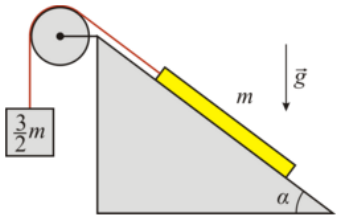
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП 2023
11 класс
КЛЮЧИ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Задача 1. Однородный канат массой m=4 кг соединён с бруском массой 3m/2 невесомой и нерастяжимой нитью, перекинутой через блок. Канат находится на наклонённой под углом α (cosα=0,8) к горизонту поверхности. Коэффициент трения скольжения между этой поверхностью и канатом μ=0,2. Ускорение свободного падения принять равным g=10 м/с^2.

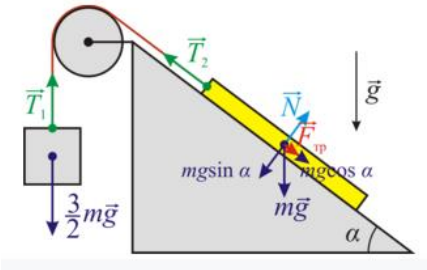


1. Найдите ускорение каната.
2. Найдите силу натяжения каната в его середине.

Массой блока и трением в его оси пренебречь.

Возможное решение.

1. Рассмотрим силы, действующие на тела. На груз вниз действует сила тяжести (3/2)m·g, направленная вниз и сила натяжения нити T_1, направленная вверх. На канат действует сила тяжести m·g, которую можно разложить на проекции m·g·sinα вдоль поверхности и m·g·cosα перпендикулярно поверхности. Кроме того, на него действует сила реакции опоры N и сила трения Fтр.



2. Запишем второй закон Ньютона для каната в проекциях на ось, перпендикулярную поверхности. Выходит, что

N=m·g·cosα.

Поскольку в условии сказано, что канат движется, сила трения равна

Fтр=μ·N=μ·m·g·cosα.

3. Из невесомости нити следует, что $|T_1|=|T_2|=T$, а из её не растяжимости –– равенство величины ускорения для груза и каната.

4. Запишем с учётом вышесказанного второй закон Ньютона для груза в проекциях на вертикальную ось и для каната в проекциях на ось, направленную вдоль

$$\begin{cases} \frac{3}{2}m\cdot a = \frac{3}{2}m\cdot g - T, \\ m\cdot a = T - m\cdot g\cdot \sin\alpha - \mu\cdot m\cdot g\cdot \cos\alpha. \end{cases}$$

поверхности. Выходит, что

5. Из первого уравнения системы получаем, что величина силы натяжения равна

$T=(3/2)m\cdot g-(3/2)m\cdot a$.

Подставив это выражение во второе уравнение, получим. что

$m\cdot a=(3/2)m\cdot g-(3/2)m\cdot a-m\cdot g\cdot(\sin\alpha+\mu\cdot\cos\alpha)$,

откуда искомое ускорение каната равно

$a=0{,}4g\cdot(1{,}5-\sin\alpha-\mu\cdot\cos\alpha)$.

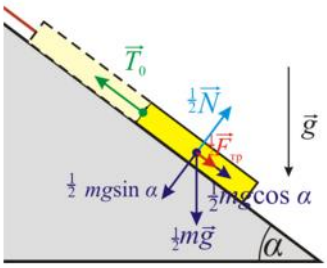
6. Из основного тригонометрического тождества получаем, что

$\sin\alpha=1-\cos2\alpha=0{,}6$.

Таким образом, ускорение каната равно

$a=1{,}8-1{,}6\mu5g=0{,}296g\approx0{,}3g=3$ м/с^2.

7. Чтобы найти силу натяжения каната в его середине, необходимо рассмотреть силы, действующие на вторую половину каната и написать для неё второй закон Ньютона.



Поскольку масса этой части равна m/2, то сила тяжести, сила реакции опоры и сила трения в два раза меньше, чем для всего каната.

