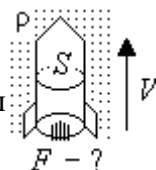


### Задание для 11-ого класса

#### 1. Пролет ракеты через облако космической пыли

**1. Пролет ракеты через облако космической пыли.** В космическом пространстве ракета летит сквозь облако неподвижной космической пыли плотностью  $\rho$ . Какой силой тяги  $F$  должен обладать ракетный двигатель, чтобы преодолеть облако с постоянной скоростью  $V$ . Считайте, что попавшая на корабль пыль прилипает к нему, площадь поперечного сечения ракеты  $S$ .



*Решение:*

За время  $\Delta t$ , на ракету прилипнет часть пыли массой

$$\Delta m = \rho S V \Delta t.$$

Из-за этого импульс ракеты изменится на величину

$$\Delta p = \Delta m \cdot V = \rho S V^2 \Delta t.$$

По второму закону Ньютона для ракеты на нее должна действовать сила

$$F = \Delta p / \Delta t = (\rho S V^2 \Delta t) / \Delta t = \rho S V^2,$$

которую развивает ракетный двигатель.

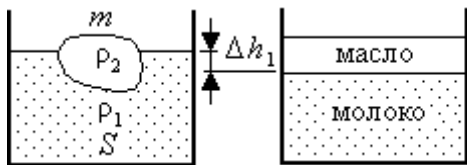
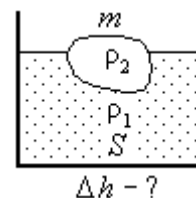
*Ответ:*  $F = \rho S V^2$ .

*Критерии оценивания:*

Шаги выполнения задания	Число баллов
Изменение массы вида $\Delta m = \rho S V \Delta t$	2
Изменение импульса $\Delta p = \Delta m \cdot V = \rho S V^2 \Delta t$	3
Второй закон Ньютона $F = \Delta p / \Delta t = (\rho S V^2 \Delta t) / \Delta t = \rho S V^2$	4
Ответ	1
<b>Сумма баллов:</b>	<b>10</b>

#### 2. Масло в молоке

**2. Масло в молоке.** Кусок масла массой  $m = 90$  г плавает в цилиндрической кастрюле с горячим молоком. На какую величину  $\Delta h$  поднимется верхняя граница жидкого масла над первоначальным уровнем молока после того, как оно полностью растает? Плотности молока и растопленного масла соответственно равны  $\rho_1 = 1$  г/см<sup>3</sup> и  $\rho_2 = 0,9$  г/см<sup>3</sup>, площадь дна кастрюли  $S = 100$  см<sup>2</sup>.



*Решение:*

Из условия плавания куска масла находим объем вытесненного молока:

$$\rho_1 V_1 = m,$$

$$V_1 = m / \rho_1.$$

Объем жидкого масла и его толщина соответственно равны

$$V_2 = m / \rho_2,$$

$$\Delta h_2 = V_2 / S = m / (\rho_2 S) = 10 \text{ мм}.$$

Поскольку растопленное масло из-за меньшей плотности будет находиться в верхнем слое, то вода займет вытесненный плавающим куском масла объем и опустится на

$$\Delta h_1 = V_1 / S = m / (\rho_1 S) = 9 \text{ мм}.$$

Окончательно получаем

$$\Delta h = \Delta h_2 - \Delta h_1 = m(\rho_1 - \rho_2) / (\rho_1 \rho_2 S) = 1 \text{ мм}.$$

*Ответ:*  $\Delta h = m(\rho_1 - \rho_2) / (\rho_1 \rho_2 S) = 1 \text{ мм}.$

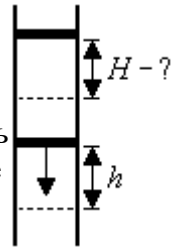
**Второй (муниципальный) этап Всероссийской олимпиады школьников по физике  
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра  
2020-2021 учебный год**

