

УТВЕРЖДАЮ

Ректор МГТУ им. Н.Э. Баумана

И.Б. Федоров

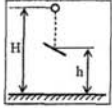
« 2 » 08 2010 г.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП РОССИЙСКОГО ОТКРЫТОГО АКАДЕМИЧЕСКОГО СОРЕВНОВАНИЯ «ПРОФЕССОР Н.Е. ЖУКОВСКИЙ» ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ – 2010»  
ФИЗИКА ТИПОВОЙ ВАРИАНТ

**ЗАДАЧА 1.** (8 баллов)

Объясните, почему теплоёмкость двухатомных газов больше теплоёмкости одноатомных газов.

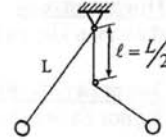
**ЗАДАЧА 2.** (8 баллов)



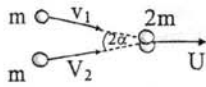
Тело падает на землю с высоты  $H$  без начальной скорости. На высоте  $h = 0,5H$  тело встречает на своём пути площадку, закреплённую под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту. В результате удара направление скорости тела становится горизонтальным. Найдите время падения тела на землю с высоты  $H$ .

**ЗАДАЧА 3.** (10 баллов)

Математический маятник длины  $L$  совершает колебания вблизи вертикальной стенки. Под точкой подвеса маятника на расстоянии  $\ell = L/2$  от неё в стенку забит гвоздь. Найдите период  $T$  колебаний маятника.



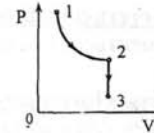
**ЗАДАЧА 4.** (10 баллов)



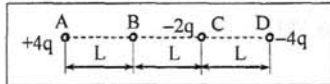
Два одинаковых пластилиновых шара, движущихся с равными по величине скоростями, совершают неупругий удар, после которого слипаются в одно целое. Какой угол  $\alpha$  составляли друг с другом векторы скоростей шаров до удара, если при ударе половина начальной кинетической энергии шаров перешла в тепло?

**ЗАДАЧА 5.** (10 баллов)

Один моль идеального одноатомного газа сначала изотермически расширился ( $T_1 = 300 \text{ K}$ ), затем газ охладил, понизив при этом давление в  $\sqrt{2}$  раза. Найдите количество теплоты, отданное газом на участке 2–3.



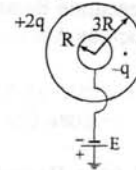
**ЗАДАЧА 6.** (10 баллов)



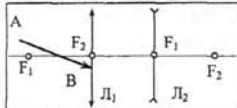
В точках A, C, D расположены неподвижные точечные заряды  $+4q$ ,  $-2q$ ,  $-4q$ , как показано на рисунке. Определите работу сил поля при перемещении заряда  $+q$  из бесконечности, где потенциал электрического поля принимается равным нулю, в точку B.

**ЗАДАЧА 7.** (10 баллов)

В системе, состоящей из двух концентрических проводящих сфер радиусами  $R$  и  $3R$ , внутренняя сфера соединена с землей через источник ЭДС, равной  $E$ . Заряд внешней сферы равен  $+2q$ . На расстоянии  $2R$  от центра системы находится точечный заряд  $-q$ . Зная величины  $q$ ,  $E$ ,  $R$ , определите заряд внутренней сферы. Потенциал земли принять равным нулю.



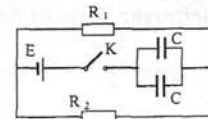
**ЗАДАЧА 8.** (10 баллов)



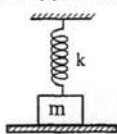
Оптическая система состоит из собирающей  $L_1$  и рассеивающей  $L_2$  линз с общей главной оптической осью. Главные фокусы собирающей линзы обозначены  $F_1$ , а рассеивающей линзы –  $F_2$ . Постройте дальнейший ход луча AB через оптическую систему.

**ЗАДАЧА 9.** (12 баллов)

В схеме, показанной на рисунке, перед замыканием ключа  $K$  батарея, состоящая из двух одинаковых конденсаторов емкости  $C$  каждый, не была заряжена. Ключ замыкают на некоторое время, в течение которого конденсаторы зарядились до напряжения  $U$ . Определите, какое количество теплоты  $Q_1$  выделится за это время на резисторе сопротивления  $R_1$ . ЭДС источника тока равна  $E$ , его внутренним сопротивлением пренебречь.



**ЗАДАЧА 10.** (12 баллов)



На подставке лежит тело массы  $m$ , подвешенное на пружине жесткости  $k$ . В начальный момент пружина не растянута. Подставку начинают опускать вниз с ускорением  $a$ . Через какое время подставка оторвется от тела? Каким будет максимальное растяжение пружины?

