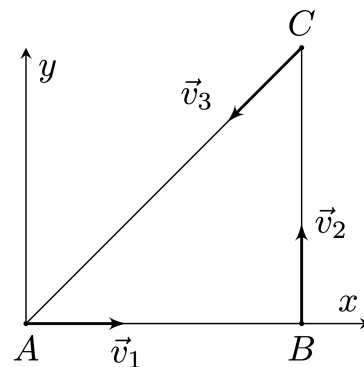


Всероссийская олимпиада школьников по физике

10 класс, заключительный этап, 2021/22 год

ЗАДАЧА 1. Три тигра. Три тигра одновременно начинают движение по горизонтальной поверхности с постоянными по модулю скоростями. Скорость первого тигра в любой момент времени направлена на второго, скорость второго — на третьего, а скорость третьего — на первого. В начальный момент времени тигры образуют прямоугольный треугольник с катетами, равными L (см. рис.). Считайте размеры тигров много меньшими L . Модуль скорости первого тигра $v_1 = v$, где v — известная величина, а скорости второго и третьего тигров v_2 и v_3 таковы, что в процессе движения углы в треугольнике ABC , образованном тиграми, остаются постоянными.



Введём систему координат так, как показано на рисунке. Начало координат совпадает с положением первого тигра в момент старта (точкой A).

При ответе на первые три вопроса считайте, что тигры не проскальзывают по поверхности и могут развивать любое усилие. Найдите:

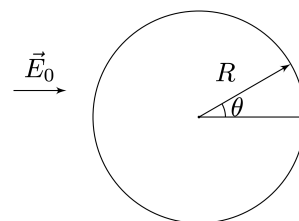
1. время t , через которое тигры встретятся;
2. модули скоростей второго и третьего тигров v_2 и v_3 ;
3. координаты (x, y) точки, в которой тигры встретятся.

В действительности движение тигров ограничивается коэффициентами трения их лап о поверхность. Для каждого тигра он одинаков и равен μ . Ускорение свободного падения g .

4. В течение какого времени τ с момента старта тигры могут поддерживать такое движение?

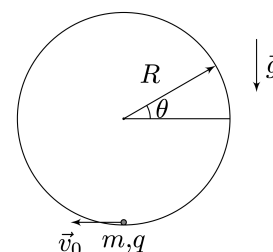
$$\frac{g\tau^2}{v^2} \geq \mu \text{ или } 0 \leq \frac{g\tau^2}{v^2} < \mu \text{ или } \frac{g\tau^2}{v^2} - \frac{a}{g} = 0 \text{ (т.е. } \left(\frac{g}{v^2}, \frac{g}{v^2}\right) = (n, x) \text{ (т.е. } \frac{g}{v^2} = \varepsilon a, \frac{g}{v^2} = \tau a \text{ (т.е. } \frac{a}{g} = \tau \text{ (I$$

ЗАДАЧА 2. Поле цилиндра. Бесконечно длинный незаряженный металлический цилиндр радиуса R расположен в однородном электрическом поле \vec{E}_0 . Ось цилиндра и вектор напряжённости поля горизонтальны и взаимно перпендикулярны (см. рис.). Напряжённость поля направлена вправо. На поверхности цилиндра установилось некоторое распределение индуцированных зарядов.



Далее рассмотрим бесконечно длинный тонкостенный непроводящий цилиндр такого же радиуса R вне поля \vec{E}_0 вдали от первого (проводящего) цилиндра. Поместим на его поверхность заряда так, чтобы зависимость плотности заряда от угла θ к горизонту (см. рис.) совпадала для обоих цилиндров. Непроводящий цилиндр расположен горизонтально в поле тяжести. Ускорение свободного падения равно \vec{g} (см. рис.).

Поместим внутрь непроводящего цилиндра гладкий точечный положительный заряд q массой m .

