



## Заключительный этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»

**Профиль: «Физика»**

**Класс участия: 10**

**Вариант задания: 1**

### Задача 1 (8 баллов).

Камень, брошенный горизонтально с вершины холма высотой  $h = 40$  м, летит по параболе и падает на землю. Оказалось, что величина модуля среднего тангенциального ускорения камня за время его полета составила 75% от значения модуля вектора тангенциального ускорения камня в момент падения его на землю. С какой начальной скоростью бросили камень с вершины холма? Сопротивлением воздуха пренебречь. Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

**Ответ:**  $v_0 = \frac{\sqrt{gh}}{2} = 10$  м/с.

### Критерии оценивания

	Элементы решения	Баллы
1	Получена формула для тангенциального ускорения в момент падения на землю	2
2	Записана формула для среднего тангенциального ускорения	1
3	При наличии всех необходимых верных формул проделаны преобразования, с целью получения ответа к задаче. <hr/> 1 балл, если в преобразованиях пропущены важные логические шаги или преобразования недостаточные 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки	3
4	Получена верная конечная формула ответа	1
5	Получен правильный числовой ответ.	1
	<b>ИТОГО</b>	<b>8</b>



### Задача 2 (8 баллов).

В герметичном сосуде объемом  $V = 5$  л находится некоторое количество воды ( $H_2O$ ) при давлении  $p = 10^5$  Па. Никаких других веществ, кроме воды, в сосуде нет. Воду из сосуда откачивают при неизменной температуре сосуда и его содержимого. Когда откачали  $\Delta m = 3,55$  г воды, давление в сосуде уменьшилось в 2 раза. Какое общее количество воды было первоначально в сосуде?

**Ответ:**  $m = \Delta m + \frac{0,5 p_n V \mu}{RT_k} = 5$  г.

#### Критерии оценивания

	Элементы решения	Баллы
1	Указано верное начальное состояние содержимого сосуда	1
2	Указана температура содержимого сосуда	1
3	Имеется доказательство, что в нач. состоянии пар – насыщ.	1
4	Указано верное конечное состояние содержимого сосуда	1
5	Записано уравнение Менделеева-Клапейрона для пара	1
6	При наличии всех необходимых верных формул проделаны преобразования, с целью получения ответа к задаче. <hr/> 1 балл, если в преобразованиях пропущены важные логические шаги или преобразования недостаточные 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки	2
7	Получен правильный числовой ответ	1
	<b>ИТОГО</b>	<b>8</b>



### Задача 3 (14 баллов).

Астероид имеет форму однородного шара радиуса  $R$ . На полюсе астероида прорыли глубокую скважину, направленную к центру астероида, и на глубине  $h = R/2$  установили пусковую установку. Какую минимальную начальную скорость должна иметь ракета, запущенная вертикально вверх с помощью этой пусковой установки, чтобы подняться над поверхностью астероида на высоту  $H = R/2$ ? Считать, что первая космическая скорость при старте с поверхности этого астероида, известна и равна  $V_I = 360$  м/с. Для справки: объем шара радиусом  $R$  вычисляется по формуле  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ , площадь поверхности шара  $S = 4\pi R^2$ .

**Ответ:**  $v_0 = v_I \sqrt{\frac{17}{12}} = 428$  м/с.



### Критерии оценивания

	Элементы решения	Баллы
1	Записана формула для первой космической скорости	1
2	Записана (или получена) формула для нахождения гравитационной силы взаимодействия мат. точки с шаром при $r < R$	2
3	Проделан расчет работы по подъему ракеты с глубины на поверхность астероида <hr/> 1 балл, если в преобразованиях пропущены важные логические шаги или преобразования недостаточные 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки	2
4	Используется формула для потенциальной энергии гравитационного взаимодействия мат. точки с шаром при $r > R$	1
5	Записаны все необходимые энергетические уравнения	3
6	При наличии всех необходимых верных формул проделаны преобразования, с целью получения ответа к задаче. <hr/> 1 балл, если в преобразованиях пропущены важные логические шаги или преобразования недостаточные 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки	3
7	Получена верная конечная формула ответа	1
8	Получен правильный числовой ответ.	1
	<b>ИТОГО</b>	<b>14</b>



### Задача 4 (14 баллов).

Тонкая цилиндрическая заготовка, состоящая из трех частей, лежит на дне широкого сосуда, который медленно заполняется жидкостью плотности  $\rho$ . Площадь поперечного сечения всех трех частей заготовки одинакова. При этом левая часть цилиндра, длиной  $l$ , сделана из материала плотности  $5\rho$ , средняя – длиной  $2l$ , из материала плотности  $\rho$ , а крайняя правая имеет длину  $4l$  и плотность  $\rho/5$ . Определите минимальную высоту уровня жидкости в сосуде, при которой заготовка займет вертикальное положение.