Доцент кафедры ФН-4

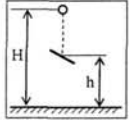
Ю.А. Струков

**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП РОССИЙСКОГО ОТКРЫТОГО АКАДЕМИЧЕСКОГО СОРЕВНОВАНИЯ  
«ПРОФЕССОР Н.Е. ЖУКОВСКИЙ» ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ – 2010»  
ФИЗИКА РЕШЕНИЕ ТИПОВОГО ВАРИАНТА**

**ЗАДАЧА 1.** (8 баллов)

Объясните, почему теплоёмкость двухатомных газов больше теплоёмкости одноатомных газов.

Ответ: Теплоёмкость двухатомных газов больше теплоёмкости одноатомных газов, так как число степеней свободы двухатомных газов больше: у двухатомных газов оно равно  $5/2$ , у одноатомных –  $3/2$ .

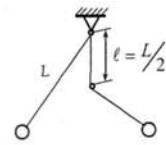
**ЗАДАЧА 2.** (8 баллов)

Тело падает на землю с высоты  $H$  без начальной скорости. На высоте  $h = 0,5H$  тело встречает на своём пути площадку, закреплённую под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту. В результате удара направление скорости тела становится горизонтальным. Найдите время падения тела на землю с высоты  $H$ .

Решение.  $t = \sqrt{\frac{2(H-h)}{g}} + \sqrt{\frac{2h}{g}}$ . При  $h = \frac{H}{2}$ ,  $t = 2\sqrt{\frac{H}{g}}$ . Ответ:  $t = 2\sqrt{\frac{H}{g}}$ .

**ЗАДАЧА 3.** (10 баллов)

Математический маятник длины  $L$  совершает колебания вблизи вертикальной стенки. Под точкой подвеса маятника на расстоянии  $\ell = L/2$  от неё в стенку забит гвоздь. Найдите период  $T$  колебаний маятника.



Решение.

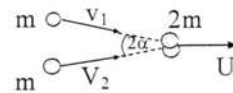
$$T = \frac{1}{2}T_1 + \frac{1}{2}T_2, \text{ где } T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}, \quad T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{2g}}.$$

$$\text{Тогда } T = \frac{1}{2}2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} + \frac{1}{2}2\pi\sqrt{\frac{L}{2g}} = \pi\sqrt{\frac{L}{g}}\left(1 + \sqrt{\frac{1}{2}}\right) = \pi\sqrt{\frac{L}{g}}\left(1 + \frac{\sqrt{2}}{2}\right)$$

$$\text{Ответ: } T = \pi\sqrt{\frac{L}{g}}\left(1 + \frac{\sqrt{2}}{2}\right)$$

**ЗАДАЧА 4.** (10 баллов)

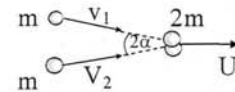
Два одинаковых пластилиновых шара, движущихся с равными по величине скоростями, совершают неупругий удар, после которого слипаются в одно целое. Какой угол  $\alpha$  составляли друг с другом векторы скоростей шаров до удара, если при ударе половина начальной кинетической энергии шаров перешла в тепло?



Решение.

Так как по условию задачи  $v_1 = v_2 = v$ , то, используя закон сохранения импульса, найдем скорость  $u$  шариков после удара

$$2m v \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = 2m u \quad u = v \cdot \cos \frac{\alpha}{2}$$



2). Из условия задачи следует, что  $\frac{W_{\text{кин}2}}{W_{\text{кин}1}} = \eta$ , где  $W_{\text{кин}1} = 2 \frac{m}{2} v^2$ .

$$W_{\text{кин}2} = 2 \frac{m}{2} u^2 = m v^2 \cos^2 \frac{\alpha}{2}$$

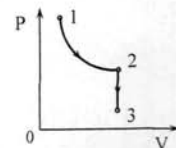
$$\frac{W_{\text{кин}2}}{W_{\text{кин}1}} = \cos^2 \frac{\alpha}{2} = \eta$$

$$\alpha = 2 \arccos \sqrt{\eta} = 2 \arccos \sqrt{\frac{1}{2}} = \frac{\pi}{2}$$

$$\text{Ответ: } \alpha = 2 \arccos \sqrt{\eta} = \frac{\pi}{2}$$

**ЗАДАЧА 5.** (10 баллов)

Один моль идеального одноатомного газа сначала изотермически расширился ( $T_1 = 300 \text{ K}$ ), затем газ охладил, понизив при этом давление в 3 раза. Найдите количество теплоты, отданное газом на участке 2–3.

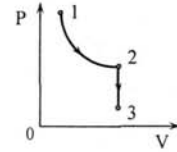


**Решение.**

Согласно первому закону термодинамики  $\Delta U = Q + A$ , (1)

На участке 2-3 работа газа  $A_{23} = 0$ . Следовательно,  $Q_{23} = \Delta U_{23}$ .

