Всероссийская олимпиада школьников
II (муниципальный) этап
Физика
10 класс
Решения. Критерии проверки

Общее время выполнения работы – 4 часа.

Задание 1.
Небольшая лампочка освещает вертикальную стену. Проходящий вдоль стены хулиган швырнул в лампочку камень под углом 45° к горизонту и попал в неё. Найдите закон движения *h(t)* тени от камня по стене, считая, что лампочка и точка броска находятся на одной и той же высоте $h = 0$, а в момент броска хулиган находился на расстоянии L от лампочки.

Решение

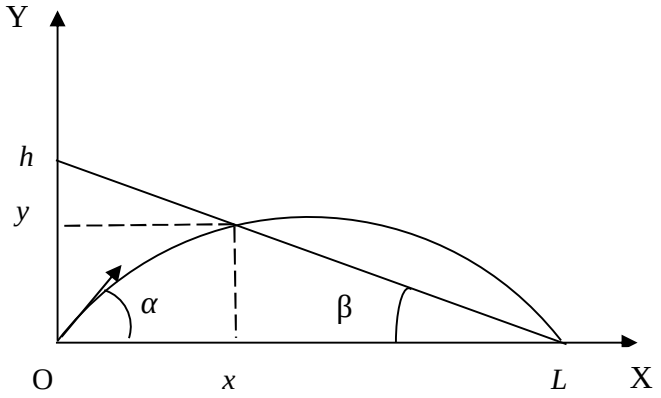

Рис.1

Пусть $v_0 -$ скорость камня в момент броска. Так как угол $\sim = 45^0$, то

$$v_{xo} = v_{yo} = v_0 \frac{\sqrt{2}}{2} \equiv v_1$$

Тогда

$$y = v_1 t - \frac{gt^2}{2} \qquad x = v_1 t$$

Из рисунка 1 видно, что $h = L\,tg \quad = L\frac{y}{L-x}$

Пусть $t_0 = \frac{2v_1}{g} -$ время полета камня, тогда $L = v_1 t_0$ (1) и $v_1 = \frac{gt_0}{2}$ (2)

Подставив x и y в выражение для h, получим

$$h = L\frac{v_1 t - \frac{gt^2}{2}}{L - v_1 t} = Lt\frac{v_1 - \frac{gt}{2}}{L - v_1 t}$$

Умножим и разделим на v_1 и учтем, что $\frac{L}{v_1} = t_0$

$$h = \frac{L}{v_1} \cdot v_1 t \frac{v_1 - \frac{gt}{2}}{L - v_1 t} = v_1 t \frac{v_1 t_0 - \frac{gt_0}{2} t}{L - v_1 t}$$

Учтем (1) и (2)

$$h = \frac{L - v_1 t}{L - v_1 t} \cdot v_1 t = v_1 t$$

Таким образом, тень от камня по стене будет двигаться с постоянной скоростью.

Так как дальность полета $L = \frac{2v_1^2}{g}$, то окончательно получим:

$$h(t) = \sqrt{\frac{Lg}{2}}\, t$$

Максимальный балл – 100. Проведен анализ, получено решение с правильным ответом.
80 баллов. Идея решения верна. Ответ получен неверно из-за ошибок в выкладках.
50 баллов. Написаны исходные кинематические формулы.
До 30 баллов, по усмотрению проверяющего, за разумные идеи или формулы.

Задание 2

Груз массы m_1 находится на столе, который движется горизонтально с ускорением $\boldsymbol{a}$ (рис. 2). К грузу присоединена нить, перекинутая через блок. К другому концу нити подвешен второй груз массы m_2. Найти силу натяжения нити T, если коэффициент трения груза массы m_1 о стол равен μ.

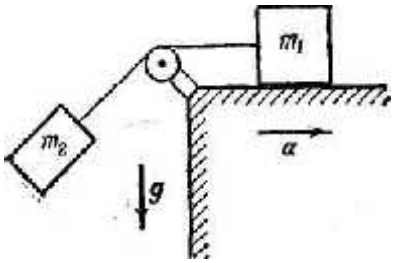

Рис.2

Решение

Пусть угол между вертикалью и нитью, прикрепленной к грузу массы m_2 равен ~ , а ускорение груза массы m_1 относительно стола равно a_1. Тогда ускорение груза массы m_1 относительно земли равно $a - a_1$.

