

Задания отборочного этапа Олимпиады школьников СПбГУ по физике 2024-2025 гг.

Участникам отборочного этапа Олимпиады по физике из 8-11х классов предлагался вариант, состоявший из 6 задач. Каждая из задач составлялась в нескольких вариациях, выбиравшаяся системой проведения Олимпиады случайным образом. При проверке проверялась корректность введенного в систему числового ответа. Часть задач предлагались к решению участникам разных классов. Ниже в обозначениях задач указывается участникам из каких классов они предназначались.

Задача 10.1

Вариант 2.1

Две нихромовые пластины квадратной формы одинаковой толщины последовательно включили в цепь. Проводники, соединяющие пластины, присоединены к противоположным граням с наименьшей площадью. Пластины поместили в одинаковые стаканы с одинаковым количеством жидкости, массой $m = 100$ г. Площадь первой пластины $S_1 = 10 \text{ см}^2$, площадь второй – $S_2 = 40 \text{ см}^2$. Найти отношение времени закипания первой жидкости ко времени закипания второй жидкости, после подключения цепи в сеть с напряжением 220В. Сопротивлением проводов, теплообменом с окружающей средой и теплоёмкостью пластин пренебречь.

Решение:

Обозначим за a сторону квадрата одной пластины (любой), а за d – её толщину. Тогда сопротивление одной пластины будет рассчитываться по формуле:

$$R = \frac{\rho l}{s} = \frac{\rho a}{ad} = \frac{\rho}{d}$$

Т.е. сопротивление пластины зависит только от удельного сопротивления и толщины пластины, но не от её площади. Тогда сопротивление пластин, а значит и выделяемое ими тепло одинаковое. А значит, вода в первом и втором стакане закипит одновременно.

Ответ: 1

Вариант 2.2

Две нихромовые пластины квадратной формы одинаковой толщины последовательно включили в цепь. Проводники, соединяющие пластины, присоединены к противоположным граням с наименьшей площадью. Пластины поместили в одинаковые стаканы с одинаковым количеством жидкости, равной массы $m = 300$ г. Площадь первой пластины $S_1 = 2 \text{ см}^2$, площадь второй – $S_2 = 6,5 \text{ см}^2$. Найти отношение времени закипания первой жидкости ко времени закипания второй жидкости, после подключения цепи в сеть с напряжением 220В. Сопротивлением проводов, теплообменом с окружающей средой пренебречь.

Ответ: 1

Вариант 2.1

Две нихромовые пластины квадратной формы одинаковой толщины последовательно включили в цепь. Проводники, соединяющие пластины, присоединены к противоположным граням с наименьшей площадью. Пластины поместили в одинаковые стаканы с одинаковым количеством жидкости, равной массы $m = 400$ г. Площадь первой пластины $S_1 = 6 \text{ см}^2$, площадь второй – $S_2 = 8 \text{ см}^2$. Найти разность температур в стаканах через 2 минуты после включения цепи в сеть с напряжением 220В. Сопротивлением проводов, теплообменом с окружающей средой пренебречь.

Решение:

Обозначим за a сторону квадрата одной пластины (любой), а за d – её толщину. Тогда сопротивление одной пластины будет рассчитываться по формуле:

$$R = \frac{\rho l}{s} = \frac{\rho a}{ad} = \frac{\rho}{d}$$

Т.е. сопротивление пластины зависит только от удельного сопротивления и толщины пластины, но не от её площади. Тогда сопротивление пластин, а значит и выделяемое ими тепло одинаковое. А значит, вода в первом и втором стакане закипит одновременно. И разность температур будет равна нулю

Ответ: 0

Вариант 2.2

Две нихромовые пластины квадратной формы одинаковой толщины последовательно включили в цепь. Проводники, соединяющие пластины, присоединены к противоположным граням с наименьшей площадью. Пластины поместили в одинаковые стаканы с одинаковым количеством жидкости, равной массы $m = 800$ г. Площадь первой пластины $S_1 = 1,5 \text{ см}^2$, площадь второй – $S_2 = 3 \text{ см}^2$. Найти разность температур в стаканах через 4 минуты после включения цепи в сеть с напряжением 220В . Ответ округлить до целого числа. Сопротивлением проводов, теплообменом с окружающей средой пренебречь. **Ответ:** 0

Задача 10.2.

