МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Учебное пособие

Методическое пособие

«Физика: Механика и МКТ практикум по задачам»

МГТУ имени Н.Э. Баумана

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Методическое пособие

«Физика: Механика и МКТ практикум по задачам»

Москва

МГТУ имени Н.Э. Баумана

2012

УДК 681.3.06(075.8)
ББК 32.973-018
И201

Методическое пособие «Физика: Механика и МКТ практикум по задачам» /
Коллектив авторов –
М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 59 с.: ил.

В пособии рассмотрены типовые фонды оценочных средств по курсу «Физика: Механика и МКТ» и дан разбор ответов на них.

Ил. 39. Табл. 5. Библиогр. 7 назв.

УДК 681.3.06(075.8)

АННОТАЦИЯ

В пособии рассмотрены основные типовые фонды оценочных средств по курсу «Физика: Механика и МКТ» такие как: основные законы кинематики и кинематического движения тел, основные законы статики, основные законы динамики, основные законы движения и взаимодействия элементарных частиц.

ANNOTATION

The course lectures will discuss the main themes of the course "Physics" such as the basic laws of kinematics and the kinematic motion of bodies, the basic laws of statics, the basic laws of dynamics, the basic laws of motion and interaction of elementary particles.

Билет 1.

1. Уравнение Ван-Дер-Ваальса. Критическое состояние.

$$\left(p+\frac{a\nu^2}{V^2}\right)(V-b\nu)=\nu I$$

Перепишем уравнение Ван-дер-Ваальса в виде:

$$V^3-\left(\frac{RT}{p}+b\right)V^2+\frac{a}{p}V$$

Это кубическое уравнение при T=const для заданного давления p может иметь три корня – значения объема V. Температура, при которой уравнение имеет три одинаковых корня, называется критической

2. Электрический заряд. Закон Кулона. Напряженность электростатического поля. Силовые линии. Принцип суперпозиции и его применение для рассчета поля системы неподвижных зарядов.

Электрический заряд - это внутреннее свойство тел или частиц, характеризующее их способность к электромагнитным взаимодействиям.

Закон Кулона:

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

$$k=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0},$$

Напряженность электростатического поля - векторная физическая величина, определяемая силой, действующей на единичный положительный заряд q0, помещенный в данную точку поля.

$$E\equiv|\vec{E}|=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{q}{r^2}.$$

Линии напряженности - линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора E.

Напряженность результирующего поля, создаваемого системой

4. В шаре радиусом **R = 30 см** имеется небольшое отверстие, расположенное на расстоянии **d = 20 см** от центра шара. Через это отверстие шар подвесили на неподвижный горизонтальный стержень и привели в колебательное движение относительно этого стержня. Период малых колебаний шара равен **T = 2с.** Определить логарифмический декремент затухания.

Логарифмический декремент затухания $\delta=\beta T$

$$T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2-\beta^2}}\Rightarrow\beta=\sqrt{\omega_0^2-\frac{4\pi^2}{T^2}}$$

$$\omega_0=\sqrt{\frac{mgd}{J}}$$

$$J=\frac{2}{5}mr^2+md^2$$

3. Определить период колебаний математического маятника, подвешенного к потолку вагона, который движется горизонтально с ускорение **a.**

$$T=2^*\pi*\sqrt{\left(\frac{L}{\sqrt{(g^2+a^2)}}\right)}$$

Период колебаний математических маятника $T=2^*\pi*\sqrt{\left(\frac{L}{a_{рез}}\right)}$.

где **a** – результирующее ускорение, равное векторной сумме
$a_{рез}$ = **a** + **g**.

В нашем случае вектора **a** и **g** перпендикулярны друг другу **a** ⊥ **g**. Тогда результирующее ускорение определим по теореме Пифагора
$a_{рез}=\sqrt{(a^2+g^2)}$.

$$T=2^*\pi*\sqrt{\left(\frac{L}{\sqrt{(g^2+a^2)}}\right)}$$

T = ...

Билет 2.

1.Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона. Теплоемкость при адиабатическом процессе.

Адиабатическим называется процесс, прикотором отсутствует теплообмен (δQ=0) между системой и окружающей средой. Адиабатическим процессами можно считать все быстропротекающие процессы.

Из первого начала термодинамики (δQ=dU+δA)

$$pV^{\gamma} = \text{const.}$$

для адиабатического процесса следует, что внешняя работа совершается за счет изменения внутренней энергии системы.

Уравнение адиабатического процесса, называемое также уравнением Пуассона:, где гамма - адиабатное число = 1+2/i. Теплоемкость при адиабатическом процессе равна нулю.

2.Работа электрического поля при перемещении заряда. Циркуляция вектора напряженности. Связь потенциала и напряженности.

$$\mathbf{d} = \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2$$

$$\mathbf{A} = \mathbf{qEd} = \mathbf{qE(r_1 - r_2)} = \mathbf{qEr_1 - qE}$$

Интеграл $\oint\limits_L \mathrm{E}d\mathrm{l} = \oint\limits_L E_l dl$ называется циркуляцией вектора напряженности.

$$\mathrm{E} = -grad\varphi$$

3. Водороду массой **m = 12 г** было передано количество теплоты **Q = 48 кДж**. При этом его температура изменилась на **Δt = 100 ⁰С**. Найти изменение внутренней энергии газа и совершенную им работу.

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

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

i = 5, т.к. водород - двухатомный газ

A = ...

4. Определите, на каком расстоянии от центра масс должна находиться ось вращения тонкого однородного стержня длинной **L = 60 см**, чтобы период колебаний такого физического маятника был минимальным.

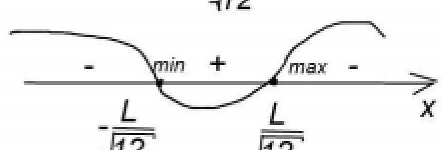
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I_z}{mgx}}$$

$$I_z = \frac{1}{12}mL^2 + mx^2$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\frac{1}{12}\cancel{m}L^2}{\cancel{m}gx} + \frac{\cancel{m}x^{\cancel{2}}}{\cancel{m}g\cancel{x}}} = 2\pi\sqrt{\frac{L^2}{12gx} + \frac{x}{g}}$$

$$T_x' = \cancel{2}\pi\frac{1}{\cancel{2}\sqrt{\frac{L^2}{12gx} + \frac{x}{g}}}\left(-\frac{L^2}{12gx^2} + \frac{1}{g}\right) = 0$$

$$-\frac{L^2}{12gx^2} + \frac{1}{g} = 0 \Rightarrow x = \pm\frac{L}{\sqrt{12}}$$



$$\Rightarrow x = -\frac{L}{\sqrt{12}} = \ \ldots \ (м)$$

Билет 3.

1. Работа тепловой машины при циклическом процессе. КПД.

Из первого начала термодинамики: Q=dU+A, но dU при циклическом процессе равна нулю => Q=A.

n=Апол/Азат=1-Qх/Qн.

2. Поток вектора напряженности электростат. поля. Теорема Гаусса в интегральной и дифференциальной формах в вакууме и применение для расчета электрических полей. Уравнение Пуассона.

$$\Phi_{\mathbf{E}} \equiv \oint\limits_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S}$$

— поток вектора напряжённости электрического поля через замкнутую поверхность.

$$\Phi_{\mathbf{D}} \equiv \oint\limits_S \mathbf{D}\, d\mathbf{S} = Q,$$

интегральная форма.

$$\operatorname{div} \mathbf{D} \equiv \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho.$$

дифференциальная.

Поток вектора напряжённости электрического поля через любую произвольно выбранную замкнутую поверхность пропорционален заключённому внутри этой поверхности электрическому заряду.

3. Определите импульс и кинетическую энергию электрона, движущегося со скоростью **V = 0,92 C**, где **C** – скорость света в вакууме.

$$p = m \cdot V$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}},$$

где m — масса движущейся частицы; m_0 — масса покоящейся частицы; $\beta = \frac{V}{C}$ — скорость частицы, выраженная в долях скорости света.

$$V = C \cdot \beta$$

$$p = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}} \beta \cdot C = \frac{m_0}{\sqrt{1-(V/C)^2}} \beta \cdot C = \ldots$$

В релятивисткой механике кинетическая энергия W частицы определяется как разность между полной энергией E и энергией покоя E_0 этой частицы, т. е. $W = E - E_0$. Так как $E = mc^2$ и $E_0 = m_0c^2$, то, учитывая зависимость массы от скорости, получим:

$$W = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} - m_0 c^2 \ldots$$

4. Тело массой **m = 40 г** совершает в вязкой среде затухающие колебания с малым коэффициентом затухания. В течение двух минут тело потеряло **30%** своей энергии. Определить коэффициент сопротивления.

$$E = E_0 e^{-2\beta T}$$

$$E = 0{,}7 E_0$$

$$0{,}7 \cancel{E_0} = \cancel{E_0} e^{-2\beta T}$$

$$\ln 0{,}7 = -2\beta T$$

$$\Rightarrow \beta = \frac{\ln 0{,}7}{-2T}$$

$$2\beta = \frac{r}{m}$$

$$\frac{\ln 0{,}7}{-2T} = \frac{r}{2m} \quad \Rightarrow r = -\frac{\ln 0{,}7 \cdot m}{T} = \ldots$$

Билет 4.

1. Цикл Карно. КПД идеальной тепловой машины.

Цикл Карно — идеальный термодинамический цикл. Тепловая машина Карно, работающая по этому циклу, обладает максимальным КПД из всех машин, у которых максимальная и минимальная температуры осуществляемого цикла совпадают соответственно с максимальной и минимальной температурами цикла Карно. Состоит из 2 адиабатических и 2 изотермических процессов.

$$\eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} = \frac{T_H - T_X}{T_H}$$

2.**Электрический диполь в электростат. поле. Поляризация диэлектриков.**

2.**Электрический диполь в электростат. поле. Поляризация диэлектриков.**

Электростатическое поле в диэлектрике.

Электрический диполь — идеализированная электронейтральная система, состоящая из точечных и равных по абсолютной величине положительного и отрицательного электрических зарядов.

Поляризация диэлектриков — явление, связанное с ограниченным смещением связанных зарядов в диэлектрике или поворотом электрических диполей, обычно под воздействием внешнего электрического поля. Диэлектриками называются вещества, которые при обычных условиях практически не проводят электрический ток. Вследствие поляризации на поверхности диэлектрика появляются нескомпенсированные заряды, которые называются связанными (в отличие от свободных зарядов, которые создают внешнее поле). Поле E' внутри диэлектрика, создаваемое связанными зарядами, направлено против внешнего поля E0, создаваемого свободными зарядами. Результирующее поле внутри диэлектрика E = E0-E'.

3. Кинетическая энергия электрона равна **T = 1,2 МэВ**. Определите скорость электрона.

Решение. Релятивистская формула кинетической энергии

$$T = E_0\left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right).$$

Выполнив относительно β преобразования, найдем скорость частицы, выраженную в долях скорости света $\left(\beta = \frac{\upsilon}{c}\right)$:

$$\beta = \frac{\sqrt{(2E_0 + T)T}}{E_0 + T}, (1)$$

где E_0— энергия покоя электрона .

Вычисления по этой формуле можно производить в любых единицах энергии, так как наименования единиц в правой части формул сократятся и в результате подсчета будет получено отвлеченное число.

Подставив числовые значения E_0 и T в мега электрон-вольтах, получим

$\beta = \ldots$ Так как $\upsilon = \beta c$, то

$\upsilon = \cdots$ м/с.

Чтобы определить, является ли частица с кинетической энергией T релятивистской или классической, достаточно сравнить кинетическую энергию частицы с ее энергией покоя.

Если $T/E_0 \ll 1$, частицу можно считать классической. В этом случае релятивистская формула (1) переходит в классическую:

$\beta = \sqrt{2T/E_0}$, или $\upsilon = \sqrt{2T/m_0}$

4. Собственные частоты двух диссипативных колебательных систем отличаются в **1,5** раза, а коэффициенты затухания отличаются в **2** раза. Определить коэффициенты затухания этих систем, если их резонансные частоты равны, а частота одной из них равна **100 Гц**.

$$\frac{\omega_{0_1}}{\omega_{0_2}} = \frac{3}{2}$$
$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = 2$$
$$\nu_1 = 100\,Гц$$
$$\omega_{рез_1} = \omega_{рез_2}$$

$$\omega_{рез} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$$
$$\omega_{0_1}^2 - 2\beta_1^2 = \omega_{0_2}^2 - 2\beta_2^2$$
$$\omega_{0_1}^2 - 2\beta_1^2 = \frac{4}{9}\omega_{0_1}^2 - 2\frac{\beta_1^2}{4}$$
$$\frac{5}{9}\omega_{0_1}^2 = \frac{3}{2}\beta_1^2 \Rightarrow \omega_{0_1}^2 = \frac{27}{10}\beta_1^2$$
$$\omega_1 = 2\pi\nu_1$$
$$\omega_1 = \sqrt{\omega_{0_1}^2 - \beta_1^2}$$
$$4\pi^2\nu_1^2 = \omega_{0_1}^2 - \beta_1^2$$
$$4\pi^2\nu_1^2 = \frac{27}{10}\beta_1^2 - \beta_1^2 = 1{,}7\beta_1^2$$
$$\beta_1 = \sqrt{\frac{40}{17}}\pi\nu_1 \approx 1{,}5\pi\nu_1 = \ldots$$
$$\beta_2 = \frac{\beta_1}{2} = \ldots$$

Билет 5.

1. Закон сохранения механической энергии.

Если в замкнутой системе не действуют силы трения и силы сопротивления, то сумма кинетической и потенциальной энергии всех тел системы остается величиной постоянной.

2. Поляризованность. Свободные и связанные заряды. Связь поляризованности с плотностью связанных зарядов. Вектор электрического смещения.

Поляризованность, которая определяется как дипольный момент единицы объема диэлектрика:

$$P = \frac{p_V}{V} = \frac{\sum_i p_i}{V}$$

Вследствие поляризации на поверхности диэлектрика появляются нескомпенсированные заряды, которые называются связанными (в отличие от свободных зарядов, которые создают внешнее поле).

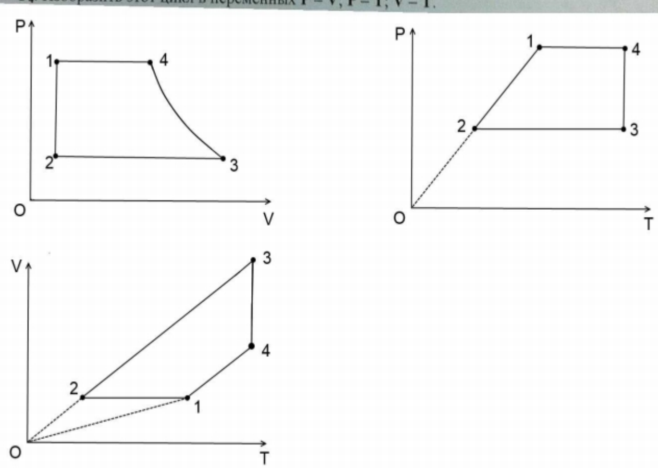
В нашем примере поле, создаваемое двумя бесконечно заряженными плоскостями с поверхностной плотностью зарядов σ': E' = σ '/ε0. Поэтому E = E0 -σ / ε 0 .Полный дипольный момент диэлектрической пластинки с толщиной d и площадью грани S равен pv =PV=PSd, с другой

стороны pv =qd= σ 'Sd .

Отсюда σ ' = P. Электри́ческое смеще́ние — векторная величина, равная сумме вектора напряжённости электрического поля и вектора поляризации.

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0\mathbf{E} + \mathbf{P}$$

3. Тепловая машина работает по прямому циклу **1-2-3-4-1,** который состоит из изохоры **1-2**, двух изобар **2-3** и **4-1**, а также изотермы **3-4 с** отдачей тепла к холодильнику. При этом $P_2 = P_3 < P_1 = P_4$. Изобразить этот цикл в переменных **P – V; P – T; V – T.**



4. Холодильная машина работает по обратному циклу Карно в интервале температур от $t_1 = -10^0C$ до t_2 = 300C. Рабочее тело - азот, масса которого **m = 0,4 кГ**. Найти количество теплоты, отбираемое от охлаждаемого тела, и работу внешних сил за цикл, если отношение максимального объема к минимальному равно **3.**

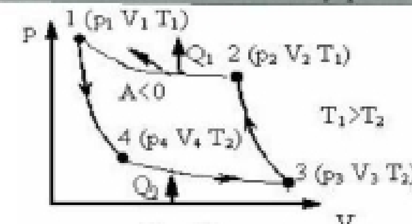


Рис. 12

Изобразим цикл Карно (обратный), который положен в основу действия холодильной машины, графически в координатах pV (рис.10). На участке изотермического (T_2=const) расширения 4-3 азот отбирает от охлаждаемого тела (термостат при температуре T_2) количество теплоты $Q_2=Q_{43}$.