8. Из второго закона Ньютона для второй половины каната в проекциях на ось, направленную вверх вдоль плоскости, получается, что

$(m/2)\cdot a=T_0-(1/2)m\cdot g\cdot\sin\alpha-(1/2)\mu\cdot m\cdot g\cdot\cos\alpha$,

откуда искомая сила натяжения равна

$T_0=(m/2)\cdot(a+0{,}76g)\approx0{,}53m\cdot g=21{,}2$ Н.

Критерии оценивания

- Представлен рисунок с указанием всех сил – 1 балл
- Найдена сила трения – 1 балл
- Следствие невесомости и не растяжимости нити – 1 балл
- Записан второй закон Ньютона для груза в проекциях на вертикальную ось и для каната в проекциях на ось, направленную вдоль поверхности – 2 балла
- Определена сила натяжения – 1 балл
- Найдено ускорение – 1 балл
- Найдена сила натяжения каната в его середине - 3 балла

ВСЕГО: 10 БАЛЛОВ

Задача 2. Дачный домик отапливается с помощью электрических батарей. При температуре батарей $t_{б1}=40°C$ и температуре наружного воздуха $t_1=-10°C$ в домике устанавливается температура 20°C. Считайте электрическое сопротивление нагревательных элементов не зависящим от температуры и постоянным, а мощность теплопередачи пропорциональной разности температур.

1. Во сколько раз необходимо увеличить силу тока в батареях, чтобы прежняя температура в комнате поддерживалась в холодные дни при температуре наружного воздуха $t_2=-25°C$?

2. Чему при этом будет равна температура батарей $t_{б2}$?

Возможное решение.

1. Количество теплоты, выходящей за 1 с через стенки домика, то есть мощность тепловых потерь, пропорциональна разности температур между домом и улицей и равна $W_1=k_1\cdot(t-t_1)$, где k_1 — коэффициент пропорциональности, зависящий от формы, размеров и материала стен.

2. Мощность теплопередачи от батареи к воздуху, содержащемуся в комнате пропорциональна разности температур батареи и комнатной и равна $N_1=k_2\cdot(t_{б1}-t)$, где k_2 — коэффициент пропорциональности, зависящий от формы и размеров батареи.

3. В установившемся режиме мощность теплопередачи, поступаемой в комнату от батарей отопления в точности равна мощности тепловых потерь через стенки домика (иначе воздух в домике нагревался бы или охлаждался). Таким образом, верно соотношение

$W_1=k_1\cdot(t-t_1)=k_2\cdot(t_{б1}-t)=N_1$,

откуда

$k_2/k_1=(t-t_1)/(t_{б1}-t)$.

4. При понижении уличной температуры до $t_2=-25°C$ необходимо повысить температуру батарей до некоторой искомой величины $t_{б2}$. При этом выполняется соотношение

$W_2=k_1\cdot(t-t_2)=k_2\cdot(t_{б2}-t)=N_2$,

откуда искомая температура батареи равна

$t_{б2}=t+(k_1/k_2)\cdot(t_2-t_1)=t+((t_{б1}-t)/(t-t_2))(t-t_1)=50°C$.

5. Мощность теплопередачи от батареи к комнатному воздуху возросла в

$n=N_2/N_1=(t_{б2}-t)/(t_{б1}-t)=1{,}5$ раза.

Поскольку мощность пропорциональна квадрату силы тока, получаем, что

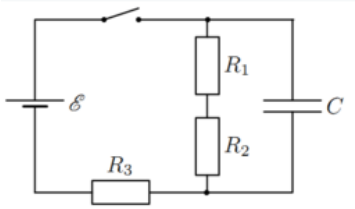
$I_2/I_1=N_2/N_1\approx1{,}22$.

