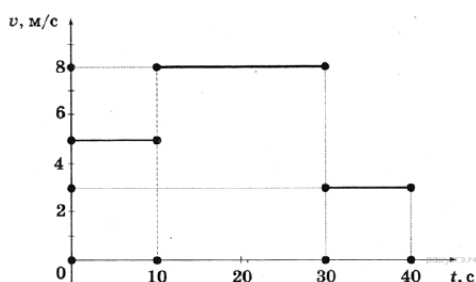


**Методические указания по Отраслевой олимпиаде школьников  
«Газпром», профиль физика.**

Учебное пособие для подготовки к олимпиаде

Под редакцией Бурковой Е.Г.

**Задания отборочного этапа**  
**11 класс**  
**Вариант 1**



1. На рисунке представлен график зависимости от времени проекции скорости тела на одну из осей координат от времени в прямолинейном движении. Считая, что вектор скорости тела направлен вдоль этой оси координат, определите, какой путь прошло тело в интервале времени  $25 < t < 35$  с своего движения. Ответ дайте в метрах.

*Раздел: Механика*

*Уровень сложности: 1*

*Ответ: 55*

**Возможное решение:** Рассчитать путь тела можно, вычислив площадь под графиком:  $s = 8 \cdot 5 + 3 \cdot 5 = 55$  м.

2. Метеорологическая ракета, запущенная вертикально, находилась в состоянии невесомости на этапе подъёма в течение 40 секунд. Во время работы двигателей ускорение ракеты  $40 \text{ м/с}^2$ . Какой максимальной высоты достигла ракета? Принять ускорение свободного падения равным  $10 \text{ м/с}^2$ . Сопротивлением среды пренебречь. Ответ выразите в километрах в виде целого числа.

*Раздел: Механика*

*Уровень сложности: 2*

*Ответ: 10*

**Возможное решение:** Примем за начало отсчета поверхность Земли и будем считать положительным направление вверх. За время работы двигателей  $\tau_d$  ракета приобрела скорость, направленную вверх и равную  $v = a\tau_d$ , где  $a$  – ускорение ракеты. Высота, на которой отключились двигатели, определяется как

$$h = \frac{a\tau_d^2}{2}.$$

Дальнейший полет ракеты осуществляется под действием силы тяжести. В это время она находится в состоянии невесомости. Параметры движения ракеты связаны уравнением

$$H_m = \frac{a\tau_d^2}{2} + a\tau\tau_d - \frac{g\tau^2}{2},$$

где  $\tau$  – время ее движения в состоянии невесомости на этапе подъема, а  $H_m$  – максимальная высота подъема.

На "невесомом" участке подъема для скорости движения выполняется условие

$$0 = v - g\tau.$$

Время движения с работающими двигателями определяется как

$$\tau_d = \tau \frac{g}{a},$$

следовательно,

$$H_m = \frac{g^2\tau^2}{2a} + \frac{g\tau^2}{2} = \frac{g\tau^2}{2} \left( \frac{g}{a} + 1 \right) = 10 \text{ км.}$$

**3.** Материальная точка движется прямолинейно. Ее скорость изменяется по закону  $V = at - \beta t^2$ , где  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты, имеющие положительные значения. В момент времени  $t = 0$  на нее действует сила  $F$ . Определите значение силы, действующей на материальную точку в момент времени, когда ее скорость снова станет равной нулю.

*Раздел: Механика*

*Уровень сложности: 2*

*Ответ:*

*а) –  $F$  – правильный*

*б)  $2F$*

*в)  $F/2$*

*г)  $\alpha F/\beta$*

*д)  $9F/(\alpha\beta)$*

**Возможное решение:** Рассчитаем моменты времени, в которые скорость точки равна нулю. Первый момент времени  $t_1 = 0$ , второй момент времени  $t_2 = \alpha/\beta$ . Ускорение точки является производной от скорости по времени и может быть представлено как  $a = \alpha - 2\beta t$ . Тогда  $a(t_1) = \alpha$ , а  $a(t_2) = -\alpha$ . Следовательно,  $F_2 = -F$ .

**4.** Ствол орудия направлен под углом  $60^\circ$  к горизонту. Когда орудие закреплено относительно Земли, скорость снаряда в системе отсчета, связанной с Землей, равна 180 м/с. Определите скорость орудия сразу после выстрела в случае, когда оно не закреплено. Масса орудия в 100 раз больше массы снаряда. Результат округлите до 2 значащих цифр и запишите в м/с.

