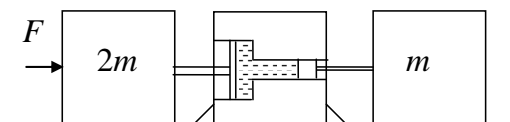


**Второй (заключительный) этап олимпиады школьников**  
**«Шаг в будущее» для 8-10 классов по общеобразовательному предмету**  
**«Физика», 10 класс, весна 2018 г.**

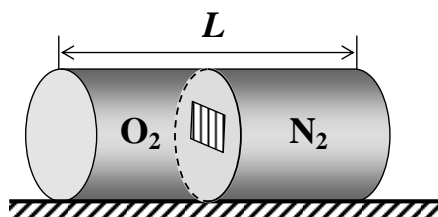
**Вариант №12**

1. (20 баллов) Метеорологическая ракета, запущенная вертикально, достигла максимальной высоты  $h = 192$  км. Во время работы двигателя ускорение ракеты  $a = 2$  м/с<sup>2</sup>. Сколько времени работал двигатель? Через какое время после начала движения ракета упала на землю? Сопротивление атмосферы не учитывать. Считайте, что тормозная система при спуске не работает и сопротивление воздуха отсутствует.

2. (20 баллов) Гидравлический пресс с двумя поршнями, отношение площадей которых равно  $n > 1$ , закреплен на бетонном полу в цехе. К штокам поршней прижаты два ящика массами  $2m$  и  $m$  (см. рисунок). Коэффициент трения между ящиками и полом равен  $\mu$ . Какую минимальную силу  $F$  нужно приложить к левому ящику, чтобы сдвинуть оба ящика вправо? Учитывать трение только между ящиками и полом.



3. (20 баллов) На гладком горизонтальном столе находится цилиндрический сосуд длиной  $L$ , разделённый перегородкой на две равные части (см. рисунок). В одной части сосуда находится кислород, а в другой – азот. Давление азота вдвое больше давления кислорода, а температуры одинаковы. В перегородке открывается шторка, в результате чего газы в сосуде перемешиваются. На какое расстояние при этом сдвинется сосуд? Молярные массы кислорода и азота равны соответственно  $\mu_1 = 32$  г/моль и  $\mu_2 = 28$  г/моль. Массой сосуда и перегородки пренебречь. Процесс считать изотермическим.



4. (20 баллов) При изотермическом расширении водяного пара при температуре  $t = 100^\circ\text{C}$  его объём увеличился от  $V_1 = 10$  л до  $V_2 = 30$  л, а давление уменьшилось в 2 раза. Какой стала масса пара пара?

5. (20 баллов) Для того чтобы началась реакция термоядерного синтеза, сталкивающиеся ядра легких элементов должны сблизиться на некоторое минимальное расстояние  $r_0$ , при котором начинают действовать ядерные силы притяжения. Одной из таких реакций является столкновение ядер дейтерия и трития. Масса ядра трития в 1,5 раза больше массы ядра дейтерия, а их заряды одинаковы и равны  $+e$ . Будем считать, что в начальный момент ядра дейтерия и трития находятся на очень большом расстоянии друг от друга и начинают двигаться навстречу друг другу с одинаковыми скоростями. Какую минимальную кинетическую энергию должно иметь ядро дейтерия, чтобы оба ядра сблизилась на минимально возможное расстояние, при котором начинается реакция термоядерного синтеза?

*Основные физические постоянные:*  $g = 10 \text{ м/с}^2$ ,

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ ;  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ ;  $R = 8,31 \text{ Дж/(К} \cdot \text{моль)}$ .

