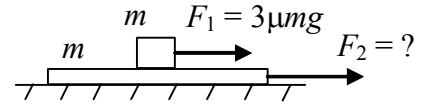


11 класс

1. (30 баллов) На горизонтальном столе находится дощечка массы  $m$ , на которую положен брусок той же массы. Коэффициенты трения между бруском и дощечкой и между дощечкой и столом одинаковы и равны  $\mu$ . К бруску приложили горизонтальную силу  $F_1 = 3\mu mg$  (см. рисунок). Какую силу  $F_2$ , сонаправленную с  $F_1$ , следует приложить к дощечке, чтобы между дощечкой и бруском не было проскальзывания?



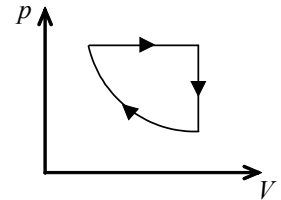
**Решение:**

Интервал значений силы  $F_2$  может быть найден из условия, что сила трения покоя между бруском и дощечкой на концах интервала принимает максимальное значение  $\mu mg$ . Минимальное значение силы  $F_2$  соответствует направленной влево силе трения на брусок. При этом ускорение бруска (и дощечки) равно  $2\mu g$ , а  $F_{2\min} = 3\mu mg$ . Максимальное значение силы  $F_2$  соответствует направленной вправо силе трения на брусок. При этом ускорение бруска (и дощечки) равно  $4\mu g$ , а  $F_{2\max} = 7\mu mg$ .

2. (20 баллов) Один моль идеального одноатомного газа совершает цикл, состоящий из изобары, изохоры и изотермы (см. рисунок). КПД цикла равен  $1/4$ , а разность максимальной и минимальной температур в цикле равна  $\Delta T$ . Найти работу газа на изотермическом участке.

**Решение:**

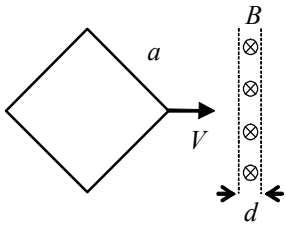
Из данного в условии значения КПД следует, что работа газа за цикл составляет  $1/4$  от подведенного на изобарном участке тепла. Работа газа на изобарном участке равна  $R\Delta T$ , а подведенное на этом участке тепло равно  $5R\Delta T/2$ . Таким образом, работа газа за цикл составляет  $5R\Delta T/8$ . Поскольку на изохорном участке работа не совершается, то искомая работа на изотермическом участке равна разнице между работой газа за цикл и работой газа на изобарном участке, т.е.  $-3R\Delta T/8$ .



3. (20 баллов) Груз, висящий на пружине и растягивающий ее на величину  $\Delta$ , привели в колебательное движение, сообщив ему некоторую скорость вверх вдоль пружины. Через  $0,9$  с потенциальная энергия пружины достигла максимума, вдвое превышающего начальное значение этой энергии. Чему равны период (5 баллов) и амплитуда (5 баллов) колебаний груза? Во сколько раз отличаются максимальная и минимальная энергии пружины (10 баллов)?

**Решение:**

Потенциальная энергия пружины достигает максимума в нижней точке, т.е. через  $3/4$  периода после начала движения. Отсюда следует, что период колебаний равен  $1,2$  с. Амплитуда колебаний  $A$  равна расстоянию между начальным и нижним положениями груза. Следовательно, деформация пружины при достижении грузом нижнего положения равна  $A + \Delta$ . Из условия задачи следует, что  $(A + \Delta)^2 = 2\Delta^2$ . Отсюда находим, что  $A = (\sqrt{2} - 1)\Delta$ . Энергия пружины минимальна при достижении грузом верхнего положения, когда деформация пружины равна  $\Delta - A$ , т.е.  $(2 - \sqrt{2})\Delta$ . Следовательно, отношение максимальной и минимальной энергий равно  $(A + \Delta)^2/(\Delta - A)^2 = 2/(2 - \sqrt{2})^2$ .



4. (30 баллов) Квадратная проволочная рамка со стороной  $a$  и сопротивлением  $R$ , ориентированная как указано на рисунке, пролетает с постоянной скоростью  $V$  через слой толщины  $d$ , в котором создано однородное магнитное поле  $B$ . Считая, что  $d$  мало по сравнению с  $a$ , найти тепло, которое выделится в рамке в результате ее пролета через слой. Индуктивностью рамки пренебречь.

**Решение:**

При пересечении рамкой слоя с магнитным полем ЭДС наводится только в тех участках рамки, которые движутся внутри слоя. Наводимая ЭДС равна  $2VBd$ , а выделяемая тепловая мощность  $(2VBd)^2/R$ . Время, в течение которого наводится ЭДС и выделяется тепло равно  $a\sqrt{2}/V$ . Выделившееся в рамке за время пролета тепло равно произведению тепловой мощности на время пролета, т.е.  $4\sqrt{2} aVB^2d^2/R$ .

*Составители: Бакунов М.И., Бирагов С.Б.*