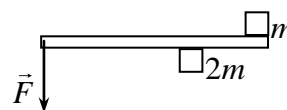


**Отборочный тур Отраслевой физико-математической олимпиады школьников «Росатом».**  
**Олимпиада им. И.В.Курчатова. Физика. 10 класс (2014-2015 учебный год)**

**Задания**

1. На горизонтальной поверхности лежат два тела массой  $2m$  и  $m$ . Расстояние между ними  $l$ . Между телами вставили легкий стержень длиной  $3l$  и действовали на его конец горизонтальной силой  $F$ . При каком минимальном значении  $F$  одно из тел сдвинется с места? Коэффициент трения между телами и плоскостью  $k$ .



2. Если к висящей пружине подвесить груз массой  $m_1=0,1$  кг, ее длина будет равна  $l_1=0,1$  м, а если подвесить груз массой  $m_2=0,2$  кг -  $l_2=0,15$  м. Найти длину пружины в недеформированном состоянии.

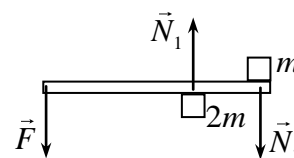
3. В сосуде находится озон  $O_3$  при температуре  $T$  и давлении  $p$ . Когда газ изохорически нагрели до температуры  $2T$ , давление газа в сосуде стало равно  $2,2p$ . Какая доля молекул озона испытала превращение?

4. На землю с одинаковыми промежутками времени с нулевой начальной скоростью бросают одинаковые предметы. Известно, что когда первый предмет упал на землю, третий пролетел  $2/3$  пути до поверхности земли. Какую часть пути до поверхности земли пролетит к этому моменту второй предмет?

5. Известно, что орбита Земли вытянута (эллипс), и Солнце сдвинуто относительно центра орбиты. Оценить, во сколько раз отличается расстояние между Землей и Солнцем летом и зимой. Можно использовать следующие астрономические данные: солнцестояния – 21 декабря и 21 июня, равноденствия – 20 марта и 23 сентября (2014 г.). **Указание.** Среднее расстояние между Солнцем и Землей -  $1,5 \cdot 10^8$  км. Произведение  $vr$ , где  $v$  - скорость Земли,  $r$  - расстояние от Земли до Солнца, не меняется в процессе движения Земли.

**Решения**

1. Пока тела не сдвинулись с места, стержень также покоится. Поэтому до самого момента сдвига одного из тел для стержня справедливы уравнения статики. На стержень действуют: внешняя сила  $\vec{F}$ , силы реакции со стороны тел  $\vec{N}_1$  и  $\vec{N}_2$ . Из условия моментов относительно точек приложения этих сил получаем



$$N_1 = 3F$$

$$N_2 = 2F$$

Условия сдвига тел.

$$N_1 = 3F \geq 2kmg, \quad \Rightarrow \quad F \geq \frac{2kmg}{3}$$

$$N_2 = 2F \geq kmg, \quad \Rightarrow \quad F \geq \frac{kmg}{2}$$

Отсюда следует, что при увеличении силы  $F$  сначала нарушается второе неравенство. Это значит, что первым сдвинется тело массой  $m$  при значении силы  $F = \frac{kmg}{2}$

2.. Условия равновесия дают

$$k(l_1 - l_0) = m_1g$$

$$k(l_2 - l_0) = m_2g$$

где  $k$  - жесткость пружины,  $l_0$  - ее длина в недеформированном состоянии. Деля уравнения друг на друга и решая полученное уравнение, найдем

$$l_0 = \frac{m_2 l_1 - m_1 l_2}{m_2 - m_1} = 5 \text{ см}$$

2. Закон Клапейрона-Менделеева для озона в сосуде (в начале) и для смеси озона и молекулярного кислорода (после нагревания) дают

$$pV = NkT$$

$$2,2pV = N_1 k 2T$$

где  $p, V$  и  $T$  - давление, объем и температура газа до нагревания,  $N$  и  $N_1$  - полное количество молекул в сосуде до и после нагревания,  $k$  - постоянная Больцмана. Деля второе уравнение на первое, получим

$$\frac{N_1}{N} = 1,1$$

Реакция превращения озона в кислород имеет вид  $2O_3 \rightarrow 3O_2$ , т.е. из каждых двух молекул озона получаются три молекулы кислорода. Поэтому, если в кислород превратилась  $\alpha$ -ая часть молекул озона, то число молекул в сосуде изменилось так

$$N_1 = (1 - \alpha)N + \frac{3}{2}\alpha N = \left(1 + \frac{1}{2}\alpha\right)N.$$

