

Министерство науки и высшего образования РФ
Совет ректоров вузов Томской области
Открытая региональная межвузовская олимпиада школьников (ОРМО)
с международным участием 2024-2025 уч. год
ФИЗИКА 10 класс

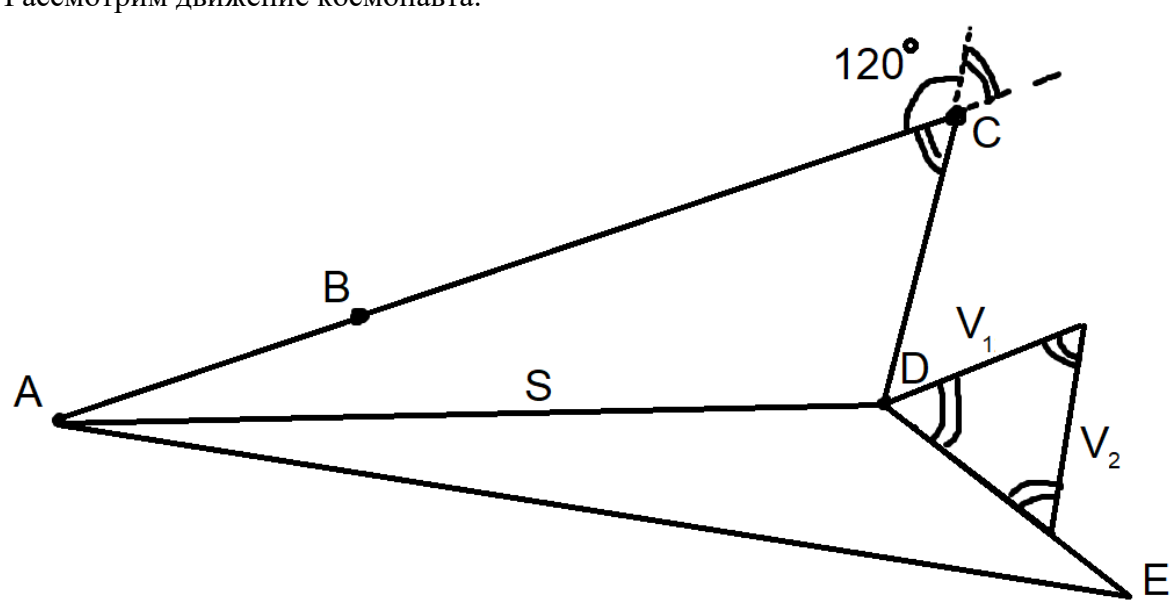
1 Вариант. II этап.

Задача 1

Космонавт движется с помощью реактивного ранца в открытом космосе вдали от гравитирующих тел. Сначала космонавт в течение времени t движется с ускорением a в некотором направлении. Затем космонавт разворачивает направление реактивной струи ранца на 120° к первоначальному направлению. При этом ранец продолжает работать в прежнем режиме. Так космонавт двигался ещё интервал времени t . Все перемещения космонавта проходят в одной плоскости.

- 1) Запишите уравнение кинематики движения тела с постоянным ускорением в векторной форме. Поясните входящие в уравнение физические величины.
- 2) На каком расстоянии S от первоначальной точки находился в этот момент космонавт?
- 3) С каким постоянным ускорением A нужно двигаться космонавту, чтобы вернуться в начальную точку через интервал времени t ?

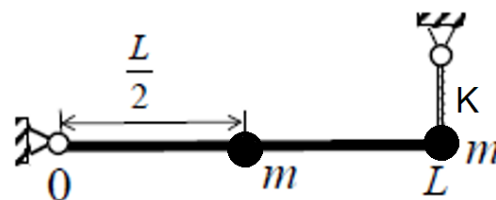
Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Радиус-вектор тела, двигающегося из точки с начальным радиус-вектором $\vec{r}_0$ с постоянным по времени ускорением $\vec{a}$ и вектором начальной скорости $\vec{v}_0$, равен: $\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}.$	2
2) Рассмотрим движение космонавта.  За первый интервал времени, космонавт отделился от начальной точки А на расстояние: $\overrightarrow{AB} = \frac{\vec{a} t^2}{2}$	2
3) При этом космонавт приобрёл скорость $\vec{v}_1 = \vec{a} t$, сонаправленную с первоначальным направлением ускорения.	2
4) За следующий интервал времени t космонавт за счёт дрейфа со скоростью $\vec{v}_1$ сместился на расстояние: $\overrightarrow{BC} = \vec{v}_1 t = 2\overrightarrow{AB}$	2