**Ответ:**  $h_{\min} = l\sqrt{23}$ .

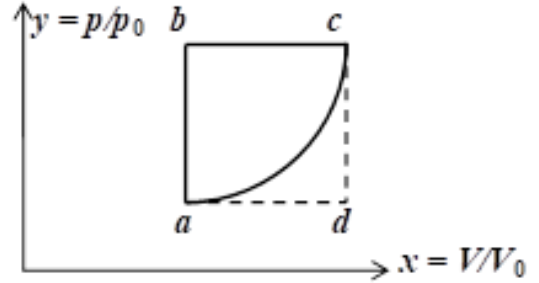
#### Критерии оценивания

	Элементы решения	Баллы
1	Указано, как будет вести себя заготовка, по мере заполнения сосуда	2
2	Есть понимание, что для решения задачи, заготовка должна быть наклонена под некоторым углом	2
3	На рисунке показаны все необходимые силы с их точками приложения	2
4	Записаны все формулы, необходимые для решения задачи: уравнение моментов сил, формулы для масс каждой части заготовки, правильно найдены плечи сил, формула для силы Архимеда)	5
5	Проделаны необходимые преобразования, с полученными формулами с целью получения ответа к задаче.	1
6	Есть понимание, что длина погруженной части заготовки не зависит от угла ее наклона	1
7	Получена верная конечная формула ответа	1
<b>ИТОГО</b>		<b>14</b>



### Задача 5 (18 баллов).

С идеальным одноатомным газом совершают замкнутый цикл  $a-b-c-a$ , показанный на рисунке в безразмерных осях  $x = V/V_0$  и  $y = p/p_0$ , где  $V_0$  и  $p_0$  – некоторые постоянные значения объема и давления (нам не известные). График процесса  $c-a$  на рисунке изображается дугой окружности, радиус которой равен 1, а центр находится в точке  $b$ . Масса газа не меняется.



1) Считаем, что КПД цикла  $a-b-c-a$  известен и равен  $\eta$ . Найдите КПД циклов  $a-c-d-a$  и  $a-b-c-d-a$ . Графики процессов  $a-b$  и  $c-d$  – прямые, параллельные оси  $y$ , а процессов  $b-c$  и  $d-a$  – прямые, параллельные оси  $x$ .

2) Чему равно максимальное значение КПД цикла  $a-b-c-a$ ? Рисунок условный. Цикл  $a-b-c-a$  может находиться в любом месте плоскости  $xu$ .

**Ответ: 1)**  $\eta_{acda} = \frac{(4-\pi)\eta}{\pi(1-\eta)}$ ,  $\eta_{abcda} = \frac{4}{\pi}\eta$ . **2)**  $\eta_{\max} = \frac{\pi}{10} = 0,314$  (31,4%).



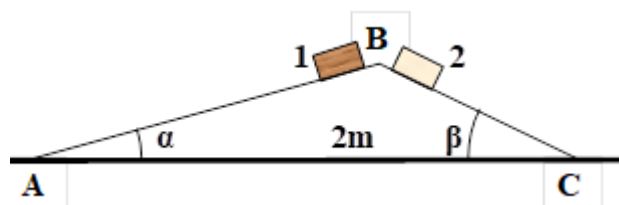
### Критерии оценивания

	Элементы решения	Баллы
1	Записаны общие формулы для КПД цикла, $Q_{\text{пол}}$ и работы за цикл, применительно к циклу $a-b-c-a$	3 (по 1 баллу за каждое уравнение)
2	Записана формула для КПД цикла $a-b-c-d-a$ .	1
3	Получена формула для работы в цикле $a-b-c-d-a$ .	1
4	Проделаны необходимые преобразования с целью получения КПД цикла $a-b-c-d-a$ .	1
5	Записаны необходимые соотношения ( $\eta_{acda}$ , $A_{acda}$ , $Q_{\text{пол}}$ ) и проделаны необходимые преобразования с целью получения КПД цикла $acda$ .	3
6	Записаны необходимые формулы (формула для $Q_{\text{пол}}$ , формула для КПД, уравнения Менделеева-Клапейрона) и проделаны преобразования с целью получения общего выражения (с двумя переменными параметрами) для КПД цикла $a-b-c-a$	5
7	Получено общее выражение для КПД цикла $a-b-c-a$ (с двумя переменными параметрами) с целью получения макс. КПД	1
8	Получены правильные ответы на вопрос 1)	2 (по 1 баллу за каждый верный ответ)
9	Получен правильный ответ на вопрос 2 (макс. КПД)	1
	<b>ИТОГО</b>	<b>18</b>