Горизонтальная составляющая ускорения груза массы m_2 относительно земли равна

$$a - a_1 \sin\sim$$

а вертикальная

$$a_1 \cos\sim$$

Из второго закона Ньютона в проекции на горизонтальную и вертикальную оси (ось y вниз):

$$m_1(a - a_1) = -T + \text{«}\, m_1 g$$

$$m_2 a_1 \cos\sim = m_2 g - T\cos\sim$$
$$m_2 (a - a_1 \sin\sim) = T\sin\sim$$

Два последних уравнения при исключении угла дают следующее уравнение:

$$m_2 a_1 = -T + m_2\sqrt{a^2 + g^2}$$

При наличии проскальзывания $(a_1 \neq 0)$

$$T = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}\left(\sqrt{a^2 + g^2} + « g - a\right)$$

Без проскальзывания $(a_1 = 0)$

$$T = m_2\sqrt{a^2 + g^2}$$

Максимальный балл – 100. Проведен анализ и получено правильное решение.
80 баллов. Идея решения верна, но сделаны математические ошибки.
60 баллов. Правильно написаны исходные формулы.
До 30 баллов, по усмотрению проверяющего, за разумные идеи или формулы.

Задание 3

В двух калориметрах налито по 200 г воды – в одном температура t = +30^0 С, в другом t = + 40^0 С. Из «горячего» калориметра зачерпывают 50 г воды, переливают в «холодный» и перемешивают. Затем из «холодного» калориметра переливают 50 г воды в «горячий» и снова перемешивают. Сколько раз нужно перелить такую же порцию воды туда-обратно, чтобы разность температур воды в калориметрах стала меньше 1 °С? Потерями тепла в процессе переливаний и теплоёмкостью калориметров пренебречь

Решение

Обозначим исходные температуры горячей воды $-t_h$ и холодной $-t_k$. Рассчитаем, какая температура t_1 установится в «холодном» калориметре после переливания в него горячей воды массой Δm. Из уравнения теплового баланса имеем:

$$Cm(t_1 - t_k) = C\Delta m(t_h - t_1)$$

Здесь m — исходная масса воды, находившейся в каждом из калориметров, C — удельная теплоёмкость воды. Из этого уравнения находим:

$$t_1 = \frac{mt_k + \Delta m t_h}{m + \Delta m} = \frac{t_h + t_k}{+1}$$

где введено обозначение $= \frac{\Delta m}{m} < 1$

Далее найдём, какая температура t_2 установится в «горячем» калориметре после переливания в него массы воды Δm из «холодного» калориметра. Из уравнения теплового баланса имеем:

$$C(m - \Delta m)(t_h - t_2) = C\Delta m(t_2 - t_1)$$

Отсюда:

$$t_2 = \frac{(m - \Delta m)t_h + \Delta m t_1}{m} = \frac{t_k + t_h}{+1}$$

Тогда после одного переливания туда-обратно разность температур в калориметрах составит

$$t_2 - t_1 = (t_h - t_k)\frac{1-}{1+}$$

Ясно, что для того, чтобы получить разность температур в калориметрах $(t_4 - t_3)$ после второго переливания туда-обратно, нужно в последней формуле заменить t_h на t_2 и t_k на t_1:

$$t_4 - t_3 = (t_2 - t_1)\frac{1-}{1+} = (t_h - t_k)\frac{(1- \quad)^2}{(1+ \quad)^2}$$

Таким образом, понятно, что при каждом переливании туда-обратно разность температур изменяется в $\frac{1-}{1+}$ раз.

В нашем случае

$t_h - t_k$ = 10 °C, Δm = 50 г, m = 200 г, откуда = 0,25 и $\frac{1-}{1+}$ = 0,6

С учётом этого окончательно имеем: разность температур после первого переливания туда-обратно будет равна 10 °C · 0,6 = 6 °C, после второго переливания 10 °C · $0{,}6^2$ = 3,6 °C, после третьего переливания 10 °C · $0{,}6^3 \approx$ 2,2 °C, после четвёртого 10 °C · $0{,}6^4 \approx$ 1,3 °C, после пятого 10 °C · $0{,}6^5 \approx$ 0,8 °C. Значит, для того, чтобы разность температур воды в калориметрах стала меньше 1 °C, достаточно сделать пять переливаний.

Максимальный балл – 80. Проведен анализ, получено решение с правильным ответом.
50 – 60 баллов. Идея решения верна. Ответ получен неверно из-за ошибок в выкладках.
40 баллов. Найден алгоритм решения.
До 20 баллов, по усмотрению проверяющего, за разумные идеи или формулы.