5) И на расстояние $\overline{CD} = \frac{\overline{a_1} t^2}{2}$ за счёт смены направления ускорения. При этом $CD = AB$	2
6) Тогда искомое расстояние S можно найти по теореме косинусов: $S = \sqrt{(AC)^2 + (CD)^2 - 2 AC CD \cos 60^\circ} = \sqrt{(3 AB)^2 + (AB)^2 - 6 (AB)^2 \cos 60^\circ}$ $= \sqrt{7} \frac{a t^2}{2}$	2
7) В точке D космонавт будет иметь скорость $v_3 = v_1$, направленную под 60° к первоначальному направлению. За время t за счёт дрейфа космонавт сместится на расстояние $DE = BC$	
8) По теореме синусов для треугольника ACD : $\frac{\sin ADC}{AC} = \frac{\sin 60^\circ}{S}$ Откуда, $\sin ADC = \frac{3\sqrt{3}}{2\sqrt{7}} \approx 0,98$, а сам угол $ADC \approx 78.5^\circ$	3
9) Тогда угол $ADE = 360^\circ - 120^\circ - 78.5^\circ \approx 161,5^\circ$ или $\cos ADE = -\frac{2}{\sqrt{7}}$	3
10) По теореме косинусов для треугольника ADE : $\frac{A t^2}{2} = \sqrt{(AD)^2 + (DE)^2 - 2 AD DE \cos ADE} = \frac{a t^2}{2} \sqrt{7 + 4 + 4 \sqrt{7} \frac{2}{\sqrt{7}}} = \sqrt{19} \frac{a t^2}{2}$ Откуда $A = \sqrt{19} a \approx 4.4 a$	2
Итого	20

Задача 2

Легкий стержень длины L одним концом шарнирно закреплён к стене и может свободно вращаться. К середине и противоположному концу стержня прикреплены небольшие грузы массы m каждый. Также ко второму концу стержня прикреплена легкая пружина жесткости k .



- 1) Сформулируйте два условия равновесия тел. Поясните используемые физические величины.
- 2) Определите удлинение пружины Δx .

В определённый момент времени пружина отрывается от стержня.

- 3) Определите ускорения центрального и крайнего грузов a_1 и a_2 , соответственно, в момент отрыва пружинки.

Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Первое условие равновесия тел заключается в том, что сумма всех сил, действующих на тело должна быть равна нулю: $\sum \vec{F}_i = 0$ Сумма должна быть векторной, поскольку сила – величина векторная. Второе условие равновесия тел заключается в том, что сумма всех моментов сил, действующих на тело равна нулю: $\sum \vec{M}_i = 0$. Строго говоря, это равенство тоже векторное, однако, на уровне 10ого класса момент силы определяется как численное произведение силы на плечо с определением направления действия этого момента $M = F * l$, а не векторное произведение радиус-вектора на силу: $\vec{M} = [\vec{r}\vec{F}]$. В этом случае допустимо записывать второе условие равновесия как равенство суммарного момента сил, вращающих по часовой стрелке, суммарному моменту сил, вращающих против: $\sum M_{\text{по}} = \sum M_{\text{против}}$	2
2) Из второго условия равновесия стержня относительно точки О: $mg \frac{L}{2} + mgL = F_{\text{упр}} L$	4

Альтернативно может быть рассмотрено условие равновесия относительно другой точки и первое условие равновесия.	
3) С учётом закона Гука $F_{\text{упр}} = k\Delta x$: $\Delta x = \frac{3mg}{2k}$	4
4) Направим вертикальную ось вверх. Пусть N_1 – проекция на выбранную ось силы реакции стержня на центральный груз, N_2 – проекция на выбранную ось силы реакции стержня на правый груз.	
5) По второму закону Ньютона для грузов: $ma_1 = mg - N_1$ $ma_2 = mg - N_2$	2
6) Поскольку стержень невесомый: $0 = N_1 \frac{L}{2} + N_2 L$ Откуда $N_1 = -2N_2$	2
7) Из условия кинематической связи: $\frac{a_1}{L/2} = \frac{a_2}{L}$ Откуда $a_2 = 2a_1$	2
8) Решая 5) - 7) совместно: $ma_1 = mg + 2N_2$ $m4a_1 = 2mg - 2N_2$ Откуда искомые ускорения: $a_1 = \frac{3g}{5}$ $a_2 = \frac{6g}{5}$	2+2
Итого	20

Задача 3

Идеальный двухатомный газ переводят из состояния с объёмом $V_1 = 1 \text{ м}^3$ и давлением $P_1 = 10^5 \text{ Па}$ в состояние с объёмом $V_2 = 2 \text{ м}^3$ по закону $PV^2 = \text{const}$. Указание: рассмотреть малые изменения давления, температуры и объёма газа.