Вариант 1.1

На ярмарке есть аттракцион: круговая карусель радиусом $R = 5$ м, при включении ускоряющаяся с постоянным угловым ускорением $\alpha = 0,02$ рад/с². В некоторый момент времени t_0 скорость вращения карусели составляла $\omega_0 = 1$ рад/с, а спустя t секунд центростремительное ускорение выросло в два раза по сравнению с моментом времени t_0 . Определите t . Ответ приведите в секундах, округлив до ближайшего целого значения.

Решение:

Обозначим искомое время за t_1

1. Центростремительное ускорение при $t = 0$:

$$a_{ц0} = \omega_0^2 R = 1^2 \times 5 = 5 \text{ м/с}^2$$

2. В момент времени t_1 центростремительное ускорение по условию задачи равно:

$$a_{ц1} = 2a_{ц0} = 2 \times 5 = 10 \text{ м/с}^2$$

3. Выразим угловую скорость через центростремительное ускорение в момент t_1 :

$$a_{ц1} = \omega_1^2 R \Rightarrow \omega_1 = \sqrt{a_{ц1} / R} = \sqrt{10 / 5} = \sqrt{2} \text{ рад/с}$$

4. Угловая скорость в момент времени t_1 :

$$\omega_1 = \omega_0 + \alpha t_1$$

5. Выразим время t_1 из пункта 4:

$$t_1 = (\omega_1 - \omega_0) / \alpha = (\sqrt{2} - 1) / 0,02 = 21 \text{ с}$$

Ответ: 21

Вариант 2.2

На ярмарке есть аттракцион: круговая карусель радиусом $R = 9$ м, при включении ускоряющаяся с постоянным угловым ускорением $\alpha = 0,1$ рад/с². В некоторый момент времени t_0 скорость вращения карусели составляла $\omega_0 = 0,5$ рад/с, а спустя t секунд центростремительное ускорение выросло в два раза по сравнению с моментом времени t_0 . Определите t . Ответ приведите в секундах, округлив до ближайшего целого значения.

Решение:

Обозначим искомое время за t_1

1. Центростремительное ускорение при $t = 0$:

$$a_{ц0} = \omega_0^2 R = 0,5^2 \times 9 = 2,25 \text{ м/с}^2$$

2. В момент времени t_1 центростремительное ускорение по условию задачи равно:

$$a_{ц1} = 9a_{ц0} = 9 \times 2.25 \text{ м/с}^2$$

3. Выразим угловую скорость через центростремительное ускорение в момент t_1 :

$$a_{ц1} = \omega_1^2 R \Rightarrow \omega_1 = \sqrt{a_{ц1} / R} = \sqrt{9 \times 2.25 / 9} = 1.5 \text{ рад/с}$$

4. Угловая скорость в момент времени t_1 :

$$\omega_1 = \omega_0 + \alpha t_1$$

5. Выразим время t_1 из пункта 4:

$$t_1 = (\omega_1 - \omega_0) / \alpha = (1.5 - 0.5) / 0.1 = 10 \text{ с}$$

Ответ: 10

Вариант 2.1

На ярмарке есть аттракцион: круговая карусель радиусом $R = 5 \text{ м}$, при включении вращающаяся с постоянным угловым ускорением. В некоторый момент времени t_0 скорость вращения карусели составляла $\omega_0 = 2 \text{ рад/с}$, а спустя 2 секунды центростремительное ускорение выросло в 4 раза по сравнению с моментом времени t_0 . Определите угловое ускорение карусели. Ответ приведите в рад/с^2 , округлив до ближайшего целого значения.