На участке 2-1 происходит (T_1=const) изотермическое сжатие рабочего тела, сопровождаемое работой внешних сил. При этом рабочее тело отдаёт в окружающую среду (термостат при температуре T_1) количество теплоты

$$Q_1 = |Q_{21}|.$$

Количество теплоты, отбираемое от охлаждаемого тела

$$Q_2 = A_{43} = \frac{m}{\mu} RT_2 \frac{i+2}{2} \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right). \qquad (1)$$

Из графика видно, что $V_{min}=V_1$, а $V_{max}=V_3$, следовательно,

$$\frac{V_3}{V_1} = 3. \qquad (2)$$

Из уравнения адиабаты $(TV^{\gamma-1} = const)$ $\left(\frac{V_1}{V_4}\right)^{\gamma-1} = \frac{T_2}{T_1}$, или

$$\frac{V_1}{V_4} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}. \qquad (3)$$

Перемножим почленно (2) и (3), получим

$$\frac{V_3}{V_4} = 3\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}. \qquad (4)$$

Решая совместно уравнения (1) и (4), найдем

$$Q_2 = \frac{m}{\mu} RT_2 \left(\ln 3 + \frac{1}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)\right),$$

где $\gamma = \frac{7}{5} = 1{,}4$

Для цикла Карно

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{или} \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

Тогда

$$Q_1 = Q_2\, T_1/T_2. \qquad (5)$$

Работа за цикл, согласно первому началу термодинамики, равна количеству теплоты, полученному рабочим телом, так как изменение внутренней энергии равно нулю $A = -Q_1 + Q_2$.

Тогда работа внешних сил $A' = -A$, следовательно,

$$A' = Q_1 - Q_2 \qquad (6)$$

Билет 6.

1.Внутренняя энергия термодинамической системы. Теплота и работа. Первое начало термодинамики.

Внутренняя энергия тела — это сумма энергий молекулярных взаимодействий и тепловых движений молекул.

Количество теплоты — энергия, которую получает или теряет тело при теплопередаче.

A=PdV. Q=dU+A.

2. Поле на границе раздела диэлектриков.

При переходе через границу раздела двух диэлектрических сред тангенциальная составляющая вектора $E\ (E_\tau)$ и нормальная составляющая вектора $D\ (D_n)$ изменяются непрерывно (не претерпевают скачка), а нормальная составляющая вектора $E\ (E_n)$ и тангенциальная составляющая вектора $D\ (D_\tau)$ претерпевают скачок.

3. На какой высоте над поверхностью Земли атмосферное давление вдвое меньше, чем на ее поверхности? Считать, что температура воздуха равна **T = 300К** и не изменяется с высотой.

Дано:	Решение:
$T = 300\,\text{К}$	$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} = e^{\frac{-mgh}{RT}}, \quad \frac{-mgh}{RT} = \ln\frac{1}{2}$
$h - ?$	$h = \frac{-\ln\frac{1}{2}RT}{g\mu}$
	Ответ:

4. Два физических маятника могут совершать малые колебания вокруг одной оси с частотами ν_1 и ν_2. Моменты инерции этих маятников относительно данной оси равны соответственно I_1 и I_2. Маятники жестко соединили друг с другом. Определить период малых колебаний составного маятника.

$$T_1 = \frac{1}{\nu_1} = 2\pi\sqrt{\frac{I_1}{m_1gd_1}} \Rightarrow m_1d_1 = \frac{4\pi^2 I_1\nu_1^2}{g}$$

$$T_2 = \frac{1}{\nu_2} = 2\pi\sqrt{\frac{I_2}{m_2gd_2}} \Rightarrow m_2d_2 = \frac{4\pi^2 I_2\nu_2^2}{g}$$

Теперь рассмотрим центр масс совместного маятника

$$\begin{cases} d = \dfrac{m_1d_1 + m_2d_2}{m_1 + m_2} \\ \dfrac{1}{\nu} = 2\pi\sqrt{\dfrac{I_1+I_2}{(m_1+m_2)gd}} = 2\pi\sqrt{\dfrac{I_1+I_2}{g(m_1d_1+m_2d_2)}} = 2\pi\sqrt{\dfrac{I_1+I_2}{g\left(\dfrac{4\pi^2I_1\nu_1^2}{g} + \dfrac{4\pi^2I_2\nu_2^2}{g}\right)}} = \sqrt{\dfrac{I_1+I_2}{I_1\nu_1^2+I_2\nu_2^2}} \end{cases}$$

$$\Rightarrow T = \frac{1}{\nu} = \sqrt{\frac{I_1+I_2}{I_1\nu_1^2+I_2\nu_2^2}}\ldots$$

Билет 7.

1. Кинематическое следствие из преобразований Лоренца. Относительность одновременности. Изменение продольных размеров тел.

$$\Delta x = \frac{\Delta x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

=> длина не является абсолютной величиной. Опыт с поездом, светом и 2-мя наблюдателями.

$$l = l_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

Таким образом, длина движущегося стержня, измеренная «неподвижными» наблюдателями, оказывается меньше, чем собственная длина стержня.

2. Поле вблизи поверхности проводника. Электроемкость проводников. Энергия системы неподвижных зарядов. Энергия заряженного проводника.

Если поместить проводник во внешнее электростатическое поле или его зарядить, то на заряды проводника будет действовать электростатическое поле, в результате чего они начнут перемещаться до тех пор, пока не установится равновесное распределение зарядов, при котором электостатическое поле внутри проводника обращается в нуль $E = 0$. Физическая величина C, равная отношению заряда проводника q к его

$$W_p = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N}\sum_{k\neq i}\frac{q_i q_k}{r_{ik}}$$

потенциалу φ, называется электрической емкостью этого проводника.

Энергия заряженного проводника

$$W_н = A = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{q\varphi}{2} = \frac{q^2}{2C}$$

3. Определить среднюю и вероятную скорость молекул водорода при температуре **T = 600K**.

$$\text{Средняя квадратичная}: \langle \upsilon \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

$$\text{Средняя арифметическая}: \upsilon_{ср} = \sqrt{\frac{8RT}{M}}$$

$$\text{Наиболее вероятная}: \upsilon_{вер} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$$

4. Два моля одноатомного идеального газа нагреваются от $T_1 = 300K$ до $T_2 = 350K$. В процессе нагревания давление газа изменяется по закону $P = P_0 \exp(T_* / T)$, где $T_* = 10^2 K$. Найти количество теплоты полученное газом при нагревании.

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

$$\delta Q = dU + PdV$$

$$A = \int_{V1}^{V2} PdV = \int_{V1}^{V2} P_0 e^{\frac{T_*}{T}} dV = \left\{ P_0 e^{\frac{T_*}{T}} = \frac{\nu R\Delta T}{V} \right\} = \nu R\Delta T \ln\frac{V_2}{V_1} =$$

$$= \left\{ \begin{matrix} P_1 V_1 = P_0 e^{\frac{T_*}{T_1}} V_1 = \nu R T_1 \\ P_2 V_2 = P_0 e^{\frac{T_*}{T_2}} V_2 = \nu R T_2 \end{matrix} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} e^{\frac{T_*}{T_1} - \frac{T_*}{T_2}} \right\} = \nu R\Delta T \ln\frac{T_2}{T_1} e^{\frac{T_*}{T_1} - \frac{T_*}{T_2}} = A$$

$$\Delta U = \frac{i}{2}\nu R\Delta T = \frac{i}{2}\nu R(T_2 - T_1)$$

$$i = 3\,(\text{для одноатомного газа})$$

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

Билет 8.

1. Основное уравнение релятивистской динамики. Связь между импульсом и энергией релятивистской частицы.

Из принципа относительности Эйнштейна, утверждающего инвариантность всех законов

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

природы при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой, следует, что основной закон динамики Ньютона оказывается инвариантным по отношению к преобразованиям Лоренца, если в нем справа стоит производная от релятивистского импульса:

$$\overline{F} = \frac{d}{dt}\left(\frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\overline{v}\right).$$

$$E^2 = m^2c^4 = m_0^2c^4 + p^2c^2,$$

$$E = \sqrt{m_0^2c^4 + p^2c^2}.$$

2. Электроемкость конденсаторов. Емкость плоского, цилиндрического и сферического конденсаторов. Энергия заряженного конденсатора. Плотность энергии электростатического поля.

Емкость конденсатора - физическая величина, равная отношению заряда q, накопленного в конденсаторе, к разности потенциалов между его обкладками.

$C = \frac{\varepsilon\varepsilon 0 S}{d}$ плоский

$$C = \varepsilon_0\varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

цилиндрический

$$C = 2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r \frac{l}{\ln(R_2/R_1)}$$

сферический

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)^{-1}.$$

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C}$$

$$w = \frac{W}{V} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} = \frac{ED}{2}$$

плотность энергии.

3. Работа тепловой машины при затрате количества теплоты $\mathbf{Q_1 = 6 \cdot 10^3}$ **Дж** равна $\mathbf{A = 3 \cdot 10^3}$ **Дж.** Определить температуру нагревателя $\mathbf{t_1}$, если температура холодильника $\mathbf{t_2 = 0^0C}$, а КПД такой машины составляет **0,6 (60 %)** максимально возможного КПД.

$$\eta = 0{,}6\,\frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

По определению

$$\eta = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} = \frac{A}{Q_1}.$$

Отсюда

$$T_1 = \frac{0{,}6Q_1T_2}{0{,}6Q_1 - A}$$

или

$$t_1 = \frac{0{,}6Q_1(t_2 + 273)}{0{,}6Q_1 - A} - 273 = \ \ldots\ ^\circ\text{C}.$$

4. В результате изохорного нагревания водорода массой **m = 4г** давление газа увеличилось в три раза. Определить изменение энтропии газа.

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T},\ т.к.\ V = const,\ то\ Q = \frac{m}{M}C_V\Delta T,$$

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{m}{M}C_V\frac{dT}{T}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1},\ p_2 = 3\,p_1,$$

$$\Delta S = \frac{m}{M}C_V\ln\frac{T_2}{T_1} = \frac{m}{M}C_V\ln\frac{p_2}{p_1} = \frac{m}{M}\frac{i}{2}R\ln\frac{p_2}{p_1} = \ldots\frac{Дж}{К}$$

$$m = 0{,}001кг,\ M = 0{,}002\frac{кг}{моль},\ i = 5,\ R = 8{,}31\frac{Дж}{моль\cdot К},\ \frac{p_2}{p_1} = 3$$

Билет 9.

1. Момент силы относительно оси. Момент импульса механической системы относительно неподвижной оси. Основное уравнение динамики вращательного движения.

M=dL/dt основ. урав. вращат. движ.

2. Носители тока в средах. Сила и плотность тока. Электрическое поле в проводнике с током. Закон Ома в диф. форме.

Носителей тока - заряженных частиц, способных перемещаться упорядоченно.

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

$$j = |\vec{j}| = \frac{I}{S},$$ - плотность тока.

Наличие в проводнике свободных зарядов приводит к тому, что внутри проводника электростатическое поле равно нулю. Если бы напряженность электрического поля была отлична от нуля, то поле приводило бы свободные заряды в упорядоченное движение, т.е. в проводнике существовал бы электрический ток.

Закон Ома в диф. форме $\mathbf{j} = \sigma\mathbf{E}$ j - вектор плотности тока.

3. Водяной пар расширяется при постоянном давлении. Определить работу расширения, если пару передано количество теплоты **Q = 8 кДж**.

Дано:
$Q = 8 \cdot 10^3$ Дж
$A - ?$

Решение:

$Q = \Delta U + A$, $\Delta U = \frac{i}{2} p\Delta V$, $A = p\Delta V$, $Q = \frac{i}{2} p\Delta V + p\Delta V = p\Delta V\left(1 + \frac{i}{2}\right)$

i = 6 т.к. газ многоатомный, $Q = \left(1 + \frac{6}{2}\right) p\Delta V = 4p\Delta V = 4A$

$$A = \frac{Q}{4} = 2000\,Дж$$

Ответ: 2000 Дж.

4. Идеальный газ, показатель адиабаты которого γ, расширяют так, что сообщаемое газу тепло равно убыли его внутренней энергии. Найти молярную теплоемкость газа в этом процессе.

Решение:

Закон расширения газа согласно условию задачи таков:

$$dQ = -dU = -\left(\frac{1}{\gamma - 1} \cdot \nu \cdot R \cdot dT\right)$$

Молярная теплоемкость:

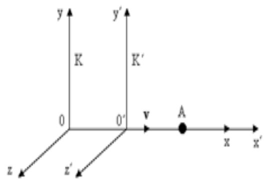
$$C = \frac{1}{\nu} \cdot \frac{dQ}{dT} = -\frac{R}{\gamma - 1}$$

$$C = -\frac{1}{\gamma - 1} \cdot R$$

Билет 10.

1. *Преобразования Галилея. Инвариантность уравнений классической механики относительно преобразований Галилея.*

Преобразования Галилея — в классической механике (механике Ньютона) преобразования координат и скорости при переходе от одной инерциальной системы отсчета (ИСО) к другой. Рассмотрим две системы отсчета K (неподвижная) и K' (движется с постоянной скоростью V_0 относительно K). Связь между координатами x, y, z некоторой точки P в системе K и координатами x', y', z' той же точки в системе K': **$x=x'+v_0t$, $y=y'$, $z=z'$**. Время в обеих системах течёт одинаковым образом, то есть **$t=t'$**. Получим совокупность четырёх уравнений, названных преобразованиями Галилея. Формула преобразования скоростей:



$<\vec{V}> = <\vec{V}_0> + <\vec{V}'>$, $a'=a$.

Так как ускорение в обеих системах одно и то же, уравнение движения $F=ma$ не изменяется при переходе от одной инерциальной системы к другой. Таким образом, уравнения механики Ньютона инвариантны относительно преобразований Галилея (все законы механики одинаково формулируются в ИСО). Это утверждение носит название **принципа относительности Галилея**. Из него следует, что никакими механическими опытами, проведенными внутри данной системы отсчета, нельзя установить, находится ли система в покое или движется равномерно и прямолинейно.

2. *Сторонние силы. Закон Ома и Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной формах.*

Силы не электростатического происхождения, действующие на заряды со стороны источников тока, называются **сторонними**. Сторонние силы совершают работу по перемещению электрических зарядов. Физическая величина, определяемая работой, совершаемой сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда, называется электродвижущей силой (ЭДС) ξ, действующей в цепи: $\xi = \frac{A}{Q}$

Закон Ома:

<u>в интегральной форме:</u> $I = \frac{U}{R}$ (для однородного участка цепи, не содержащего ЭДС)

При наличии ЭДС закон Ома имеет вид: $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{E dl}{\rho \frac{dl}{dS}} = \frac{E dS}{\rho}$$

Объемная плотность тока равна $j = \frac{dI}{dS} = \frac{1}{\rho}E$, следовательно, $\vec{j} = \sigma\vec{E}$ - закон Ома <u>в дифференциальной форме</u>, где E - вектор напряжённости электрического поля, $\sigma = 1/\rho$ - удельная электропроводность.

Закон Джоуля-Ленца:

<u>в интегральной форме:</u> количество теплоты, выделяемое в единицу времени в рассматриваемом участке цепи, пропорционально произведению квадрата силы тока на этом участке и сопротивления участка: $Q = I^2Rt$

Плотность мощности тока равна $\omega = \frac{Q}{Vt} = \frac{Q}{Slt} = \frac{I^2R}{Sl} = \frac{I^2\rho}{S^2} = \frac{1}{\sigma}j^2$. С учетом закона Ома в дифференциальной форме, получаем $\omega = \sigma E^2$ - закон Джоуля-Ленца <u>в дифференциальной форме</u>.

3. При изохорном нагревании кислорода объемом **V =40 л** давление газа изменилось **на ΔP = 0.2МПа.** Найти количество теплоты, сообщенное газу.

Решение:

т.к. $V = const$, $Q = \Delta U$, $Q = \frac{i}{2}V(P_2 - P_1) = \frac{5}{2}V\Delta P = \ldots$

4. Сопротивление, которое испытывает пуля массой **m = 7г** при своём полёте, пропорционально квадрату его скорости. Определить коэффициент сопротивления пули, равный коэффициенту пропорциональности, если скорость пули уменьшилась в **2** раза на расстоянии **S =400 м.**

$$E_{K_1} + A = E_{K_2}$$

$$\frac{m\upsilon_0^2}{2} + A = \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{m\upsilon_0^2}{8}$$

$$A = \int_0^S FdS = k\left(\frac{\upsilon_0^2}{4} - \upsilon_0^2\right)S = -\frac{3}{4}\upsilon_0^2 kS$$

$$\frac{m\upsilon_0^2}{2} - \frac{3\upsilon_0^2 kS}{4} = \frac{m\upsilon_0^2}{8}$$

$$4m - 6kS = m$$

$$3m = 6kS$$

$$m = 2kS$$

$$k = \frac{m}{2S} = \ldots$$

Билет 11.

