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

Общее время выполнения работы – 3 часа 20 минут.

Задание 1

На тело массой *m,* покоящееся на горизонтальной плоскости, начинает действовать постоянная сила $\vec{F}$, направленная вдоль поверхности. Время действия силы равно *t.* Коэффициент трения тела о плоскую поверхность равен «. Какой путь пройдет тело за время движения?

Решение

Первую часть пути S_1 тело прошло за время *t* с ускорением, которое определяется соотношением

$$F - F_{тр} = ma_1,$$

где $F_{тр} = «N = «mg$.

Ускорение тела на этом отрезке пути равно

$$a_1 = \frac{F - «mg}{m}.$$

Поэтому путь

$$S_1 = \frac{a_1 t^2}{2} = \frac{(F - «mg)t^2}{2m}.$$

Оставшуюся часть пути S_2 тело двигалось до полной остановки под действием силы трения. Кинетическая энергия тела была израсходована на работу против силы трения:

$$«mgS_2 = \frac{mv^2}{2}.$$

А так как $v = a_1 t$, то

$$S_2 = \frac{a_1^2 t^2}{2«g} = \frac{(F - «mg)^2 t^2}{2«m^2 g}.$$

За все время движения тело прошло путь

$$S = S_1 + S_2 = \frac{F}{2« m^2 g}\left(F - « mg\right)t^2.$$

Максимальный балл – 60. Получено решение с правильным ответом.
40 баллов. Идея решения верна. Ответ получен неверно из-за ошибок в выкладках.
20 баллов. Правильно записаны соотношения для S_1.

До 15 баллов, по усмотрению проверяющего, за разумные идеи или формулы.

Задание 2

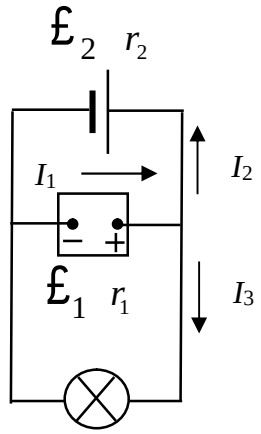

Рис.1

Зарядное устройство предназначено для зарядки аккумулятора с рабочим значением ЭДС равным 12 В. Зарядное устройство имеет индикаторную лампу с рабочим значением тока 0,5 *А*, которое достигается при полной зарядке аккумулятора. Внутреннее сопротивление зарядного устройства $r_1 = 0{,}2$ *Ом*. Заряжается разряженный аккумулятор с ЭДС $£_2 = 10$ *В* и внутренним сопротивлением $r_2 = 0{,}6$ *Ом* (рис.1). Определить мощность, потребляемую индикаторной лампой в данный момент, и максимальный ток зарядки.

Решение

Найдем ЭДС зарядного устройства. Для этого воспользуемся тем, что ток лампы равен 0,5 *А* ***при условии, что аккумулятор заряжен и ток через него не идет***. Тогда напряжение на лампе $U = 12\,B$, следовательно, сопротивление лампы

$$R = \frac{U}{I} = 24\,Ом.$$

Тогда

$$U = £_1 - I \cdot r_1 \quad \text{и} \quad £_1 = 12{,}1\ B.$$

При зарядке ток зарядного устройства I_1 будет разделяться на два тока – ток зарядки I_2 и ток лампочки I_3 (рис.1). Поэтому можем записать

$$I_1 = I_2 + I_3.$$

Можно решить задачу, применив ***правила Кирхгофа***. Но это не обязательно. Учтем, что падение напряжения на лампочке равно напряжению на клеммах зарядного устройства и равно напряжению на аккумуляторе:

$$U = R \cdot I_3. \qquad U = £_1 - I_1 \cdot r_1. \qquad U = £_2 + I_2 \cdot r_2\ .$$

Для дальнейшего решения рациональнее подставить в указанные уравнения цифры, тогда будем иметь:

$$U = 24 \cdot I_3\ . \qquad U = 12{,}1 - 0{,}2 \cdot I_1. \qquad U = 10 + 0{,}6 \cdot I_2$$

$$\text{и еще} \qquad I_1 = I_2 + I_3.$$

Решив систему, получим:

$$I_1 = 2{,}985A \qquad I_2 = 2{,}505A \qquad I_3 = 0{,}48A \qquad U = 11{,}5B$$

Таким образом, зарядный ток равен $I_2 = 2{,}505A$.