### Решение и критерии проверки варианта №12

1. (20 баллов) Метеорологическая ракета, запущенная вертикально, достигла максимальной высоты  $h = 192$  км. Во время работы двигателя ускорение ракеты  $a = 2$  м/с<sup>2</sup>. Сколько времени работал двигатель? Через какое время после начала движения ракета упала на землю? Сопротивление атмосферы не учитывать. Считайте, что тормозная система при спуске не работает и сопротивление воздуха отсутствует.

$$\text{Ответ. } \tau = \sqrt{\frac{2gh}{a(a+g)}} = 400 \text{ с, } T = \left( \frac{a + \sqrt{a(a+g)}}{g} + 1 \right) \tau = 676 \text{ с.}$$

#### Решение

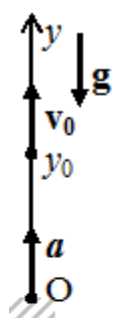
Обозначим время работы двигателей ракеты  $\tau$ . В конце времени работы двигателя  $y_0 = y(\tau) = \frac{a\tau^2}{2}$ ,  $v_0 = v(\tau) = a\tau$ . При дальнейшем движении ракеты ( $t' = t - \tau > 0$ ) уравнения ее движения имеют вид:

Условие падения:  $y(t) = 0$ .

$$\Rightarrow gt^2 - 2at't - a\tau^2 = 0, \quad t = \left( \frac{a + \sqrt{a(a+g)}}{g} \right) \tau = 276 \text{ с.}$$

Если считать от начала движения ракеты, то

$$T = t + \tau = \left( \frac{a + \sqrt{a(a+g)}}{g} + 1 \right) \tau = 676 \text{ с.}$$



$$\begin{cases} y(t') = y_0 + v_0 t' - \frac{gt'^2}{2}, & v_y(t_n) = 0, \Rightarrow t_n = \frac{v_0}{g}, \quad h = y(t_n) = \frac{v_0^2}{2g}. \Rightarrow \\ v_y = v_0 - gt'. \end{cases}$$

$$h = \frac{a\tau^2}{2g}(g+a), \Rightarrow \tau = \sqrt{\frac{2gh}{a(a+g)}} = 400 \text{ с.}$$

Условие падения:  $y(t) = 0$ .

$$\Rightarrow gt^2 - 2at't - a\tau^2 = 0, \quad t = \left( \frac{a + \sqrt{a(a+g)}}{g} \right) \tau = 276 \text{ с.}$$

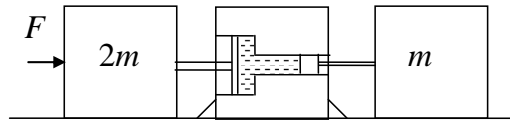
Если считать от начала движения ракеты, то

$$T = t + \tau = \left( \frac{a + \sqrt{a(a+g)}}{g} + 1 \right) \tau = 676 \text{ с.}$$

### Критерии оценивания задачи 1

1	Записаны формулы для $y_0$ и $v_0$	2 балла (по 1 баллу за каждую формулу)
2	Записаны уравнения движения ракеты после выключения двигателя	2 балла (по 1 баллу за каждое уравнение)
3	Получено выражение для времени работы двигателя $\tau$	от 1 до 5 баллов
4	Получено числовое значение $\tau$	1 балл
5	Получено выражение для времени падения	от 1 до 9 баллов
7	Получено числовое значение $T$	1 балл

2. (20 баллов) Гидравлический пресс с двумя поршнями, отношение площадей которых равно  $n > 1$ , закреплен на бетонном полу в цехе. К штокам поршней прижаты два ящика массами  $2m$  и  $m$  (см. рисунок). Коэффициент трения между ящиками и полом равен  $\mu$ . Какую минимальную силу  $F$  нужно приложить к левому ящику, чтобы сдвинуть оба ящика вправо? Учитывать трение только между ящиками и полом.



**Ответ.**  $F = \mu mg(n + 2)$ .

#### Решение

Для левого ящика:  $F = 2\mu mg + F_{д1}$ , для правого ящика  $F_{д2} = \mu mg$ ,  $\frac{F_{д1}}{S_1} = \frac{F_{д2}}{S_2}$ ,

где  $F_{д1}$  и  $F_{д2}$  – силы давлений на левый и правый поршни гидравлического пресса,  $S_1, S_2$  – площади левого и правого поршней соответственно.

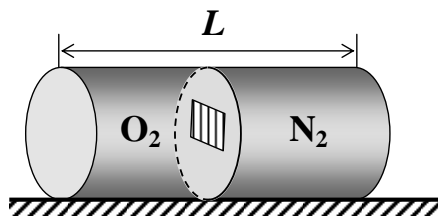
Т.к. отношение площадей поршней равно  $\frac{S_1}{S_2} = n$ , то  $n = \frac{F - 2\mu mg}{\mu mg}$ .