1. *Интерференция волн. Стоячая волна.*

Интерференция волн - взаимное усиление или ослабление волн при их наложении друг на друга (суперпозиции волн) при одновременном распространении в пространстве.

Стоячая волна — колебания с характерным расположением чередующихся максимумов (пучностей) и минимумов (узлов) амплитуды. Стоячая волна образуется в результате наложения двух волн одинаковой частоты, бегущих в противоположных направлениях:

$\xi = A\cos(\omega t + kx) + A\cos(\omega t - kx) = 2A\cos(kx)\cos(\omega t)$, где

$A_0 = 2A\cos(kx)$ - амплитуда стоячей волны.

$kx = \pm\pi \cdot n$ - амплитуда максимальна (пучности), $x^{пуч} = \pm n\frac{\lambda}{2}$

$kx = \frac{\pi}{2} \pm \pi \cdot n$ - амплитуда равна нулю (узлы), $x^{уз} = \left(\frac{1}{2} \pm n\right)\frac{\lambda}{2}$

2. *Вектор индукции магнитного поля. Закон Био-Савара-Лапласа. Принцип суперпозиции магнитных полей. Поле прямого и кругового потока.*

Вектор магнитной индукции *B* – физическая величина, являющаяся силовой характеристикой магнитного поля. Определяет, с какой силой магнитное поле действует на заряд, движущийся с данной скоростью: $\vec{F} = q[\vec{v} \times \vec{B}]$.

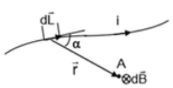
Закон Био-Савара-Лапласа для проводника с током I, элемент dl которого создает в некоторой точке A индукцию поля dB: $dB = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}\frac{I[d\mathbf{l}, \mathbf{r}]}{r^3}$, где

dl – вектор, по модулю равный длине *dl* элемента проводника и совпадающий по направлению с током;

r – радиус-вектор, проведенный из элемента *dl* проводника в точку A поля;

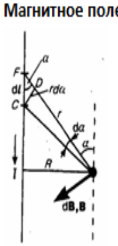
μ_0 -магнитная постоянная;

μ - магнитная проницаемость вещества



Для магнитного поля выполняется **принцип суперпозиции:** магнитная индукция результирующего поля, создаваемого несколькими токами или движущимися зарядами, равна векторной сумме магнитных индукций складываемых полей, создаваемых каждым током или движущимся зарядом в отдельности: $\mathrm{B} = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{B}_i$

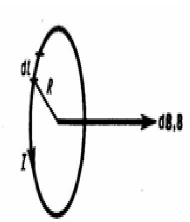
Магнитное поле прямого тока — тока, текущего по тонкому прямому бесконечному проводу



В произвольной точке A, удаленной на расстояние R от оси проводника, векторы dB от всех элементов тока имеют одинаковое направление, которое перпендикулярно плоскости чертежа («к вам»). Значит, сложение всех векторов dB можно заменить сложением их модулей. За постоянную интегрирования возьмем угол α (угол между векторами dl и r) и выразим через него все остальные величины. $r = \frac{R}{\sin\alpha}; dl = \frac{rd\alpha}{\sin\alpha}$

$$B = \int dB = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}\frac{I}{R}\int_0^{\pi}\sin\alpha d\alpha = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}\frac{2I}{R}$$

Магнитное поле в центре кругового проводника с током. Каждый элемент кругового проводника с током создает в центре магнитное поле одинакового направления - вдоль нормали от витка. Значит, сложение векторов dB также можно заменить сложением их модулей. Поскольку расстояние всех элементов проводника до центра кругового тока одинаково и равно R и все элементы проводника перпендикулярны радиус-вектору (sinα=1)



$$B = \int dB = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}\frac{I}{R^2}\int dl = \frac{\mu_0\mu}{4\pi}\frac{I}{R^2}2\pi R = \mu_0\mu\frac{I}{2R}$$

3. При какой температуре **T** вероятная скорость атомов гелия станет равной второй космической скорости **V_2 = 11,2 км/с**.

$v = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$, где

Обозначение	Описание
R	Универсальная газовая постоянная $\approx 8.31\ \frac{Дж}{К \cdot моль}$
T	Температура, размерность в СИ - К
v	Скорость (средняя квадратичная), размерность в СИ - $\frac{м}{с}$
μ	Молярная масса, размерность в СИ - $\frac{кг}{моль}$

$$=> T = \frac{\mu V_2^2}{2R} = \ldots$$

4. Определить коэффициент диффузии и вязкости, среднюю длину свободного пробега молекул кислорода при давлении **P =80 кПа** и температуре **t =47⁰С**. Как изменятся найденные величины в результате **двукратного** уменьшения объема газа при **постоянной** температуре? Эффективный диаметр молекул кислорода **d = 0,38 нм**.

$<\lambda> = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}$, $P = nkt$ => $n = \frac{P}{kt}$ => $<\lambda> = \frac{kT}{Pd^2\pi\sqrt{2}}$ - *средняя длина свободного пробега*

$\eta = \frac{1}{3}\rho <\lambda> v$ - *коэффициент вязкости*

$$v = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}},\quad \rho = \frac{m}{V} = \frac{M\nu}{V} = \frac{MN}{N_A V} = \frac{M\cancel{N}\cancel{k}P}{\cancel{N_A}\cancel{k}RT} = \frac{MP}{RT}$$

$D = \frac{1}{3} <\lambda> v = \frac{1}{3}\frac{kT}{Pd^2\pi\sqrt{2}}\sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$ - *коэффициент диффузии*

Если V уменьшить в 2 раза при T = const, то P увеличится в 2 раза

$<\lambda>$ *- уменьшится в 2 раза*

=> η *- уменьшится в 2 раза*

D *- уменьшится в 2 раза*

Билет 12.

1. *Энтропия как функция состояния термодинамической системы. Третье начало термодинамики.*

Энтропия – функция состояния термодинамической системы (часть внутренней энергии замкнутой системы, которая постоянно сохраняется и не превращается в другие виды энергии), изменение которой dS для бесконечно малого обратимого изменения состояния системы равно отношению количества теплоты δQ, полученного системой в этом процессе (или отнятого от системы), к абсолютной температуре T: $dS = \delta Q/T$.

Третье начало термодинамики: при стремлении температуры любой равновесной термодинамической системы к абсолютному нулю ее энтропия стремится к некоторой универсальной постоянной величине, значение которой не зависит от каких-либо термодинамических параметров системы и может быть принято равной нулю: $\lim_{T\to 0} S = 0$.

2. *Вектор напряженности магнитного поля. Теорема о циркуляции вектора напряженности магнитного поля в интегральной и дифференциальной формах.*

Напряженность магнитного поля H – векторная физическая величина, являющаяся силовой характеристикой магнитного поля, равная разности вектора магнитной индукции B и вектора намагниченности M: $H = \frac{1}{\mu_0}B - M$, где μ_0 - магнитная постоянная.

В простейшем случае изотропной (по магнитным свойствам) среды B и H просто пропорциональны друг другу: $B = \mu_0\mu H$, где μ – магнитная проницаемость среды.

Теорема о циркуляции вектора напряженности магнитного поля: циркуляция вектора напряженности магнитного поля по некоторому контуру пропорциональна алгебраической сумме макроскопических токов, охватываемых этим контуром: $\oint B_l dl = \mu\mu_0 \sum I_i$ - <u>в интегральной форме</u>.

<u>В дифференциальной форме</u>: $\operatorname{rot} B = \mu_0\mu j$, где j – плотность тока.

3. Определить среднее значение полной кинетической энергии одной молекулы гелия, кислорода и водяного пара при температуре **T = 300К**.

$$\varepsilon = \frac{ikT}{2}$$

1) $i = 3$, $\varepsilon_1 = \frac{3}{2}kT = \dots$ - *полная кинетическая энергия одной молекулы гелия*

2) $i = 5$, $\varepsilon_2 = \frac{5}{2}kT = \dots$ - *полная кинетическая энергия одной молекулы кислорода*

3) $i = 6$, $\varepsilon_3 = 3kT = \dots$ - *полная кинетическая энергия однйо молекулы водяного пара*

4. Три моля одноатомного идеального газа охлаждаются от T_1 = **450К** до T_2 = **320К**. В процессе охлаждения давление газа изменяется по закону **P = P₀ exp(- T∗ /T)**, где **T∗ = 10²К**. Найти количество теплоты отданное газом при охлаждении.

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

$$\delta Q = dU + PdV$$

$$A = \int_{V1}^{V2} PdV = \int_{V1}^{V2} P_0 e^{-\frac{T_*}{T}} dV = \left\{ P_0 e^{-\frac{T_*}{T}} = \frac{\nu R\Delta T}{V} \right\} = \nu R\Delta T \ln\frac{V_2}{V_1} =$$

$$= \left\{ \begin{matrix} P_1V_1 = P_0 e^{-\frac{T_*}{T_1}} V_1 = \nu RT_1 \\ P_2V_2 = P_0 e^{-\frac{T_*}{T_2}} V_2 = \nu RT_2 \end{matrix} => \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} e^{-\left(\frac{T_*}{T_1} - \frac{T_*}{T_2}\right)} \right\} = \nu R\Delta T \ln\frac{T_2}{T_1} e^{-\left(\frac{T_*}{T_1} - \frac{T_*}{T_2}\right)} = A$$

$$\Delta U = \frac{i}{2}\nu R\Delta T = \frac{i}{2}\nu R(T_2 - T_1)$$

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

$i = 3$ *(для одноатомного газа)*

Билет 13.

1. *Плоская гармоническая волна, длина волны, фазовая скорость, волновой вектор. Сферическая волна.*

Плоская волна - волна, у которой направление распространения одинаково во всех точках пространства.
Гармоническая волна — волна, каждая точка колеблющейся среды или поле в каждой точке пространства совершает гармонические колебания.
Рассмотрим плоскую монохроматическую волну. Пусть закон гармонического колебания имеет вид $\xi = A\cos(\omega t+\alpha)$. Пусть волна движется со скоростью *v*, тогда

$$\xi = A\cos(\omega(t-\Delta t)+\alpha) = A\cos\left(\omega t-\omega\frac{L}{v}+\alpha\right)$$

Уравнение плоской волны: $\xi = A\cos(\omega t-kx+\alpha)$ - волна, бегущая в положительном направлении оси x; $\xi = A\cos(\omega t+kx+\alpha)$ - в отрицательном.

$k=\frac{\omega}{v}=\frac{2\pi}{\lambda}$ - волновое число

Длина волны λ— расстояние между двумя ближайшими друг к другу точками, колеблющимися в одинаковых фазах (расстояние, проходимое волной за время, равное периоду)
Фазовая скорость *v*— скорость перемещения точки, обладающей постоянной фазой колебательного движения, в пространстве вдоль заданного направления.
$\bar{k}=\bar{n}\,k$ - **волновой вектор** (вектор k, направление которого совпадает с направлением распространения бегущей волны, численно равный волновому числу), где $\bar{n}$ - орт направления волны.
Сферическая волна — волна, радиально расходящаяся от источника.

Уравнение сферической волны: $\xi=\frac{A_0}{R}\cdot\cos\left(\omega t-\bar{k}\bar{R}+\alpha\right)$

2. *Теорема о циркуляции вектора напряженности магнитного поля в интегральной и дифференциальной формах. Расчет магнитного поля соленоида.*

Теорема о циркуляции вектора напряженности магнитного поля: циркуляция вектора напряженности магнитного поля по некоторому контуру пропорциональна алгебраической сумме макроскопических токов, охватываемых этим контуром: $\oint B_l dl=\mu\mu_0\sum I_i$ - в интегральной форме.
В дифференциальной форме: rot B = $\mu_0\mu$ j, где j – плотность тока.

Соленоид — это катушка, в которой провод навит на цилиндрический каркас.

Циркуляция вектора магнитной индукции соленоида: $\oint \vec{B}d\vec{l}=B\cdot l$

По теореме о циркуляции: $\oint_L \vec{B}d\vec{l}=B\cdot l=\mu_0\sum I_i$

$\sum I_i = I\cdot n\cdot l$, где *l* – длина стороны контура, *n* – число витков на единице длины соленоида.
Таким образом, ***B= μ₀n I*** (индукция магнитного поля соленоида пропорциональна силе тока *I* и числу витков *n* на единице длины соленоида)

3. Полная энергия релятивистской частицы возросла на **ΔE = 1,4 Дж**. На сколько при этом изменится кинетическая энергия частицы?

$$\begin{cases} E_1 = m_0C^2+K_1 \\ E_2=m_0C^2+K_2\end{cases}$$

$$E_2-E_1=m_0C^2+K_2-m_0C^2-K_1 \Rightarrow \Delta E=\Delta K=1,4\ Дж$$

4. Два электрона движутся вдоль одной прямой со скоростями v_1 **= 0,9C** и v_2 **= 0,8C**. Определить скорость электронов относительно друг друга, если электроны движутся навстречу друг другу.

Согласно релятивистскому закону сложения скоростей имеем:

$$\upsilon=\frac{\upsilon_1+\upsilon_2}{1+\frac{\upsilon_1\cdot\upsilon_2}{C^2}}=\frac{0,9C+0,8C}{1+\frac{0,9C\cdot0,8C}{C^2}}=\frac{1,7C}{1+0,72}=\frac{1,7C}{1,72}\approx C$$

Билет 14.

1. *Упругие волны в стержнях. Волновое уравнение.*

Билет 14.

1. Применим второй закон Ньютона и закон сложения сил к движению куска стержня, заключенного между двумя плоскостями x и x+△x. Масса этого куска равна p0S0△x, где p0 и S0 – соответственно плотность и сечение в отсутствие деформации.

Пусть ξ – смещениецентратяжести рассматриваемогокуска.

$$\rho_0 S_0 \Delta x \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = S_0 \sigma(x+\Delta x) - S_0 \sigma(x)$$

$$\rho_0 \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{\sigma(x+\Delta x) - \sigma(x)}{\Delta x}$$

$$\rho_0 \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma}{\partial x}$$

$$\rho_0 \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = E \frac{\partial \varepsilon}{\partial x}$$

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho_0} \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}.$$

$$\xi = A\cos(\omega t - kr),$$

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = -\omega^2 A\cos(\omega t - kr) = -\omega^2 \xi$$

$$\xi = -\frac{1}{\omega^2}\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}.$$

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} &= -k_x^2 A\cos(\omega t - kr) = -k_x^2 \xi,\\ \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} &= -k_y^2 A\cos(\omega t - kr) = -k_y^2 \xi,\\ \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} &= -k_z^2 A\cos(\omega t - kr) = -k_z^2 \xi\end{aligned}\right\}$$

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = -(k_x^2 + k_y^2 + k_z^2)\xi = -k^2 \xi$$

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = \frac{1}{\upsilon^2}\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$$

2. *Теорема о циркуляции вектора напряженности магнитного поля в интегральной и дифференциальной формах. Расчет магнитного поля тороида.*

Теорема о циркуляции вектора напряженности магнитного поля: циркуляция вектора напряженности магнитного поля по некоторому контуру пропорциональна алгебраической сумме макроскопических токов, охватываемых этим контуром: $\oint B_l dl = \mu\mu_0 \sum I_i$ - в интегральной форме.

В дифференциальной форме: rot B = $\mu_0\mu$ j, где j – плотность тока.

Тороид — это катушка в форме тора.

Выберем замкнутый контур в виде окружности радиуса *r* с центром, расположенным в центре тора.

Циркуляция вектора магнитной индукции тороида: $\oint_L \vec{B}d\vec{l} = B \cdot 2\pi r$

По теореме о циркуляции: $\oint_L \vec{B}d\vec{l} = B \cdot 2\pi r = \mu_0 \sum I = \mu_0 I \cdot 2\pi R \cdot n$, где *R* – радиус тороида, *n* – число витков на единице длины тороида.

Таким образом, $B = \mu_0 n I \dfrac{R}{r}$

3. На толкание ядра массой **m = 3 кг,** брошенного под углом **α = 30°** к горизонту, затрачена работа равная **A = 150 Дж.** Через какое время ядро упадёт на землю?

