

Вариант 13

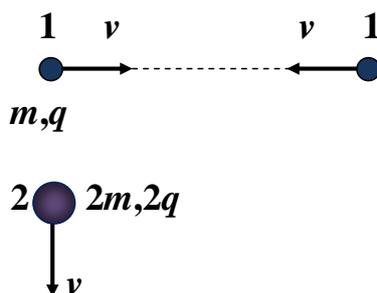
1. Ученик во время тренировки в спортивном зале бросил мяч вертикально вверх, и поймал его в точке броска спустя время $t = 2$ с. Затем ученик увеличил начальную скорость мяча вдвое и мяч снова вернулся к нему через $t = 2$ с. На какой высоте h от точки броска находится в зале потолок? Удар мяча о потолок, если он происходит, считать упругим.

(5 баллов)

2. Алюминиевый брусок положили в морозильник, и на него выросла корка льда. Образовавшееся ледяное тело вынули из морозильника и бросили в воду. Оказалось, что оно плавает в воде, причем под водой находится $\alpha = 99\%$ всего объема тела. Определите, во сколько раз объем выросшей корки льда больше первоначального объема алюминиевого бруска? Плотность воды $\rho_v = 10^3$ кг/м³, плотность льда $\rho_l = 0,9 \cdot 10^3$ кг/м³, плотность алюминия $\rho_a = 2,7 \cdot 10^3$ кг/м³. Изменением объема бруска при охлаждении пренебречь. Считать, что лед не тает, пока плавает в воде.

(5 баллов)

3. Две частицы влетают одновременно в однородное электрическое поле. Первая частица массой m и зарядом q имеет в начальный момент скорость v , вторая – массой $2m$ и зарядом $2q$ имеет такую же по модулю начальную скорость v , направленную перпендикулярно начальной скорости первой частицы. Спустя время t скорость первой частицы снова становится равной v , но направленной в противоположную сторону (см. рис.). Какую скорость (по модулю) имеет вторая частица в тот же самый момент времени t ?



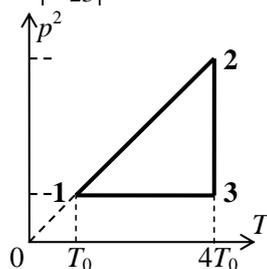
(8 баллов)

4. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится влажный воздух с относительной влажностью $\varphi = 50\%$. Первоначальная масса водяного пара в сосуде $m = 12$ г. Чему равна масса сконденсировавшейся в сосуде воды после изотермического уменьшения объема воздуха в $n = 3$ раза? Считайте, что объем сконденсировавшейся воды много меньше объема сосуда в конечном состоянии.

(8 баллов)

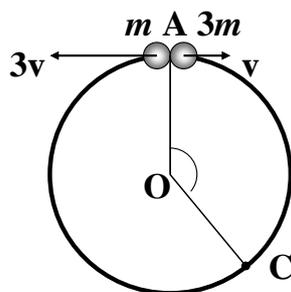
**Заключительный (очный) этап научно-образовательного соревнования
Олимпиады школьников «Шаг в будущее» по профилю «Инженерное дело» специализации
«Техника и технологии» (общеобразовательный предмет «физика»), весна 2021 г
10 класс**

5. Тепловая машина, рабочим телом которой является гелий, совершает цикл, изображенный на рисунке, где p^2 – квадрат давления, T – абсолютная температура. Постройте график этого цикла в координатах p - V , где V – объем, и определите его КПД, если известно, что отношение модуля работы, совершаемой в процессе 12 к модулю работы в процессе 23 равно $\frac{|A_{12}|}{|A_{23}|} = \alpha = 0,541$.



(12 баллов)

6. По гладкому горизонтальному проволочному кольцу могут скользить без трения две маленькие бусинки массами m и $3m$. Вначале бусинки находились в точке А кольца, как показано на рисунке. Бусинкам сообщают начальные скорости: бусинке массой m – скорость $3v$, а бусинке массой $3m$ – скорость v , направленные в противоположные стороны. В процессе своего движения бусинки многократно сталкиваются друг с другом. Считая столкновения бусинок абсолютно упругими, определите угол АОС, если С – точка, в которой оказываются бусинки в момент их 2021-ого столкновения.



