Физика.11 класс

2 вариант

Решения

1. Определим горизонтальную компоненту импульса центра масс цилиндра $\vec{p}_g$. Следует рассмотреть 2 случая: а) в течении времени контакта кольца с поверхностью проскальзывание не прекратилось, б) проскальзывание прекратилось до момента отрыва кольца от поверхности.

Рассмотрим случай а). Из второго закона Ньютона для горизонтальной составляющей импульса можно записать (вследствие того, что сила взаимодествия кольца с поверхностью меняется, процесс накопления импульса следует разбить на малые интервалы):

$$p_g = \sum_T F_n \Delta t_n = \sum_T \mu N_n \Delta t_n \ . \qquad (1)$$

Здесь N_n - прижимающая сила кольца к поверхности на *n*-м этапе. Изменение вертикальной составляющей определяется силой реакции опоры и вычисляется из выражения:

$$\Delta p_v = \sum_T N_n \Delta t_n = 2 p_v . \qquad (2)$$

Здесь использован тот факт, что в проекции на вертикаль диссипативных сил нет, поэтому вертикальная составляющая импульса меняется на противоположную. Тогда для тангенса будем иметь:

$$\tan(\alpha) = \frac{p_g}{p_v} = \frac{\mu \sum_T N_n \Delta t_n}{\frac{1}{2}\sum_T N_n \Delta t_n} = 2\mu. \text{ Отсюда } \mu = \frac{1}{2}\tan(\alpha). \qquad (3)$$

Рассмотрим случай б). Горизонтальная составляющая импульса в этом случае так же определяется выражением (1), но суммирование производится не до момента отрыва кольца, а только до момента прекращения проскальзывания. В этот момент становится справедливой кинематическая связь между угловой скоростью вращения и линейной скоростью:

$$\omega = vR , \qquad p_g = Mv . \qquad (4)$$

В процессе взаимодействия кольца с поверхностью угловая скорость убывает, и эта убыль определяется уравнением вращательного движения:

$$MR^2 \frac{\Delta \omega_n}{\Delta t} = -\mu N_n R . \qquad (5)$$

Левая часть этого уравнения – произведение момента инерции кольца на угловое ускорение, правая часть – момент силы трения на *n*-м этапе. Суммирование этого уравнения по времени до момента прекращения проскальзывания получим:

$$\omega - \omega_0 = -\frac{\mu}{MR} \sum_t N_n \Delta t_n \ . \qquad (6)$$

С учетом (4) получим:

$$p_g = \frac{1}{2} MR\omega_0 . \qquad (7)$$

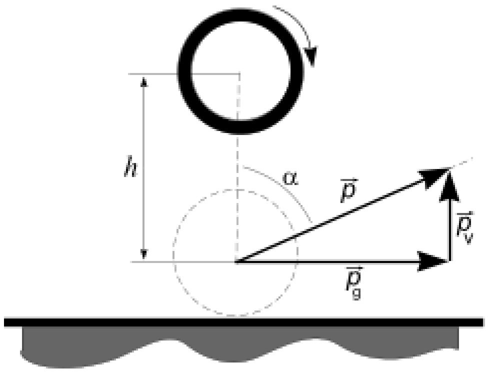
Для вертикальной составляющей можно записать:

$$\frac{p_v^2}{2M} = Mgh , \quad p_v = M\sqrt{2gh} . \qquad (8)$$

С учетом (7) и (8) для угла получим:

$$\tan(\alpha) = \frac{p_g}{p_v} = \frac{\frac{1}{2} MR\omega_0}{M\sqrt{2gh}} = \frac{R\omega_0}{\sqrt{8gh}} . \qquad (9)$$

Т. е. в этом случае по углу отражения определить коэффициент трения невозможно.