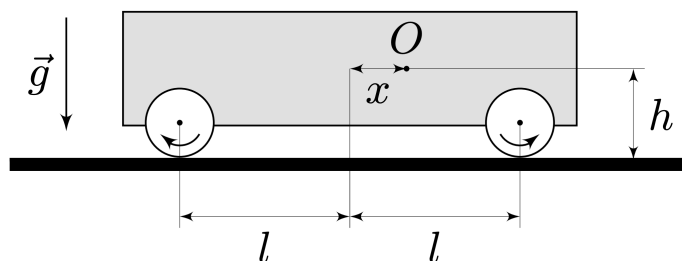


1. Определите изменение суммарной потенциальной энергии точечного заряда (энергии в поле тяжести и в электрическом поле) при перемещении его из крайнего левого положения в крайнее правое.
2. Точечный заряд помещают в самое нижнее положение и сообщают ему начальную скорость v_0 , направленную влево, перпендикулярно оси цилиндра. Найдите максимальную скорость заряда $v_{\text{макс}}$ в процессе дальнейшего движения.
3. При каких значениях v_0 точечный заряд совершит полный оборот?

$$\left(2 + 1 + \frac{q^2 m}{4\pi\epsilon_0 R^2} \sqrt{\frac{2}{g}} \right) \sqrt{2gR} = \left(2 + 1 + \frac{q^2 m}{4\pi\epsilon_0 R^2} \sqrt{\frac{2}{g}} \right) \sqrt{2gR} + \frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} m v_{\text{макс}}^2$$

$$\Delta W_{\text{пот}} = -\Delta V = -2qE_0R$$

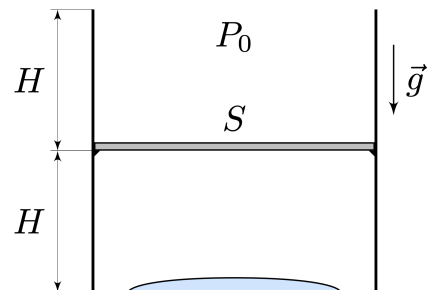
ЗАДАЧА 3. Электрическая тележка. Электрическая тележка для перемещения грузов состоит из двух цилиндрических колёс и корпуса. Расстояние между осями колёс $2l$. Центр масс тележки O выше пола на h и на x ($x > 0$) правее средней точки между осями. Электродвигатели сообщают колёсам быстрое встречное вращение, как показано на рисунке. Коэффициент трения колёс о пол μ ($\mu < l/h$). Массой колёс можно пренебречь. Ускорение свободного падения g . Определите:



1. ускорение тележки в начальный момент времени, если ее колеса не отрываются от пола;
2. при каком(их) значении(ях) возможно движение без отрыва колёс.

$$v = \frac{h-l}{x} \omega, \quad \mu l > x$$

ЗАДАЧА 4. Неизвестная жидкость под поршнем. В атмосфере с давлением $p_0 = 10^5$ Па расположен вертикальный цилиндрический сосуд сечения $S = 0,01$ м² и высоты $2H$ ($H = 1$ м). Вдоль стенок сосуда может перемещаться без трения герметичный поршень. Стенки сосуда и поршень не проводят тепло. Изначально поршень покоится на небольших опорах, расположенных на высоте H над дном сосуда. Из-под поршня выкачивают весь воздух и помещают туда некоторое количество жидкости. После установления термодинамического равновесия температура содержимого сосуда оказалась равна $T_0 = 350$ К. Затем включают нагреватель, и через дно сосуда содержимое под поршнем медленно нагревается. В процессе нагрева измеряют температуру и давление под поршнем. Когда низ поршня достигает отметки $2H$ нагрев прекращают. График полученной зависимости от начала нагрева и до его окончания представлен на рисунке ниже.