Кинетическая энергия, полученная ядром, равна затраченной на его толкание работе

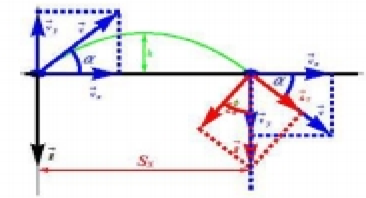
$W_k = A$

Кинетическая энергия

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

Скорость камня в момент толкания

$$v = \sqrt{\frac{2A}{m}}.$$



Вертикальная составляющая скорости

$v_y = v\sin\alpha,$

горизонтальная составляющая скорости

$v_x = v\cos\alpha.$

Время полета найдем, зная, что в верхней точке полёта, скорость $v_y = 0$

$v_y - g_{под} t = 0.$

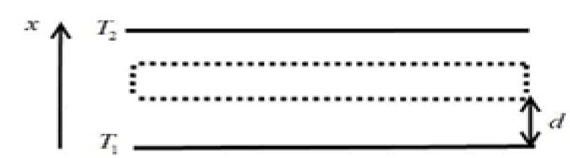
Откуда время подъёма, равное времени падения,

$$t_{под} = \frac{v_y}{g} = \frac{v\sin\alpha}{g} = \frac{\sqrt{\frac{2A}{m}}\sin\alpha}{g} = \dots\ c$$

Время полета

$t = 2t_{под} = \dots\ c$

4. Газ массой **m** и молярной массой **μ** находится под давлением **P** между двумя одинаковыми горизонтальными пластинами. Температура газа растет линейно от T_1 у нижней пластины до T_2 у верхней. Найти объем газа между пластинами.



$$PdV = \frac{dm}{\mu}RT(x)$$

$$T = kx + c$$

$$x = 0 \Rightarrow T_1 = c$$

$$T_2 = kd + T_1$$

$$k = \frac{T_2 - T_1}{d}$$

$$T(x) = T_1 + \frac{T_2 - T_1}{d}x$$

$$dV = Sdx$$

$$PSdx = \frac{dm}{\mu}R\left(T_1 + \frac{T_2 - T_1}{d}x\right)$$

$$dm = \frac{PS\mu}{R}\frac{dx}{T_1 + \frac{T_2 - T_1}{d}x} = \left| \begin{aligned} A &= \frac{PS\mu}{R} \\ \text{Пусть}\ \frac{T_2 - T_1}{d} &= b \end{aligned} \right| \Rightarrow m = A\int_0^d \frac{dx}{T_1 + bx}$$

$$m = A\ln(T_1 + b\ln x)\frac{d}{T_2 - T_1} = A\frac{d}{\Delta T}\ln\frac{T_2}{T_1}$$

$$m = \frac{PV\mu}{R(T_2 - T_1)}\ln\frac{T_2}{T_1} \Rightarrow V = \frac{mR(T_2 - T_1)}{P\mu\ln\frac{T_2}{T_1}}$$

Билет 15.

1. Вынужденные колебания. Механический резонанс.

Вынужденные колебания — колебания, происходящие под воздействием внешних периодических сил.

Рассмотрим движение тела в вязкой среде вблизи положения равновесия под действием квазиупругой силы и некоторой периодической силы $F(t)=F_0\cos(\Omega t+\alpha)$.

Второй закон Ньютона: $ma=-kx-rv+F(t)$, где r – коэффициент сопротивления ($\vec{F}_{сопр}=-r\cdot\vec{v}$).

Тогда $\ddot{x}+2\beta\dot{x}+\omega_0^2x=f_0\cos(\Omega t+\alpha)$ - уравнение вынужденных колебаний,

где $2\beta=\frac{r}{m},\ \omega_0^2=\frac{k}{m},\ f_0=\frac{F_0}{m}$, β- коэффициент затухания.

$x_B=A_B\cos(\omega_B t+\alpha_B)$, тогда

$\dot{x}_B=-\omega_B A_B\sin(\omega_B t+\alpha_B)=\omega_B A_B\cos\left(\omega_B t+\alpha_B+\frac{\pi}{2}\right)$,

$\ddot{x}_B=-\omega_B{}^2A_B\cos(\omega_B t+\alpha_B)=\omega_B{}^2A_B\cos(\omega_B t+\alpha_B+\pi)$ - подставляя в дифференциальное уравнение,

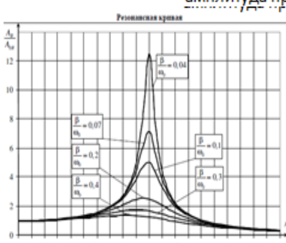
получаем $f_0^2=(\omega_0^2A_B-\Omega^2A_B)^2+(2\beta\Omega A_B)^2$, тогда

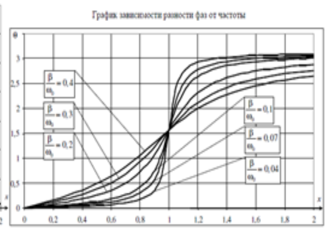
$A_B=\frac{f_0}{\sqrt{(\omega_0^2-\Omega^2)^2+4\beta^2\Omega^2}}$ - амплитуда вынужденных колебаний; $tg\,\alpha=\frac{2\beta\Omega}{\omega_0^2-\Omega^2}$

Механический резонанс – явление резкого возрастания амплитуды установившихся колебаний при приближении частоты вынуждающей силы к собственной резонансной частоте системы.

$\Omega_{REZ}=\sqrt{\omega_0^2-2\beta^2}$ - резонансная частота системы

$A_{B\_REZ}=\frac{f_0}{2\beta\sqrt{\omega_0^2-2\beta^2}}$ - амплитуда при резонансе





2. Намагниченность вещества. Вектор напряженности магнитного поля и его связь с векторами индукции и намагниченности. Магнитная восприимчивость и магнитная проницаемость вещества.

Намагниченность M — векторная физическая величина, характеризующая магнитное состояние макроскопического физического тела.

Напряженность магнитного поля H – векторная физическая величина, являющаяся силовой характеристикой магнитного поля, равная разности вектора магнитной индукции B и вектора намагниченности M: $\mathrm{H}=\frac{1}{\mu_0}\mathrm{B}-\mathrm{M}$, где μ_0 - магнитная постоянная.

Магнитная восприимчивость — физическая величина, характеризующая связь между намагниченностью вещества и напряженностью.

$$\mathrm{M}=\chi_m\mathrm{H}$$

Магнитная проницаемость μ — физическая величина, коэффициент (зависящий от свойств среды), характеризующий связь между магнитной индукцией B и напряжённостью магнитного поля H в веществе: $B=\mu_0\mu H$.

3. Шарик конического маятника, длина нити которого равна l, движется по окружности со скоростью v. Определить угол отклонения нити от вертикали.

В проекции на ось x имеем:

$ma=T\sin\alpha$

В проекции на ось y имеем:

$T\cos\alpha=mg \Rightarrow T=\frac{mg}{\cos\alpha}$

$ma=\frac{mg\sin\alpha}{\cos\alpha}$

$a=\frac{g\sin\alpha}{\cos\alpha}=g\cdot tg\alpha$

$tg\alpha=\frac{a}{g}$

$R=l\sin\alpha$

$tg\alpha=\frac{v^2}{l\sin\alpha g}$

$tg\alpha\cdot\sin\alpha=\frac{v^2}{lg}$

$\frac{\sin^2\alpha}{\cos\alpha}=\frac{v^2}{lg}$

$\frac{1-\cos^2\alpha}{\cos\alpha}=\frac{v^2}{lg}$

$\frac{1-\cos^2\alpha}{\cos\alpha}-\frac{v^2}{lg}=0$

$\frac{lg(1-\cos^2\alpha)-v^2\cos\alpha}{lg\cos\alpha}=0$

$lg(1-\cos^2\alpha)-v^2\cos\alpha=0$

$lg-lg\cos^2\alpha-v^2\cos\alpha=0$

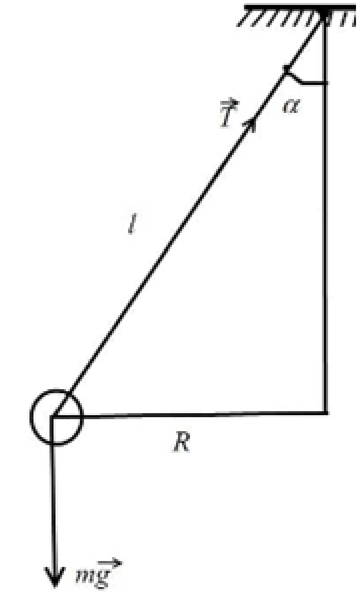
$lg\cos^2\alpha+v^2\cos\alpha-lg=0$

$D=(v^2)^2-4lg\cdot(-lg)=v^4+4l^2g^2$

$\cos\alpha=\frac{-v^2\pm\sqrt{v^4+4l^2g^2}}{2lg}$

$\alpha=\arccos\frac{-v^2\pm\sqrt{v^4+4l^2g^2}}{2lg}$

$\alpha>0$



4. Определить скорость звука в воздухе при нормальных условиях, если считать, что процессы сжатия и расширения воздуха в волне происходят адиабатически. Молярная масса воздуха равна μ = 29·10⁻³ кг/моль. Скорость звука определяется по формуле $c=\sqrt{dP/d\rho}$.

Способ 1

Уравнение адиабаты:

$\gamma PdV+VdP=0$, где $\gamma=\frac{C_p}{C_V}$

Введём плотность $\rho\sim\frac{1}{V}$, *тогда уравнение примет вид:*

$\gamma Pd\rho-\rho dP=0$

$\frac{dP}{d\rho}=\left(\frac{\partial P}{\partial\rho}\right)_{АД}=\gamma\frac{P}{\rho}=\gamma\left(\frac{\partial P}{\partial\rho}\right)_T$

$PV=\frac{m}{\mu}RT,\ \rho=\frac{m}{V},\ P=\frac{\rho}{\mu}RT \Rightarrow \frac{P}{\rho}=\frac{RT}{\mu}$

$c=\sqrt{\frac{dP}{d\rho}}=\sqrt{\gamma\frac{P}{\rho}}=\sqrt{\gamma\frac{RT}{\mu}}$,

где $\gamma=\frac{7}{5}=1{,}4$ – *показатель адиабаты для воздуха*

Т.к. условия нормальные, то $T=273K$

Способ 2

Скорость звуковых колебаний в газе $c=\sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$.

Плотность газа $\rho=\frac{m}{V}=\frac{const}{V}$.

Звуковые колебания в воздухе можно считать адиабатическим процессом, для которого

$pV^\gamma=const$, откуда $\frac{p}{\rho^\gamma}=const$.

Следовательно, $d\left(\frac{p}{\rho^\gamma}\right)=\frac{dp}{\rho^\gamma}-\gamma\frac{p}{\rho^{\gamma+1}}d\rho=0$.

Тогда $\frac{dp}{d\rho}=\gamma\frac{p}{\rho}$ и $c=\sqrt{\gamma\frac{p}{\rho}}$.

Для идеального газа из уравнения Менделеева-Клапейрона

$\rho=\frac{m}{V}=\frac{p\mu}{RT},\ \frac{p}{\rho}=\frac{RT}{\mu}$

$c=\sqrt{\gamma\frac{RT}{\mu}}$. Для воздуха γ=1,4.

Билет 16.

1. **Затухающие колебания** — колебания, энергия которых уменьшается с течением времени

$$ma_x = -kx - r\upsilon_x$$

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

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta\frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$$

Натуральный логарифм отношения амплитуд, следующих друг за другом через период T, называется ***логарифмическим декрементом затухания*** *χ:*

$$\chi = \ln\frac{A(t)}{A(t+T)} = \ln e^{\beta T} = \beta T$$

$$\chi = \beta T.$$

ДЕКРЕМЕНТ ЗАТУХАНИЯ- количественная характеристика быстроты затухания колебаний.

Добро́тность — свойство колебательной системы, определяющее полосу резонанса и показывающее, во сколько раз запасы энергии в системе больше, чем потери энергии за один период колебаний. Общая формула для добротности любой колебательной системы:

$$Q = \frac{2\pi f_0 W}{P_d},$$

где:

f_0 — резонансная частота колебаний

W — энергия, запасённая в колебательной системе

P_d — рассеиваемая мощность.

2.**Закон Ампера** устанавливает, что на проводник с током, помещенный в однородное магнитное поле, индукция которого B, действует сила, пропорциональная силе тока и индукции магнитного поля:

F = BIlsina (a - угол между направлением тока и индукцией магнитного поля). Эта **формула закона Ампера** оказывается справедливой для прямолинейного проводника и однородного поля.

Если проводник имеет произвольную формулу и поле неоднородно, то**Закон Ампера** принимает вид:

dF = *I*B*dlsina*

Пусть в однородное магнитное поле помещена рамка с током.Тогда силы Ампера, действующие на боковые стороны рамки, будут создавать вращающий момент, величина которого пропорциональна магнитной индукции, силе тока в рамке, ее площади S и зависит от угла а между вектором $\vec{B}$ и нормалью к площади $\vec{n}$:

$$M = ISB\sin\alpha.$$

Направление нормали выбирают так, чтобы в направлении нормали перемещался правый винт при вращении по направлению тока в рамке.

Максимальное значение вращательный момент имеет тогда, когда рамка устанавливается перпендикулярно магнитным силовым линиям:

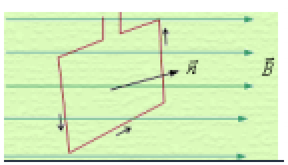
$$M_{max} = ISB.$$

Это выражение также можно использовать для определения индукции магнитного поля:

$$B = \frac{M_{max}}{IS}.$$

Величину, равную произведению IS, называют магнитным моментом контура P_m. Магнитный момент есть вектор, направление которого совпадает с направлением нормали к контуру. Тогда вращательный момент можно записать

$$M = P_m B\sin\alpha.$$



3. Адиабатический процесс для идеального газа в **T – V** переменных имеет вид: $TV^{\gamma-1}$ **= const**, где **γ** – показатель адиабаты. Написать уравнение адиабаты в **P – T** переменных.

$$TV^{\gamma-1} = const$$

$$pV = \nu RT \Rightarrow V = \frac{\nu RT}{p}$$

$$TV^{\gamma-1} = T\left(\frac{\nu RT}{p}\right)^{\gamma-1} = \frac{TT^{\gamma-1}}{p^{\gamma-1}}(\nu R)^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{T^{\gamma}}{p^{\gamma-1}} = p^{1-\gamma}T^{\gamma} = const$$

4. Рассчитать среднюю длину свободного пробега молекул азота, коэффициенты диффузии и вязкости при давлении **P =90 кПа** и температуре **t = 27⁰C**. Как изменяются найденные величины в результате двукратного увеличения объема газа при постоянном давлении. Эффективный диаметр молекул азота **d = 0,38 нм**.

$$<\lambda> = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}, \quad P = nkt \Rightarrow n = \frac{P}{kt} \Rightarrow <\lambda> = \frac{kT}{Pd^2\pi\sqrt{2}}$$ *- средняя длина свободного пробега*

$$\eta = \frac{1}{3}\rho<\lambda>\nu$$ *- коэффициент вязкости*

$$\nu = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}, \quad \rho = \frac{m}{V} = \frac{M\nu}{V} = \frac{MN}{N_A V} = \frac{M\cancel{N}\cancel{k}P}{\cancel{N_A}\cancel{k}RT} = \frac{MP}{RT}$$

$$D = \frac{1}{3}<\lambda>\nu = \frac{1}{3}\frac{kT}{Pd^2\pi\sqrt{2}}\sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$$ *- коэффициент диффузии*

Если V увеличить в 2 раза при T = const, то P уменьшится в 2 раза

=> $<\lambda>$ *- уменьшится в 2 раза*

η *- уменьшится в 2 раза*

D *- уменьшится в 2 раза*

Билет 17.

Физическим маятником называется твердое тело, закрепленное на неподвижной горизонтальной оси (оси подвеса), не проходящей через центр тяжести, и совершающее колебания относительно этой оси под действием силы тяжести. В отличие от математического маятника массу такого тела нельзя считать точечной.

При небольших углах отклонения α физический маятник так же совершает гармонические колебания. Будем считать, что вес физического маятника приложен к его центру тяжести в точке С. Силой, которая возвращает маятник в положение равновесия, в данном случае будет составляющая силы тяжести – сила F.

$$F = -mg\sin\alpha$$

Знак минус в правой части означает то, что сила F направлена в сторону уменьшения угла α. С учетом малости угла α.

$$F = -mg\alpha$$

$J = ml^2$. Момент силы: определить в явном виде нельзя. С учетом всех величин, входящих в исходное дифференциальное уравнение колебаний физического маятника имеет вид:

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{mgL}{J}\alpha = 0$$

2.Поток вектора магнитной индукции, пронизывающий площадку S - это величина, равная:

$$d\Phi_m = \vec{B}d\vec{S} = BdS\cos(\vec{B},\vec{n})$$

Поток вектора магнитной индукции (магнитный поток) измеряется в веберах (Вб)

$$\Phi_m = \int_S \vec{B}d\vec{S}$$

Магнитный поток - величина скалярная.

Поток вектора магнитной индукции (магнитный поток) равен числу линий магнитной индукции, проходящих сквозь данную поверхность.

Поток вектора магнитной индукции (магнитный поток) сквозь произвольную замкнутую поверхность равен нулю:

$$\Phi_m = \oint_S \vec{B}d\vec{S} = 0$$

Это теорема Остроградского-Гаусса для магнитного поля.