(12 баллов)

РЕШЕНИЯ. ВАРИАНТ 13

1. Ученик во время тренировки в спортивном зале бросил мяч вертикально вверх, и поймал его в точке броска спустя время $t = 2$ с. Затем ученик увеличил начальную скорость мяча вдвое и мяч снова вернулся к нему через $t = 2$ с. На какой высоте h от точки броска находится в зале потолок? Удар мяча о потолок, если он происходит, считать упругим.

(5 баллов)

Решение.

Так как время полета мяча в обоих случаях не изменилось, то в первом случае мяч до потолка не долетел, а во втором – ударился о потолок (в противных случаях времена полета отличались бы). Найдем скорость v_0 броска в первом случае:

$v_0 - g \frac{t}{2} = 0, \Rightarrow v_0 = g \frac{t}{2}$. Во втором случае происходит удар о потолок

спустя время $\frac{t}{2}$, тогда можно найти высоту потолка:

$$h = 2v_0 \cdot \frac{t}{2} - \frac{1}{2} g \left(\frac{t}{2} \right)^2 = \frac{3}{8} g t^2 = 15 \text{ м.}$$

2. Алюминиевый брусок положили в морозильник, и на него выросла корка льда. Образовавшееся ледяное тело вынули из морозильника и бросили в воду. Оказалось, что оно плавает в воде, причем под водой находится $\alpha = 99\%$ всего объема тела. Определите, во сколько раз объем выросшей корки льда больше первоначального объема алюминиевого бруска? Плотность воды $\rho_{\text{в}} = 10^3 \text{ кг/м}^3$, плотность льда $\rho_{\text{л}} = 0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, плотность алюминия $\rho_{\text{а}} = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Изменением объема бруска при охлаждении пренебречь. Считать, что лед не тает, пока плавает в воде.

(5 баллов)

Решение.

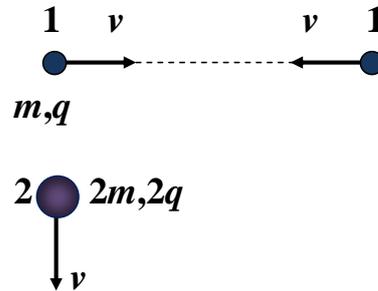
Пусть $V_{\text{а}}$ – объем алюминиевого бруска, V_0 – объем выросшего льда, $m_{\text{а}}$ и m_0 – масса алюминиевого бруска и масса льда и соответственно. Условие плавания тела: $(m_0 + m_{\text{а}})g = \rho_{\text{в}}g(V_0 + V_{\text{а}})\alpha$, где $m_0 = \rho_{\text{л}}V_0$, $m_{\text{а}} = \rho_{\text{а}}V_{\text{а}}$. Тогда

$$\gamma = \frac{V_0}{V_{\text{а}}} = \frac{\rho_{\text{а}} - \alpha\rho_{\text{в}}}{\alpha\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}} = 19.$$

3. Две частицы влетают одновременно в однородное электрическое поле. Первая частица массой m и зарядом q имеет в начальный момент скорость v , вторая – массой $2m$ и зарядом $2q$ имеет такую же по модулю начальную скорость v , направленную перпендикулярно начальной скорости первой частицы. Спустя время t скорость первой частицы снова становится равной v , но направленной в

РЕШЕНИЯ. ВАРИАНТ 13

противоположную сторону (см. рис.). Какую скорость (по модулю) имеет вторая частица в тот же самый момент времени t ?



(8 баллов)

Решение.

