

**Лига учителей физики.**
**Первый блок.**
**Задача №1 (10 баллов)**

Небольшой брусок начинает скользить по наклонной плоскости, составляющей угол  $\beta$  с горизонтом. Коэффициент трения зависит от пройденного пути по закону  $k = bx$ , где  $b$  постоянная величина. Найти путь пройденный бруском до остановки и максимальную скорость его на этом пути.

**Задача №2 (10 баллов)**

Поверхность полубесконечной трубы радиуса  $r$  заряжена равномерно, плотность заряда  $\sigma$ . На оси трубы, на расстоянии  $D$  от ее среза расположен диполь из зарядов  $+q, -q$ , расстояние между зарядами диполя  $d$  (см. рис.). Найдите зависимость силы, действующей на диполь со стороны трубы, от расстояния  $D$ . Считайте, что  $d \ll r, d \ll D$ . Каким будет ответ, если величина  $d$  сравнима с  $D$ , хотя и много меньше  $r$ ?


**Задача 3 (10 баллов).**

С помощью тонкой плосковыпуклой линзы, фокусное расстояние которой в воздухе  $F = 30$  см., производят наблюдения за объектом на дне пруда с чистой водой. Линза размещалась на поверхности воды. Объект, который наблюдали находится точно под центром линзы на глубине  $h = 63$  см. С каким поперечным увеличением был виден объект? Известно, что показатель преломления стекла, из которого изготовлена линза  $n_{\text{д}} = 2$ , показатель преломления воды  $n \approx \sqrt{2} \approx 1,414$

**3.1** Постройте ход двух лучей для обеих поверхностей линзы, или опишите добавление тонкого слоя.

**3.2** Запишите обобщенную формула линзы вместе с построением хода лучей, или «первый шаг» другого пути, который приводит к ответу.



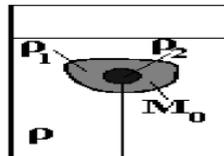
3.3 Запишите полную систему соотношений, позволяющую найти увеличение.

3.4 Получите формулу для увеличения.

3.5 Получите численный ответ.

### Дополнительная задача (7 баллов)

Небольшой алюминиевый шарик с привязанной к нему легкой ниткой в заморожен в ледышку массой  $M=100$  г. Свободный конец нити прикреплен ко дну теплоизолированного цилиндрического сосуда, в который налита вода (см. рис.) массой  $m=0,5$  кг, имеющая температуру  $t_0=20^\circ\text{C}$ . Температура льда и шарика  $0^\circ\text{C}$ , начальная сила натяжения нити  $T=0,08$  Н. Какова будет температура воды в тот момент, когда сила натяжения нити станет равной нулю? Удельная теплоемкость воды  $c=4200$  Дж/(кг $\cdot$ °C). Плотность воды  $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup>, льда  $\rho_1=900$  кг/м<sup>3</sup>, алюминия  $\rho_2=2700$  кг/м<sup>3</sup>, удельная теплота плавления льда  $\lambda=330$  кДж/кг. Считайте, что тепловое равновесие в воде устанавливается мгновенно.



### Методический блок

Определите ошибки в решениях задач. Покажите правильное решение задач и правильные ответы. (15 баллов).

Этот блок состоит из трех частей, не связанных друг с другом

#### Задача-вопрос №1 (3 балла)

При расширении одного моля одноатомного идеального газа зависимость его абсолютной температуры от произведённой им работы оказалась линейной:  $T = T_0 - \frac{bA}{R}$  (здесь  $R$  – универсальная газовая постоянная). При каких значениях  $b$  теплоёмкость газа в этом процессе отрицательна?