Используя теорему Остроградского

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{S} = \int \operatorname{div}\vec{B}dV = 0$$

, получаем теорему Гаусса для вектора $\vec{B}$ в дифференциальной форме:

$$\operatorname{div}\vec{B} \equiv \frac{\partial B_x}{\partial x} + \frac{\partial B_y}{\partial y} + \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0$$

3. Определить линейную скорость центра сплошного цилиндра, скатившегося без скольжения с наклонной плоскости высотой **H = 1,6 м**.

$$w = \frac{\upsilon}{R}$$

$$J = \frac{1}{2}mR^2$$

$$E_к = \frac{Jw^2}{2} + \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{1}{4}m\upsilon^2 + \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{3}{4}m\upsilon^2 = mgH$$

$$\upsilon = \sqrt{\frac{4gH}{3}} = \ldots$$

4. Определить молярную теплоемкость при постоянном давлении газовой смеси, состоящей из трех молей гелия и двух молей азота.

Молярная теплоёмкость при постоянном давлении равна :

$$C_p = \frac{i+2}{2}R$$

Для 3 молей гелия : $C_p = \nu\frac{3+2}{2}R = \frac{5}{2}*3*R = \frac{15}{2}R$

Для 2 молей азота : $C_p = \nu\frac{5+2}{2}R = \frac{7}{2}*2*R = 7R$

Молярная теплоёмкость смеси газов при постоянном давлении равна :

$$C_p = \frac{15}{2}R + 7R = \frac{29}{2}R$$

Билет 18.

1. НЕЗАТУХАЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ - колебания с постоянной амплитудой.

$$ma = F_{упр}$$.

$$m\ddot{x} = -kx$$

$$\ddot{x} + w^2 x = 0$$,где:

$$w^2 = \frac{k}{m}$$.

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

$$E = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2}$$.

$$v_x = \dot{x} = Aw\cos(wt+\varphi_0)$$

$$E = \frac{1}{2}mA^2w^2\cos^2(wt+\varphi_0) + \frac{1}{2}mA^2w^2\sin^2(wt+\varphi_0) = \frac{kA^2}{2}$$

$$p = mv = m\frac{dX}{dt}$$

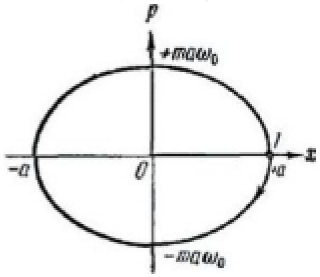
$$p = -m\omega A\sin(\omega t + \varphi_0)$$

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

$$\frac{p}{m\omega A} = -\sin(\omega t + \varphi_0)$$

Чтобы исключить время t из этих уравнений, возведем каждое из них в квадрат и сложим их:

$$\frac{X^2}{A^2} + \frac{p^2}{(m\omega A)^2} = 1$$

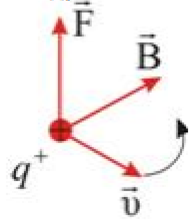


Фазовая траектория гармонических колебаний (например, собственных колебаний линейного осциллятора в отсутствие трения) представляет собой эллипс (или окружность при соответствующем выборе масштаба). Точки, где фазовая траектория пересекает ось абсцисс (в этих точках поворота скорость изменяет знак), соответствуют максимальным отклонениям ротора из положения равновесия.

2. **Сила Лоренца** – сила, действующая со стороны магнитного поля на движущийся со скоростью $\vec{\upsilon}$ положительный заряд. Модуль лоренцевой силы:

$$F_л = q\upsilon B\sin\alpha$$

где α – угол между $\vec{\upsilon}$ и $\vec{B}$



При движении заряженной частицы в магнитном поле сила Лоренца работы не совершает. В однородном магнитном поле на заряженную частицу, движущуюся со скоростью $\vec{\upsilon}$ перпендикулярно линиям индукции магнитного поля, действует сила $\vec{F}_л$, постоянная по модулю и направленная перпендикулярно вектору скорости $\vec{\upsilon}$. Частица будет равномерно двигаться по окружности радиуса

$$R = \frac{m\upsilon}{qB}$$

3. Мощность, которую развивает лодочный мотор, равна **N = 2 кВт**. При этом винт мотора совершает **n = 600 об/мин**. Определить вращающий механический момент **M**, который создаёт мотор.

$$n = 600\frac{об.}{мин} = 10\frac{об.}{с}$$

$$N = 2кВт = 2\cdot 10^3 Вт$$

$$N = F\upsilon = Fr\frac{\upsilon}{r} = Mw$$

$$w = 2\pi n \Rightarrow M = \frac{N}{2\pi n} = ...(Н\cdot м)$$

4. Смесь водорода и аргона при температуре **t = 37°C** находится под давлением **P = 1,2 кПа**. Масса аргона составляет **50%** от общей массы смеси. Найти концентрацию молекул каждого газа.

$$\begin{cases} P_{H_2}V = \frac{m_{H_2}}{\mu_{H_2}}RT \\ P_{Ar}V = \frac{m_{Ar}}{\mu_{Ar}}RT \\ m_{Ar} = 0,5(m_{Ar}+m_{H_2}) = 0,5m_{Ar} + 0,5m_{H_2} \\ \quad 0,5m_{Ar} = 0,5m_{H_2} \\ \quad m_{Ar} = m_{H_2} \end{cases}$$

$$\mu_{Ar} = 40\cdot 10^{-3}\frac{кг}{моль}$$

$$\mu_{H_2} = 2\cdot 10^{-3}\frac{кг}{моль}$$

$$T = t + 273$$

$$R = 8,31\frac{Дж}{моль\cdot К}$$

$$N_A = 6,02\cdot 10^{23} моль^{-1}$$

$$\begin{cases} P_{H_2}V = \frac{m_{H_2}}{\mu_{H_2}}RT \\ P_{Ar}V = \frac{m_{H_2}}{\mu_{Ar}}RT \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P_{H_2}\frac{V}{m_{H_2}} = \frac{RT}{\mu_{H_2}} \Rightarrow \frac{V}{m_{H_2}} = \frac{RT}{P_{H_2}\mu_{H_2}} \Rightarrow P_{H_2} = \frac{m_{H_2}RT}{\mu_{H_2}V} \\ P_{Ar}\frac{V}{m_{H_2}} = \frac{RT}{\mu_{Ar}} \Rightarrow P_{Ar} = \frac{RTP_{H_2}\mu_{H_2}}{\mu_{Ar}RT} = \frac{P_{H_2}\mu_{H_2}}{\mu_{Ar}} \end{cases}$$

$$P_{смеси} = P_{H_2} + P_{Ar} = \frac{m_{H_2}RT}{\mu_{H_2}V} + \frac{m_{H_2}RT}{\mu_{Ar}V} = \frac{m_{H_2}RT}{V}\left(\frac{1}{\mu_{H_2}} + \frac{1}{\mu_{Ar}}\right)$$

$$P_{смеси} = \frac{m_{H_2}RT}{V}\left(\frac{\mu_{H_2}+\mu_{Ar}}{\mu_{H_2}\mu_{Ar}}\right) \Rightarrow \frac{m_{H_2}}{V} = \frac{P_{смеси}\mu_{H_2}\mu_{Ar}}{RT(\mu_{H_2}+\mu_{Ar})}$$

$$n_{H_2} = \frac{N_{H_2}}{V} = \frac{\nu_{H_2}N_A}{V} = \frac{m_{H_2}N_A}{\mu_{H_2}V}$$

$$n_{H_2} = \frac{N_A}{\mu_{H_2}}\cdot\frac{P_{смеси}\mu_{H_2}\mu_{Ar}}{RT(\mu_{H_2}+\mu_{Ar})} = \frac{N_A P_{смеси}\mu_{Ar}}{RT(\mu_{H_2}+\mu_{Ar})}...$$

$$n_{Ar} = \frac{N_A P_{смеси}\mu_{H_2}}{RT(\mu_{H_2}+\mu_{Ar})} = ...$$

Сложение взаимно перпендикулярных гармонических колебаний равных и кратных частот

Рассмотрим колебания точки одновременно по двум взаимно перпендикулярным направлениям.

$$x = A_x\cos(\omega_x t+\alpha_x),\ \ y = A_y\sin(\omega_y t+\alpha_y).$$

Отметим, что при $\alpha_x=\alpha_y$ фазы колебаний сдвинуты на $\pi/2$.

1) Пусть частоты колебаний одинаковые $\omega_x=\omega_y:=\omega$

Обозначим $\alpha_y=\alpha_x+\delta$. Получим уравнение траектории

$$\frac{x}{A_x}=\cos(\omega t+\alpha_x),\ \frac{y}{A_y}=\sin(\omega t+\alpha_x+\delta)=\sin(\omega t+\alpha_x)\cos\delta+\cos(\omega t+\alpha_x)\sin\delta$$

$$\frac{y}{A_y}=\sqrt{1-\left(\frac{x}{A_x}\right)^2}\cos\delta+\frac{x}{A_x}\sin\delta,\ \left(\frac{y}{A_y}-\frac{x}{A_x}\sin\delta\right)^2=\left(1-\left(\frac{x}{A_x}\right)^2\right)\cos^2\delta$$

$$\left(\frac{y}{A_y}\right)^2-2\frac{x}{A_x}\frac{y}{A_y}\sin\delta+\left(\frac{x}{A_x}\right)^2=\cos^2\delta.$$

Это уравнение линии *второго порядка на плоскости.*

Если $\delta=0$ (фазы колебаний сдвинуты на $\Delta\varphi=\frac{\pi}{2}$), то получаем эллипс $\left(\frac{y}{A_y}\right)^2+\left(\frac{x}{A_x}\right)^2=1.$

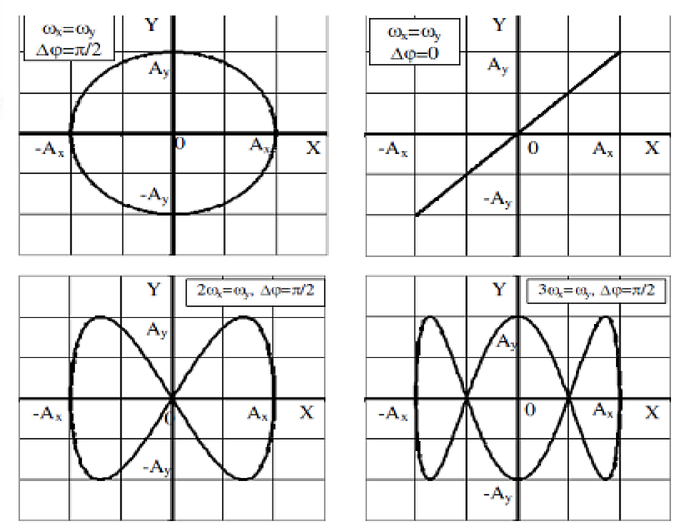
Если $\delta=\pm\frac{\pi}{2}$ (фазы колебаний сдвинуты на $\Delta\varphi=0$ или π), то получаем отрезок прямой.

2) Фигуры для некоторых других соотношений частот и разности фаз показаны на рис.

Соотношение частот колебаний по фигуре можно определить из соотношения

$$\frac{\omega_x}{\omega_y}=\frac{n_y}{n_x},$$

где n – количество пересечений фигуры и прямой, параллельной соответствующей оси. Траектория точки, совершающей одновременно два взаимно перпендикулярных колебания, при рациональном отношении частот колебаний называется фигурой Лиссажу. Условие рационального частот отношения означает, что отношение частот можно записать в виде рационального числа. В этом случае траектория является замкнутой. Если отношение частот не является рациональным числом, то траектории незамкнутая линия.



2) Сторонние силы - силы неэлектростатического происхождения, которые действуют внутри источника тока .

Если в проводнике течет постоянный ток и проводник остается неподвижным, то работа сторонних сил расходуется на его нагревание. Опыт показывает, что в любом проводнике происходит выделение теплоты, равное работе, совершаемой электрическими силами по переносу заряда вдоль проводника. Если на концах участка проводника имеется разность потенциалов $\varphi_1-\varphi_2=U$, тогда работу по переносу заряда q на этом участке равна

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

По определению I= q/t. откуда q= I t. Следовательно

$$A=IUt$$

Так как работа идет па нагревание проводника, то выделяющаяся в проводнике теплота Q равна работе электростатических сил (17.13)

$$Q=A=IUt$$

Соотношение (17.13) выражает закон Джоуля-Ленца в интегральной форме. Введем плотность тепловой мощности ω, равную энергии выделенной за единицу время прохождения тока в каждой единице объема проводника

$$\omega=\frac{Q}{Vt}=\frac{Q}{S\ell t},$$

где S - поперечное сечение проводника, ℓ - его длина. Используя (1.13) и соотношение $R=\rho\frac{d\ell}{dS}$, получим

$$\omega=\frac{I^2R}{Sl}=\frac{I^2\rho}{S^2}$$

Но $I/S=\vec{j}$ - плотность тока, а $\rho=1/\sigma$, тогда

$$\omega=\frac{1}{\sigma}j^2$$

с учетом закона Ома в дифференциальной форме $\vec{j}=\sigma\vec{E}$, окончательно получаем

$$\omega=\sigma E^2\ (17.14)$$

Формула (17.14) выражает закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме: объемная плотность тепловой мощности тока в проводнике равна произведению его удельной электрической проводимости на квадрат напряженности электрического поля.

3. Снаряд, летящий со скоростью **V_0 = 200 м/с**, разорвался на два осколка. Осколок, у которого масса составляет **0,6** массы снаряда, продолжает двигаться в прежнем направлении, но со скоростью **V_1 = 300 м/с**. Найти скорость другого осколка.

По закону сохранения импульса :

$$mV_0=m_1V_1+m_2V_2$$

$$m_2V_2=mV_0-m_1V_1 \Rightarrow V_2=\frac{mV_0-m_1V_1}{m_2}=\left|\begin{matrix}m_1=0,6m\\ m_2=0,4m\end{matrix}\right|=\frac{mV_0-0,6mV_1}{0,4m}=$$

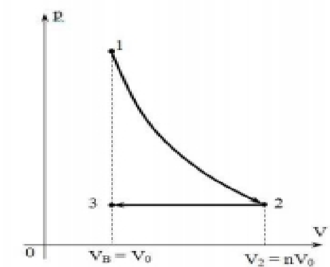
$$=\frac{m}{m}\left(\frac{V_0-0,6V_1}{0,4}\right)=\frac{V_0-0,6V_1}{0,4}$$

4. Азот массой **m = 84 г** адиабатически расширили в **n = 3 раза**, а затем изобарно сжали до начального объема. Определить изменение энтропии газа при его переходе из начального состояния в конечное состояние.

Процессы, в которых участвует газ, изображены на pV-диаграмме

1-2: Адиабатическое расшиение

2-3: Изобарное сжатие



Изменение энтропии в этих процессах

$$\Delta S=\Delta S_{12}+\Delta S_{23}=\int_{(1)}^{(2)}\frac{\delta Q}{T}+\int_{(2)}^{(3)}\frac{\delta Q}{T},\quad (1)$$

При адиабатическом процессе газ теплоизолирован и $\delta Q=0$,

т.е. в данном процессе энтропия не изменяется : $\Delta S_{12}=0$.

При изобарном процессе :

$$\delta Q=\frac{m}{\mu}C_p dT,\qquad (2)$$

Подставим (2) в (1) и получим :

$$\Delta S=\Delta S_{23}=\frac{m}{\mu}C_p\int_{T_2}^{T_3}\frac{dT}{T}=\frac{m}{\mu}C_p\ln\frac{T_3}{T_2},$$

При изобарном процессе :

$$\frac{V_2}{T_2}=\frac{V_3}{T_3},\ \text{поэтому}$$

$$\frac{T_3}{T_2}=\frac{V_3}{V_2}=\frac{V_0}{nV_0}=\frac{1}{n}$$

Молярная теплоёмкость при постоянном давлении

$$C_p=\frac{i+2}{2}R,$$

Для двухатомной молекулы азота $i=5$.

$$\Delta S=\frac{i+2}{2}\frac{m}{\mu}R\ln\frac{1}{n}$$

Билет №20

1)

Первое начало термодинамики: Количество теплоты, переданное системе, идет на изменение внутренней энергии и на совершение этой системой работы над внешними телами.
Физический смысл – это закон сохранения энергии.
Для элементарных количеств

$$\delta Q = dU + \delta A.$$

Так как внутренняя энергия – это однозначная функция состояния, то dU - полный дифференциал. Например, в результате кругового процесса $\Delta U = \oint dU = 0$. Но количество теплоты и работа не являются функциями состояния системы, поэтому вообще говоря $\oint \delta Q = \oint \delta A \neq 0$, следовательно, для них выбирается другое обозначение.
Работа газа против внешних тел

$$\delta A = F \cdot dr \cdot \cos\alpha .$$

С учетом выражения $F = p \cdot S$ и изменения объема $dV = S \cdot dr \cdot \cos\alpha$

$$\delta A = p \cdot S \cdot dr \cdot \cos\alpha = p \cdot dV .$$

При конечных изменениях объема

$$A = \int_{\Delta V} pdV$$

Замечание. Первое начало термодинамики запрещает создание вечных двигателей первого рода - бесконечно совершающих работу без подвода внешней энергии. Действительно, если Q=0, то A= −ΔU. Система совершает работу за счет уменьшения внутренней энергии. В конце концов, вся внутренняя энергия будет исчерпана и двигатель остановится.