### Задача 6 (18 баллов).

Ледяная горка, боковые грани которой составляют углы  $\alpha = 30^\circ$  и  $\beta = 45^\circ$  с горизонтом, находится на гладкой горизонтальной поверхности (см. рисунок). На грани АВ и ВС горки аккуратно кладут два бруска, при этом горка остается неподвижной, а бруски движутся. Трение между брусками и гранями горки отсутствует. 1) Чему равна масса бруска 2, если масса бруска 1 известна и равна  $m$ ? 2) Бруски меняют местами. С каким ускорением и в каком направлении в этом случае начнет двигаться горка, если ее масса  $2m$ ?



**Ответ:**  $m_2 = m_1 \frac{\sin 2\beta}{\sin 2\alpha} = \frac{m\sqrt{3}}{2}$ , клин движется влево с ускорением

$$a = \frac{g}{20 + \sqrt{3}} = 0,46 \text{ м/с}^2$$



### *Критерии оценивания*

	<b>Элементы решения</b>	<b>Баллы</b>
1	Записаны все необходимые уравнения динамики в случае неподвижной горки <hr/> 1 балл, если верных уравнений недостаточно	2 балла
2	При наличии всех верных уравнений динамики, проделаны необходимые преобразования с целью найти массу бруска 2 <hr/> 1 балл, если в преобразованиях пропущены важные логические шаги или преобразования недостаточные 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки	2 балла
3	Получен верный ответ для массы бруска 2	1 балл
4	Записана связь ускорения любого из брусков с ускорением горки	1 балл
5	Записаны уравнения динамики брусков и получены $N_\alpha$ и $N_\beta$	2 балла
6	Записаны уравнения динамики горки	2 балл
7	При наличии всех необходимых верных формул проделаны преобразования, с целью получения ускорения горки <hr/> 2 балла, если в преобразованиях пропущены важные логические шаги или преобразования недостаточные, но получен верный ответ 0 баллов, если преобразования отсутствуют или в них допущены ошибки	4 балла
8	Получена формула для ускорения горки	2 балла
9	Получен верный ответ для величины и направления движения горки	2 балла
	<b>ИТОГО</b>	<b>18</b>

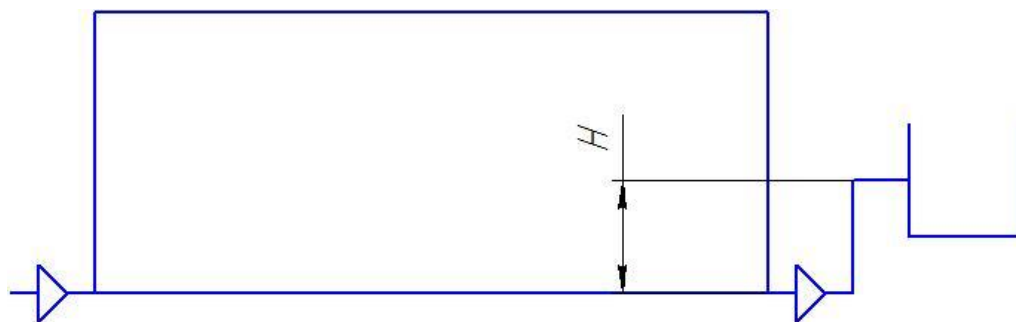


### Задача 7 (20 баллов).

Термический насос может перекачивать воду с минимальными затратами энергии, используя суточные колебания температуры окружающей среды. Он представляет собой герметичный сосуд, снабженный двумя односторонними клапанами, способными пропускать воду только в одном направлении (входным и выпускным), установленными на уровне дна. Сосуд заполнен воздухом. Источник воды располагается на уровне входного клапана, а выходное отверстие трубы, подсоединённой к выпускному клапану, далее поднимается на высоту 0,5 м.

Определите достаточную для выполнения полного цикла работы насоса дневную температуру, если ночная температура составила  $5^{\circ}\text{C}$ . Атмосферное давление считайте постоянным, равным  $10^5$  Па. Температура сосуда равна температуре окружающей среды. Считайте, что воды в сосуде не остаётся после завершения каждого цикла работы устройства.

#### Решение:



В течение суток происходит изменение температуры воздуха как снаружи, так и внутри контейнера.

Вечером при остывании давление будет снижаться, и вода будет засасываться в контейнер. Днем, при нагреве, давление будет повышаться, и вода будет выдавливаться через выходной клапан.