- 1) Дайте определение молярной теплоёмкости газа. Поясните используемые физические величины.
- 2) Определите изменение внутренней энергии газа ΔU в указанном процессе.
- 3) Определите работу газа A в указанном процессе.
- 4) Определите количество тепла подведённого к газу ΔQ в указанном процессе. Определите молярную теплоёмкость газа C в указанном процессе.

Решение:

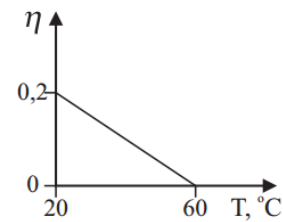
Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Молярная теплоёмкость газа – это количества тепла, которое необходимо передать одному молю вещества, чтобы увеличить его температуру на 1°K : $c_v = \frac{\Delta Q}{\nu \Delta T}$.	2
2) Поскольку газ двух атомный, то изменение внутренней энергии газа равно: $\Delta U = \frac{5}{2} \nu RT_2 - \frac{5}{2} \nu RT_1,$ Где T_1 – температура газа в начальном состоянии, T_2 – температура газа в конечном состоянии, ν – количество вещества.	2
3) Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона: $P_1 V_1 = \nu RT_1$	2

$P_2 V_2 = \nu R T_2$	
4) Из уравнения процесса: $P_1 V_1^2 = P_2 V_2^2$, откуда $P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2$	2
5) Решая совместно 2)-4) найдено искомое ΔU : $\Delta U = \frac{5}{2}(P_2 V_2 - P_1 V_1) = \frac{5}{2} P_1 V_1 \left(\frac{V_1}{V_2} - 1\right) = \frac{5}{2} P_1 V_1 \left(\frac{V_1}{V_2} - 1\right) = \frac{5}{2} 10^5 \left(\frac{1}{2} - 1\right) = -125 \text{ кДж}$	3
6) Рассмотрим процесс с небольшим изменением объёма ΔV , в этом процессе изменение давления составит ΔP , газ совершит работу $A = P \Delta V$, изменение температуры составит ΔT а изменение внутренней энергии составит $\Delta U = \frac{5}{2} \nu R \Delta T$. Из уравнения Менделеева-Клапейрона: $P \Delta V + V \Delta P = \nu R \Delta T$ Из уравнения процесса: $P V^2 = (P + \Delta P)(V + \Delta V)^2 = (P + \Delta P)(V^2 + 2V \Delta V + \Delta V^2)$, откуда $0 \approx 2VP \Delta V + \Delta P V^2$ или $V \Delta P = -2P \Delta V$. С учётом уравнения Менделеева-Клапейрона: $-P \Delta V = \nu R \Delta T$	
7) Тогда молярная теплоёмкость газа в этом процессе: $C = \frac{P \Delta V + \frac{5}{2} \nu R \Delta T}{\nu \Delta T} = -R + \frac{5}{2} R = \frac{3}{2} R$ Теплоёмкость не зависит от начального и конечного состояний, значит она постоянная в данном процессе. Альтернативное решение. Указанный процесс – политропный с показателем политропы $n = 2$, откуда определяется теплоёмкость газа п.7 – вывод формулы связывающей показатель политропы и теплоёмкость газа не требуется.	3
8) Тогда подводимое к газу тепло: $\Delta Q = \nu C \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = -75 \text{ кДж}$ Знак в ответе важен, поскольку тепло отводилось. Ответ засчитывается либо при указании, что тепло отводилось, либо при наличии знака – в ответе.	3
9) А искомая работа газа: $A = \Delta Q - \Delta U = 50 \text{ кДж}$ Альтернативное решение. Работа может быть определена путём расчёта соответствующего определённого интеграла.	3
При альтернативных решениях все баллы по критериям выставляются в полном объёме.	
Итого	20

Задача 4

КПД теплового двигателя η падает с ростом температуры самого двигателя T (см. рисунок). При сгорании топлива выделяется мощность $P_0 = 1400 \text{ Вт}$. Часть этой мощности идёт на совершение полезной работы, остальное – на нагревание двигателя. Какую полезную мощность будет развивать двигатель в установившемся режиме?

Считать, что мощность передачи тепла от двигателя в окружающую среду пропорциональна разнице температур двигателя T и окружающей среды $T_{\text{окр}}$ и определяется $P = \alpha(T - T_{\text{окр}})$, где $\alpha = 42 \text{ Вт/}^\circ\text{С}$, $T_{\text{окр}} = 20^\circ\text{С}$.