2)Магни́тная инду́кция — векторная величина, являющаяся силовой характеристикой магнитного поля (его действия на заряженные частицы) в данной точке пространства. Определяет, с какой силой F магнитное поле действует на заряд q, движущийся со скоростью v .

Закон Био Савара Лапласа

При прохождении постоянного тока по замкнутому контуру, находящемуся в вакууме, для точки, отстоящей на расстоянии r0, от контура магнитная индукция будет иметь вид.

$$\mathrm{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{\gamma} \frac{I[d\mathbf{l}; \mathbf{r} - \mathbf{r}_0]}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_0|^3}$$

Принцип суперпозиции магнитных полей: если магнитное поле создано несколькими проводниками с токами, то вектор магнитной индукции в какой-либо точке этого поля равен векторной сумме магнитных индукций, созданных в этой точке каждым током в отдельности:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^{n} \vec{B}_i$$

Магнитное поле прямолинейного и кругового токов

По принципу суперпозиции полей магнитная индукция в произвольной точке магнитного поля проводника с током равна

$$\vec{B} = \int_L d\vec{B} \qquad (2.3)$$

Где dB – магнитная индукция поля, создаваемого элементом проводника длиной dl.

Интегрирование производится по всей длине проводника L.

3. В баллоне объёмом **V = 40 дм³** находится кислород. Кинетическая энергия всех молекул кислорода в баллоне равна **E = 8 кДж**. Определить давление, которое создаёт этот газ.

Для двухатомного кислорода :

$$\overline{E_к} = \frac{i}{2}kT = \frac{5}{2}kT$$

$$p = nkT \Rightarrow n = \frac{p}{kT}$$

Общее число молекул

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

Кинетическая энергия всех молекул :

$$E = \overline{E_к} \cdot N = \frac{5}{2}kT\frac{pV}{kT} = \frac{5}{2}pV$$

$$\Rightarrow p = \frac{2}{5}\frac{E}{V}$$

$$V = 40\,дм^3 = 40 \cdot 10^{-3}\,м^3$$

4. Лодка массой **m = 120 кг** движется с начальной скоростью **V_0 = 1 м/с**. Считая, что сила сопротивления воды пропорциональна скорости **F = - кV**, где **к = 10 кг/с** - коэффициент сопротивления. Определить скорость лодки через **Δt = 12 с** после начала движения.

$$ma - F_C = 0$$

$$m\frac{dV}{dt} = F_C$$

$$m\frac{dV}{dt} = -kV$$

$$\int_{V_0}^{V} \frac{dV}{V} = \int_0^t -\frac{kdt}{m}$$

$$\ln\left|\frac{V}{V_0}\right| = -\frac{k\Delta t}{m}$$

$$\frac{V}{V_0} = e^{-\frac{k\Delta t}{m}}$$

$$V = V_0 e^{-\frac{k\Delta t}{m}} = \ldots$$

Билет 21.

1) Гармонические колебания, Векторная диаграмма. Сложение гармонич. колебаний одного напр. равн. частот

- Гармонич. колебания – колебан. при которых физич. велич. изм. с течением времени по синусоидальному или косинусоидальному закону.

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

$x(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$ – фаза

смещ. амплитуд. цикл. частота

Делятся на 2 вида:
свободные (под действ. внутр. сил)
вынужденные (под действ. вынужд. внеш. сил)

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$$ – диф. форма

- Векторная диаграмма – графич. изобр. мен. по закону синуса и косинуса величин и соотношений между ними с помощью направлен. отрезков.
- Когда тело участвует в нескольких колеб. процессах тогда колебания нужно сложить.

$$\begin{cases} x_1 = A_1\cos(\omega_0 t + \varphi_1) \\ x_2 = A_2\cos(\omega_0 t + \varphi_2) \end{cases}$$

рез. колеб $x = x_1 + x_2 = A\cos(\omega_0 t + \varphi)$

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1) \qquad tg\,\varphi = \frac{A_1\sin\varphi_1 + A_2\sin\varphi_2}{A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2}$$

Периодические изменения амплитуды колебаний, возник. при слож. двух гарм колебан. с близкими частотами, называется биением.

$$\begin{cases} x_1 = A\cos\omega t \\ x_2 = A\cos(\omega + \Delta\omega)t \end{cases} \qquad \Delta\omega << \omega$$

$$x = \left(2A\cos\frac{\Delta\omega}{2}t\right)\cos\omega t$$

$$A_б = \left|2A\cos\frac{\Delta\omega}{2}t\right| \qquad \omega_б = \Delta\omega$$

$$T_б = 2\pi/\Delta\omega$$

разложение Фурье $S = f(x) = \frac{A_0}{2} + A_1\cos(\omega_0 t + \varphi_1) + \ldots + A_n\cos(\omega_0 t + \varphi_n)$.

2) Вектор напряж. магн. поля. Теорема о циркуляции вектора напряженности магнитного поля в интегральной и дифференц. форме.

- Напряж. магн. поля – вект. физич. величина равная разности вектора магнитной индукции B и вектора намагниченности $\left[\frac{A}{м}\right]$

$$H = \frac{1}{\mu_0}B - M$$

μ_0 – магнитн. постоянная $1{,}25 \cdot 10^{-6}\ \frac{Н}{А^2}$

в вакуме вектор B и H совпадают.

- Теорема о циркуляции вектора напряж. маг. поля в интегр. форме и дифференц.

Th Циркуляция магнитного поля постоянных токов по всякому замкнутому контуру пропорциональна сумме сил токов, пронизывающих контур циркуляции.

$$\oint_l \bar{B}\cdot d\bar{l} = \mu_0 \sum_i I_i$$ – интегр. форм.

$$\mathrm{rot}\,\bar{B} \quad |\nabla, \bar{B}| = \mu_0 \bar{j}$$ – диф форма.

плотность тока $\bar{j} = \frac{I}{S}$

оператор $\nabla = \bar{i}\frac{\partial}{\partial x} + \bar{j}\frac{\partial}{\partial y} + \bar{k}\frac{\partial}{\partial z}$

4. При адиабатическом расширении кислорода с начальной температурой $T_1 = 300К$ внутренняя энергия уменьшилась на $\Delta U = -10$ кДж, а его объем увеличился в 12 раз. Определить массу m кислорода.

$$\Delta U = \frac{i}{2}\nu R\Delta T = \frac{5}{2}\nu R\Delta T$$

$$T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1} \Rightarrow \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = 12 = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{1-\gamma} \Rightarrow T_2 = \frac{T_1}{12^{\gamma-1}}$$

$$\gamma = \frac{i+2}{i} = \frac{7}{5}$$

$$T_2 = \frac{T_1}{12^{\frac{2}{5}}}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{T_1}{12^{\frac{2}{5}}} - T_1 = T_1\left(\frac{1}{12^{\frac{2}{5}}} - 1\right)$$

$$\Delta U = \frac{5}{2}\nu RT_1\left(\frac{1}{12^{\frac{2}{5}}} - 1\right)$$

$$\nu = \frac{2}{5}\frac{\Delta U}{RT_1\left(\frac{1}{12^{\frac{2}{5}}} - 1\right)}$$

$$m = \frac{2}{5}\frac{M\Delta U}{RT_1\left(\frac{1}{12^{\frac{2}{5}}} - 1\right)}$$

3. Диск радиусом $R = 60$ см вращается вокруг вертикальной оси. На краю диска лежит кубик. Найти частоту n вращения диска, при которой кубик соскользнёт с диска. Коэффициент трения $\mu = 0{,}2$.

$$T = \frac{2\pi R}{\upsilon}$$

$$F = \frac{m\upsilon^2}{R}$$

$$F_{Тр} = \mu N = \mu mg$$

$$\frac{m\upsilon^2}{R} = \mu mg$$

$$\upsilon = \sqrt{R\mu g}$$

$$T = \frac{2\pi R}{\sqrt{R\mu g}}$$

$$n = \frac{1}{T} = \frac{\sqrt{R\mu g}}{2\pi R} = \ldots$$

Билет 22 | №1

Осн. ур. МКТ ид. газа: $p = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2$ (давление газа – результат ударов его молекул о стенки сосуда) Альт. ф. з.: $p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k = nkT$

Вывод: Пусть N частиц массой m_0 в необ. куб. сосуде. Т.к. молекулы дв-я хаотич., то события, состоящ. в движ. в одном из 6 напр. пр-ва, совп. с осями дек. с-мы коорд, равновероятны. Поэтому, в каждом направлении дв-ся $\frac{1}{6} N$ частиц. Пусть все частицы обладают одинак. скор. $\bar{v}$. Каждая частица сталк. со стенкой, передавая ей импульс $\Delta P = 2 m_0 v$. Если площадь стенки S, а конц. n, то кол-во частиц, сталк. со стенкой за время Δt равно $N = \frac{1}{6} n S \Delta t v$.

Т.к. $p = \frac{F}{S}$, а $= \frac{\Delta P}{\Delta t} N$ – суммарная сила взаим. частиц со стенкой, то подставив соотв. знач. имеем: $p = \frac{1}{3} m_0 v^2 n$, т.к. $\bar{E}_k = \frac{1}{2} m v^2$, то $p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k$

№2

Намагниченность – в ф. в., характер. магн. состояние макроскоп. физич. тела. Опред. как магнитн. мом. ед. объема в-ва. $M = \frac{m}{V} [\frac{A}{м}]$, m – в-р магн. мом.

Напряженность маг. поля – в. ф. в., равная разности в-ра маг. индукции B и в-ра намагниченности M $H = \frac{1}{\mu_0} B - M$, где μ_0 – маг. постоянная $[\frac{A}{м}]$

Маг. прониц. – ф. велич., коэф., характ. связь между маг инд. B и напряжен. маг. поля H в в-ве. Для разных сред этот коэф. различен μ. $\bar{B} = \mu \bar{H}$

$\mu = 1 + \chi$, где χ – маг. восприимчивость.

Маг. воспр. – ф. в, хар. связь между магнит. мом M в-ва и маг. поля H

$\chi = \frac{I}{H}$

№3

Дано

$m = 8г$

$V = 200$ м/с

$u = 100$ м/с

Q – ?

$\frac{m V_{об}^2}{2} = Q \Rightarrow \boxed{Q} = \frac{8 \cdot 10^{-3} \cdot (300)^2}{2} = \boxed{360 Дж.}$

№4

Дано

$T = const$

$P_0 = 1 атм$

$R = 6400 км$

m_A – ?

$\boxed{P_0} = \frac{F_{давл}}{4\pi R^2} = \frac{m_A g}{4\pi R^2} \Rightarrow m_A = \frac{4\pi R^2 P_0}{g} = 5244.2 \cdot 10^{9}$

$\boxed{= 5,2442 \cdot 10^{?} кг}$

Билет 23.

1) Связь между потенциальной энергией и силой. Потенциальная энергия тяготения и упругих деформаций.-?

• Пространство, в котором действуют консервативные силы, называется потенциальным полем. Каждой точке потенциального поля соотв. значение силы $\bar{F}$, действующей на тело, и некоторое значение потенциальной энергии $E_П$. Значит между F и $E_П$ должна быть связь, $dA = \bar{F}d\bar{r}$, с другой стороны $dA = -dE_П$

$\Rightarrow \bar{F}d\bar{r} = -dE_П$, отсюда $F = -\frac{dE_П}{d\bar{r}}$

Проекции вектора силы на оси координат:

$$F_x = -\frac{\partial E_П}{\partial x};\ F_y = -\frac{\partial E_П}{\partial y};\ F_z = -\frac{\partial E_П}{\partial z}$$

Вектор силы запишем через проекции

$$\bar{F} = -\underbrace{\left(\frac{\partial E_П}{\partial x}i + \frac{\partial E_П}{\partial y}j + \frac{\partial E_П}{\partial z}k\right)}_{grad} \qquad F = -grad\, E_П$$

$\Rightarrow$ вектор $\bar{F}$ направлен в сторону наибыстрейшего уменьшения $E_П$

• Потенциальная энергия, связанная с положением взаимодействующих тел или частей.

Потенц. энергию силы тяжести определ. по работе $A = FS = mgh$. Потенц. энергия тела над землей пропорциональна его массе ~~или весу~~ и высоте над поверхностью. За $h=0$ можно взять любую высоту. $\Rightarrow$ потенц. энергию можно узнать только относит. некоторого уровня.

Потенц. энерг. ~~дефор~~ упр. пружины равна

$F_у = -kx \qquad E_П = A = -F_{ср}X = -\frac{kx^2}{2}$

упругости

2) Носители тока в средах. Сила и плотность тока. Электрическое поле в проводнике с током. Закон Ома в дифференц. форме.

• Металлы состоят из полож. зар. ионов наход. в узлах кристал. решетки и свободных электронах. Они движутся хаотично как идеальный газ. поэтому рассматриваем как электронный газ.

Электр. ток в металлах - это упорядочное движение электронов.

$I = \bar{e}\, n_0\, \bar{v}\, S$ - площадь сечения; n_0 - концентр. электр. провод.; $\bar{v}$ - средн. скор.

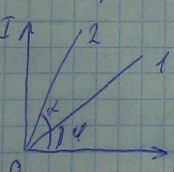
$j = e n_0 \bar{v}$ - плотность тока

$n_0 = \frac{N_A}{A}\rho$ - ρ металла; A - атомная масса.

ОМА для однор уч. цепи.

$I = \frac{U}{R} \qquad R = \frac{\rho l}{S}$ (ρ - уд. сопр.) $\qquad \rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta T)$ (α - терм. коэф. сопр.)

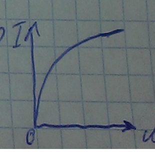
Вольт-Амперная характер. (резисторы)



$tg\alpha = G$ - обратная вел. R проводимость.

$G = \frac{1}{R}$

(проводн)



Электр. ток в расплавах и растворах электролитов.

Явление распада молекул солей, щелочей и кислот в воде на ионы противопол. знаков наз. электрол. диссоциацией $\Rightarrow$ ток в расплавах растворах электролита - это направленное движение ионов обоих знаков. Прох. эл. тока через электролит сопровожд. выделением его веществ на электродах (электролиз). Из-за наличия воды и других ионов появляется сопротивление.

$R = \frac{\rho l}{S}$ Законы Фарадея.

1. Масса вещ-ва выдел. на электроде пропорционал. эл. заряду проходящему через электролит $m = kq$ (k - электрохим.)

2. Эл. хим. эквив. прямо пропорц. его эквивалент. хим. эквив.

$k = \frac{M}{Fz}$ (F - пост. Фарадея; z - валентность иона) $\qquad F = N_A\bar{e}$

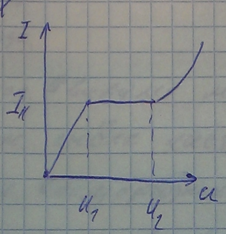
Объед. закон

$$m = \frac{M}{Fz}q = \frac{M}{N_A e z}q$$

Эл. ток. в газах.

При н.у. газы сост. из молекул., являются диэлектр. Молекулы газа стоит ионизировать. в результате передачи энергии (энергия ионизации) возраст. теплов. движ. молекул. в результате соударений молекул образуются ионы и свободн. электроны => Эл. ток. в газах упорядочное движ. ионов и электронов под действием эл. поля.

ВАХ



$I_н$ – ток насыщения.

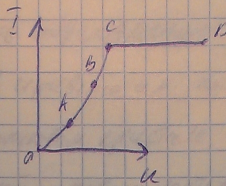
Прохождение эл. тока, без возд. ионизатора называют самостоятельным разрядом.

Эл. ток в вакуме.

В вакуме нет зар. частиц => диэлектрик. При нагревании метал теряет свои свободные электроны. Для того чтобы метал начал испускать электроны нужно затр. энергию $A_{вых} \leq \frac{mv^2}{2}$

Испускание электронов из металлов при его нагревании называют термоэлектронной эмиссией

ВАХ



Нелин. BCD объясн. тем что число электронов, устрем. к аноду станет больше числа электронов вылет. с катода.

Эл. ток. в вакуме может быть создан упоряд. движ. любых частиц (электронов, ионов)

Эл. ток в полупроводниках.

Полупроводники – вещ. ва удельное сопр. которых убывает с увеличением темпер. и зав. от налич. примесей и измен. освещ. В этих кристалах атомы соед. ковалент. связью. При нагрев. она разрушается и атомы ионизируются это объясн. появление свободных электронов и „дырок" – вакантных полож. мест с недостатком электронов. При этом электроны соседних атомов могут занимать вакантн. места образуя при этом эл. ток.

Проводимость обусловленную движением свобод. электронов и равного им кол-ва „дырок" в полупроводниковом кристале без примесей наз. собственной проводимостью.

Примеси бывают донорные, акцепторные.