Критерии оценивания

- Записана формула для расчета мощности тепловых потерь – 1 балл
- Формула мощности теплопередачи от батареи к воздуху - 1 балл
- Из равенства мощности тепловых потерь и мощности теплопередачи найдено отношение соответствующих коэффициентов – 2 балла
- Найдена температура батареи при понижении уличной температуры – 3 балла
- Определено отношении токов - 3 балла

ВСЕГО: 10 БАЛЛОВ

Задача 3. В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, R_1=R, R_2=2R, R_3=3R, $\mathcal{E}$=24 В, C=10 мкФ. Конденсатор вначале не заряжен. Ключ замыкают, дожидаются установления стационарного режима, а затем размыкают. Найдите тепло, выделившееся после размыкания ключа в каждом резисторе.



Возможное решение.

Поскольку конденсатор соединен последовательно с резисторами R_1 и R_2, напряжение на нем равно

$$U_c = I \cdot (R + 2R) = \frac{\mathcal{E}}{6R} \cdot 3R = \frac{\mathcal{E}}{2}$$

Энергия запасенное в конденсаторе, равна

$$W = \frac{C \cdot U_c^2}{2} = \frac{C \cdot \mathcal{E}^2}{8}$$

После размыкания ключа она выделится в виде тепла на резисторах сопротивлениями R_1 и R_2. Количество теплоты, которое выделится на резисторе R_3, равно нулю, поскольку после размыкания ключа ток через него не течет.

Резисторы R_1 и R_2 соединены друг с другом последовательно, значит через них течет одинаковый ток. Поэтому теплота считается по формуле

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

Значит теплоты, выделяющиеся на этих резисторах, прямо пропорциональны сопротивлениям. Пусть Q_1 - количество теплоты, выделяющиеся на резисторе R_1, а Q_2 - количество теплоты, выделяющиеся на резисторе R_2. Тогда

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{2}$$

Окончательно выходит, что

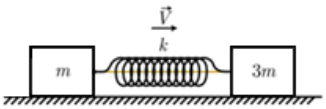
$$Q_1 = \frac{1}{1+2}W = \frac{C \cdot \mathcal{E}^2}{24} = 240 \text{ мкДж}$$

$$Q_2 = \frac{2}{1+2}W = \frac{C \cdot \mathcal{E}^2}{12} = 480 \text{ мкДж}$$

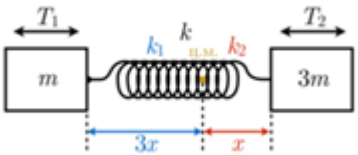
Критерии оценивания

- Найдено напряжение на конденсаторе – 2 балла
- Определена энергия запасенная в конденсаторе – 2 балла
- Обоснованно, что на резисторе с сопротивлением R_3 тепло не выделяется – 1 балл
- Определено тепло, выделяющееся оставшихся резисторах – 5 баллов

ВСЕГО: 10 БАЛЛОВ



Задача 4. По гладкой горизонтальной поверхности движутся со скоростью V два бруска массами m = 216 г и $3m$, связанные нитью. Между брусками находится пружина жесткостью k = 250 Н/м, сжатая на некоторую величину. Пружина прикреплена только к бруску массой m. Размеры брусков малы по сравнению с длиной нити, массой пружины пренебречь, скорость брусков направлена вдоль нити. Во время движения нить обрывается, и бруски разъезжаются вдоль начального направления нити. Найти время соприкосновения пружины с бруском массой $3m$.



Возможное решение.

Перейдем в систему отсчета, связанную с центром масс системы «бруски +пружина». Поскольку изначально бруски двигались как единое целое, то скорость центра масс равна V. Если груз массой 3 m находится от центра масс на расстоянии x, то груз массой m находится от него на расстоянии $3x$. Точка пружины, совпадающая с центром масс, будет неподвижна в этой системе отсчета.

Таки образом, движение тел можно представить, как два независимых колебательных процесса.