*Критерии оценивания:*

Шаги выполнения задания	Число баллов
Вычисление объема $V_1 = m/\rho_1$	2
Вычисление объема $V_2 = m/\rho_2$	2
Получение $\Delta h_2 = V_2/S = m/(\rho_2 S) = 10$ мм	2
Получение $\Delta h_1 = V_1/S = m/(\rho_1 S) = 9$ мм	2
Ответ $\Delta h = m(\rho_1 - \rho_2)/(\rho_1 \rho_2 S) = 1$ мм	2
<b>Сумма баллов:</b>	<b>10</b>

### 3. Газ между поршнями

**3. Газ между поршнями.** В трубе, закрепленной в воздухе в вертикальном положении и открытой с обоих концов, вставлены два массивных поршня. Пространство между ними заполнено идеальным одноатомным газом. Первоначально система находится в равновесии. Затем нижний поршень очень быстро смещают вниз на  $h = 10$  см. На какое расстояние  $H$  после этого в новое положение равновесия сместится верхний поршень? Считайте, что теплопроводностью и теплоемкостью поршней и трубы можно пренебречь, поршни по трубе двигаются без трения.



*Решение:*

При очень быстром смещении нижнего поршня внутренняя энергия газа не успевает измениться, у газа увеличится объем, уменьшится давление, верхний поршень начнет смещаться вниз и через некоторое время установится новое конечное равновесие. При этом давление газа в начальном и конечном состояниях будет одинаковым, так как оно определяется равновесием верхнего поршня и равно  $P = P_0 + Mg/S$ , где  $P_0$  - атмосферное давление воздуха,  $S$  - площадь поперечного сечения трубы,  $M$  - масса верхнего поршня,  $g$  - ускорение свободного падения. Некоторое начальное расстояние между поршнями  $L_0$  станет равным  $L = L_0 + h - H$ . Начальный и конечный объемы газа, а также их начальная и конечная внутренняя энергия соответственно равны

$$V_0 = SL_0,$$

$$V = SL = S(L_0 + h - H),$$

$$U_0 = (3/2)PV_0 = (3/2)PSL_0,$$

$$U = (3/2)PV = (3/2)PS(L_0 + h - H).$$

С учетом этих энергий и работы верхнего поршня над газом  $A = PSH$  из закона сохранения энергии окончательно получаем:

$$U_0 + A = U,$$

$$(3/2)PSL_0 + PSH = (3/2)PS(L_0 + h - H),$$

$$H = 3h/5 = 6 \text{ см.}$$

Отметим, что ответ от атмосферного давления, масс поршней и других параметров не зависит. Важно только, что газ одноатомный и его внутренняя энергия дается известной формулой

$$U = (3/2)\nu RT = (3/2)PV,$$

где  $R$  - универсальная газовая постоянная,  $\nu$  - количество молей газа,  $T$ ,  $P$  и  $V$  - соответственно его температура, давление и объем.

*Ответ:*  $H = 3h/5 = 6$  см.

*Критерии оценивания:*

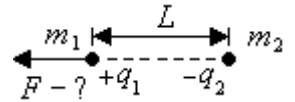
Шаги выполнения задания	Число баллов
Мысль, что быстрое перемещение нижнего поршня не изменяет	2

**Второй (муниципальный) этап Всероссийской олимпиады школьников по физике  
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра  
2020-2021 учебный год**

внутреннюю энергию газа	
Мысль, что давление в начальном и конечном состояниях одинаково	1
Выражение для начальной внутренней энергии	1
Выражение для конечной внутренней энергии	2
Выражение для работы	1
Закон сохранения энергии	2
Решение последнего уравнения и ответ	1
<b>Сумма баллов:</b>	<b>10</b>

#### 4. Преследование шариков

**4. Преследование шариков.** С какой силой  $F$  необходимо двигать маленький шарик массой  $m_1$  с зарядом  $q_1$  в направлении от другого маленького шарика массой  $m_2$  с разноименным зарядом  $-q_2$ , чтобы расстояние между ними оставалось постоянным и равным  $L$ ? Силой тяжести можно пренебречь.



*Решение:*

На первый шарик кроме приложенной силы  $F$  еще действует сила кулоновского притяжения  $kq_1q_2/L^2$ , а на второй - только такая же по величине сила кулоновского притяжения. С учетом этого по второму закону Ньютона ускорения шариков равны  $a_1 = (F - kq_1q_2/L^2)/m_1 = F/m_1 - kq_1q_2/(m_1L^2)$ ,  $a_2 = kq_1q_2/(m_2L^2)$ .