Решение:

Обозначим конечное время за t_1

1. Центростремительное ускорение при $t = 0$:

$$a_{ц0} = \omega_0^2 R = 2^2 \times 5 = 20 \text{ м/с}^2$$

2. В момент времени t_1 центростремительное ускорение по условию задачи равно:

$$a_{ц1} = 4a_{ц0} = 4 \times 20 = 80 \text{ м/с}^2$$

3. Выразим угловую скорость через центростремительное ускорение в момент t_1 :

$$a_{ц1} = \omega_1^2 R \Rightarrow \omega_1 = \sqrt{a_{ц1} / R} = \sqrt{80 / 5} = 4 \text{ рад/с}$$

4. Угловая скорость в момент времени t_1 :

$$\omega_1 = \omega_0 + \alpha t_1$$

5. Выразим α из пункта 4:

$$\alpha = (\omega_1 - \omega_0) / t_1 = (4 - 2) / 2 = 1 \text{ рад/с}^2$$

Ответ: 1

Вариант 2.2

На ярмарке есть аттракцион: круговая карусель радиусом $R = 7$ м, при включении вращающаяся с постоянным угловым ускорением. В некоторый момент времени t_0 скорость вращения карусели составляла $\omega_0 = 1$ рад/с, а спустя 0,5 секунды центростремительное ускорение выросло в 9 раз по сравнению с моментом времени t_0 . Определите угловое ускорение карусели. Ответ приведите в рад/с², округлив до ближайшего целого значения.

Решение:

Обозначим конечное время за t_1

1. Центростремительное ускорение при $t = 0$:

$$a_{ц0} = \omega_0^2 R = 1^2 \times 7 = 7 \text{ м/с}^2$$

2. В момент времени t_1 центростремительное ускорение по условию задачи равно:

$$a_{ц1} = 9a_{ц0} = 9 \times 7 = 63 \text{ м/с}^2$$

3. Выразим угловую скорость через центростремительное ускорение в момент t_1 :

$$a_{ц1} = \omega_1^2 R \Rightarrow \omega_1 = \sqrt{a_{ц1} / R} = \sqrt{63 / 7} = 3 \text{ рад/с}$$

4. Угловая скорость в момент времени t_1 :

$$\omega_1 = \omega_0 + \alpha t_1$$

5. Выразим α из пункта 4:

$$\alpha = (\omega_1 - \omega_0) / t_1 = (3 - 1) / 0.5 = 4 \text{ рад/с}^2$$

Ответ: 4

Задача 10.3

Вариант 1

Резистор с сопротивлением **R Ом** подключили в цепь постоянного тока и поместили в сосуд со смесью воды и льда общей массой **m** грамм при температуре **0 °C**. Через **t** минут температура воды в сосуде стала равной **T °C**. Определите ток в цепи. Удельная теплота плавления льда равна **334 кДж/кг**, теплоемкость воды равна **4200 Дж/(кг·°C)**. Теплообменом с окружающей средой и стенками сосуда пренебречь. Начальное массовое соотношение воды и льда в сосуде было **k:n**. Ответ приведите в амперах, округлив до ближайшего целого значения.

Решение:

Количество теплоты, выделившееся на резисторе, ушло на плавление льда и разогрев воды:

$$Q = \lambda \Delta m + C(m_1 + \Delta m) \Delta T$$

Из данного по условию соотношения воды и льда в сосуде находим, что

$$m_1 = \frac{k}{k+n} m, \Delta m = \frac{n}{k+n} m$$

Мощность, выделяющаяся на резисторе, равна:

$$P = I^2 R = \frac{Q}{t}$$

Откуда

$$I = \sqrt{\frac{m \left(\frac{n}{k+n} \lambda + C \Delta T \right)}{R t}}$$

Подставляя числа, получаем окончательный ответ:

1. $m=1200$ г., $\Delta T=7$, $t=20$ мин, $R=2$ Ом, $n=3, k=7$. $I=8$ А.
2. $m=1500$ г., $\Delta T=16$, $t=25$ мин, $R=4$ Ом, $n=1, k=9$. $I=5$ А.