Так как устройство закрыто дном, то масса воздуха внутри равна

$$M_{\text{возд}} = V\rho_{\text{возд}}.$$

Плотность воздуха можно определить из уравнения состояния идеального



газа:

$$\rho_{\text{возд}} = \frac{\mu p_0}{RT}.$$

Тогда

$$M_{\text{возд}} = \frac{\mu p_0}{RT_{\text{дн}}} V. \quad (1)$$

Начальное дневное состояние

$$p_0 V = \frac{M_{\text{возд}}}{\mu} RT_{\text{дн}}. \quad (2)$$

После засасывания воды (вода засасывается ночью)

$$p_0 V_{\text{воздух}_{\text{ноч}}} = \frac{M_{\text{возд}}}{\mu} RT_{\text{ноч}}. \quad (3)$$

Разделим (2) на (3)

$$\frac{V}{V_{\text{воздух}_{\text{ноч}}}} = \frac{T_{\text{дн}}}{T_{\text{ноч}}},$$

тогда

$$V_{\text{воздух}_{\text{ноч}}} = V \frac{T_{\text{ноч}}}{T_{\text{дн}}}.$$

Объём засасываемой воды

$$V_{\text{воды}_{\text{ноч}}} = V - V_{\text{воздух}_{\text{ноч}}} = V \left( 1 - \frac{T_{\text{ноч}}}{T_{\text{дн}}} \right).$$

Утром воздух в контейнере начинает нагреваться, давление начинает расти. Впускной клапан закрыт, выпускной открывается, и вода начинает подниматься по выходной трубе. Максимальное давление в контейнере соответствует давлению столба жидкости высотой 0,5 м.

$$P_{\text{max}} = p_0 + \rho_{\text{воды}} g h.$$

После выдавливания воды

$$p_{\text{max}} V_{\text{воздух}_{\text{дн2}}} = \frac{M_{\text{в}}}{\mu} RT_{\text{дн}},$$



тогда с учётом (1)

$$V_{\text{воздух}_{\text{дн2}}} = \frac{M_{\text{в}} R T_{\text{дн}}}{\mu(p_0 + \rho_{\text{воды}} g h)} = V \frac{p_0}{p_0 + \rho_{\text{воды}} g h}.$$

Оставшееся количество воды

$$V_{\text{воды}_{\text{ост}}} = V - V_{\text{воздух}_{\text{дн2}}} = V \left( 1 - \frac{p_0}{p_0 + \rho_{\text{воды}} g h} \right).$$

Объём выдавленной воды

$$V_{\text{воды}_{\text{выдав}}} = V_{\text{воды}_{\text{ноч}}} - V_{\text{воды}_{\text{ост}}},$$

тогда

$$V_{\text{воды}_{\text{выдав}}} = V \left( 1 - \frac{T_{\text{ноч}}}{T_{\text{дн}}} \right) - V \left( 1 - \frac{p_0}{p_0 + \rho_{\text{воды}} g h} \right) = V \left( \frac{p_0}{p_0 + \rho_{\text{воды}} g h} - \frac{T_{\text{ноч}}}{T_{\text{дн}}} \right).$$

Производительность

$$m_{\text{воды}} = \rho_{\text{воды}} V_{\text{воды}_{\text{выдав}}} = \rho_{\text{воды}} V \left( \frac{p_0}{p_0 + \rho_{\text{воды}} g h} - \frac{T_{\text{ноч}}}{T_{\text{дн}}} \right) \quad (4).$$

Из (4) видно, что работа насоса возможна, если выражение в скобках больше нуля.

$$\frac{p_0}{p_0 + \rho_{\text{воды}} g h} - \frac{T_{\text{ноч}}}{T_{\text{дн}}} = 0,$$

Тогда

$$T_{\text{дн}} = T_{\text{ноч}} \frac{p_0 + \rho_{\text{воды}} g h}{p_0}.$$

$$T_{\text{дн}} = 278 \cdot \frac{10^5 + 1000 \cdot 10 \cdot 0.5}{10^5} = 291,9 \text{ K} \approx 19 \text{ }^\circ\text{C}.$$

**Ответ:**  $T_{\text{дн}} = 291,9 \text{ K} \approx 19 \text{ }^\circ\text{C}$



Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

### *Критерии оценивания*

Критерии оценивания задания 7	
Элемент решения	Баллы
Сформулирована расчётная схема (в том числе, графически), выделены и правильно формализованы все необходимые физические законы	5
Составлена система уравнений и математическая модель	5
Верно учтены технические параметры, характеристики и ограничения	5
Проведены расчеты, получен верный ответ, разумный с точки зрения физического смысла	5
<b>ИТОГО</b>	<b>20</b>