Раздел: Механика

Уровень сложности: 2

Ответ: 0,89

**Возможное решение:** В случае, когда орудие не закреплено, сохраняется горизонтальная составляющая импульса системы "снаряд – орудие". В системе отсчета, связанной с Землей, можно записать:

$$m(V_c \cos \alpha - V) = MV$$

где  $m$  – масса снаряда,  $V_c$  – скорость снаряда относительно орудия,  $\alpha$  - угол наклона ствола орудия к горизонту,  $M = nm$  – масса орудия,  $V$  – скорость отката орудия в момент выстрела. Тогда

$$V = \frac{V_c \cos \alpha}{n + 1} \approx 0,89 \text{ м/с}$$

5. Телу, находящемуся на полюсе Земли, сообщили направленную вертикально вверх скорость, равную 2 км/с. Определите максимальную высоту подъема тела. Радиус Земли принять равным 6400 км, ускорение свободного падения на поверхности Земли 10 м/с<sup>2</sup>. Трением о воздух пренебречь. Результат выразите в километрах, округлив до трех значащих цифр.

Раздел: Механика

Уровень сложности: 3

Ответ: 206

**Возможное решение:** В системе "тело – Земля" действует только консервативная сила тяготения. В соответствии с законом сохранения механической энергии

$$\frac{mV^2}{2} - G \frac{mM}{R} = -G \frac{mM}{R + h}.$$

Здесь  $m$  – масса тела,  $V$  – скорость тела в момент старта,  $G$  – гравитационная постоянная,  $M$  – масса Земли,  $R$  – радиус Земли,  $h$  – высота подъема тела над поверхностью Земли.

Учитывая, что

$$g = G \frac{M}{R^2},$$

получим

$$\frac{V^2}{2} - gR = -\frac{gR^2}{R + h}.$$

$$h = \frac{RV^2}{2gR - V^2} \approx 206 \text{ км}$$

6. Сосуд объемом 20 л содержит смесь водорода и гелия при температуре 20 °С и давлении  $2 \cdot 10^5$  Па. Масса смеси 5,0 г. Найдите отношение массы гелия к массе водорода в этой смеси. Результат выразите в виде целого числа. Молярные массы водорода и гелия 2 г/моль и 4 г/моль соответственно.

*Раздел: Термодинамика*

*Уровень сложности: 2*

*Ответ: 2*

**Возможное решение:** Считая газы идеальными, воспользуемся законом Дальтона:

$$p = p_{H_2} + p_{He} .$$

Уравнения состояния каждого газа имеют вид:

$$p_{H_2} V = \frac{m_{H_2}}{\mu_{H_2}} RT ,$$

$$p_{He} V = \frac{m_{He}}{\mu_{He}} RT .$$

Учтем, что

$$m = m_{H_2} + m_{He} .$$

Решая полученную систему из четырех уравнений, определим массы обоих газов:

$$m_{He} = \frac{\frac{mRT}{\mu_{H_2}} - pV}{\left(\frac{1}{\mu_{H_2}} - \frac{1}{\mu_{He}}\right) RT} .$$

$$m_{H_2} = m - m_{He} .$$

Отношение масс газов равно:

$$\frac{m_{He}}{m_{H_2}} = \frac{\frac{mRT - \mu_{H_2} pV}{\left(1 - \frac{\mu_{He}}{\mu_{H_2}}\right) RT}}{m - \frac{mRT - \mu_{H_2} pV}{\left(1 - \frac{\mu_{He}}{\mu_{H_2}}\right) RT}} \approx 2 .$$

7. В сосуде, объем которого  $V = 5$  л, находится азот массой  $m = 1,4$  г. Температура газа  $T = 1800$  К. При этой температуре  $\alpha = 30\%$  двухатомных

молекул азота диссоциировано на атомы. Определите давление газа в сосуде. Атомная масса азота  $\mu_N = 14$  г/моль. Результат выразите в мегапаскалях, округлив до двух значащих цифр.

*Раздел: Термодинамика*

*Уровень сложности: 2*

*Ответ: 0,19*

**Возможное решение:** Считая смесь молекулярного и атомарного азота смесью идеальных газов, воспользуемся законом Дальтона и уравнением состояния идеального газа:

$$p = p_N + p_{N_2} = \left[ \frac{\alpha}{\mu_N} + \frac{(1 - \alpha)}{\mu_{N_2}} \right] \frac{mRT}{V} \approx 0,19 \text{ МПа.}$$

**8.** В большом цилиндрическом сосуде под невесомым поршнем находится насыщенный водяной пар при температуре  $T = 373$  К. Поршень медленно вдвигают в цилиндр. Малая часть пара сконденсировалась, масса сконденсированного пара  $\Delta m = 0,7$  г. Какая работа была совершена над системой? Объемом сконденсировавшейся воды можно пренебречь. Результат выразите в килоджоулях и округлите до двух значащих цифр.