Вариант 2

Резистор с сопротивлением **R Ом** подключили в цепь постоянного тока и поместили в сосуд со смесью воды и льда общей массой **m** грамм при температуре **0 °C**. Через **t** минут температура воды в сосуде стала равной **T °C**. Определите напряжение на резисторе. Удельная теплота плавления льда равна **334 кДж/кг**, теплоемкость воды равна **4200 Дж/(кг·°C)**. Теплообменом с окружающей средой и стенками сосуда пренебречь. Начальное массовое соотношение воды и льда в сосуде было **k:n**. Ответ приведите в вольтах, округлив до ближайшего целого значения.

Решение:

Количество теплоты, выделившееся на резисторе, ушло на плавление льда и разогрев воды:

$$Q = \lambda \Delta m + C(m_1 + \Delta m) \Delta T$$

Из данного по условию соотношения воды и льда в сосуде находим, что

$$m_1 = \frac{k}{k+n} m, \Delta m = \frac{n}{k+n} m$$

Мощность, выделяющаяся на резисторе, равна:

$$P = U^2 / R = \frac{Q}{t}$$

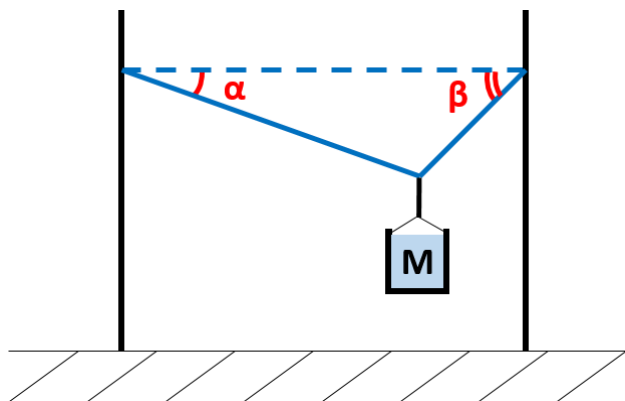
Откуда

$$U = \sqrt{R \frac{m \left(\frac{n}{k+n} \lambda + C \Delta T \right)}{t}}$$

1. $m=700$ г., $\Delta T=12$, $t=15$ мин, $R=7$ Ом, $n=1, k=5$. $U=24$ В.
2. $m=850$ г., $\Delta T=8$, $t=12$ мин, $R=6$ Ом, $n=3, k=10$. $U=28$ В.

Задача 10-11.1

Вариант 1



Решение:

Поскольку ведро закреплено жестко на жгутае (не скользит), то натяжение в разных частях жгута будет разное. Так как воду наливают медленно, то оно находится в равновесии – скомпенсированы как горизонтальные, так и вертикальные силы:

$$F_{x1} = F_{x2} \Rightarrow T_1 \cos \alpha = T_2 \cos \beta$$

$$F_{y1} + F_{y2} = Mg \Rightarrow T_1 \sin \alpha + T_2 \sin \beta = Mg$$

Первое из соотношений для заданных углов однозначно определяет, какое из натяжений будет больше и которое, соответственно, и приводит к разрыву жгута. Его и нужно найти.

Пусть $\beta > \alpha$. Тогда $T_2 > T_1$, и жгут порвался из-за натяжения T_2 . T_1 можно выразить через T_2 из первого уравнения:

$$T_1 = \frac{\cos \beta}{\cos \alpha} T_2$$

и подставить во второе:

$$T_2 = \frac{Mg}{\cos \beta \tan \alpha + \sin \beta}$$

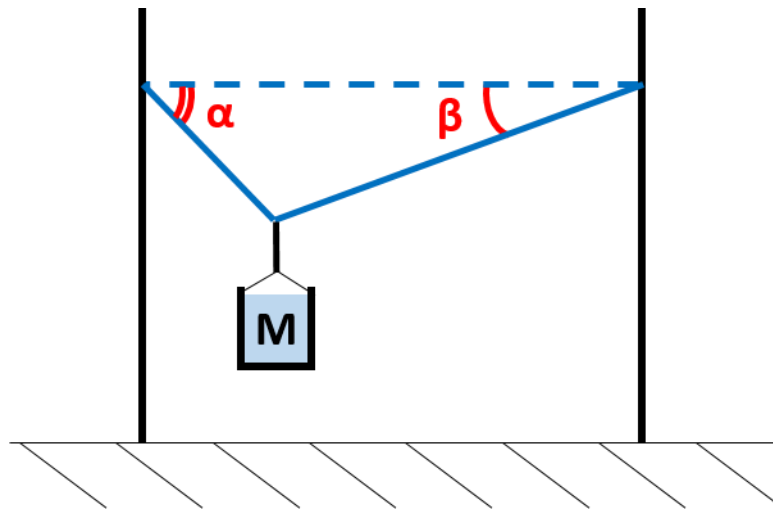
Подставляя числовые значения, находим ответ:

1. $M=10$ кг, $T_2=87$ Н.
2. $M=5$ кг, $T_2=43$ Н.

Вариант 2

Концы невесомого жгута закреплены на двух опорах так, что жгут горизонтален, не провисает, но и не натянут. К некоторой точке жгута привязали ведро и начали медленно наполнять его водой. Когда масса ведра с водой стала равной 10 кг, один его участок

составлял к горизонтали угол $\alpha=60^\circ$, а другой – угол $\beta=30^\circ$ (см. рисунок), жгут порвался. Определите максимальное натяжение, при котором рвется жгут. Ведро не скользит по жгуту. Ускорение свободного падения примите равным 10 м/с^2 . Ответ приведите в ньютонах, округлив до ближайшего целого значения.



Решение:

Поскольку ведро закреплено жестко на жгуте (не скользит), то натяжение в разных частях жгута будет разное. Так как воду наливают медленно, то оно находится в равновесии – скомпенсированы как горизонтальные, так и вертикальные силы:

$$F_{x1} = F_{x2} \Rightarrow T_1 \cos \alpha = T_2 \cos \beta$$

$$F_{y1} + F_{y2} = Mg \Rightarrow T_1 \sin \alpha + T_2 \sin \beta = Mg$$

Первое из соотношений для заданных углов однозначно определяет, какое из натяжений будет больше и которое, соответственно, и приводит к разрыву жгута. Его и нужно найти.

Пусть $\beta < \alpha$. Тогда $T_2 < T_1$, и жгут порвался из-за натяжения T_1 . T_2 можно выразить через T_1 из первого уравнения:

$$T_2 = \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} T_1$$

и подставить во второе:

$$T_1 = \frac{Mg}{\cos \alpha \tan \beta + \sin \alpha}$$

Подставляя числовые значения, находим ответ:

1. $M=15 \text{ кг}$, $T_1=130 \text{ Н}$.
2. $M=7.5 \text{ кг}$, $T_1=65 \text{ Н}$.

Задача 10-11.2

Вариант 1

В экспериментальном лифте в пол вмонтирована сенсорная кнопка, при нажатии которой лифт начинает двигаться вертикально вниз с постоянным ускорением. Испытатель, находясь в неподвижном лифте, держит мячик на высоте h и отпускает его ровно над кнопкой. Определите ускорение лифта, если известно, что спустя время t после начала движения, мячик, единожды отскочив от кнопки, оказался на высоте H над полом лифта. Ускорение свободного падения примите равным g . Мячик отскакивает от кнопки абсолютно упруго.

Решение:

До столкновения с кнопкой мячик движется в поле тяжести земли, начальная скорость его равна нулю. Время от начала движения мячика до столкновения с кнопкой тогда будет:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

А скорость в момент удара:

$$v_1 = \sqrt{2gh}$$

Движение шарика в системе отсчета, связанной с лифтом, после отскока будет описываться формулой:

$$y_2(t) = v_1(t - t_1) - \frac{1}{2}(g - a)(t - t_1)^2$$

И ускорение лифта тогда будет:

$$\frac{2(H - v_1(t - t_1))}{(t - t_1)^2} + g = a$$

Подставляя числа, получаем окончательный ответ:

