

Всероссийская олимпиада школьников по физике 2023-2024 года.
Муниципальный этап. 10 класс.
Время выполнения 230 минут. Каждая задача оценивается в 10 баллов.
Поясняйте свой ответ. Желаем успехов

Задача 1.

Из одной точки горизонтально в противоположных направлениях одновременно вылетают две частицы с начальными скоростями v_1 и v_2 . Через какое время угол между скоростями частиц станет равным 90° ? Ускорение свободного падения равно g .

Решение

Введем прямоугольную систему координат в плоскости движения частиц. Ее начало поместим в точку вылета, ось X направим горизонтально вдоль вектора скорости v_1 , а ось Y – вниз. Тогда через время t проекция векторов скоростей частиц на оси координат будут равны:

$$v_{1x} = v_1, \quad v_{1y} = gt, \quad v_{2x} = v_2, \quad v_{2y} = gt.$$

Если угол между векторами равен 90° в момент времени τ , то скалярное произведение этих векторов должно равняться нулю: $\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2 = v_{1x}v_{2x} + v_{1y}v_{2y} = v_1v_2 + g^2\tau^2 = 0$. Откуда следует, что $\tau = \sqrt{v_1v_2/g}$.

Критерии оценки

Введена система координат	2 балла
Дано указание на равенство нулю скалярного произведения	4 балла
Получено правильный ответ	4 балла

Задача 2.

Школьник Петя решил поставить опыт и подвесил груз массы m_1 к пружине, при этом ее длина оказалась равной L_1 . Когда он подвесил к пружине груз массы m_2 , то ее длина оказалась равной $L_2 > L_1$. Какую работу необходимо совершить потянув руками пружину Пете, чтобы растянуть пружину от длины L_1 до L_2 ?

Решение

Пусть L_0 – длина пружины в начальном состоянии. Тогда работа $A = E_{\text{пот}2} - E_{\text{пот}1}$, где $E_{\text{пот}1,2}$ – потенциальная энергия упругой деформации пружины в первом и втором случае.

$$E_{\text{пот}2} = (k\Delta x_2)/2 \quad \text{и} \quad E_{\text{пот}1} = (k\Delta x_1)/2$$

Рассмотрим первый случай и из второго закона Ньютона с учетом закона Гука имеем:

$$m_1g = k\Delta x_1.$$

Для второго случая аналогично получаем: $m_2g = k\Delta x_2$.

Длина пружины в этих двух случаях будет равна:

$$L_1 = \Delta x_1 + L_0 \quad \text{и} \quad L_2 = \Delta x_2 + L_0, \quad \text{соответственно.}$$

И получаем:

$$m_2g L_1 - m_1g L_2 = m_2g L_0 - m_1g L_0$$

Тогда работа Пети будет равна: $A = (m_1 + m_2) \times g \times (L_2 - L_1) / 2$

Критерии оценки

Записан второй закон Ньютона для первого случая с учётом закона Гука	2 балла
Записан второй закон Ньютона для второго случая с учётом закона Гука	2 балла
Указано, что искомая работа – это разность потенциальных энергий пружины	2 балла
Разрешено уравнение относительно L_0	2 балла
Получен ответ	2 балла

Задача 3.

Два одинаковых шарика покоятся на гладком горизонтальном столе, касаясь друг друга.

На них налетает третий такой же шарик со скоростью V_0 , направленной в точку касания шариков, при этом траектория третьего шара – это прямая, перпендикулярная линии, соединяющей центры двух покоящихся шаров.



Третий шар одновременно сталкивается с двумя шариками, и после абсолютно упругого удара шарики разлетаются в направлениях, ориентированных симметрично, относительно траектории третьего шара. Определите скорости, с которыми разлетаются шарики. Под какими углами к траектории третьего шара разлетаются шарики?

Решение

Поскольку центры шаров в момент удара образуют правильный треугольник, то угол между скоростями первых двух шаров (обозначим из U_1 и U_2) равен 60° , а угол между каждой скоростью и скоростью V_0 равен 30° .

Исходя из закона сохранения импульса в проекции на ось, перпендикулярную V_0 , получим:

$$U_1 \sin(30^\circ) = U_2 \sin(30^\circ), \text{ откуда следует, что: } U_1 = U_2 = U$$

Тогда закон сохранения импульса в проекции на ось, направленную вдоль V_0 :

$$mV_0 = 2mU \cos(30^\circ) + mV,$$

где V – проекция скорости налетающего шарика на выбранную ось.

Закон сохранения энергии тогда: $mV_0^2/2 = 2mU^2/2 + mV^2/2$

Решая эту пару уравнений совместно, получим: $V = -V_0/5$

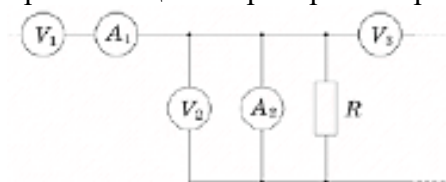
$$U = 2(3)^{0.5} V_0/5$$

Критерии оценки

Найдены углы между скоростями U_1 и U_2 и между ними и V_0	2 балла
Найдено равенство скоростей $U_1 = U_2 = U$	2 балла
Получено выражение закона сохранения импульса	1 балл
Получено выражение закона сохранения энергии	1 балл
Получено выражение $V = -V_0/5$	2 балла
Получено выражение $U = 2(3)^{0.5} V_0/5$	2 балла

Задача 4.

Разветвлённая цепь, содержит три одинаковых вольтметра, два амперметра и один резистор. Показания измерительных приборов: $V_1 = 12$ В, $V_3 = 60$ В, $I_1 = 2$ мА, $I_2 = 4$ мА, при этом ток, протекающий через резистор совпадает с I_1 . Чему равно сопротивление резистора R ?



