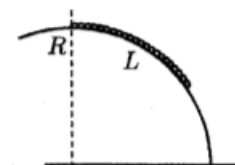


## Всероссийская олимпиада школьников по физике

11 класс, заключительный этап, 2009/10 год

ЗАДАЧА 1. Однородная цепочка длины  $L$  закреплена одним концом на вершине гладкой сферической поверхности радиуса  $R$ , причём  $L < \frac{\pi R}{2}$  (рис.). Верхний конец цепочки освобождают.



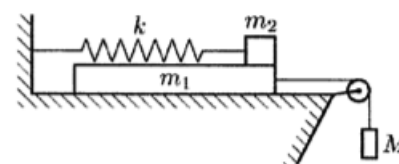
1) С каким ускорением  $a$  (по модулю) будет двигаться сразу после освобождения каждый элемент цепочки?

2) В каком месте цепочки сила натяжения  $T$  сразу после освобождения будет максимальной?

Рассмотрите случай, когда длина цепочки  $L$  равна  $2\pi R/6$ .

$$\frac{6}{\pi} \text{ мкс} = \phi \left( \frac{y}{T} \cos - 1 \right) \frac{T}{H^6} = v \quad (1)$$

ЗАДАЧА 2. На гладкой горизонтальной поверхности стола покоится длинная доска массы  $m_1$ , на правый край которой помещён брусок массы  $m_2$ . Брусок соединён со стенкой лёгкой нерастянутой пружиной жёсткости  $k$ . К доске прикреплен груз массы  $M$  с помощью лёгкой нерастяжимой нити, перекинутой через блок (рис.). В начальный момент система покоится. Между доской и бруском существует сухое трение. Коэффициент трения между доской и бруском равен  $\mu$ .



Какой путь  $L$  преодолеет брусок к тому моменту времени, когда между ним и доской начнётся проскальзывание? Исследуйте, как результат зависит от  $\mu$ . Найдите время  $t$  движения бруска, за которое он преодолеет расстояние  $L$ .

См. конец листа

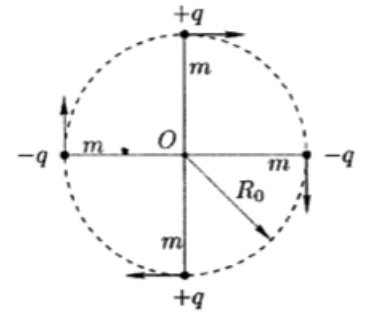
ЗАДАЧА 3. У тепловой машины, работающей по циклу Карно, температура нагревателя  $T_1 = 800$  К, а температура  $T$  холодильника зависит от полезной мощности  $P$  машины. Холодильник представляет собой массивное теплоизолированное от окружающей среды тело, которое посредством теплопроводности передаёт холодному резервуару с температурой  $T_2 = 300$  К всю тепловую энергию  $Q_2$ , полученную за время  $\Delta t$  работы машины. Теплопроводность осуществляется по закону  $Q_2 = \alpha(T - T_2)\Delta t$ , где  $\alpha = 1,0$  кВт/К.



- 1) Выразите мощность  $P$  тепловой машины через температуры  $T_1$ ,  $T$  и  $T_2$ .
- 2) Вычислите температуру  $T_m$  холодильника, при которой мощность машины максимальна.
- 3) Определите эту максимальную мощность  $P_{\max}$ .
- 4) Найдите КПД  $\eta$  тепловой машины при работе с максимальной мощностью.

$$P = \alpha \frac{T_1(T_1 - T_2)}{(T_1 - T)(T_1 - T_2)} \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{\mu}} \left( \frac{T_1}{T} \right)^{\frac{1}{\mu}} \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{\mu}} - 1 = 1 - \frac{T_2}{T_1} \approx 0,39$$

ЗАДАЧА 4. В свободном пространстве на окружности радиуса  $R_0$  в вершинах вписанного квадрата расположены четыре точечные массы  $m$ . Две из них несут заряд  $+q$ , а две другие  $-q$  (рис.). В начальный момент эти материальным точкам сообщают одинаковые по модулю скорости, направленные по касательной к окружности по часовой стрелке.