Но  $\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2)$  (2)



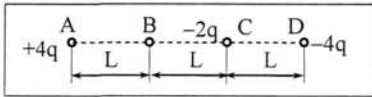
Применив закон Шарля для состояний 2 и 3, запишем  $\frac{P_3}{T_3} = \frac{P_2}{T_2}$ , откуда  $T_3 = \frac{P_3}{P_2} T_2$ . Т. к. по условию давление в состоянии 3 по сравнению с состоянием 2 уменьшилось в три раза, а температура при изотермическом расширении в состоянии 2 равна первоначальной, т.е.  $T_2 = T_1$ , то  $T_3 = \frac{T_2}{3} = \frac{T_1}{3}$ .

$\Delta T_{23} = T_3 - T_2 = \frac{T_1}{3} - T_1 = -\frac{2}{3} T_1$ . Подставив в (2), получим  $\Delta U_{23} = -\frac{3}{2} \nu R \frac{2}{3} T_1 = -\nu R T_1$ .

И, подставив теперь числовые значения, найдём  $Q_{23} = \Delta U_{23} = 1 \cdot 8,31 \cdot 300 \approx 2,5 \text{ кДж}$ .

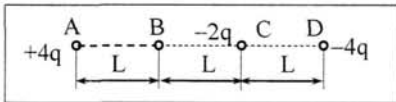
Ответ:  $Q_{23} = \nu R T_1 \approx 2,5 \text{ кДж}$

**ЗАДАЧА 6.** (10 баллов)



В точках A, C, D расположены неподвижные точечные заряды +4q, -2q, -4q, как показано на рисунке. Определите работу сил поля при перемещении заряда +q из бесконечности, где потенциал электрического поля принимается равным нулю, в точку B.

**Решение.**



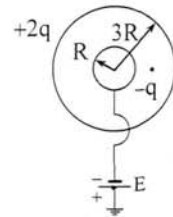
**Решение.**

$A = q(\varphi_\infty - \varphi_B)$ . Используя принцип суперпозиции, найдём

$\varphi_B = k \frac{4q}{L} - k \frac{2q}{L} - k \frac{4q}{2L} = 0$ , тогда  $A = 0$ . Ответ:  $A = 0$

**ЗАДАЧА 7.** (10 баллов)

В системе, состоящей из двух концентрических проводящих сфер радиусами R и 3R, внутренняя сфера соединена с землей через источник ЭДС, равной E. Заряд внешней сферы равен +2q. На расстоянии 2R от центра системы находится точечный заряд -q. Зная величины q, E, R, определите заряд внутренней сферы. Потенциал земли принять равным нулю.



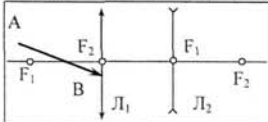
**Решение.**

Согласно принципу суперпозиции, потенциал внутренней сферы равен

$\varphi = -E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R} - \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \cdot 2R} + \frac{2q}{4\pi\epsilon_0 \cdot 3R}$ , откуда находим искомый заряд внутренней сферы

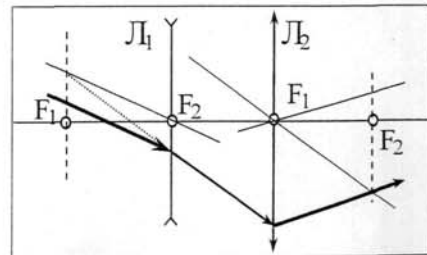
$Q = -\left(4\pi\epsilon_0 R E + \frac{1}{6} q\right)$  Ответ:  $Q = -\left(4\pi\epsilon_0 R E + \frac{1}{6} q\right)$

**ЗАДАЧА 8.** (10 баллов)



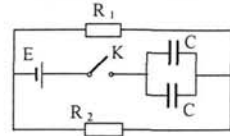
Оптическая система состоит из собирающей  $L_1$  и рассеивающей  $L_2$  линз с общей главной оптической осью. Главные фокусы собирающей линзы обозначены  $F_1$ , а рассеивающей линзы -  $F_2$ . Постройте дальнейший ход луча АВ через оптическую систему.

**Решение.**

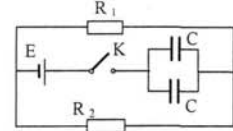


**ЗАДАЧА 9.** (12 баллов)

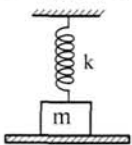
В схеме, показанной на рисунке, перед замыканием ключа К батарея, состоящая из двух одинаковых конденсаторов емкости  $C$  каждый, не была заряжена. Ключ замыкают на некоторое время, в течение которого конденсаторы зарядились до напряжения  $U$ . Определите, какое количество теплоты  $Q_1$  выделится за это время на резисторе сопротивления  $R_1$ . ЭДС источника тока равна  $E$ , его внутренним сопротивлением пренебречь.