$\Rightarrow F = \mu mg(n + 2)$ .

### Критерии оценивания задачи 2

	Решение содержит следующие верные элементы решения. Баллы за каждый верный элемент решения суммируются	Мак. балл ставится, когда данный элемент решения сделан верно и полно. (MAX = 20 баллов)
1	Записаны уравнения 2 закона Ньютона для каждого ящика	От 1 до 2 баллов за каждое уравнение (всего 4 балла)
2	Записано условие равенство давлений для поршней гидравлического пресса	от 1 до 5 баллов
3	Записано отношение площадей поршней, следующее из условия	1 балл
4	Сделаны необходимые алгебраические преобразования и получен ответ	от 1 до 10 баллов

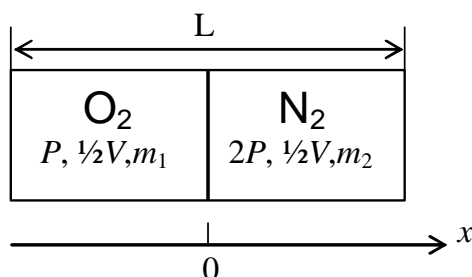
3. (20 баллов) На гладком горизонтальном столе находится цилиндрический сосуд длиной  $L$ , разделённый перегородкой на две равные части (см. рисунок). В одной части сосуда находится кислород, а в другой – азот. Давление азота вдвое больше давления кислорода, а температуры одинаковы. В перегородке открывается шторка, в результате чего газы в сосуде перемешиваются. На какое расстояние при этом сдвинется сосуд? Молярные массы кислорода и азота равны соответственно  $\mu_1 = 32$  г/моль и  $\mu_2 = 28$  г/моль. Массой сосуда и перегородки пренебречь. Процесс считать изотермическим.



**Ответ.** Сосуд сдвинется вправо на  $\frac{3}{44}L$ .

#### Решение

Обозначим  $V$  – объём сосуда,  $P$  – давление кислорода, тогда давление азота равно  $2P$ ,  $m_1$  – масса кислорода,  $m_2$  – масса азота. Тогда



$$\begin{cases} P \frac{V}{2} = \frac{m_1 RT}{\mu_1}, \\ 2P \frac{V}{2} = \frac{m_2 RT}{\mu_2}, \end{cases} \Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{\mu_1}{2\mu_2} = \frac{32}{2 \cdot 28} = \frac{4}{7}.$$

Найдём положение центра масс газов.

$$x_{ц.м.} = \frac{m_1 \left(-\frac{L}{4}\right) + m_2 \frac{L}{4}}{m_1 + m_2} = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \cdot \frac{L}{4} = \frac{1 - m_1/m_2}{1 + m_1/m_2} \cdot \frac{L}{4} = \frac{3}{11} \cdot \frac{L}{4} = \frac{3}{44} L.$$

После открывания шторы, газы перемешаются, и центр масс системы будет находиться посередине сосуда (в точке  $x = 0$ ). Значит, сосуд сдвинется вправо на  $\frac{3}{44} L$ .

### Критерии оценивания задачи 3

	Решение содержит следующие верные элементы решения. Баллы за каждый верный элемент решения суммируются прибавляем количество баллов, если	Мах. балл ставится, когда данный элемент решения сделан верно и полно. (MAX = 20 баллов)
1	Записаны уравнения состояния кислорода и азота	от 1 до 2 баллов за каждое уравнение (всего 4 балла)
2	Установлено, что сосуд сдвигается, т.к. изменяется положение его центра масс	от 1 до 2 баллов
3	Записана формула для нахождения положения центра масс	от 1 до 4 баллов
4	Сделаны необходимые алгебраические преобразования и получен ответ	от 1 до 10 баллов

4. (20 баллов) При изотермическом расширении водяного пара при температуре  $t = 100^\circ\text{C}$  его объём увеличился от  $V_1 = 10$  л до  $V_2 = 30$  л, а давление уменьшилось в 2 раза. Какой стала масса пара пара?