1. $h=1.25$ м, $t_1=0.5$ с, $v_1=5$ м/с, $t=1$ с, $H=1.5$ м, $a=2$ м/с²
2. $h=1.8$ м, $t_1=0.6$ с, $v_1=6$ м/с, $t=1$ с, $H=2$ м, $a=5$ м/с²

Вариант 2

В экспериментальном лифте в пол вмонтирована сенсорная кнопка, при нажатии которой лифт начинает двигаться вниз с постоянным ускорением $a < g$. Испытатель, находясь в лифте, держит мячик на высоте h и отпускает его ровно над кнопкой. Определите скорость мячика в момент второго соударения с кнопкой, если известно, что оно произошло спустя время t после начала движения. Ускорение свободного падения примите равным g . Мячик отскакивает от кнопки абсолютно упруго.

Решение:

До столкновения с кнопкой мячик движется в поле тяжести земли, начальная скорость его равна нулю. Время от начала движения мячика до столкновения с кнопкой тогда будет:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

А скорость в момент удара:

$$v_1 = \sqrt{2gh}$$

Поскольку лифт начинает двигаться с нулевой скоростью, то до второго столкновения он пройдет расстояние:

$$\Delta L = \frac{a(t - t_1)^2}{2}$$

Поскольку мячик отскакивает от кнопки абсолютно упруго, то после первого соударения относительно земли он поднимется на то же расстояние, с которого его бросали. Тогда закон сохранения энергии будет записан как:

$$mg(h + \Delta L) = \frac{mv^2}{2}$$

Откуда найдем скорость:

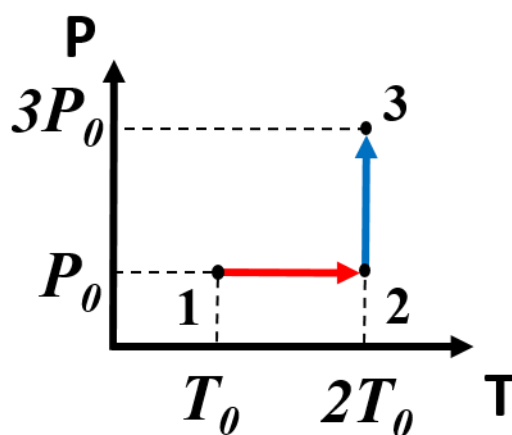
$$\sqrt{g \left(2h + a \left(t - \sqrt{\frac{2h}{g}} \right)^2 \right)} = v$$

1. $h=1.25$ м, $t_1=0.5$ с, $t=1.5$ с, $a=1.1$ м/с², $v=6$ м/с.
2. $h=1.8$ м, $t_1=0.6$ с, $t=1.6$ с, $a=1.3$ м/с², $v=7$ м/с

Задача 10-11.3

Вариант 1

Изменение состояния некоторого количества одноатомного идеального газа проиллюстрировано на графике. Известно, что минимальный объем, занимаемый газом в ходе этого процесса, был равен $V_{\min}$. Рассчитайте изменение внутренней энергии газа в результате процесса 1-3. Ответ приведите в джоулях. Начальное давление газа равно P_0 .



Решение:

Из уравнения состояния идеального газа следует, что объем пропорционален величине T/P . Среди трех состояний наименьшим это отношение будет в точке 3. Отсюда найдем:

$$3P_0 V_{\min} = \nu R 2T_0 \Rightarrow \nu = \frac{3P_0 V_{\min}}{2RT_0}$$

И тогда изменение внутренней энергии будет равно:

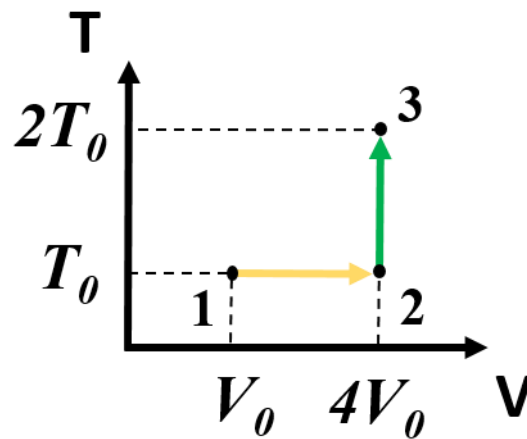
$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} \frac{3P_0 V_{\min}}{2RT_0} RT_0 = \frac{9}{4} P_0 V_{\min}$$