Жесткость левой части пружины составляет

$$k_1 = \frac{x+3x}{3x} \cdot k = \frac{4}{3}k$$

а правой

$$k_2 = \frac{x+3x}{x} \cdot k = 4k$$

Период колебаний груза массой m

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{\frac{4}{3}k}} = \pi\sqrt{\frac{3m}{k}}$$

а груза массой $3m$

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{3m}{4k}} = \pi\sqrt{\frac{3m}{k}}$$

Видно, что $T_1 = T_2$, что подтверждает предположение о том, что можно рассматривать колебание двух грузов в отдельности, потому что эти периоды должны совпадать с периодом колебаний системы как целого.

Если рассмотреть движение груза массой $3m$, топервую четверть периода его разгоняет сила упругости пружины. Затем, груз проходит положение равновесия, после чего направление силы упругости пружины должно смениться на противоположное. Однако, поскольку пружина не прикреплена к этому бруску, после прохождения четверти периода пружина более не будет взаимодействовать с этим грузом. Таким образом искомое время равно

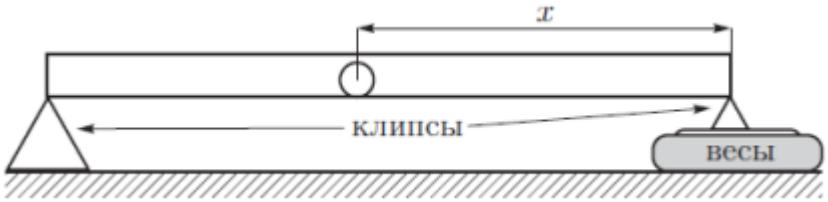
$$t = \frac{T}{4} = \frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{3m}{k}} \approx 40 \text{ мс}$$

Критерии оценивания

- Переход в систему отсчета центра масс – 1 балл.
- Определение центра масс – 2 балла.
- Определение жесткости частей пружин - 2 балла.
- Определение периода колебаний – 3 балла.
- Правильный ответ - 2 балла.

ВСЕГО: 10 БАЛЛОВ

Задача 5. Закрытая полая трубка длины L = 100,0 см, внутри которой находится стальной шарик, находится в горизонтальном положении, опираясь на 2 металлические клипсы разного размера (см. рис). Одна из клипс находится на электронных весах, тарированных на массу этой клипсы (т.е. выставленных на 0). Школьник снимает зависимость показаний весов m от расстояния x между шариком и правой опорой, при этом положение шарика фиксируется маленьким (но мощным!) неодимовым магнитом массой $m_м$ = 10 г.



Были получены следующие данные:

x, см	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
m, г	298,4	249,1	230,0	220,0	210,0	200,0	190,0	180,0	170,0	160,0
x, см	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
m, г	150,0	140,0	130,0	120,0	110,0	100,0	90,0	80,0	70,0	58,3