**Решение:** Согласно началу термодинамики, изменение внутренней энергии газа совершается за счет количества теплоты и работы над газом. По условию

$$\Delta U = Q + A = \frac{5}{2}R\Delta T \quad (1)$$

где  $A = \frac{R}{b}(T - T_0) = \frac{R}{b}\Delta T$ . Следовательно  $Q = \left\{\frac{5}{2} + \frac{1}{b}\right\} R\Delta T$ . Из этого соотношения находим теплоемкость

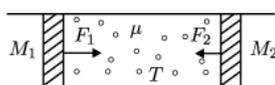


$$C = \frac{Q}{\Delta T} = \left(\frac{3}{2} + \frac{1}{b}\right) R. \quad (2)$$

Таким образом  $C$  отрицательна, при  $b < \frac{2}{3}$  (3)

### Задача №2(5 баллов)

В длинной горизонтальной трубке сечением  $S$  находятся поршни массой  $M_1$  и  $M_2$ , способные перемещаться практически без трения (см. рисунок). Между поршнями находится  $\nu=1$  моль идеального газа, масса которого  $m \ll M_1, M_2$ . Каким будет установленное расстояние между поршнями, если к ним приложить силы  $F_1$  и  $F_2$ , направленные вдоль оси трубки противоположно друг другу? Температура газа постоянна и равна  $T$ , трубка находится в вакууме.



**Решение:** В установившемся режиме система будет двигаться вправо с ускорением, определяемым из соотношения

$$(M_1 + M_2 + \mu)a = F_1 + F_2. \quad (1)$$

Поскольку  $m \ll M_1, M_2$ , то можно считать, что

$$a = \frac{F_1 + F_2}{M_1 + M_2} \quad (2)$$

а давление  $p$  газа всюду постоянно и определяется из условия

$$M_1 a = p S F_1 \quad (3)$$

Отсюда  $p = \frac{M_2 F_1 - M_1 F_2}{(M_1 + M_2) S}$ , объём газа равен

$$V = \frac{\nu R T}{p} = \frac{R T S (M_1 - M_2)}{M_2 F_1 + M_1 F_2} \quad (4)$$

где  $\nu=1$  моль, и установившееся расстояние между поршнями равно

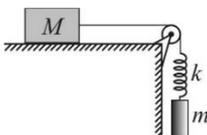
$$x = \frac{V}{S} = \frac{R T S (M_1 - M_2)}{M_2 F_1 + M_1 F_2} \quad (5)$$

### Задача №3 (7 баллов).

На шероховатом горизонтальном столе находится брусок массой  $M = 500$  г с прикрепленной к нему легкой нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый неподвижный блок, причем отрезок нити от бруска до блока горизонтален. Ко второму концу нити привязана легкая пружина жесткостью  $k = 10 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$  с подвешенным на ней грузом массой  $m = 100$  г. В начальном состоянии груз удерживают в таком положении, что нить слегка натянута, а



пружина не деформирована, причем правый конец нити и пружина занимают вертикальное положение. В некоторый момент груз отпускают из состояния покоя. Спустя время  $\tau = \frac{\pi}{30}$  с  $\approx 0,105$  с после этого брусок сдвигается с места. Найдите коэффициент трения  $\mu$  между бруском и столом.



**Решение:** Брусок сдвинется с места, когда

$$T = \mu Mg \quad (1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения. В свою очередь по закону Гука  $F_y = k\Delta x$ , где  $\Delta x$  – удлинение пружины. Совместим начало отсчета с нижним концом недеформированной пружины, координатную ось  $O_y$  направим вертикально вверх. По второму закону Ньютона для груза имеем уравнение движения:

$$-ma = mg - kx \quad \text{или} \quad -mx'' = mg - kx \quad (2)$$

с начальными условиями,  $x'| = 0$ , где  $x'$  и  $x''$  обозначены производные по времени. Начальные условия  $x_0 = \frac{mg}{k}$  описывающему гармонические колебания с круговой частотой  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ . С учетом начальных условий, решение этого уравнения имеет вид

$$x = x_0 \cos \omega t \quad (3)$$

Тогда 
$$\Delta x = \frac{mg}{k} (1 - \tau \cos \sqrt{\frac{k}{m}}) \quad (4)$$

Подставляя это значение в уравнение  $\mu Mg = kx_0$ , получаем, что искомым коэффициент трения  $\mu = \frac{kx_0}{Mg}$  (5)

$$x_0 = \frac{mg}{k} \left( 1 - \tau \cos \sqrt{\frac{k}{m}} \right) = 0,1 \cdot 10 - 0,105 \cos \sqrt{\frac{10}{0,1}} = 0,05 \quad (6)$$

$$\mu = \frac{kx_0}{Mg} = \frac{10 \cdot 0,05}{0,5 \cdot 10} = 0,1 \quad (7)$$