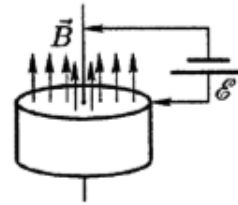
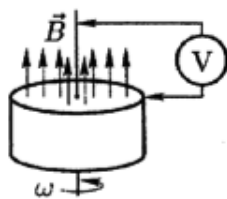


Известно, что достигаемое в процессе движения минимальное расстояние от любой из точечных масс до центра  $O$  начальной окружности равно  $R_1$  ( $R_1 < R_0$ ). Считайте, что в любой момент времени заряды находятся в вершинах квадрата с центром в точке  $O$ . Действием гравитационных сил можно пренебречь.

- 1) Выполните необходимые расчёты и определите траектории движения материальных точек.
- 2) Определите характерное время движения материальных точек.

$$\frac{(1-\varepsilon^{\wedge}z)\varepsilon^b}{\varepsilon(\varepsilon^{\wedge}z+0\varepsilon^{\wedge}z)} \wedge_{\varepsilon z} = J$$

ЗАДАЧА 5. Униполярный индуктор представляет собой быстро вращающийся постоянный магнит в форме диска. Диск выполнен из магнитного сплава, способного создавать сильное магнитное поле, и покрыт тонким проводящим слоем никеля.



При вращении диска между осью вращения и боковой поверхностью возникает разность потенциалов, которую можно измерить с помощью неподвижного вольтметра (рис. слева). Если же к оси вращения и боковой поверхности подсоединить батарейку, то магнит начнёт быстро вращаться, превратившись в электродвигатель. Точно так же, если быстро вращать вал обычного электромотора, то он превращается в генератор, и наоборот, если на электрический генератор подать напряжение, то он превращается в электромотор.

На рисунке справа показана схема такого реально работающего *униполярного электродвигателя*, ротором которого является сильный постоянный магнит в форме диска радиуса  $r_0 = 2$  см, насаженного на ось. При подключении с помощью скользящих контактов батарейки с ЭДС  $\mathcal{E} = 1,5$  В диск начинает быстро вращаться.

1) Что покажет неподвижный вольтметр на левом рисунке при частоте вращения диска  $\nu = 3000$  об/мин? Какова полярность этой разности потенциалов? Укажите полярность на рисунке.

2) Пренебрегая трением, оцените предельную частоту вращения (об/мин) намагниченного диска (ротора униполярного электродвигателя на правом рисунке). Укажите направление вращения ротора при заданной на рисунке полярности батарейки и направлении вектора  $\vec{B}$ . Модуль вектора  $\vec{B}$  постоянен и равен  $B = 1$  Тл.

*Примечание.* Для упрощения расчётов считайте, что в проводящем никелевом слое вектор индукции  $\vec{B}$  магнитного поля перпендикулярен поверхности диска. Также для упрощения считайте, что ток в проводящем слое течёт вдоль радиуса.

$$\text{ниж}/\text{об}/\text{мин} \approx \frac{\pi B r_0^2}{\mathcal{E}} \nu_{\text{max}} = 62,8 \text{ мВ}; \quad (2) \quad \nu_{\text{max}} \approx 72000 \text{ об}/\text{мин}$$

## Ответ к задаче 2

- Если  $\mu < \frac{M}{M+m_1+m_2}$ , то проскальзывание начнётся сразу, так что  $L = 0$  и  $t = 0$ .
- Если  $\frac{M}{M+m_1+m_2} < \mu < \frac{M(2M+2m_1+m_2)}{m_2(M+m_1+m_2)}$ , то

$$L = \frac{m_2 g}{k(M+m_1)} (\mu(M+m_1+m_2) - M), \quad t = \sqrt{\frac{M+m_1+m_2}{k}} \cdot \arccos \left( 1 - \frac{kL}{Mg} \right).$$

- Если  $\mu > \frac{M(2M+2m_1+m_2)}{m_2(M+m_1+m_2)}$ , то проскальзывания не будет.