Решение

Сопротивление вольтметров можно определить, рассчитав сопротивление первого вольтметра: $R_V = V_1 / I_1 = 6$ кОм.

Тогда через третий вольтметр протекает ток: $I_3 = V_3 / R_V = 10$ мА.

1. Вариант.

Предположим, что ток втекает через миллиамперметр A_1 , а вытекает через вольтметр V_3 . Тогда он втекает во фрагмент цепи через вольтметр V_2 , миллиамперметр A_2 и резистор R .

Тогда сила тока, текущего через вольтметр V_2 , равна: $I_{V2} = I_3 - I_1 - I_2 - I_R = 2$ мА.

Такой же ток протекает через резистор R , значит у резистора такое же сопротивление, как и у вольтметра: $R = 6$ кОм.

2. Вариант.

Теперь рассмотрим случай, когда ток утекает через миллиамперметр A_1 и через вольтметр V_3 , а вытекает из фрагмента цепи через вольтметр V_2 , миллиамперметр A_2 и резистор R . В этом случае сила тока, текущего через вольтметр V_2 равна $I_{V_2} = I_3 + I_1 - I_2 - I_R = 6$ мА.

Падение напряжения на этом вольтметре $V_2 = R_V I_{V_2} = 36$ В.

Тогда сопротивление резистора $R = V_2 / I_R = 18$ кОм.

3. Вариант.

Возьмём направление токов обратное 2 варианту и тоже получим $R = V_2 / I_R = 18$ кОм.

Критерии оценки

Найдено сопротивление вольтметра	0.5 балла
Найдена сила тока, текущего через вольтметр V_3	0.5 балла
Указано первое возможное распределение токов	1 балл
Найдена сила тока, текущего через вольтметр V_2 первом случае	1 балл
Найдено первое возможное значение R (один балл ставится за правильную формулу, один за правильный численный ответ)	2 балла
Указано второе возможное распределение токов	1 балл
Найдена сила тока, текущего через вольтметр V_2 во втором случае	1 балл
Найдено падение напряжение на вольтметре	1 балл
Найдено второе возможное значение R (один балл ставится за правильную формулу, один за правильный численный ответ.)	2 балла

Примечания к критериям.

- 1) Правильно решённая неавторским методом задача оценивается в 10 баллов.
- 2) В промежуточных пунктах критериев вычисления необязательны (балл ставится при наличии правильной формулы).
- 3) Если промежуточные критерии в явном виде отсутствуют, но косвенно учтены в дальнейшей логике решения, то эти пункты оцениваются в полной мере. Исключением являются пункты о расстановке токов: распределение должно быть указано явно – два случая.

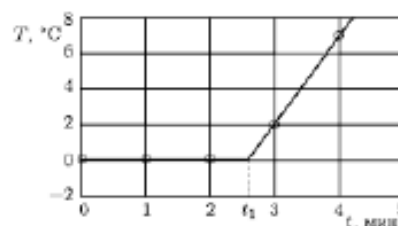
Задача 5. Псевдоэксперимент.

Экспериментатор Глюк увидел, что у него в калориметре плавает в воде кусок льда. Он решил поставить эксперимент и опустив в воду нагреватель с постоянной мощностью $N = 50$ Вт и стал каждую минуту измерять температуру воды. В течение первой и второй минут температура воды не изменялась, а к концу третьей минуты увеличилась на $\Delta T_1 = 2^\circ\text{C}$, а к концу четвёртой ещё на $\Delta T_2 = 5^\circ\text{C}$. Сколько граммов воды и сколько граммов льда было изначально у Глюка в калориметре? Удельная теплота плавления льда $\lambda = 340$ Дж/г, удельная теплоёмкость воды $c = 4,2$ Дж/(г·°C).

Решение

Удельная теплота плавления льда $\lambda = 340$ Дж/г или $340\,000$ Дж/кг, удельная теплоёмкость воды $c = 4,2$ Дж/(г·°C) = 4200 Дж/(кг·°C).

Построим график зависимости температуры воды в калориметре T от времени t . Известно, что он должен состоять из горизонтального (плавление льда) и наклонного (нагревание образовавшейся воды) участков. Имеющиеся данные позволяют однозначно восстановить зависимость температуры от времени, которое будем отсчитывать от момента включения нагревателя (см. рис.).



Из графика можно найти, сколько времени продолжалось таяние льда. Зависимость температуры воды от времени после того, как весь лед растает, дается формулой $T = at + b$ (1). При $t = 3$ мин $T = 2^\circ\text{C}$, а при $t = 4$ мин $T = 7^\circ\text{C}$.

Таким образом решая систему уравнений получим: $a = 5$, $b = -13$.

Время таяния льда t_1 можно определить по точке пересечения этой наклонной с прямой $T = 0$. Откуда имеем, что $t_1 = 2,6 \text{ мин} = 156 \text{ с}$. Из уравнения теплового баланса найдем начальную массу льда: $m = Nt_1 \lambda \approx 22,6 \text{ г}$.

После того, как весь лед растает, вся получившаяся вода массой $(M + m)$, где M – масса воды, изначально бывшей в калориметре, нагревается на $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ за $t_2 = 1 \text{ мин} = 60 \text{ сек}$.

Тогда получаем, что $C(M + m)\Delta T = Nt_2$ (2), откуда $M = Nt_2 / C\Delta T - m \approx 120 \text{ г}$.

Критерии оценки

Построен график зависимости температуры в калориметре от времени	1 балл
Найдена зависимость (1) и численные значения коэффициентов a и b	2 балла
Найдено время t_1	2 балла
Найдена масса льда в смеси	2 балла
Получено уравнение теплового баланса (2)	2 балла
Получено правильный ответ	1 балл