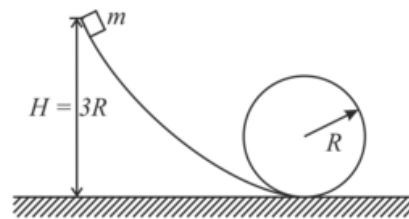


ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП 2023
10 класс
КЛЮЧИ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Задача 1. Тело массы $m=10$ кг начинает скользить без трения с некоторой начальной высотой $H=3R$ и совершает мёртвую петлю радиуса R . Трения нет. Чему равна сила реакции опоры в верхней точке траектории?



Возможное решение.

1. Запишем закон сохранения энергии от начального момента до момента прохождения верхней точки петли с некоторой скоростью V . Выходит, что

$$m \cdot g \cdot 3R = m \cdot g \cdot 2R + m \cdot V^2 / 2.$$

Из этого равенства получим

$$V^2 = 2g \cdot (3R - 2R) = 2g \cdot R.$$

2. Тело, совершая мёртвую петлю, движется по окружности радиусом R , значит оно обладает центростремительным ускорением $a_{ц.с.} = V^2 / R$

3. По второму закону Ньютона для тела в верхней точке траектории получим, что

$$m \cdot g + N = m \cdot a_{ц.с.} = m \cdot V^2 / R = 2m \cdot g.$$

Искомая сила реакции опоры равна

$$N = 2m \cdot g - m \cdot g = m \cdot g = 100 \text{ Н.}$$

Критерии оценивания

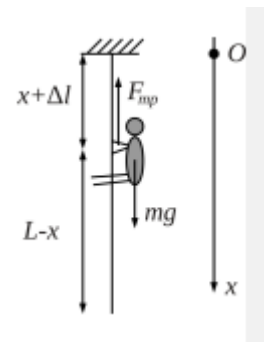
- Запись закона сохранения энергии – 3 балла.
- Найдено центростремительное ускорение – 2 балла.
- Применение второго закона Ньютона для верхней точки петли - 3 балла.
- Правильный ответ - 2 балла.

ВСЕГО: 10 БАЛЛОВ

Задача 2. Десантник массой m спускается с вертолета на землю по тросу с постоянной относительно земли скоростью v . Трос невесомый и упругий, его жесткость равна k , длина в нерастянутом состоянии — L . Какая тепловая мощность выделяется за счет трения десантника о трос? Ускорение свободного падения равно g .

Возможное решение.

Направим координатную ось Ox вниз, поместим начало координат в точку крепления троса к вертолету (см. рис.). Обозначим через x координату точки на нерастянутом жгуте, в которой десантник окажется к моменту времени t (то есть под десанником остается кусок жгута длиной $L - x$). Растяжение жгута в этот момент времени обозначим через Δl . Тогда расстояние, на которое опустился десантник равно $vt = x + \Delta l$. Поскольку десантник



двигается равномерно, из второго закона Ньютона заключаем, что равнодействующая всех сил, действующих на него, равна нулю. Следовательно, сила тяжести равна по величине силе трения: $mg = F_{тр}$. С другой стороны, по третьему закону Ньютона, сила трения равна

возникающей в тросе силе упругости: $F_{\text{тр}} = F_{\text{упр}}$. Остается разобраться с жесткостью жгута. Когда мы растягиваем часть жгута, жесткость этой части больше, чем у всего жгута. Действительно, для того чтобы растянуть, например, треть жгута на Δx , требуется в 3 раза больше усилий, чем для того, чтобы растянуть на ту же величину Δx весь жгут. Не составляет труда понять, что жесткость части жгута длиной x равна kL/x (где L — длина всего жгута в нерастяннутом состоянии). Следовательно,

$$mg = k(L/x) \Delta l.$$

Чтобы найти выделившееся тепло, выпишем закон сохранения энергии. Потенциальная энергия десантника переходит в тепло и в потенциальную энергию жгута:
 $mgvt = Q + k(L/x) \cdot (\Delta l)^2/2$

Решая систему из всех выписанных уравнений, для величины выделившегося тепла имеем:

$$Q = mgvt (1 + mg/2kL)/(1 + mg/kL)$$

Таким образом, мощность тепловыделения равна

$$N = Q/t = mgv (1 + mg/2kL)/(1 + mg/kL)$$

Критерии оценивания

- Найдено расстояние на которое опустился десантник – 1 балл
- Доказано, что сила тяжести равна силе упругости – 2 балла
- Найдена жесткость части жгута – 2 балла
- Записан ЗСЭ – 2 балла
- Получено выражение для выделившегося тепла – 2 балла
- Найдена мощность – 1 балл

ВСЕГО: 10 БАЛЛОВ

Задача 3. В цилиндрическом сосуде с площадью основания S находится ν молей идеального одноатомного газа, отделенного от окружающей среды невесомым поршнем. Коэффициент трения между поршнем и стенками сосуда равен μ . В начальном состоянии газ имеет объем V_0 , температуру T_0 и давление, равное давлению окружающей среды. При медленном нагревании газа поршень начинает смещаться, когда температура газа возрастает до значения $1,2T_0$. После достижения температуры $2T_0$ нагрев прекращают, и газ остывает до исходной температуры T_0 . Найдите 1) конечный объем газа; 2) количество теплоты, которое было подведено к газу в процессе его нагревания; 3) модуль силы реакции, действующей со стороны стенок сосуда на поршень.