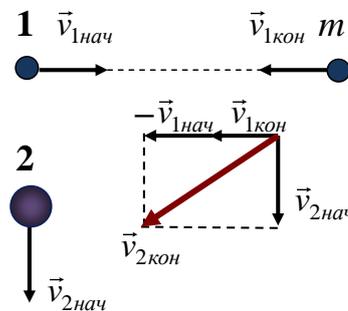
Т.к. электрическое поле однородное напряженности \vec{E} , то на заряженные частицы действуют силы: на первую $\vec{F}_1 = q\vec{E}$, на вторую $-\vec{F}_2 = 2q\vec{E} = 2\vec{F}_1$. Запишем закон изменения импульса для обеих частиц:

$$\vec{F}_1 t = m\vec{v}_{1\text{кон}} - m\vec{v}_{1\text{нач}}, \text{ где } |\vec{v}_{1\text{кон}}| = |\vec{v}_{1\text{нач}}| = v \text{ для частицы 1,}$$

$$2\vec{F}_1 \cdot t = 2m\vec{v}_{2\text{кон}} - 2m\vec{v}_{2\text{нач}}, \text{ где } |\vec{v}_{2\text{нач}}| = 2 \text{ для частицы 2.}$$

$$\Rightarrow \vec{v}_{2\text{кон}} = \vec{v}_{1\text{кон}} - \vec{v}_{1\text{нач}} + \vec{v}_{2\text{нач}}.$$

Модуль вектора $\vec{v}_{2\text{кон}}$ найдем из рисунка. $\Rightarrow |\vec{v}_{2\text{кон}}| = v\sqrt{5}$.



4. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится влажный воздух с относительной влажностью $\varphi = 50\%$. Первоначальная масса водяного пара в сосуде $m = 12$ г. Чему равна масса сконденсировавшейся в сосуде воды после изотермического уменьшения объема воздуха в $n = 3$ раза? Считайте, что объем сконденсировавшейся воды много меньше объема сосуда в конечном состоянии.

(8 баллов)

Решение.

Запишем уравнения Менделеева-Клапейрона для пара в начальном состоянии (до сжатия): $pV = \frac{m}{\mu}RT$, где p – парциальное давление водяного пара до сжатия, V – начальный объем сосуда, T – температура воздуха в сосуде. Отно-

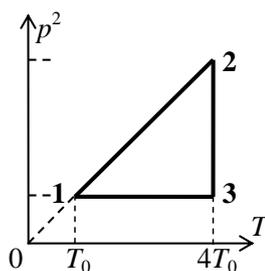
РЕШЕНИЯ. ВАРИАНТ 13

сительная влажность воздуха в начальном состоянии $\varphi = \frac{p}{p_n}$, где p_n – давление насыщенного пара при температуре T .

После сжатия пар стал насыщенным, и в этом случае уравнение Менделеева-Клапейрона имеет вид: $p_n \frac{V}{n} = \frac{m - m_6}{\mu} RT$, где m_6 – масса сконденсирова-

шейся воды. Из записанных уравнений получим $m_6 = \frac{(n\varphi - 1)m}{n\varphi} = 4 \text{ г}$.

5. Тепловая машина, рабочим телом которой является гелий, совершает цикл, изображенный на рисунке, где p^2 – квадрат давления, T – абсолютная температура. Постройте график этого цикла в координатах p - V , где V – объем, и определите его КПД, если известно, что отношение модуля работы, совершаемой в процессе 12 к модулю работы в процессе 23 равно $\frac{|A_{12}|}{|A_{23}|} = \alpha = 0,541$.

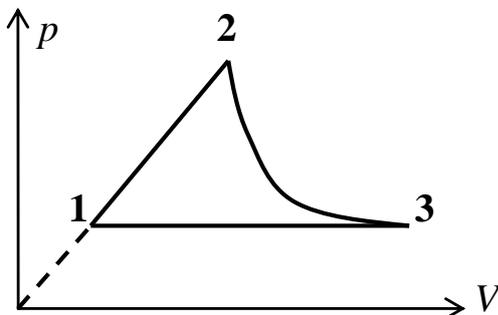


(12 баллов)

Решение.

График цикла в осях pV (см. рис.). Для процесса 12:

$$\begin{cases} T \propto p^2, \\ pV = \nu RT, \end{cases} \Rightarrow p \propto V.$$



Формула для КПД цикла $\eta = \frac{A}{Q_{пол}}$, где $A = A_{12} + A_{23} + A_{31}$ – работа за цикл,

$Q_{пол} = Q_{12} + Q_{23} = \Delta U_{13} + A_{12} + A_{23}$ – полученное кол-во теплоты.