Задание 4

В вакуумном диоде, анод и катод которого — параллельные пластины, зависимость тока I от напряжения U дается формулой $I = c \cdot U^{3/2}$, где c — некоторая постоянная. Во сколько раз увеличится сила давления на анод, возникающая из-за ударов электронов о его поверхность, если напряжение на диоде увеличить в два раза? Начальной скоростью электронов, вылетающих из катода, пренебречь.

Решение

Рассмотрим небольшой интервал времени Δt. За это время к аноду подлетят

$$\Delta n = \frac{I\,\Delta t}{e}$$ электронов (где e — заряд электрона)

и сообщат ему импульс, равный

$$\Delta p = mv\Delta n = mv\frac{I\,\Delta t}{e}.$$

Скорость v электрона у анода можно найти из закона сохранения энергии:

$$\frac{mv^2}{2} = eU$$

Согласно второму закону Ньютона

$$a = \frac{F}{m} \qquad \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{F}{m} \qquad m\Delta v = F\Delta t \qquad \Delta p = F\Delta t$$

тогда

$$F\Delta t = mv\frac{I\,\Delta t}{e}$$

отсюда с учетом связи $I = cU^{3/2}$ получаем

$$F = mv\frac{I}{e} = c\sqrt{\frac{2m}{e}}U^2$$

Таким образом, отношение сил

$$\frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = 4$$

Максимальный балл – 60. Получено решение с правильным ответом.
50 баллов. Идея решения верна, но сделаны математические ошибки.
30 баллов. Использован закон изменения импульса.
До 15 баллов, по усмотрению проверяющего, за разумные идеи или формулы.

Задание 5

Автомобиль движется со скоростью v мимо длинной стены, удаляясь от нее под углом $\sim$. В момент, когда расстояние от автомобиля до стены равно l, шофер подает короткий звуковой сигнал. Какое расстояние пройдет автомобиль до момента, когда шофер услышит эхо? Скорость звука в воздухе равна c.

Решение

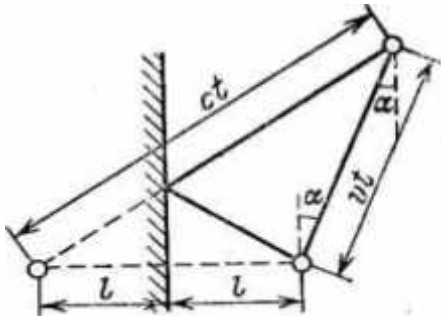

Рис.3

При отражении звука угол падения равен углу отражения, т. е. задачу можно рассматривать аналогично оптической задаче на отражение света в плоском зеркале (рис.3). В момент подачи сигнала изображение источника звука будет расположено симметрично относительно стены по другую сторону от нее на расстоянии l от нее. Вместо отражения звукового сигнала от стены можно рассматривать испускание звука из точки изображения источника. Если t – время, через которое шофер услышит эхо, то за это время автомобиль пройдет путь vt, а звук – путь ct. Из геометрических построений получаем (рис.3)

$$c^2t^2 = (2l + vt\sin\sim)^2 + (vt\cos\sim)^2$$

Искомое расстояние $s = vt$ и заменим $t = \frac{s}{v}$, тогда

$$s^2\frac{c^2}{v^2} - 4l^2 - 4ls\cdot\sin\sim - s^2(\sin^2\sim + \cos^2\sim) = 0$$

отсюда

$$s^2 - \frac{4l\cdot\sin\sim}{\frac{c^2}{v^2}-1}\cdot s - \frac{4l^2}{\frac{c^2}{v^2}-1} = 0$$

$$s = \frac{2l\sin\sim}{\frac{c^2}{v^2}-1} + \sqrt{\frac{4l^2\sin^2\sim}{\left(\frac{c^2}{v^2}-1\right)^2} + \frac{4l^2}{\frac{c^2}{v^2}-1}}$$

Решение со знаком «-» не имеет смысла. Окончательно имеем

$$s = \frac{2l}{\frac{c^2}{v^2}-1}\left[\sin\sim + \sqrt{\frac{c^2}{v^2} - \cos^2\sim}\right]$$

Максимальный балл – 80. Проведен анализ и получено правильное решение.
60 баллов. Идея решения верна, но сделаны математические ошибки при вычислениях.
40 баллов. Использована идея мнимого источника.
До 20 баллов, по усмотрению проверяющего, за разумные идеи или формулы.