500 \text{ Дж}$$

Ответ: ΔU = 0,5 кДж

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Задача 12: Закон Кулона

Условие: Два точечных заряда q_1 = 2 мкКл и q_2 = 3 мкКл находятся на расстоянии r = 0,3 м. Найти: - а) силу взаимодействия - б) на каком расстоянии сила будет в 4 раза меньше

Решение:

Дано: - $q_1 = 2 \times 10^{-6}$ Кл - $q_2 = 3 \times 10^{-6}$ Кл - r = 0,3 м - k = 8,99 × 10⁹ Н·м²/Кл²

Теория: $F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$

Вычисления:

а) **Сила взаимодействия:**

$$F = 8,99 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^{-6}}{0,09}$$

$$F = 8,99 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-12}}{0,09} = \frac{53,94 \times 10^{-3}}{0,09} \approx 0,6 \text{ Н}$$

б) **Расстояние, при котором F' = F/4:**

$$F' = \frac{1}{4}F \Rightarrow r' = 2r = 0,6 \text{ м}$$

Ответ: F ≈ 0,6 Н, r' = 0,6 м

Задача 13: Напряжённость электрического поля

Условие: На расстоянии r = 0,2 м от точечного заряда q = 4 мкКл. Найти: - а) напряжённость поля - б) потенциал - в) силу на тестовый заряд q_0 = 1 нКл

Решение:

Дано: - q = 4 × 10^{-6} Кл - r = 0,2 м - q_0 = 10^{-9} Кл - k = 8,99 × 10^{9} Н·м²/Кл²

Теория: - $E = k\frac{q}{r^2}$ - $\varphi = k\frac{q}{r}$ - $F = q_0 E$

Вычисления:

а) **Напряжённость:**

$$E = 8,99 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-6}}{0,04} = 8,99 \times 10^5 \approx 9 \text{ МВ/м}$$

б) **Потенциал:**

$$\varphi = 8,99 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-6}}{0,2} \approx 180 \text{ кВ}$$

в) **Сила:**

$$F = 10^{-9} \times 8,99 \times 10^5 \approx 0,9 \text{ мН}$$

Ответ: E ≈ 9 МВ/м, φ ≈ 180 кВ, F ≈ 0,9 мН

Задача 14: Конденсатор

Условие: Плоский конденсатор: S = 100 см², d = 1 мм, ε = 5. При U = 100 В найти: - а) ёмкость - б) заряд - в) энергию

Решение:

Дано: - S = 0,01 м² - d = 10^{-3} м - ε = 5 - U = 100 В - ε_0 = 8,854 × 10^{-12} Ф/м

Теория: - $C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d}$ - $Q = CU$ - $W = \frac{1}{2}CU^2$

Вычисления:

а) **Ёмкость:**

$$C = 8,854 \times 10^{-12} \times 5 \times \frac{0,01}{0,001} = 4,427 \times 10^{-10} \text{ Ф} \approx 0,44 \text{ нФ}$$

б) **Заряд:**

$$Q = 4,427 \times 10^{-10} \times 100 \approx 44,3 \text{ нКл}$$

в) **Энергия:**

$$W = \frac{1}{2} \times 4,427 \times 10^{-10} \times 10000 \approx 2,2 \text{ мкДж}$$

Ответ: C ≈ 0,44 нФ, Q ≈ 44,3 нКл, W ≈ 2,2 мкДж

Задача 15: Закон Ома

Условие: Проволока из нихрома: l = 2 м, S = 1 мм^2, ρ = 1,1 Ω·м, U = 220 В. Найти: - а) сопротивление - б) силу тока - в) мощность

Решение:

Дано: - l = 2 м - S = $10^{□6}$ м^2 - ρ = 1,1 Ω·м - U = 220 В

Теория: - $R = \rho\frac{l}{S}$ - $I = \frac{U}{R}$ - $P = \frac{U^2}{R}$

Вычисления:

а) **Сопротивление:**

$$R = 1,1 \times \frac{2}{10^{-6}} = 2,2 \times 10^6 \text{ Ом} = 2,2 \text{ МОм}$$

б) **Ток:**

$$I = \frac{220}{2,2 \times 10^6} = 10^{-4} \text{ А} = 0,1 \text{ мА}$$

в) **Мощность:**

$$P = \frac{220^2}{2,2 \times 10^6} = 0,022 \text{ Вт} = 22 \text{ мВт}$$

Ответ: R = 2,2 МОм, I = 0,1 мА, P = 22 мВт

КРАТКАЯ СПРАВКА ДЛЯ БЫСТРОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Основные формулы по темам:

Механика

- $v = \frac{s}{t}, a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
- $F = ma, p = mv$
- $A = Fs\cos\alpha, P = \frac{A}{t}$
- $E = K + U = \text{const}$

Колебания

- $x = A\sin(\omega t + \varphi)$
- $\omega = \frac{2\pi}{T}, v_{max} = A\omega, a_{max} = A\omega^2$

Газы

- $pV = \nu RT, U = \frac{i}{2}\nu RT$
- $Q = \Delta U + A$

Электричество

- $F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}, E = \frac{F}{q}$
- $C = \frac{Q}{U}, I = \frac{U}{R}$

Всегда: 1. Выпишите дано и найти 2. Выберите нужные формулы 3. Проверьте единицы измерения 4. Вычислите результат 5. Проверьте правдоподобность ответа