$$\text{Ответ. } m = \frac{P_n V_2 \mu}{2RT} = 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

### Решение

Предположим, что в начальном состоянии пар ненасыщенный, тогда при увеличении объёма в 3 раза, его давление должно уменьшиться, согласно закону Бойля-Мариотта, тоже в 3 раза. Противоречие с условием означает, что в начальном состоянии

пар – насыщенный, а в конечном – ненасыщенный. Давление насыщенного пара при  $t = 100^\circ\text{C}$  равно  $P_1 = P_n = 10^5$  Па.

$$\text{Тогда } \frac{P_n V_2}{2} = \frac{m}{\mu} RT, \Rightarrow m = \frac{P_n V_2 \mu}{2RT} = 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

#### Критерии оценивания задачи 4

	Решение содержит следующие верные элементы решения. Баллы за каждый верный элемент решения суммируются	Мах. балл ставится, когда данный элемент решения сделан верно и полно. (MAX = 20 баллов)
1	Установлено, что в начальном состоянии пар ненасыщенный	2 балла
2	Установлено, что в конечном состоянии пар насыщенный	2 балла
3	Правильно указано, чему равно давление насыщенного пара при $100^\circ\text{C}$	1 балл
4	Найден объем при котором пар становится насыщенным	5 балл
5	Записано уравнение состояния для насыщенного пара	4 балла
6	Проделаны необходимые алгебраические преобразования и получена формула для $V_1$	от 1 до 4 баллов
7	Проведен численный расчет и получен числовой ответ с правильными единицами	от 1 до 2 баллов

5. (20 баллов) Для того чтобы началась реакция термоядерного синтеза, сталкивающиеся ядра легких элементов должны сблизиться на некоторое минимальное расстояние  $r_0$ , при котором начинают действовать ядерные силы притяжения. Одной из таких реакций является столкновение ядер дейтерия и трития. Масса ядра трития в 1,5 раза больше массы ядра дейтерия, а их заряды одинаковы и равны  $+e$ . Будем считать, что в начальный момент ядра дейтерия и трития находятся на очень большом расстоянии друг от друга и начинают двигаться навстречу друг другу с одинаковыми скоростями. Какую минимальную кинетическую энергию должно иметь ядро дейтерия, чтобы оба ядра сблизилась на минимально возможное расстояние, при котором начинается реакция термоядерного синтеза?

$$\text{Ответ. } E = \frac{5}{12} k \frac{e^2}{r_0}.$$

### Решение

Пусть масса дейтерия  $m$ , масса трития  $1,5 m$ ,  $v$  – начальная скорость налетающих частиц. Расстояние между ядрами минимально, когда скорости частиц в конечном состоянии одинаковы по модулю (и равны  $u$ ) и по направлению.

Запишем законы сохранения импульса и энергии

$$\begin{cases} -mv + \frac{3}{2}mv = mu + \frac{3}{2}mu, \\ E = \frac{mv^2}{2}, \\ \frac{mv^2}{2} + \frac{3}{2} \cdot \frac{mv^2}{2} = \frac{mu^2}{2} + \frac{3}{2} \cdot \frac{mu^2}{2} + k \frac{e^2}{r_0}, \end{cases} \Rightarrow E = \frac{5}{12} k \frac{e^2}{r_0}.$$

### Критерии оценивания задачи 5

	<b>Решение содержит следующие верные элементы решения. Баллы за каждый верный элемент решения суммируются</b>	<b>Мах. балл ставится, когда данный элемент решения сделан верно и полно. (МАХ = 20 баллов)</b>
1	Установлено, что скорости частиц одинаковы, когда между ними мин. расстояние	3 балла
2	Записан закон сохранения импульса	от 1 до 5 баллов
3	Записана формула для потенциальной энергии взаимодействия заряженных частиц	1 балл
4	Записана формула для кинетической энергии дейтерия	1 балл
5	Записан закон сохранения энергии	от 1 до 5 баллов
6	Проделаны необходимые алгебраические преобразования и получен ответ	от 1 до 5 баллов