*Раздел: Термодинамика*

*Уровень сложности: 1*

*Ответ: 0,12*

**Возможное решение:** При температуре  $T = 373$  К давление насыщенного пара составляет  $p_n = 10^5$  Па. Поскольку процесс осуществляется медленно, то успевает произойти теплообмен пара с окружающей средой, температура пара остается постоянной. Давление и плотность насыщенного пара от объема не зависит и при постоянной температуре эти величины также имеют постоянные значения. Работа, совершенная над системой, может быть рассчитана следующим образом:

$$A = p_n \Delta V = \frac{\Delta m RT}{\mu} \approx 0,12 \text{ кДж.}$$

**9.** Какое число качаний должен сделать поршневой насос, чтобы в баллоне объемом  $V = 30$  л удвоить давление воздуха? Начальное давление в баллоне равно атмосферному  $p_0 = 10^5$  Па, площадь поршня насоса  $S = 15$  см<sup>2</sup>, ход поршня  $x = 30$  см, утечки газа при накачивании нет. Насос берет воздух из атмосферы. Температуру газа считать постоянной. Результат выразите в виде целого числа, округлив "вверх".

Раздел: Термодинамика

Уровень сложности: 2

Ответ: 67

**Возможное решение:** За каждое качание насос перемещает из атмосферы в баллон одинаковую массу воздуха  $m_n$ . Для ответа на вопрос задачи нужно рассчитать, сколько таких порций  $n$  воздуха нужно добавить в баллон, чтобы давление воздуха в баллоне удвоилось. Воспользуемся для этого уравнением состояния идеального газа:

$$2p_0V = \frac{m_1 + nm_n}{\mu} RT$$

$$m_1 = \frac{p_0V\mu}{RT}$$

Для  $m_n$  получим

$$m_n = \frac{p_0Sx\mu}{RT}$$

Из этих уравнений следует, что

$$n = \frac{V}{Sx} \approx 67$$

**10.** Для нагревания  $m = 1$  кг неизвестного идеального газа на  $\Delta T = 1$  К при постоянном давлении требуется количество теплоты  $Q_p = 912$  Дж, а при постоянном объеме  $Q_V = 652$  Дж. Определите молярную массу  $\mu$  этого газа. Результат выразите в г/моль и округлите до целого числа

Раздел: Термодинамика

Уровень сложности: 2

Ответ: 32

**Возможное решение:** Количество теплоты, полученное газом в изобарном процессе, определяется как

$$Q_p = c_{удp} m \Delta T = \frac{c_{\mu p} m \Delta T}{\mu}.$$

Количество теплоты, полученное газом в изохорном процессе, определяется как

$$Q_V = c_{удV} m \Delta T = \frac{c_{\mu V} m \Delta T}{\mu}.$$

Учтем, что

$$c_{\mu p} = c_{\mu V} + R.$$

Тогда

$$\frac{\mu Q_p}{m\Delta T} = \frac{\mu Q_V}{m\Delta T} + R$$

и

$$\mu = \frac{mR\Delta T}{Q_p - Q_V} \approx 0,032 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} = 32 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

**11.** Два одинаковых небольших металлических шарика заряжены разными зарядами. Когда шарики находятся на расстоянии  $r = 200$  м друг от друга, они притягиваются с силой  $F_1 = 36$  мН. После того, как шарики привели в соприкосновение и развели на то же расстояние, они стали отталкиваться с силой  $F_2 = 64$  мН. Найдите модуль суммы первоначальных зарядов шариков. Результат выразите в микрокулонах и округлите до сотых долей.

*Раздел: Электричество*

*Уровень сложности: 2*

*Ответ: 1,07*

**Возможное решение:** Поскольку шарики одинаковые, то и заряды при соприкосновении шариков перераспределились так, что заряды стали равны. Проекция силы взаимодействия шариков на прямую, соединяющую их центры, во втором случае имеет вид

$$F_2 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

Здесь

$$q = \frac{q_1 + q_2}{2}$$

Из выражения для силы во втором случае получим

$$q = r\sqrt{4\pi\epsilon_0 F_2}$$

Окончательно

$$|q_1 + q_2| = 2r\sqrt{4\pi\epsilon_0 F_2} \approx 1,07 \text{ Кл}.$$

**12.** К источнику электрической энергии напряжением  $U = 100$  В подключили последовательно два одинаковых конденсатора емкостью  $C = 40$  пФ каждый. Затем один из них заполнили диэлектриком с проницаемостью  $\epsilon = 3$ . Во сколько раз уменьшилась напряженность электрического поля в этом конденсаторе? Результат выразите целым числом.