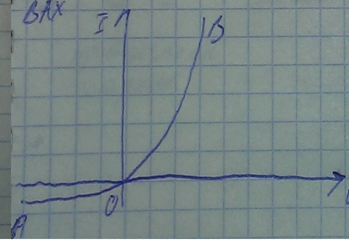
Донорная примесь – примесь с большей валентностью.

Проводимость такого типа является электронной (полупроводник n типа) основ. носит. заряда явл. электроны.

Акцепторная примесь – примесь с меньшей валентностью.

Проводимость такого типа явл. дырочной (полупроводник p типа) осн. нос. зар. яв дырки.

ВАХ



AO – эл. ток созд. неоснов. носит.

OB – эл. ток созд. основ. носит.

• Сила и плотность тока.

Эл. ток имеет скалярную – силу тока, и векторную – плотность тока характеристики.

Сила тока – это физ. величина равная отношению кол-ва заряда, прош. через попер. сечение проводника к величине промеж. времени его прохождения. $\bar{I} = \frac{q}{t}$

Плотность тока – это вектор, абсолютная величина которого равна отношению силы тока, протекающему через некоторое сечение проводника к площади этого сечения а направление совпадает с направлением движения пол. зарядов образ. ток.

$\bar{j} = \sigma \bar{E}$ – Закон ома в диф. форме

σ – проводимость среды.

3. С какой скоростью **V** движется частица, если ее полная энергия **в два раза** больше энергии покоя?

$$\begin{cases} E = \dfrac{mc^2}{\sqrt{1-\dfrac{\upsilon^2}{c^2}}} - \text{полная энергия} \\ E_0 = mc^2 - \text{энергия покоя} \\ E = 2E_0 \end{cases}$$

$$2mc^2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\dfrac{\upsilon^2}{c^2}}}$$

$$\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}} = \frac{1}{2} \Rightarrow 1-\frac{\upsilon^2}{c^2} = \frac{1}{4} \Rightarrow \frac{\upsilon^2}{c^2} = 1-\frac{1}{4} \Rightarrow \frac{\upsilon^2}{c^2} = \frac{3}{4} \Rightarrow \upsilon^2 = \frac{3}{4}c^2$$

$$\upsilon = \frac{c\sqrt{3}}{2}$$

4. Объем моля идеального газа с показателем адиабаты γ изменяют по закону **V = a/T**, где **a**- постоянная. Найти количество тепла, полученное газом в этом процессе, если его температура изменилась на **ΔT**.

Элементарная работа, совершенная газом

$$dA = pdV = \frac{\nu RT^2}{a}\left(-\frac{a}{T^2}\right)dT = -\nu RdT.$$

Тогда $A = -\int_T^{T+\Delta T} \nu RdT = -\nu R\Delta T.$

По первому закону термодинамики

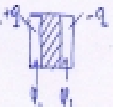
$$Q = \Delta U + A = \nu C_V \Delta T - \nu R\Delta T = \frac{\nu R}{\gamma-1}\Delta T - \nu R\Delta T = \nu R\Delta T\,\frac{2-\gamma}{\gamma-1}$$

ν =1(по условию задачи)

Билет 24 | №1

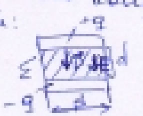
Консерв. силы. Раб. в потен. поле. Если каждой (·) пр-ва на помещ. туда частицу действ. сила, то частица нах. в поле сил. Поле, остающ. пост. во врем., наз стационар. Стац. поле в 1 СО м.б. нестац. в др СО. В стац. сил. поле сила действ. на частицу завис только от ее полож. Стац. сил. поле в кот. работа соверш. над частицей силами поля, не завис. от пути между 1 и 2 — силы наз консервативными. Работа консерв. сил = потенц. энергии ч-цы в данном поле

№2

Устройство облад большой емкостью при малых размерах и относит. малых потенц. наз. конденсатор.  Электроемкость: $C = \frac{q}{U} = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}$ $[Ф]$ $Ф = \frac{Кл}{В}$ —

— способность конденсатора накапливать заряд.

Плоский:

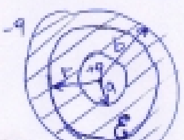


$D = \varepsilon\varepsilon_0 E$ $C = \frac{q}{U} = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}$ $U = E \cdot d = \frac{\sigma \cdot d}{\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{qd}{\varepsilon\varepsilon_0 S}$

$\sigma = \frac{q}{S}$ $\oint \vec{D} d\vec{S} = q$ $D \cancel{dS} = \sigma \cancel{dS}$ $D = \sigma = \varepsilon\varepsilon_0 E$

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

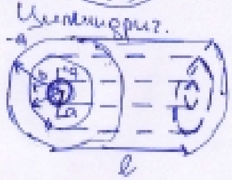
Сферический:



$C = \frac{q}{U}$ $U = \int_a^b E_r dr = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\int_R \frac{dr}{r^2} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(-\frac{1}{r}\right)\Big|_a^b = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{b-a}{ab}$

$E_r = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2} \Leftarrow \begin{cases} \text{т. Гаусса } \oint \vec{E} d\vec{S} = \frac{q}{\varepsilon_0} \\ E_r 4\pi r^2 = \frac{q}{\varepsilon_0} \\ E_r = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2} \end{cases}$ $\boxed{C = \frac{4\pi\varepsilon_0 ab}{a+b}}$

Цилиндрич.



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

$\oint \vec{D} d\vec{S} = D_r \cdot 2\pi r l = q$ $E_r = \frac{D_r}{\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0 2\pi l r}$

$U = \int_a^b E_r dr = \frac{q}{2\pi l\varepsilon\varepsilon_0}\int_a^b \frac{dr}{r} = \frac{q}{2\pi l\varepsilon\varepsilon_0}\ln\frac{b}{a}$ $\boxed{C = \frac{2\pi l\varepsilon\varepsilon_0}{\ln b/a}}$

Энергия заряж конд: $W = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C}$

(*) $w = \frac{W}{V} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{ED}{2}$, где $V = Sd$; $D = \varepsilon_0\varepsilon E$ $U = Ed$

(*) плотность энергии эл/ст поля.

№3

Дано

$c = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}}$

н.у.

$\mu = 29 \cdot 10^{-3}$

изотерм

$c - ?$

$c = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}} = \sqrt{\frac{d\rho \cdot \frac{RT}{\mu}}{d\rho}} = \sqrt{\frac{RT}{\mu}} = 279{,}7\ \frac{м}{с}$

№4

$\nu = 2$ моль

$V_1 = 1.5 V_2$

$T_1 = 310$ К

$T_2 = 620$ К

$\Delta S - ?$

$\boxed{\Delta S} = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$ $\delta Q = dU + \delta A$ $dU = \frac{i}{2}\nu R dT = \frac{3}{2}\nu R dT$

$\delta A = p dV = \nu R T \frac{dV}{V}$

$\Delta S = \int_1^2 \frac{dU + \delta A}{T} = \int_1^2 \frac{dU + p dV}{T} = \int_1^2 \frac{\frac{3}{2}\nu R dT + p dV}{T} =$

$= \int_{T_1}^{T_2} \frac{3\nu R dT}{2T} + \int_{V_1}^{V_2} \frac{\nu R T dV}{V} = \frac{3}{2}\nu R \ln\frac{T_2}{T_1} + \nu R \ln\frac{V_2}{V_1} = \boxed{-4.66\ \frac{Дж}{К}}$

Билет 25

① Работа и кинетическая энергия.
Кин. энергия твердого тела при его вращ. движении.

• Работа – это физ. величина, явл. скалярной количес. мерой действия силы или сил на тело или систему, завися щ. от величины силы, направления силы (сил) и от перемещения

$$A = \int \bar{F} \cdot d\bar{S} = \bar{F} S \cos(F,S)$$

физ. смысл $\boxed{A = E_{k2} - E_{k1}}$ ⊖

Кинетическая энергия – энергия мех системы, завис. от скоростей движен. её точек в выбран. системе отсчёта.

Вывод: $m\bar{a} = \bar{F} \;|\cdot d\bar{s} = \bar{v}dt$ учит. что $\bar{a} = \frac{d\bar{v}}{dt}$

$d\left(\frac{mv^2}{2}\right) = F d\bar{s}$ $\quad E_k = \frac{mv^2}{2}$ – кин. энергия частицы

• Кинетическая энергия абсолютного тв. тела выглядит в виде суммы кин энергии поступат. и вращательного движения

$$E_k = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}$$

J – момент инерции тела.

⊖ Работа всех сил при перемещ. частицы идёт на приращение кин. энергии частицы

3. У физического маятника массой **m = 4 кг** и периодом колебаний **T = 3 с** расстояние от точки подвеса до центра масс равно **d = 0,5 м**. Определить момент инерции маятника относительно его центра масс.

$$J_0 = J_C + md^2,$$

где J_0 – момент инерции относительно точки подвеса

J_C – момент инерции относительно центра масс

$$J_0 = \frac{H_0}{l}$$

$$H_0 = -mgd\sin\alpha$$

$$J_0\left(\frac{d^2\alpha}{dt^2}\right) + mgd\sin\alpha = 0$$

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{mgd}{J_0}\sin\alpha = 0$$

$$\Rightarrow \frac{mgd}{J_0} = \omega^2 \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{mgd}{J_0}}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow J_0 = \frac{mgdT^2}{4\pi^2}$$

$$J_C = J_0 - md^2 = \frac{mgdT^2}{4\pi^2} - md^2 = \ldots$$

4. Определить скорость распространения звука в газе, если средняя квадратичная скорость молекул двухатомного идеального газа в условиях опыта равна **$V_{кв}$ = 520 м/с**. Скорость звука определяется по формуле **c = $\sqrt{dP/d\rho}$**. Считать, что газ в волне сжимается адиабатически.

Способ 1

Уравнение адиабаты:

$$\gamma PdV + VdP = 0, \text{ где } \gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

Введём плотность $\rho \sim \frac{1}{V}$, тогда уравнение примет вид:

$$\gamma P d\rho - \rho dP = 0$$

$$\frac{dP}{d\rho} = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_{АД} = \gamma\frac{P}{\rho} = \gamma\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_T$$

$$PV = \frac{m}{\mu}RT,\ \rho = \frac{m}{V},\ P = \frac{\rho}{\mu}RT \Rightarrow \frac{P}{\rho} = \frac{RT}{\mu}$$

$$c = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}} = \sqrt{\gamma\frac{P}{\rho}} = \sqrt{\gamma\frac{RT}{\mu}},$$

где $\gamma = \frac{7}{5} = 1{,}4$ – показатель адиабаты для двухатомного газа

$$\upsilon_{кв} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \Rightarrow \mu = \frac{3RT}{\upsilon_{кв}^2}$$

$$\Rightarrow c = \sqrt{\gamma\frac{RT\cdot\upsilon_{кв}^2}{3RT}} = \sqrt{\frac{1}{3}\gamma\upsilon_{кв}^2} = \ldots$$

Способ 2

Скорость звуковых колебаний в газе $c = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$.

Плотность газа $\rho = \frac{m}{V} = \frac{const}{V}$.

Звуковые колебания в газе можно считать адиабатическим процессом, для которого

$pV^{\gamma} = const$, откуда $\frac{p}{\rho^{\gamma}} = const$.

Следовательно, $d\left(\frac{p}{\rho^{\gamma}}\right) = \frac{dp}{\rho^{\gamma}} - \gamma\frac{p}{\rho^{\gamma+1}}d\rho = 0$.

Тогда $\frac{dp}{d\rho} = \gamma\frac{p}{\rho}$ и $c = \sqrt{\gamma\frac{p}{\rho}}$.

Для идеального газа из уравнения Менделеева-Клапейрона

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p\mu}{RT},\ \frac{p}{\rho} = \frac{RT}{\mu}$$

$$c = \sqrt{\gamma\frac{RT}{\mu}},$$

где $\gamma = \frac{7}{5} = 1{,}4$ – показатель адиабаты для двухатомного газа

$$\upsilon_{кв} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \Rightarrow \mu = \frac{3RT}{\upsilon_{кв}^2}$$

$$\Rightarrow c = \sqrt{\gamma\frac{RT\cdot\upsilon_{кв}^2}{3RT}} = \sqrt{\frac{1}{3}\gamma\upsilon_{кв}^2} = \ldots$$

где σ – поверхностная плотность зарядов на dS
из равенства правых частей следует, что

$D_n = \sigma$, тогда $\quad E_n = \frac{D_n}{\varepsilon_0\varepsilon} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon}$

Напряженность поля вблизи поверх. зар. проводника прямо пропорциональна пов. плотности зарядов.

• Электроёмкость – это физическая величина характеризующая способность проводника или системы проводников накапливать электрические заряды. [Ф]

Сообщенный проводнику заряд q распред. по его поверхности так, что напряженность поля внутри него равна 0. Если проводнику сообщить такой же заряд q то он распред. по поверхности => потенциал проводника пропорционален наход. на нем заряду

$q = C\varphi$ где C – электроёмкость

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

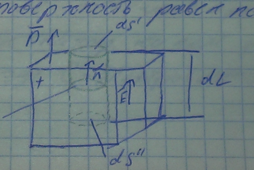
② Поле вблизи поверхности проводника. Электроёмкость проводников. Энергия системы неподвижных зарядов. Энергия заряженного проводника.

• Выделим на поверхности S проводника площад. dS и построим на ней цилиндр с образующими, перпендикулярными к площадке dS, высотой dl

$dS' = dS'' = dS$ на поверхности проводника вектор напряженности поля $\bar{E}$ и вектор электрического смещения $\bar{D} = \varepsilon\varepsilon_0\bar{E}$ перпендик. поверхности. Поэтому поток $\bar{D}$ сквозь боковую поверхность равен нулю. Поток вектора электрического смещения Φ_D через dS'' тоже равен нулю, так как $\bar{D} = 0$ лежит внутри проводника, где $d\Phi_D$ и, следовательно dS''. Отсюда следует что поток $d\Phi_D = D_n dS$ сквозь замкнутую поверхность равен потоку $\bar{D}$ через dS''

С другой стороны по теореме Остроградского-Гаусса

$d\Phi_D = dq = \sigma dS$



• Потенциальная энергия системы двух неподвижных точ. зарядов Q_1 и Q_2 на рас r друг от друга. Каждый из них обладает потенц. энергией в поле другого. $W_1 = Q_1\varphi_{12}$ $\quad W_1 = Q_1\varphi_{12}$

$$\varphi_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_2}{r} \qquad \varphi_{21} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1}{r}$$

$$W_1 = W_2 = W$$

$$W = Q_1\varphi_{12} = Q_2\varphi_{21} = \frac{1}{2}(Q_1\varphi_{12} + Q_2\varphi_{21})$$

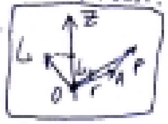
$$W = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} Q_i\varphi_i$$

• Энергия заряженного проводника – поверхность проводника является эквипотенциальной. Потому что потенциалы тех точек в которых наход. точечные заряды Δq одинаковы и равны φ проводн.

$$W_p = \frac{q\varphi}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{C\varphi^2}{2}$$

Билет 26 | №1

З-н сохр. момента имп. мех с-мы отн. неподвиж. оси: Возьмем произв неподвиж ось z. Пусть относит. некот (·) O на оси z момент имп. частицы A = L, а момент силы дейст. на частицу N. Момент имп. отн. оси z наз проекц. на эту ось в-ра L, опред относ произв (·) O. Аналогичн. ввод. понят. мом. силы отн. оси. L_z и M_z не завис. от выб (·) O на оси z



$$\boxed{\frac{dL_z}{dt} = M_z}$$

Произв. по врем от мом. имп. относ оси z = = мом. сил. относ оси. Если $M_z = 0$, то L_z = = const, т.е. если мом. сил. отн. некот. неподвиж оси z = 0, то мом. имп. ч-цы станов. пост. При этом в-р L может изм. Это доказывает з-н. сохр. мом. имп: мом имп. замкнут. с-мы частиц ост. пост, т.е. не меняется со временем, з-н. справедлив для мом имп. взят относ ∀(·) ИСО.

№2

При переходе через границу раздела двух диэлектр. сред, тангенциальная составляющая в-ра $E(E_\tau)$ и нормальная составляющая в-ра $D(D_n)$ изменяются непрерывно, а нормальная составляющая в-ра $E(E_n)$ и тангенциальная составл. в-ра $D(D_\tau)$ претерпевают скачок.

№3

Дано:

$t = 30°C \Rightarrow T = 303 K$

$V_{вер}$ - ?

$\langle\varepsilon_0\rangle$ - ?

$E_{полн}$ - ?

газ: кислород

$$\frac{m}{k} = \frac{\mu}{R}$$

$$V_{вер} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} = 396.7 \frac{м}{с}$$

$$\langle\varepsilon_0\rangle = \frac{m_0 \langle V_{кв}\rangle^2}{2} = \frac{5}{2} kT = 1{,}0605 \cdot 10^{-20} Дж$$

$$E_{полн} = \frac{7}{2} kT = 1.4847 \cdot 10^{-20} Дж.$$

№4

$m = 8.2 г$

$t_1 = 17°C$

$t_2 = 97°C$

$T_1 = 290K$

$T_2 = 370K$

$\mu = 4$

ΔS - ?