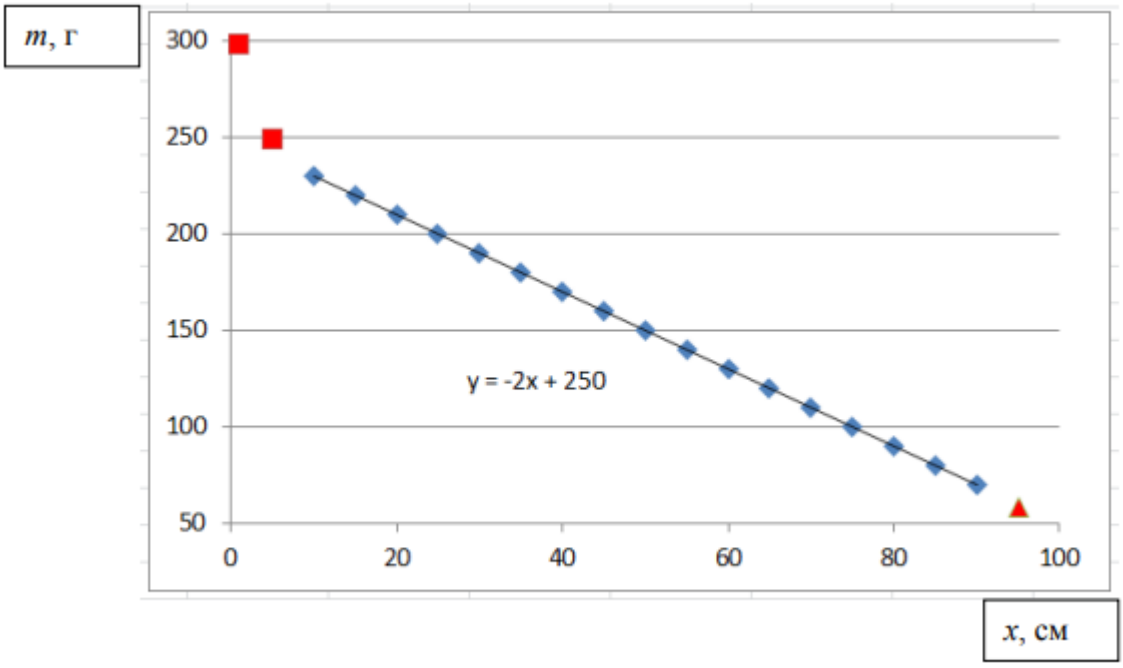
Задание: 1. Выведите теоретическую модель показаний весов m от расстояния x между шариком и правой опорой.

2. Постройте на миллиметровой бумаге график зависимости $m(x)$, проанализируйте получившуюся зависимость.

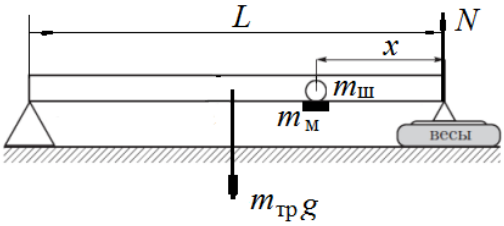
3. Из коэффициента наклона линейного участка определите массу трубки $m_{тр}$ и массу шарика $m_{ш}$

Возможное решение.

График $m(x)$



Уравнение равенства моментов сил относительно левой клипсы:



$$m_{\text{тр}} g \frac{L}{2} + (m_{\text{ш}} + m_{\text{м}}) g (L - x) = NL$$

Показания весов:

$$m_{\text{в}} = \frac{N}{g} = \frac{1}{2} m_{\text{тр}} + (m_{\text{ш}} + m_{\text{м}}) \cdot \frac{L - x}{L} = \left(\frac{m_{\text{тр}}}{2} + m_{\text{ш}} + m_{\text{м}}\right) - \left(\frac{m_{\text{ш}} + m_{\text{м}}}{L}\right) \cdot x = ax + b$$

Не учитываем точки x = 1,5, 95 см, из за взаимодействия магнита с металлическими клипсами. Из графика получаем:

a = -2,00 г/см, b = 250 г,

т.е.

$$\frac{m_{\text{ш}} + m_{\text{м}}}{L} = -\boldsymbol{a} \leftrightarrow m_{\text{ш}} + m_{\text{м}} = 200 \text{ г} \leftrightarrow m_{\text{ш}} = 190 \text{ г}$$

$$\frac{m_{\text{тр}}}{2} + m_{\text{ш}} + m_{\text{м}} = 250 \text{ г} \rightarrow m_{\text{тр}} = 100 \text{ г}$$

Критерии оценивания

- Выведена теоретическая модель показаний весов m от расстояния x между шариком и правой опорой - 5 баллов
- Построен на миллиметровой бумаге график зависимости $m(x)$ и проанализирована получившаяся зависимость - 3 балла
- Из коэффициента наклона линейного участка определите массу трубки $m_{\text{тр}}$ и массу шарика $m_{\text{ш}}$ - 2 балла

ВСЕГО: 10 БАЛЛОВ