*Раздел: Электричество*

*Уровень сложности: 2*



*Ответ: 2*

**Возможное решение:** Суммарное напряжение на последовательно соединенных конденсаторах остается неизменным. Напряженность электрического поля в конденсаторе пропорциональна напряжению на его обкладках. В первом случае напряжение на втором конденсаторе равнялось половине напряжения источника электрической энергии. Во втором случае емкость второго конденсатора стала в  $\varepsilon$  раз больше. Заряды на последовательно соединенных конденсаторах равны, значит

$$\begin{aligned}CU_1 &= \varepsilon CU_2 \\ U_1 + U_2 &= U\end{aligned}$$

Решая эту систему уравнений, получим

$$U_2 = \frac{U}{\varepsilon + 1}.$$

Отношение напряженностей равно отношению напряжений, т.е.

$$k = \frac{U(\varepsilon + 1)}{2U} = 2.$$

**13.** Зазор между обкладками плоского конденсатора заполнен неидеальным диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 6$  и удельным сопротивлением  $\rho = 100$  ГОм·м. Емкость конденсатора  $C = 4$  нФ. Найдите ток утечки, который возникает при приложении к конденсатору напряжения  $U = 2$  кВ. Результат выразите в микроамперах и округлите до десятых долей.

*Раздел: Электричество*

*Уровень сложности: 2*

*Ответ: 1,5*

**Возможное решение:** По закону Ома ток утечки определяется как

$$I = \frac{U}{R} = \frac{US}{\rho d},$$

где  $S$  – площадь обкладок конденсатора,  $d$  – расстояние между обкладками. Емкость плоского конденсатора равна

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

Ток утечки равен

$$I = \frac{UC}{\rho \varepsilon_0 \varepsilon} \approx 1,5 \text{ мкА}.$$

**14.** Если присоединить к вольтметру некоторое добавочное сопротивление, предел измерения увеличится в  $n = 2$  раза. Присоединение другого добавочного сопротивления увеличивает предел измерений в  $m = 5$  раз. Во сколько раз увеличится предел измерений вольтметра, если соединить указанные добавочные сопротивления параллельно и включить их последовательно с вольтметром? Результат округлите до десятых долей.

*Раздел: Электричество*

*Уровень сложности: 2*

*Ответ: 1,8*

**Возможное решение:** Присоединение к вольтметру добавочного сопротивления  $R$  увеличивает предел измерений в

$$k = \left(1 + \frac{R}{R_V}\right) \text{ раз.}$$

Здесь  $R_V$  – сопротивление вольтметра.

В первом случае добавочное сопротивление равно  $(n - 1)R_V$ , во втором оно равно  $(m - 1)R_V$ . Сопротивление параллельно соединенной цепочки добавочных сопротивлений равно

$$R^* = \frac{(n - 1)(m - 1)R_V}{m + n - 2}.$$

При подключении этой цепочки последовательно с вольтметром предел его измерений увеличится в

$$q = 1 + \frac{(n - 1)(m - 1)}{m + n - 2} = 1,8 \text{ раз.}$$

**15.** При электролизе раствора серной кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$  расходуется мощность  $P = 37$  Вт. Найдите сопротивление электролита, если за  $\tau = 50$  минут выделяется  $m = 0,3$  г водорода. Результат выразите в омах и округлите до десятых долей.

*Раздел: Электричество*

*Уровень сложности: 2*

*Ответ: 0,4*

**Возможное решение:** По закону Фарадея для электролиза заряд, прошедший через электролит, равен

$$m = \frac{\mu}{Fz} q$$

$$q = \frac{mFz}{\mu}.$$

Сопротивление электролита может быть рассчитано из закона Джоуля – Ленца:

$$R = \frac{P\tau^2}{q^2} = \frac{P(\mu\tau)^2}{(mFz)^2} = P \left( \frac{\mu\tau}{mFz} \right)^2 \approx 0,4 \text{ Ом}$$

**16.** Прямолинейный проводник длиной  $L = 20$  см перемещают в однородном магнитном поле индукцией  $B = 0,1$  Тл так, что он составляет угол  $\alpha = 30^\circ$  с направлением силовых линий поля. С каким ускорением нужно двигать проводник перпендикулярно силовым линиям поля и так, что он остается параллельным самому себе, чтобы напряжение на концах проводника возрастало линейно во времени на  $\Delta U = 0,1$  В за  $\tau = 1$  с? Результат выразите в  $\text{м/с}^2$  и округлите до целого числа.