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} \int_{T_1}^{T_2} C_p \frac{dT}{T} = \frac{m}{\mu} C_p \ln\frac{T_2}{T_1} =$$

$$= \langle C_p = 5.29 \rangle = 2.64 \frac{Дж}{К}$$

Билет №27

① Неравенство Клаузиуса. Термодинам энтропия. 3-е начало ТД.

• Нерав. Клаузиуса – Кол-во теплоты, получ. системой при любом круговом процессе, делённое на абсолютную температуру, при которой оно было получено не положительно $\sum_{i=1}^{N} \frac{Q_i}{T_i} \le 0$. в квазистатист. процес. или $\oint \frac{\delta Q}{T} \le 0$

(идеализ. процесс состоящ. из непрерывно след. друг за другом состояний равновесия)

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{Q_i}{T_i} \le 0$$

• Термодинам. энтропия – функция состояния термодинам. системы. $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$ Мера беспорядка.

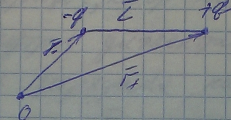
$S = k \ln \Omega$ ст. прав. больцмана. стат. вес состоян.

• При раздетии энтропии при абсолютном нуле температуры стремится к конечному пределу, независимому от того, в каком равновесном состоянии наход. система. $\lim_{T \to 0K} \left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)_T = 0$ где x – любой термодин. характ.

Следствие – нельзя достич абсолютного 0. – при $T \to 0$ должны стрем теплоемк. при $V = const$ и $P = const$.

② Электрический Диполь в электростат. поле. Поляризация диэлектриков. Электростатич. поле в диэлектриках.

• Электрический Диполь – совокупность двух равных по абсолютной величине разноименных точечных зарядов, находящ. на некотором расстоянии друг от друга.



$\bar{d} = q\bar{l}$ – дипольный момент.

Вектор электр. поляриз. – это в. ф. в. равная дипольному моменту единицы объема в-ва возник. при его поляризации (смещ. зар. или поворот эл диполей под возд. эл. поля.

• Поляризац. диэлектриков. – явление связ. с ограничен. смещ. зарядов в диэлектрике или поворотом диполей под воздействием внешнего эл. поля. (быв. неполярн. полярн. ионные)

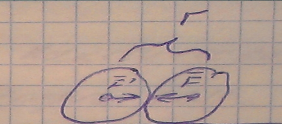
Поляризация – состояние диэлектрика которое характериз. наличием электр. дипольного момента у любого элемента его объема.

• Электро стат. поле в диэлектрике.

Вследствии поляризации на поверхности диэлектрика появляются нескомпенсированные заряды, котор. назыв. связанными. Поле $\bar{E}$ внутри диэлектрика, создаваем. связанными зарядами, направлено против внешнего поля $\bar{E}_0$ создаваемого сторонними зарядами

$\varepsilon = 1 + \chi = \frac{E_0}{E}$ – диэлектрич. проница. среды.

③ Дано
$\rho = 7,8\ г/см^3$
$d = 9\ см$
$F - ?$



$r = d$

$R = \frac{d}{2}$

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

$V = \frac{4}{3}\pi R^3$ $m = V \cdot \rho$

$$F = G\frac{\left(\frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3 \cdot \rho\right)^2}{d^2}$$

④ Дано:
$\nu = 5 \ldots$
$V_2 = 4V_1$ $\nu = 3$ молей
$P_1 = 3P_2$
$\Delta S - ?$

$$\Delta S = \int_{V_1 T_1}^{V_2 T_2} dS(V, T) = \int_{T_1}^{T_2} \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_{V_1} dT + \int_{V_1}^{V_2} \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_{T = T_2} dV =$$

$$= \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_V\, dT}{T} + \int_{V_1}^{V_2} \frac{R}{V - b}\, dV = C_V \ln\frac{T_2}{T_1} + R \ln\frac{V_2 - b}{V_1 - b}$$

Билет 28 | №1

Центр масс – геом. (·) тела, характеризующая движение тела или с-мы как целого. Положение ц.м. хар радиус-в-р: $\bar r_c = \frac{\sum m_i \bar r_i}{\sum m_i}$ M

$M\bar V_c = \sum_{i=1}^{N} m_i \bar v_i = \sum_{i=1}^{N} \bar P_i = \bar P_\Sigma$ $\quad \frac{d\bar P_\Sigma}{dt} = \boxed{M\frac{d\bar V_c}{dt} = \sum_{i=1}^{N} \bar F_{i\,внеш}}$

$\boxed{\frac{d\bar P_\Sigma}{dt} = \sum_{i=1}^{N} \bar F_{i\,внеш}}$ Вывод:

$$\frac{d\bar P_1}{dt} = \dot{\bar P}_1 = \bar F_{12} + \bar F_{13} + \dots + \bar F_{1N} + \bar F_1$$
$$\dot{\bar P}_2 = \bar F_{21} + \bar F_{23} + \dots + \bar F_{2N} + \bar F_2$$
$$\dots$$
$$\dot{\bar P}_N = \bar F_{N1} + \bar F_{N2} + \dots + \bar F_{NN-1} + \bar F_N$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{N} \frac{d\bar P_i}{dt} = \sum_{i=1}^{N} \bar F_{i\,внеш} \\ \bar P_\Sigma = \sum_{i=1}^{N} \bar P_i \end{cases} \quad =0$$

№2

Поток вектора напряженности эл. поле через пов-ть dS наз-ся скалярное произведение в-ров: $\bar E$ и $d\bar S$. $d\Phi_E = (\bar E \cdot d\bar S) = E \cdot dS \cdot \cos\alpha = E_n dS$

$|\bar E|$ = числу силовых линий, перес $\Delta S_{экв\perp}$ ($N = |\bar E| \cdot dS_{экв\perp} = |\bar E| dS \cos\alpha = \bar E d\bar S$; $dS_{экв\perp} = dS\cos\alpha$)

Th Гаусса: Поток в-ра напряженности эл. поле сквозь замкнутую пов-ть равен алгебр. сумме зарядов, нах-ся в объеме, огранич. данной пов-ю, и делен. на ε_0.

$\boxed{\oint \bar E d\bar S = (\sum_i q_i)/\varepsilon_0}$ – инт. $\quad \boxed{\underset{\bar\nabla}{\operatorname{div}} \bar E = \frac{\rho}{\varepsilon_0}}$ – диф.

Поток в-ра напряж. эл. поле через любую замкнут. пов-ть пропорц. заключенному внутри этой пов-ти электр. заряду: $\Phi_E = 4\pi Q = \frac{Q}{\varepsilon_0}$

Ур-е Пуассона $\boxed{\bar E = -\bar\nabla\varphi}$ $\bar E\,[\frac{Н}{Кл}]$, $\varphi\,[В]$ $\quad \begin{cases} \bar E = -\bar\nabla\varphi \\ \bar\nabla\bar E = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \end{cases}$

$\bar\nabla\bar\nabla\varphi = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$ $\quad \bar\nabla\bar\nabla = \underset{\text{опрр. Лапласа}}{\Delta} = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}$

№3

Дано
$m = 600$ кг
$r = 9 \cdot 10^3$ км
$R = 6.4 \cdot 10^3$ км
$E_{п\infty} = 0$

$E_п - ?$

$E_п = \int dA = \int G\frac{Mm}{x^2}dx = GMm\int_r^\infty \frac{dx}{x^2} = G\frac{Mm}{r} = \begin{cases} mg = G\frac{Mm}{R^2} \\ GMm = mgR^2 \end{cases} =$

$= \frac{mgR^2}{r} = 600 \cdot 9{,}8 \cdot \frac{4{,}096 \cdot 10^{14}}{9 \cdot \cancel{10^6}} = 2{,}676 \cdot 10^7$ Дж.

№4

Дано
$\nu = 5$ моль
$\Delta S = 24$ Дж/К

$V_2/V_1 - ?$

Т.к. процесс изотермич. => $Q = A$ => $dU = 0$ -> $TdS = pdV$.

$\int dS = \frac{\delta Q}{T}$ $\Big\{$ $p_1V_1 = pV$ => $p = \frac{p_1V_1}{V}$ => $TdS = \frac{p_1V_1}{V}dV$

$p_1V_1 = \nu RT_1 = \nu RT$; $\int_{S_1}^{S_2} TdS = \nu RT\int_{V_1}^{V_2}\frac{dV}{V}$ =>

$T\Delta S = \nu RT \ln\frac{V_2}{V_1}$ => $\frac{V_1}{V_2} = \exp(\Delta S/\nu R) = 1.8$

Билет № 29

① Распределение энергии по степеням свободы молекул. Внутренняя энергия идеального газа.

• Степень свободы – характеристика движения механ. системы. Число степ. свободы определ. миним. кол-во независимых переменных (координат), необходимых для полного описания движен. частиц (мех. сист).

Th При тепловом равновесии энергия разделена одинаково между её различ. формами (сред. кин. энерг. поступ. движ. равна сред. кин. энерг. вращ. движ.) по $\frac{kT}{2}$ на каждую. $W = \frac{kTN_s}{2}$ где N_s – кол-во степ. свободы.

• Внутренняя энергия – однозначная функция состояния системы.

В.Э. И.Г. – независит от давления и объема

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

степ. своб; кол. вещ.

② Работа электр. поля при перем. эл. зарядов. Циркуляция вектора напряженности. Связь напряжен. и потенциала.

• Работа эл. поля при перем. эл. зар.

$$A_{ab} = \int_a^b \underbrace{qE}_{F\text{-действ. на зар}} \cos\underbrace{\alpha}_{\text{угл между } E \text{ и } dl} \cdot dl$$

Работа соверш. силами поля при перемещ. заряда не зависит от формы траектор. а определ. его нач. и конечн. положе. =>

=> $\oint \delta A = 0$ – работа при перемещ. по замк. контуру равна 0

• Циркуляция вектора напряж. – наз. работа, которую совершают электр. силы при перемещ. ед. пол. зар по зам. пути. Т.к. работа электростат. поля по зам. контуру равна 0, то циркуляция напряж. по замк. контуру равна 0.

$\oint \delta A = \oint (E \cdot dl) = 0$

• Связь напряж. и потенциала. Работа по перемещ. единич. точечного полож. зар. из одной точки в другую вдоль оси x при условии что точки распол. достат. близко и $x_2 - x_1 = dx$, равна $E_x\,dx$. Также работа равна $\varphi_1 - \varphi_2 = d\varphi$ => $E_x = -\frac{\partial\varphi}{\partial x}$

$E = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x} i + \frac{\partial\varphi}{\partial y} j + \frac{\partial\varphi}{\partial z} k\right)$ i j k – ед. векторы осей xyz

Из опред. град следует

$E = -\text{grad}\,\varphi$ или $E = -\nabla\varphi$

Т.е. напряж. E поля равна градиенту потенциала со знаком минус (минус говор. что вектор E направ. в стор. уменьш. потенц.)

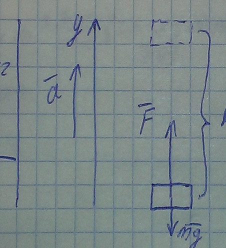
③ Дано

$m = 300$ кг

$h = 16$ м

$t = 20$ с

A – ?



$h = \cancel{v_0 t} + \frac{at^2}{2}$

$h = \frac{at^2}{2}$ $\quad a = \frac{2h}{t^2}$

oy: $F - mg = ma$

$F - mg = m\frac{2h}{t^2}$

$F = m\left(\frac{2h}{t^2} + g\right)$

$A = FS = Fh = mh\left(\frac{2h}{t^2} + g\right) =$

$= 48384$ Дж.

④ Дано

$m = 0{,}6$ кг

$t_1 = 20°C$

$t_2 = 100°C$

$c = 4{,}2 \cdot 10^3 \frac{Дж}{кг \cdot К}$

$\lambda = 334 \cdot 10^3 \frac{Дж}{кг}$

ΔS – ?

$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$

$\int_{T_1}^{T_2} S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{Q_{нагр}}{T} + \frac{Q_{пар}}{T_{пар}}$

$\int_{T_1}^{T_2} S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{cm\,dT}{T} + \frac{Q_{пар}}{T_2}$

$\int_{T_1}^{T_2} S = cm\int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + \frac{Q_{пар}}{T_2} =$

$= cm(\ln T)\Big|_{T_1}^{T_2} + \frac{Q_{пар}}{T_2} = cm(\ln T_2 - \ln T_1) + \frac{\lambda m}{T_2} =$

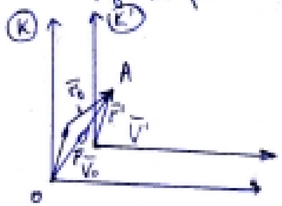
$= cm(\ln 373 - \ln 293) + \frac{\lambda \cdot m}{373} =$

$= 4{,}2 \cdot 10^3 \frac{Дж}{кг \cdot К} \left(\ln\frac{373}{293}\right) + \frac{334 \cdot 10^3 \frac{Дж}{кг}}{373\,К} =$

$= 1909$

Билет 30 №1

Любая СО, движ. равномерно и прямолин. отн. ИСО, явл сама ИСО (*)



$\bar{V}_0 = const$, $\bar{r} = \bar{r}_0 + \bar{r}'$ - если пр-во однородно

$\bar{V} = \bar{V}_0 + \bar{V}'$

$\overset{\shortparallel}{const}$ $\overset{\shortparallel}{const}$ $\Rightarrow \bar{V}' = const$

$\bar{a} = \cancel{\bar{a}} + \bar{a}'$ (т.к. *)

№2

Эл. заряд – неотъемлемое св-во элем. частиц.

Закон Кулона – Сила взаимодействия двух точечных зарядов пропорциональна произведению зарядов и обратнопропорц. квадрату расстояния между ними.

Напряж эл.п. – в.ф.в., хар. эл. поле в (·) и числ. равная отнош. силы $\bar{F}$, действ. на неподвиж заряд, помещ. в данную (·) поля и велич. q: $\bar{E} = \frac{\bar{F}}{q}\left[\frac{В}{м}\right]\left[\frac{Н}{Кл}\right]$

Сил. лин. эл/стат. поля – линии, в каждой (·) к-рой касат. совп. с в-ром напряж. поля. Св-ва: 1) Из "+" в "–", 2) Не пересекаются.

ПСЭП: $\bar{F}_{рез} = \sum_i \bar{F}_{i0}$, $\bar{F}_{рез} = q_0\bar{E}_{рез}$, $\bar{F}_{i0} = q_0\bar{E}_i$, $q_0\bar{E}_{рез} = \sum_i q_0\bar{E}_{i0} \Rightarrow \bar{E}_{рез} = \sum_i \bar{E}_{i0}$

ПСЭП дает возм рассчитать эл/стат поле любой с-мы неподвиж зарядов, т.к. случай неточечных зарядов всегда можно свести к совокупности точечных зарядов.

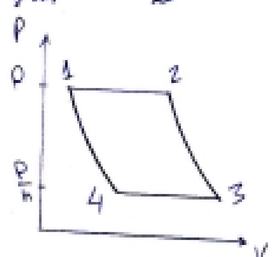
№3

Дано
Шар
Цилиндр
$m_ш = m_ц$
$V = V_ш = V_ц$
$\frac{E_{кш}}{E_{кц}}$ - ?

$$\left.\begin{aligned} E_{кш} &= \frac{mV^2}{2} + \frac{I_ш\omega^2}{2} \\ E_{кц} &= \frac{mV^2}{2} + \frac{I_ц\omega^2}{2} \\ \omega_ш &= \omega_ц = \omega \\ I_ш &= \frac{2}{5}mr^2 \\ I_ц &= \frac{1}{2}mr^2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{E_{кш}}{E_{кц}} = \frac{2/5}{1/2} = \frac{4}{5}$$

№4

Дано
$\frac{P_1}{P_1} = n$
γ
η - ?



$pV^\gamma = const$

$$\eta = 1 - \frac{Q_x}{Q_н} = 1 - \frac{\nu R(T_3 - T_4)}{\nu R(T_2 - T_1)} = 1 - \frac{\frac{P}{n}(V_3 - V_4)}{P(V_2 - V_1)}$$

2-3:

$$PV_2^\gamma = \frac{P}{n}V_3^\gamma \Rightarrow V_2 = \frac{1}{\sqrt[\gamma]{n}}V_3$$

4-1:

$$\frac{P}{n}V_4^\gamma = PV_1^\gamma \Rightarrow V_4\frac{1}{\sqrt[\gamma]{n}} = V_1$$

$$\eta = 1 - \frac{V_3 - V_4}{n\frac{1}{\sqrt[\gamma]{n}}(V_3 - V_4)} = 1 - n^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$