Для поддержания постоянного расстояния между шариками необходимо приравнять их ускорения и тогда получаем:

$$a_1 = a_2,$$

$$F/m_1 - kq_1q_2/(m_1L^2) = kq_1q_2/(m_2L^2),$$

$$F = kq_1q_2(m_1 + m_2)/(m_2L^2).$$

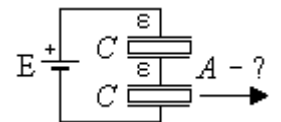
*Ответ:*  $F = kq_1q_2(m_1 + m_2)/(m_2L^2)$ .

*Критерии оценивания:*

Шаги выполнения задания	Число баллов
Мысль о равенстве ускорений	2
Выражение для $a_1 = (F - kq_1q_2/L^2)/m_1 = F/m_1 - kq_1q_2/(m_1L^2)$	3
Выражение для $a_2 = kq_1q_2/(m_2L^2)$	2
Окончательное уравнение вида $F/m_1 - kq_1q_2/(m_1L^2) = kq_1q_2/(m_2L^2)$	2
Его решение и ответ	1
<b>Сумма баллов:</b>	<b>10</b>

#### 5. Электрическая цепь с конденсаторами

**5. Электрическая цепь с конденсаторами.** Два плоских конденсатора емкостью  $C = 120$  мкФ каждый с непроводящими пластинами между их обкладками, которые заполняют все пространство внутри конденсаторов и имеют одинаковые диэлектрические проницаемости  $\epsilon = 2$ , подключены последовательно к источнику э.д.с.  $E = 100$  В. Какую работу  $A$  необходимо совершить, чтобы из одного из конденсаторов медленно вытащить диэлектрическую пластину? Считайте, что до подключения конденсаторов к источнику они были не заряжены.



*Решение:*

После вытаскивания диэлектрической пластины из конденсатора его емкость уменьшается в  $\epsilon$  раз. Тогда соответствующие начальная и конечная емкости последовательно

**Второй (муниципальный) этап Всероссийской олимпиады школьников по физике  
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра  
2020-2021 учебный год**

соединенных двух конденсаторов, а также начальный и конечный заряды на них равны:

$$C_1 = C/2,$$

$$C_2 = C(C/\varepsilon)/(C + C/\varepsilon) = C/(1 + \varepsilon),$$

$$q_1 = C_1 E = CE/2,$$

$$q_2 = C_2 E = CE/(1 + \varepsilon).$$

Работа э.д.с. равна

$$A_E = (q_2 - q_1)E = -(\varepsilon - 1)CE^2/\varepsilon,$$

которая, как можно отметить, является отрицательной.

С учетом этого из закона сохранения энергии получаем:

$$C_1 E^2/2 + A + A_E = C_2 E^2/2,$$

$$(C/2)E^2/2 + A - (\varepsilon - 1)CE^2/\varepsilon = [C/(1 + \varepsilon)]E^2/2,$$

$$A = (\varepsilon - 1)CE^2/[4(\varepsilon + 1)] = 0,1 \text{ Дж.}$$

*Ответ:*  $A = (\varepsilon - 1)CE^2/[4(\varepsilon + 1)] = 0,1 \text{ Дж.}$

*Критерии оценивания:*

<b>Шаги выполнения задания</b>	<b>Число баллов</b>
Мысль об уменьшении емкости конденсатора в $\varepsilon$ раз	1
Начальная емкость $C_1 = C/2$	1
Конечная емкость $C_2 = C(C/\varepsilon)/(C + C/\varepsilon) = C/(1 + \varepsilon)$ ,	1
Начальный заряд $q_1 = C_1 E = CE/2$	1
Конечный заряд $q_2 = C_2 E = CE/(1 + \varepsilon)$	1
Работа э.д.с. $A_E = (q_2 - q_1)E = -(\varepsilon - 1)CE^2/\varepsilon$	2
Закон сохранения энергии	2
Решение уравнения и ответ	1
<b>Сумма баллов:</b>	<b>10</b>