Возможное решение.

Изначально газ изохорно нагревается до давления p_2 и температуры $T_2 = 1,2T_0$, затем изобарно расширяется до объема V_3 и температуры $T_3 = 2T_0$. Далее изохорное и изобарное охлаждение. Согласно объединенному газовому закону

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p_2 V_0}{1,2T_0} = \frac{p_2 V_3}{2T_0} = \frac{p_4 V_3}{T_4} = \frac{p_4 V_5}{T_0}$$

Следовательно из 1-го и 2-го равенств:

$$P_2 = 1,2P_0,$$

$$V_3 = (5/3)V_0$$

$$P_4 = P_5 = 0,8P_0$$

$$V_5 = (5/4)V_0$$

По этим данным можно нарисовать график.

Теплота подводится в процессах (1-2) (2-3). По 1-му закону термодинамики

$$Q = \Delta U_{13} + A$$

$$Q = (3/2) \nu R \Delta T_{13} + 1,2P_0(2/3)V_0 = 2,3\nu R T_0$$

Сила трения μN равна разности сил давления в состоянии (2) и состоянии (1)

$$\mu N = (P_2 - P_0)S$$

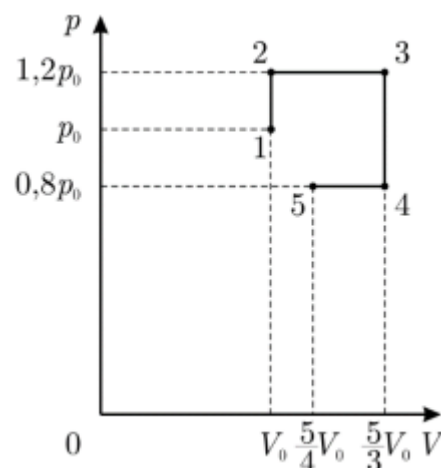
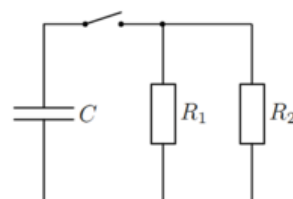
$$N = 0,2\nu R T_0 S / (V_0 \mu)$$

Критерии оценивания

- Записан объединенный газовый закон - 1,5 балла
- Найдены давления во всех точках $P(V)$ диаграммы – 2 балла
- Найдены объемы во всех точках $P(V)$ диаграммы – 1,5 балла
- Правильный график - 1 балл
- Записан 1-й закон термодинамики - 0,5 балла
- Найдено количество теплоты, которое было подведено к газу в процессе его нагревания - 1,5 балла
- Определены модуль силы реакции, действующей со стороны стенок сосуда на поршень – 2 балла

ВСЕГО: 10 БАЛЛОВ

Задача 4. В цепи, схема которой изображена на рисунке, $C=2$ мкФ, $R_1=2R$, $R_2=3R$. Заряд конденсатора равен $q=50$ мкКл. Какое количество тепла выделится в каждом из резисторов после замыкания ключа?



Возможное решение.

Энергия запасенная в конденсаторе, равна

$$W = \frac{q^2}{2C}$$

После размыкания ключа она выделится в виде тепла на резисторах.

Резисторы R_1 и R_2 соединены друг с другом параллельно, на их концах одинаковые напряжения. Поэтому теплота считается по формуле

$$Q = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

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

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{3}{2}$$

Окончательно выходит, что

$$Q_1 = \frac{3}{3+2}W = \frac{3q^2}{10C} = 375 \text{ мкДж}$$

$$Q_2 = \frac{2}{3+2}W = \frac{q^2}{5C} = 250 \text{ мкДж}$$

Критерии оценивания

- Записана формула для энергии в конденсаторе – 2 балла
- Формула для расчета количества теплоты – 2 балла
- Вывод, что теплоты обратно пропорциональны сопротивлениям – 3 балла
- Правильный ответ - 3 балла

ВСЕГО: 10 БАЛЛОВ

Задача 5. В вертикально расположенной пробирке находится жидкость неизвестной плотности. В нее плавно погружают деревянный стержень, диаметр которого $d = 0,7$ см. С помощью динамометра, работающего как на сжатие, так и на растяжение, исследуется зависимость его показаний F от глубины погружения x стержня в пробирку (отсчет от верхнего края пробирки). Результаты измерений представлены в таблице:

x , см	F , мН	x , см	F , мН	x , см	F , мН
0,0	40,0	10,0	40,0	20,0	9,8
1,0	40,0	11,0	40,0	21,0	3,8