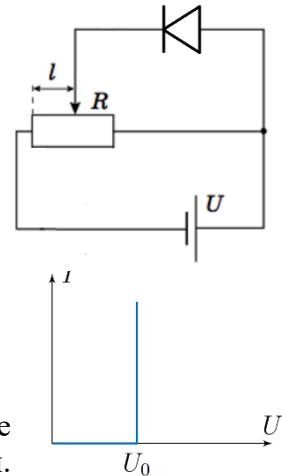
Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Указано, что в установившемся режиме тепло, выделяемое двигателем, полностью передаётся окружающей среде. $P_{\text{нагр}} = \alpha(T - T_{\text{окр}})$	4
2) Уравнение прямой: $\eta(T) = -0.005T + 0.3$	4

3) На нагревание двигателя направляется мощность: $P_{\text{нагр}} = P_0(1 - \eta(T))$	4
4) Решая совместно 1)-3): $\alpha(T - T_{\text{окр}}) = P_0(1 + 0.005T - 0.3)$ Откуда температура двигателя в установившемся режиме: $T = \frac{0.7P_0 + \alpha T_{\text{окр}}}{\alpha - 0.005P_0} = 52^\circ\text{C}$	4
5) При этом полезная мощность составит: $P_{\text{пол}} = \eta(T)P_0 = (-0.005 \cdot 52 + 0.3)1400 = 56 \text{ Дж}$	4
Итого	20

Задача 5

На схеме справа представлена простейшая схема регулируемого источника питания. Он состоит из идеального источника постоянного напряжения U и потенциометра – переменного резистора с тремя выходными контактами. Изменяя длину l от 0 до наибольшего значения l_0 можно регулировать напряжение на диоде, а значит и выделяемую на ней мощность. ВАХ диода указана на рисунке. Считать, что напряжение открытия диода $U_0 = \frac{1}{3}U$.



- 1) Запишите закон Джоуля-Ленца. Поясните входящие в него физические величины.
 - 2) При каком значении $l = l_{\text{отк}}$ диод открывается?
 - 3) Определите зависимость КПД схемы η от l .
- Полное сопротивление резистора R . КПД данной схемы определяется как отношение полезной мощности, выделяющейся на диоде, ко всей мощности, выделяемой в цепи.

Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Закон Джоуля-Ленца можно записать в трёх формах: $P = I^2 R = \frac{U^2}{R} = UI$, где P – мощность, выделяемая на резисторе сопротивлением R , U – напряжение на нём, I – ток, протекающий через резистор.	2
Введём обозначение $\frac{l}{l_0} = \alpha$	
2) Диод откроется, когда напряжение на правой части реостата, имеющей сопротивление $R_1 = (1 - \alpha)R$, станет равным U_0 . При этом сопротивление левой части реостата равно, $R_2 = \alpha R$. Поскольку при открытии диода, ток через него равен нулю, то токи, протекающие через резисторы равны. С учётом того, что $U_0 = \frac{1}{3}U$, $l_{\text{отк}} = \frac{2}{3}l_0$	5
3) Если $l < l_{\text{отк}}$, то $\eta = 0$.	2
Рассмотрим случай, когда $l > l_{\text{отк}}$. Пусть I_D – ток через диод, I_1 – ток через правую часть реостата, I_2 – ток через левую часть реостата. В открытом режиме напряжение на диоде равно U_0 , а напряжения на резисторах U_1 и U_2 , соответственно токам.	
4) По правилам Кирхгофа или правилам параллельного подключения: $I_1 + I_D = I_2$	
5) Мощность, выделяемая на диоде: $P_D = I_D U_0$	3
6) Мощность, выделяемая в цепи: $P = I_2 U$	3
7) По закону Ома или правилам Кирхгофа: $U_0 + I_2 R_2 = U$	
Откуда $I_2 R_2 = 2U_0$	

8) При этом напряжение на резисторе R_1 :	
$U_1 = I_1 R_1 = U_0$	
9) Из 7) и 8) получим:	
$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{2R_1} = \frac{\alpha}{2(1-\alpha)}$	
9) КПД схемы при $l > l_{\text{отк}}$:	
$\eta = \frac{P_D}{P} = \frac{I_D}{3I_2} = \frac{1}{3} \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) = \frac{1}{3} \left(1 - \frac{\alpha}{2(1-\alpha)} \right) = \frac{2-3\alpha}{6(1-\alpha)}$	5
Где $\alpha = \frac{l}{l_0}$	
Итого	20

Оценка заданий №№ 1 – 5 по 20 баллов

Внимание!

Задача считается решённой, если, помимо правильного ответа, приведены необходимые объяснения.
Решение оценивается поэтапно.

Желаем успеха!