2. Вода, попавшая на горячие камни, почти сразу испаряется и в виде пара распространяется по помещению. Одновременно с этим конденсируется, при этом выделяется теплота конденсации, вследствие чего происходит значительный нагрев воздуха и предметов, на которых оседает конденсат. Для оценки температуры воздуха воспользуемся уравнением теплового баланса:

$$\lambda m + cm(373 - T) = \frac{7}{2} \nu R(T - T_0) . \qquad (10)$$

В левой части этого уравнения первое слагаемое – теплота, выделяющаяся при конденсации пара, второе слагаемое – тепло, выделяющееся при остывании конденсата от 100 градусов по Цельсию до некоторой равновесной температуры *T*. Правая часть уравнения – количество теплоты, получаемое воздухом помещения: произведение молярной теплоемкости двухатомного газа при постоянном давлении (атмосферное давление неизменно) на количество вещества и на прирост температуры. Количество молей воздуха можно определить из уравнения состояния:

$$P_0 V = \nu R T_0 . \qquad (11)$$

Тогда из (10) с учетом (11) получим:

$$m = \frac{\frac{7}{2} \frac{P_0 V}{T_0} (T - T_0)}{\lambda + c(373 - T)} \approx 0.2 \text{ кг.} \qquad (12)$$

Далее оценим установившуюся относительную влажность:

$$\varphi = \frac{P}{P_{нас2}} . \qquad (13)$$

Здесь P=0.3$P_{нас1}$ – парциальное давление пара ранее содержащегося в воздухе. При нагревании воздуха это давление практически не увеличивается, так как процесс изобарический. $P_{нас1}$ и

$P_{нас2}$ – давление насыщенных паров воды при начальной и конечной температуре соответственно. Используя таблицу давления паров, получим:

$$\varphi = \frac{0.3P_{нас1}}{P_{нас2}} \approx 8\% \ . \tag{14}$$

Важно отметить парадоксальный факт: выпаривание в воздух с помощью камней дополнительной порции воды приводит не к увеличению, а уменьшению относительной влажности.

3. Спасение возможно при выполнении баланса между силами давления света на парус и всемирного тяготения. Вычислим силу давления света. Для этого воспользуемся уравнением Ньютона и представлениями о свете, как о пучке частиц фотонов, энергия которых определяется выражением $E_\gamma = pc$. Здесь p – импульс фотона, c – скорость света. Так как поверхность парашюта зеркальна, можно считать удар фотона о поверхность упругим, а изменение импульса $2p$. Для силы давления света запишем:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2pc\Delta N}{c\Delta t} = \frac{2E_\gamma \Delta NS}{c\Delta tS} = 2\frac{W_r S}{c} \ . \tag{15}$$

Здесь ΔN - число фотонов, падающих на парашют за время Δt, S - площадь поверхности, W_r - солнечная постоянная на расстоянии r от светила. Приравняем силу (15) к силе всемирного тяготения:

$$2\frac{W_r S}{c} = G\frac{Mm}{r^2}, \qquad m = \frac{2W_r r^2 S}{GMc}. \tag{16}$$

Для определения W_r сравним ее с солнечной постоянной на орбите Земли. Заметим, что поверхностная плотность энергии излучения светила обратно пропорциональна квадрату расстояни до него. Действительно, одна и та же мощность излучения распределена по сфере радиуса, равного радиусу орбиты Меркурия и радиусу орбиты Земли:

$$W_r 4\pi r^2 = W 4\pi R^2 . \tag{17}$$

Тогда для (16) получим:

$$m = \frac{2WS}{\omega^2 Rc} = \frac{2WS}{Rc}\left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \approx 16 \text{ кг}. \tag{18}$$

Здесь T – период обращения Земли вокруг Солнца.

Важно заметить, что сила давления света и сила всемирного тяготения одинаково зависят от расстояния до светила, поэтому размер парашюта не зависит от расстояния до Солнца и на орбите Меркурия, и на орбите Земли одинаков.