2,0	40,0	12,0	40,0	22,0	-2,2
3,0	40,0	13,0	40,0	23,0	-8,3
4,0	40,0	14,0	40,0	24,0	-14,3
5,0	40,0	15,0	40,0	25,0	-20,3
6,0	40,0	16,0	34,0	26,0	-26,4
7,0	40,0	17,0	27,9	27,0	-32,4
8,0	40,0	18,0	21,9	28,0	-38,4
9,0	40,0	19,0	15,9	29,0	-44,5

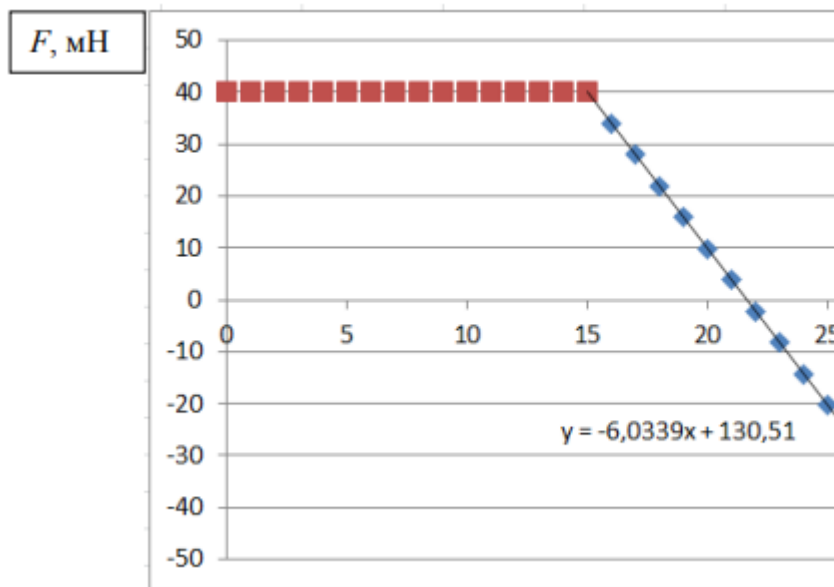
Диаметр пробирки $D = 1$ см. Длины пробирки и стержня равны ($L = 30$ см). Масса стержня $M = 4$ г. Напоминаем, что площадь круга вычисляется по формуле $S = \pi D^2/4$.

Определите:

1. плотность материала, из которого изготовлен стержень;
2. плотность жидкости в пробирке;
3. объём жидкости в пробирке;
4. высоту столба жидкости при $x = 29$ см;
5. вытекает ли жидкость из пробирки во время эксперимента?

Возможное решение.

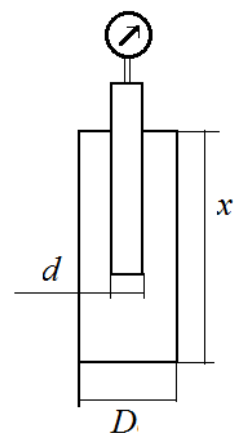
Построим график $F(x)$



Из графика: $x_0 = 15$ см.

$y = (x - x_0)$ – погружение.

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot y = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot (h - y)$$



Откуда

$$h = \left(\frac{d^2}{D^2 - d^2} + 1 \right) \cdot y = \frac{D^2}{D^2 - d^2} \cdot (x - x_0)$$

Сила Архимеда

$$F_A = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{выт}} = \rho_{\text{ж}} g \frac{\pi d^2}{4} h = \rho_{\text{ж}} g \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d^2 D^2}{D^2 - d^2} \cdot (x - x_0)$$

Показания динамометра

$$F = Mg - F_A = Mg - \rho_{\text{ж}} g \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d^2 D^2}{D^2 - d^2} \cdot (x - x_0)$$

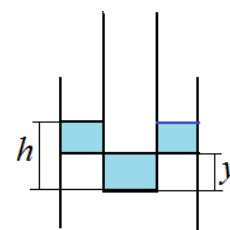
1) $\rho_{\text{ст}} = \frac{4M}{\pi L d^2} = \frac{4 \cdot 4}{\pi \cdot 30 \cdot 0,7^2} = 0,35 \text{ г/см}^3$

2) Коэффициент наклона прямой $k = 6 \text{ мН/см} = 0,6 \text{ Н/м}$

$$k = \rho_{\text{ж}} g \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d^2 D^2}{D^2 - d^2}$$

Откуда

$$\rho_{\text{ж}} = \frac{4k}{g\pi} \cdot \frac{D^2 - d^2}{d^2 D^2} = 0,8 \text{ г/см}^3$$



3) Объем жидкости в пробирке:

$$V_{\text{ж}} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 (L - x_0) = 11,8 \text{ см}^3$$

4) Высота столба жидкости от дна пробирки:

$$H = L - x + h = L - x + \frac{D^2}{D^2 - d^2} \cdot (x - x_0) = 28,45 \text{ см}$$

5) Жидкость не вытекает

$$H < L$$

Критерии оценивания

- плотность материала, из которого изготовлен стрежень - 1
- плотность жидкости в пробирке - 3
- объём жидкости в пробирке - 2
- высоту столба жидкости - 2
- жидкость не вытекает - 2

ВСЕГО: 10 БАЛЛОВ