Подставляя значения, получаем ответ:

1. $V_{\min}=2 \text{ л}=0.002 \text{ м}^3$, $P_0=40 \text{ кПа}$, $dU=180 \text{ Дж}$.
2. $V_{\min}=12 \text{ л}=0.012 \text{ м}^3$, $P_0=10 \text{ кПа}$, $dU=270 \text{ Дж}$.

Вариант 2

Изменение состояния некоторого количества одноатомного идеального газа проиллюстрировано на графике. Известно, что максимальное давление газа в ходе этого процесса было равно $P_{\max}$. Рассчитайте изменение внутренней энергии газа в результате процесса 1-3. Ответ приведите в джоулях. Начальный объем газа равен V_0 .



Решение:

Из уравнения состояния идеального газа следует, что давление пропорционально величине T/V . Среди трех состояний наибольшим это отношение будет в точке 1. Отсюда найдем:

$$P_{max}V_0 = \nu RT_0 \Rightarrow \nu = \frac{P_{max}V_0}{RT_0}$$

И тогда изменение внутренней энергии будет равно:

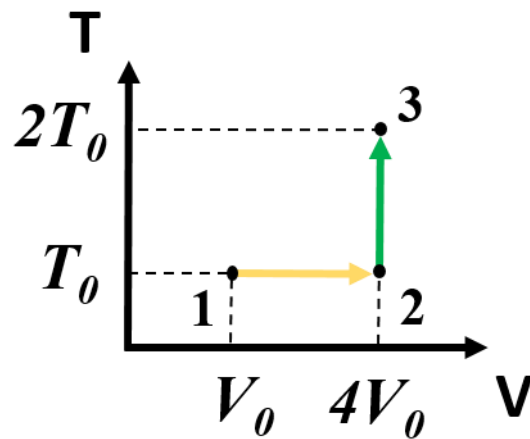
$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} \frac{P_{max}V_0}{RT_0} RT_0 = \frac{3}{2} P_{max}V_0$$

Подставляя значения, получаем ответ:

1. $V_0=1 \text{ л}=0.001 \text{ м}^3$, $P_{max}=200 \text{ кПа}$, $dU=300 \text{ Дж}$.
2. $V_0=2 \text{ л}=0.002 \text{ м}^3$, $P_{max}=45 \text{ кПа}$, $dU=135 \text{ Дж}$.

Вариант 3

Изменение состояния некоторого количества одноатомного идеального газа проиллюстрировано на графике. Известно, что минимальное давление газа в ходе этого процесса было равно P_{min} . Рассчитайте изменение внутренней энергии газа в результате процесса 1-3. Ответ приведите в джоулях. Начальный объем газа равен V_0 .



Решение:

Из уравнения состояния идеального газа следует, что давление пропорционально величине T/V . Среди трех состояний наименьшим это отношение будет в точке 2. Отсюда найдем:

$$P_{min} 4V_0 = \nu R T_0 \Rightarrow \nu = \frac{4P_{min} V_0}{RT_0}$$

И тогда изменение внутренней энергии будет равно:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} \frac{4P_{min} V_0}{RT_0} RT_0 = 6P_{min} V_0$$

Подставляя значения, получаем ответ:

1. $V_0 = 1.5 \text{ л} = 0.0015 \text{ м}^3$, $P_{min} = 30 \text{ кПа}$, $dU = 270 \text{ Дж}$.
2. $V_0 = 2.5 \text{ л} = 0.0025 \text{ м}^3$, $P_{min} = 20 \text{ кПа}$, $dU = 300 \text{ Дж}$.