**Решение**

- 1) На обоих резисторах выделяется количество теплоты  $Q = A - \Delta W$ , где
- 2)  $A = \Delta q E = (C_{\text{БАТ}} U_2 - C_{\text{БАТ}} U_1) E$ .  
Т.к.  $U_1 = 0$ ,  $U_2 = U$ ;  $C_{\text{БАТ}} = 2C$ , то  $A = 2CUE$
- 3)  $\Delta W = W_2 - W_1 = \frac{2CU^2}{2} = CU^2$  - приращение энергии батареи конденсаторов
- 4)  $Q = 2CUE - CU^2 = CU(2E - U)$
- 5) Так как  $Q = Q_1 + Q_2$  и, поскольку резисторы соединены параллельно, то
- 6)  $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1}$  Из 5) и 6) находим  $Q_2 = Q \frac{R_1}{R_1 + R_2} = CU(2E - U) \frac{R_1}{R_1 + R_2}$



Ответ:  $Q_2 = CU(2E - U) \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

**ЗАДАЧА 10.** (12 баллов)

На подставке лежит тело массы  $m$ , подвешенное на пружине жесткости  $k$ . В начальный момент пружина не растянута. Подставку начинают опускать вниз с ускорением  $a$ . Через какое время подставка оторвется от тела? Каким будет максимальное растяжение пружины?

**Решение.**

Запишем уравнение движения тела в проекции на ось  $x$ , направленную вертикально вниз:

$Ma = Mg - N - T$ , где  $M\vec{g}$  - сила тяжести,  $\vec{N}$  - сила реакции подставки и  $\vec{T} = kx$  - сила упругости пружины, где  $x$  - удлинение пружины. Учитывая, что в момент отрыва тела от подставки  $N=0$ , получим  $Ma = Mg - kx$ . Из этого уравнения получаем, что тело отрывается от подставки после того, как

подставка и тело пройдут расстояние, равное  $\ell = x = \frac{M(g-a)}{k}$ . С другой стороны, так как подставка и

тело вначале двигались равноускоренно с ускорением  $\vec{a}$ ,  $\ell = \frac{at^2}{2}$ , где  $t$  - время с момента начала движения подставки до того момента, когда тело отрывается от неё. Это означает, что

$$\frac{at^2}{2} = \frac{M(g-a)}{k}, \text{ откуда } t = \sqrt{\frac{M}{k} \cdot \frac{g-a}{a}}.$$

Найдём теперь максимальное растяжение пружины  $x_0$ , используя закон сохранения энергии. В

момент отрыва от подставки груз имел скорость  $v = at = a \sqrt{2 \frac{M(g-a)}{ka}}$ , кинетическую энергию

$\frac{Mv^2}{2} = \frac{M^2(g-a)a}{k}$  и потенциальную энергию  $Mg(x_0 - \ell) = Mgx_0 - \frac{M^2(g-a)g}{k}$  (полагая, что

потенциальная энергия груза равна нулю, когда пружина растянута максимально). Так как пружина в этот момент растянута на длину  $\ell = \frac{M(g-a)}{k}$ , то её потенциальная энергия  $\frac{k\ell^2}{2} = \frac{M^2(g-a)^2}{2k}$ .

Сумма энергий тела и пружины равна  $W_1 = Mgx_0 - \frac{M^2(g-a)^2}{2k}$ . В момент, когда пружина растянута максимально, скорость груза, а значит и его кинетическая энергия равны нулю. При этом суммарная энергия груза и пружины  $W_2 = \frac{kx_0^2}{2}$ . По закону сохранения энергии  $W_1 = W_2$ , или

$$\frac{kx_0^2}{2} - Mgx_0 + \frac{M^2(g-a)^2}{2k} = 0; \quad x_0^2 - \frac{2Mg}{k}x_0 + \frac{M^2(g-a)^2}{k^2} = 0 \quad (1).. \quad \text{Корни уравнения (1)}$$

$$x_{0,1,2} = \frac{Mg}{k} \pm \frac{M\sqrt{a(2g-a)}}{k}$$

Значение  $x_1 = \frac{Mg}{k}$  соответствует растяжению пружины при равновесии тела (когда сила тяжести  $Mg$  уравновешена силой упругости пружины  $T = kx$ ). При прохождении положения равновесия тело будет иметь некоторую скорость и обязательно проскочит его, при этом максимальное растяжение

$x_{0_{\max}}$  пружины соответствует большему корню  $x_{0_{\max}} = x_{0_1} = \frac{Mg}{k} + \frac{M\sqrt{a(2g-a)}}{k}$ . Второе значение корня даёт минимальное растяжение пружины при колебании тела.

Ответ:  $x_0 = \frac{Mg}{k} + \frac{M\sqrt{a(2g-a)}}{k}$