Известно, что $T_1 = T_0$, $T_3 = T_2 = 4T_0$.

РЕШЕНИЯ. ВАРИАНТ 13

$$A_{12} = \frac{1}{2} \nu R \Delta T_{12} = \frac{3}{2} \nu R T_0, \quad A_{23} = \frac{A_{12}}{\alpha}, \quad A_{31} = \nu R \Delta T_{31} = -3 \nu R T_0,$$

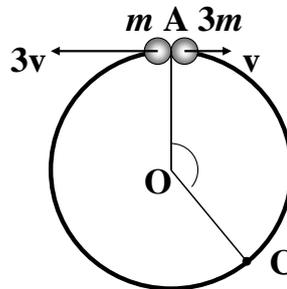
$$\Delta U_{13} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} = \frac{9}{2} \nu R T_0.$$

$$\text{Тогда } A = \frac{3}{2} \nu R T_0 \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right) - 3 \nu R T_0 = \frac{3(1-\alpha)}{2\alpha} \nu R T_0;$$

$$Q_{\text{пол}} = \frac{9}{2} \nu R T_0 + \frac{3}{2} \nu R T_0 \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right) = \frac{3(4\alpha+1)}{2\alpha} \nu R T_0.$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{A}{Q_{\text{пол}}} = \frac{1-\alpha}{4\alpha+1} = 0,145 \text{ (14,5\%).}$$

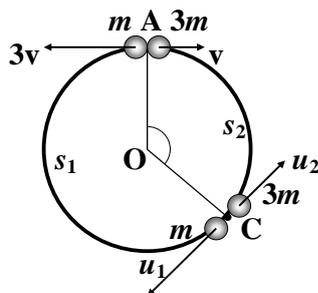
6. По гладкому горизонтальному проволочному кольцу могут скользить без трения две маленькие бусинки массами m и $3m$. Вначале бусинки находились в точке A кольца, как показано на рисунке. Бусинкам сообщают начальные скорости: бусинке массой m – скорость $3v$, а бусинке массой $3m$ – скорость v , направленные в противоположные стороны. В процессе своего движения бусинки многократно сталкиваются друг с другом. Считая столкновения бусинок абсолютно упругими, определите угол $\angle AOC$, если C – точка, в которой оказываются бусинки в момент их 2021-ого столкновения.



(12 баллов)

Решение.

Первое столкновение произойдет в точке C , в которой $\frac{s_1}{s_2} = \frac{3v}{v} = 3$ (см. рис.).



Обозначим u_1 и u_2 – скорости шариков m и $3m$ соответственно после столкновения, тогда

**Заключительный (очный) этап научно-образовательного соревнования
Олимпиады школьников «Шаг в будущее» по профилю «Инженерное дело» специализации
«Техника и технологии» (общеобразовательный предмет «физика»), весна 2021 г**

10 класс

РЕШЕНИЯ. ВАРИАНТ 13

$$\begin{cases} mu_1 - 3mu_2 = 0, \\ \frac{mu_1^2}{2} + \frac{3mu_2^2}{2} = \frac{m(3v)^2}{2} + \frac{3mv^2}{2}, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} u_1 = 3u_2, \\ u_1^2 + 3u_2^2 = 12v^2, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} u_1 = 3v, \\ u_2 = v. \end{cases}$$

Таким образом, после первого столкновения модули скоростей шариков не изменились, изменились только их направления. Тогда второе столкновение произойдет в точке А. Каждое нечетное столкновение, в том числе и 2021-е, будет происходить в точке С. Если s_1 и s_2 – длины дуг (в радианах), то

$$\begin{cases} s_1 + s_2 = 2\pi, \\ s_1 = 3s_2, \end{cases} \Rightarrow 4s_2 = 2\pi, \Rightarrow s_2 = \frac{\pi}{2} \text{ и } \angle AOC = 90^\circ.$$