Отсюда

$$\alpha = 0,2$$

4. Уравнения движения первого и третьего предмета дают

$$H = \frac{gt^2}{2}$$

$$\frac{2}{3}H = \frac{g(t - 2\Delta t)^2}{2}$$

где  $H$  - высота с которой падают предметы,  $t$  - время движения до земли первого предмета,  $\Delta t$  - интервал времени между бросаниями предметов. Деля уравнения друг на друга, получим

$$\sqrt{\frac{3}{2}} = \frac{t}{t - 2\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{t(\sqrt{3} - \sqrt{2})}{2\sqrt{3}}$$

Поэтому для расстояния, пройденного вторым предметом, имеем

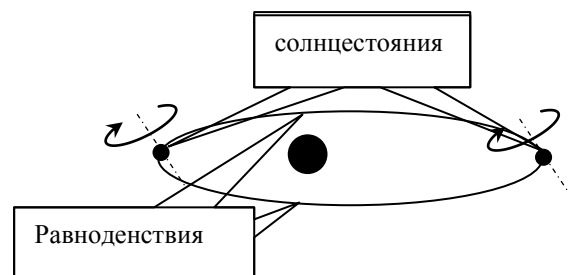
$$x = \frac{g(t - \Delta t)^2}{2} = \frac{gt^2}{2} \frac{(\sqrt{3} + \sqrt{2})^2}{12} = H \frac{(\sqrt{3} + \sqrt{2})^2}{12}$$

Отсюда находим долю высоты, пройденную к этому моменту вторым предметом

$$\frac{x}{H} = \frac{(\sqrt{3} + \sqrt{2})^2}{12} = 0,82$$

5. При движении Земли вокруг Солнца ось ее собственного вращения сохраняет направление в пространстве. В тот момент, когда угол между радиусом, проведенным из Солнца на Землю, перпендикулярен оси собственного вращения Земли, продолжительность дня в Северном и Южном полушариях одинакова (равноденствия). Самый короткий день в одном полушарии и самый длинный в другом (солнцестояния) будут иметь место, когда угол между радиусом, проведенным из

Солнца на Землю, и осью собственного вращения Земли минимален. Между осенним и зимним равноденствиями проходит 178 дней (с точностью до дня, часы наступления равноденствий не даны в условии<sup>1</sup>), а между весенним и осенним – 187 дней. Между солнцестояниями проходят (также с точностью до дня) одинаковые интервалы времени – 182-183 дня. Это значит, что зимний (в



<sup>1</sup> при условии, что в феврале -28 дней.

Северном полушарии) отрезок орбиты Земли более короткий, чем летний, а весенний и осенний - одинаковы. Или, другими словами, зимой Земля ближе к Солнцу, чем летом. Оценим разность расстояний. Пусть среднее расстояние между Землей и Солнцем  $R$ . Тогда зимой оно -  $R - \Delta R$ , летом -  $R + \Delta R$ . Время прохода Земли по зимней и летней частям орбиты равны

$$t_{зим} = \frac{\pi(R - \Delta R)}{v_{зим}}$$

$$t_{лет} = \frac{\pi(R + \Delta R)}{v_{лет}}$$

С другой стороны из данного в условии указания имеем

$$(R - \Delta R)v_{зим} = (R + \Delta R)v_{лет} = \alpha$$

где  $\alpha$  - некоторая постоянная. Отсюда имеем для времени прохода летней и зимней частей орбиты

$$t_{зим} = \frac{\pi(R - \Delta R)^2}{\alpha}$$

$$t_{лет} = \frac{\pi(R + \Delta R)^2}{\alpha}$$

Деля эти уравнения друг на друга, находим

$$\Delta R = R \left( \frac{x - 1}{x + 1} \right)$$

где

$$x = \sqrt{\frac{t_{лет}}{t_{зим}}} = 1,025$$

(эти вычисления можно выполнить без калькулятора, в столбик). Отсюда

$$\Delta R \approx R \left( \frac{0,025}{2} \right) = 0,0125R \approx 2 \cdot 10^6 \text{ км.}$$

Поэтому расстояние от Земли до Солнца зимой - 148 миллионов километров, летом - 152 миллиона километров (точные цифры: среднее расстояние - 149,6 млн. км - 147,1 млн. км зимой, и 152,1 млн. км летом).