4. Потенциал сферы определяется выражением (Q – заряд сферы):

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R} \ . \tag{19}$$

Количество оборотов ленты транспортера определяется из выражения:

$$N = \frac{Q}{q} = \frac{4\pi\varepsilon_0 R\varphi}{q} \ . \tag{20}$$

Время работы привода:

$$T = \frac{l}{v} N = \frac{4\pi\varepsilon_0 R\varphi l}{qv}. \text{ Отсюда } q = \frac{4\pi\varepsilon_0 R\varphi l}{Tv}. \tag{21}$$

Максимальная мощность привода реализуется в моменты максимального сближения пластинки и шара, так как в этот момент максимальна сила оттталкивания. Для этого момента можно записать:

$$P = \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{F\Delta x}{\Delta t} = Fv = \frac{Qqv}{4\pi\varepsilon_0 R^2} = \frac{\varphi qv}{R} = \frac{4\pi\varepsilon_0 \varphi^2 l}{T}. \tag{22}$$

5. В процессе падения кольца через его плоскость меняется поток вектора магнитной индукции, вследствие чего по его периметру возникает ЭДС индукции и электрический ток. Направление тока таково, что сила Ампера, действующая на кольцо, направлена против скорости движения (правило Ленца). За существование силы Ампера ответственна горизонтальная составляющая индукции магнитного поля. Вычислим силу Ампера ($K = \frac{\Delta B_v}{\Delta t}$):

$$|F| = IB_g 2\pi r = 2\pi r B_g \frac{\varepsilon}{R} = \frac{2\pi^2 r^3 B_g}{R}\frac{\Delta B_v}{\Delta t} = \frac{2\pi^2 r^3 B_g}{R}\frac{\Delta B_v}{\Delta x}\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{2\pi^2 r^3 B_g v}{R}\frac{\Delta B_v}{\Delta x} = \frac{2\pi^2 r^3 B_g vK}{R}. \tag{23}$$

Используя свойство магнитного поля можно определить связь между горизонтальной и вертикальной составляющими магнитного поля. Пусть кольцо сместилось вниз на малое расстояние Δx (см. рисунок). Полный магнитный поток через замкнутую поверхность заметенного кольцом цилиндра равен нулю (сколько магнитных линий входит внутрь, столько же и выходит). Поэтому можно записать: $B_v(x)\pi r^2 - B_v(x+\Delta x)\pi r^2 = B_g 2\pi r\Delta x$, отсюда:

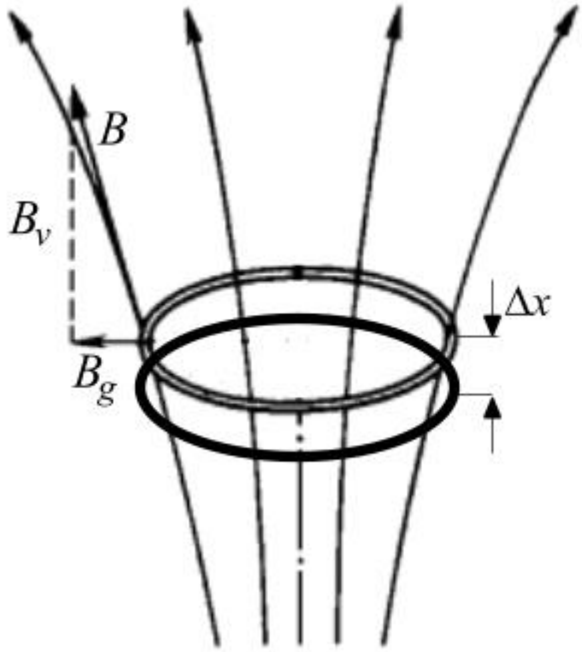
$$|B_g| = \frac{r}{2}\frac{\Delta B_v}{\Delta x} = \frac{1}{2} rK. \tag{24}$$

Тогда для (23) с учетом (24) получим:

$$|F| = \frac{\pi^2 r^4 v K^2}{R} = Mg. \tag{25}$$

Тогда для скорости изменения поля получим:

$$K = \sqrt{\frac{MgR}{\pi^2 r^4 v}}. \tag{26}$$



B
B_v
Δx
B_g