Удельная теплота парообразования жидкости при температуре $1,1T_0$ равна $L = 2,2$ МДж/кг. Молярная масса жидкости равна $\mu = 18$ г/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К), ускорение свободного падения $g = 9,8$ м/с². Пар жидкости можно считать идеальным многоатомным газом. Объем жидкости много меньше SH . Определите:

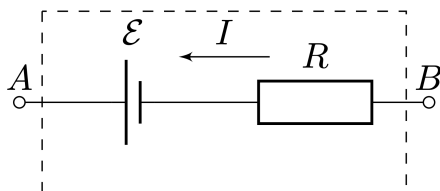
1. массу M поршня;
2. массу m_0 содержимого под поршнем (суммарно во всех агрегатных состояниях);
3. количество теплоты Q , подведенной к сосуду начиная с момента отрыва поршня от опор и до момента окончания нагрева.

$$M = \left(\frac{g}{9.8} + \frac{0.18 \cdot 11}{8.31 \cdot 1.1} \right) H S^0 d = 0 \quad (3) \quad \text{и} \quad 1.2 \cdot 4 \text{ кг} = \frac{0.18}{H S^0 d} \cdot 2.2 = 0.01 \quad (2) \quad m_0 = \frac{g}{S} = M \quad (1)$$

ЗАДАЧА 5. Термоисточник. Источник состоит из соединённых последовательно идеального источника постоянного напряжения \mathcal{E} и терморезистора, сопротивление которого зависит от температуры по закону

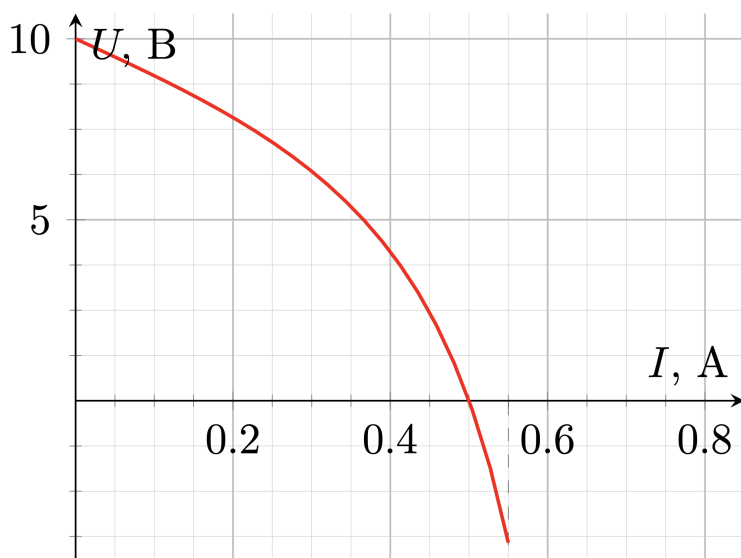
$$R = R_0(1 + \alpha(t - t_0)),$$

где R_0 — сопротивление резистора при температуре $t_0 = 0^\circ\text{C}$, t — установившаяся температура резистора, α — постоянный коэффициент.



На графике приведена нагрузочная кривая источника, т. е. зависимость установившегося напряжения U_{AB} между его клеммами от силы протекающего через него тока I . При протекании тока $I_1 = 0,55\text{ A}$ цепь разрывается, т. к. резистор плавится. Температура плавления известна и равна $t_{\text{пл}} = 306^\circ\text{C}$. Мощность тепловых потерь в окружающую среду от нагретого до температуры t резистора равна $N = \beta(t - t_{\text{среды}})$, где β — постоянный неизвестный коэффициент. Считайте, что температура окружающей среды $t_{\text{среды}} = t_0$. Определите:

1. напряжение \mathcal{E} идеального источника;
2. сопротивление R_0 ;
3. напряжение U_{AB} между клеммами A и B , если к ним подключить резистор сопротивлением 10 Ом ;
4. величину α ;
5. какую силу тока гарантированно не сможет пропускать аналогичный резистор, имеющий те же значения параметров R_0 и α , но очень высокую температуру плавления.



$$1) \mathcal{E} = 10\text{ В}; 2) R_0 = 10\text{ В}; 3) U_{AB} = \mathcal{E} = 10\text{ В}; 4) \alpha = 5,1 \cdot 10^{-3}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}; 5) I_{\text{max}} = \sqrt{\frac{R_0 \alpha}{\beta}} = 0,71\text{ A}$$