*Раздел: Магнитные явления*

*Уровень сложности: 2*

*Ответ: 10*

**Возможное решение:** Напряжение на концах проводника определяется как

$$U = BLV \sin \alpha ,$$

где  $V$  – скорость проводника.

Для линейного во времени изменения напряжения проводник должен двигаться с постоянным ускорением

$$a = \frac{\Delta U}{\tau BL \sin \alpha} \approx 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

**17.** Материальная точка совершает гармонические колебания вдоль некоторой прямой с периодом  $T = 0,6$  с и амплитудой  $A = 10$  см. Определите среднюю путевую скорость, с которой она проходит расстояние, равное половине амплитуды, начиная движение из положения равновесия. Результат выразите в  $\text{м/с}$  и округлите до целого числа.

*Раздел: Колебания и волны*

*Уровень сложности: 2*

*Ответ: 1*

**Возможное решение:** Рассчитаем время движения маятника. Из уравнения гармонических колебаний следует:

$$\frac{A}{2} = A \sin \frac{2\pi}{T} \tau$$

$$\tau = \frac{T}{12}.$$

Средняя скорость

$$V_s = \frac{12A}{2T} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

**18.** Определите период малых колебаний математического маятника длиной  $L = 20$  см, если он находится в идеальной жидкости плотностью в  $n = 3$  раза меньшей плотности  $\rho$  колеблющегося тела маятника. Результат выразите в секундах и округлите до десятых долей.

*Раздел: Колебания и волны*

*Уровень сложности: 2*

*Ответ: 1,1*

**Возможное решение:** Идеальность жидкости подразумевает отсутствие сил сопротивления движению маятника. На маятник малым объемом  $V$  действуют силы тяжести и Архимеда. Их равнодействующая направлена вертикально вниз и равна

$$F^* = \left(\rho - \frac{\rho}{3}\right) Vg = \frac{2}{3} mg.$$

Рассмотрение равнодействующей этих сил позволяет считать, что маятник движется в однородном поле силы, создающей эффективное ускорение свободного падения, равное  $2g/3$ . Период колебаний маятника будет равен

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{3L}{2g}} \approx 1,1 \text{ с}.$$

**19.** Электрический паяльник мощностью  $P_0 = 50$  Вт рассчитан на включение в сеть переменного синусоидального тока с напряжением  $U_0 = 127$  В. Какая мощность  $P$  будет выделяться в паяльнике, если его включить в сеть переменного тока с напряжением  $U = 220$  В последовательно с идеальным диодом? Считайте, что сопротивление паяльника не зависит от выделяемой мощности. Результат выразите в ваттах, округлив до целого числа.

*Раздел: Колебания и волны*

*Уровень сложности: 2*

*Ответ: 75*

**Возможное решение:** Мощность паяльника определяется произведением действующих значений напряжения и тока. Сопротивление паяльника равно

$$R = \frac{U_0^2}{P_0}.$$

При включении последовательно с паяльником идеального диода ток через паяльник будет протекать только в течение половины периода приложенного синусоидального напряжения. Средняя за период мощность будет определяться как

$$P = \frac{U^2}{2R} = \frac{U^2 P_0}{2U_0^2} = 75 \text{ Вт}.$$

**20.** Когда на первичную обмотку трансформатора было подано напряжение  $U_1 = 220 \text{ В}$ , напряжение на вторичной обмотке в режиме холостого хода составило  $U_2 = 130 \text{ В}$ . Количество витков в первичной обмотке  $N_1 = 400$ . Определите количество витков  $N_2$  во вторичной обмотке, если в сердечнике трансформатора теряется  $\eta = 3,8 \%$  магнитного потока. Результат выразите целым числом.

*Раздел: Колебания и волны*

*Уровень сложности: 2*

*Ответ: 246*

**Возможное решение:** Анализируя условие задачи, можно допустить, что потери энергии в трансформаторе происходят только в сердечнике. Для магнитных потоков  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , сцепленных с витком первичной и вторичной обмотками соответственно, выполняется соотношение

$$\Phi_2 = (1 - \eta)\Phi_1$$

Тогда для напряжений

$$U_2 = (1 - \eta)U_1 \frac{N_2}{N_1}$$

и

$$N_2 = N_1 \frac{U_2}{(1 - \eta)U_1} \approx 246.$$