Полный ток зарядного устройства $I_1 = 2{,}986A$.

Мощность лампочки $P = I_3^2 \cdot R = 5{,}5\ Bm$.

Максимальный балл – 100. Проведен анализ. Получено правильное решение.
80 баллов. Идея решения верна, но сделаны математические ошибки.

60 баллов. Правильно найдено значение $£_1$. Правильно написаны исходные уравнения (можно с правилами Кирхгофа, можно без них).

30 баллов. Правильно найдено значение $£_1$.

До 20 баллов, по усмотрению проверяющего, за разумные идеи или формулы.

Задание 3

Горячая вода, налитая доверху в большой сосуд, охлаждается до температуры t_0 за время τ = 20 мин. За какое время до температуры t_0 остынет вода с той же начальной температурой, если разлить ее по маленьким сосудом, которые также заполнены доверху и подобны большому сосуду? Известно, что вода из большого сосуда помещается в n = 8 маленьких, и что количество тепла, отдаваемое в единицу времени с единицы поверхности воды каждого сосуда, пропорционально разности температур воды и окружающей среды.

Решение

Будем считать сосуды цилиндрическими. Обозначим радиус и высоту большого сосуда через R и H, а радиус и высоту маленького сосуда через r и h. Пусть масса воды в большом сосуде равна M, а его объём V. Тогда масса воды в маленьком сосуде $m = M/n = M/8$.

Подобие сосудов означает, что их радиусы R и r и глубины H и h отличаются друг от друга в одно и то же число раз N:

$$r = \frac{R}{N} \qquad h = \frac{H}{N}$$

Значит объемы сосудов, а, следовательно, и массы воды в них связаны соотношением:

$$\frac{M}{m} = \frac{V}{v} = \frac{®R^2H}{®r^2h} = N^3 = n$$

Тогда $N = \sqrt[3]{8} = 2$.

По условию задачи, для каждого из сосудов теплоотдача происходит с поверхности воды в соответствии с законом

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \sim S(T - T_0) \ , \quad (1)$$

где:

ΔQ – количество теплоты, отдаваемое за время Δt с поверхности площадью S;

T и T_o - начальная температура воды и температура окружающей среды;

α - постоянный коэффициент пропорциональности.

С другой стороны, известно, что при остывании горячей воды на ΔT градусов она отдаёт количество теплоты

$$\Delta Q = CM\Delta T \ ,$$

где c - удельная теплоёмкость воды.

Значит, справедливо равенство

$$\frac{CM\Delta T}{\Delta t} = \sim S(T - T_0) \ .$$

Учитывая, что площадь поверхности воды в сосуде пропорциональна квадрату его радиуса, а масса воды пропорциональна его объёму, для скорости остывания воды получаем:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{\alpha S}{CM}(T - T_0) \sim \frac{\alpha R^2}{CR^2H}(T - T_0) \sim \frac{T - T_0}{H}.$$

Таким образом, мы установили, что при одинаковой разности начальной температуры воды и температуры окружающей среды скорость остывания воды обратно пропорциональна глубине сосуда, то есть для большого сосуда, высота которого $H = N h$, скорость охлаждения будет вдвое меньше, чем для маленького. Отсюда следует, что время охлаждения воды в маленьком сосуде будет в 2 раза меньше.

$$^{2}_{1} = ^{2} / 2 = 10\,мин.$$

Максимальный балл – 100. Получено решение с правильным ответом.
80 баллов. Идея решения верна, но сделаны математические ошибки.
40 баллов. Правильно написано исходное уравнение (1) теплоотдачи.
До 30 баллов, по усмотрению проверяющего, за разумные идеи или формулы.

Задание 4

Имеются два источника плоских упругих волн одинаковой частоты и амплитуды $A_1 = A_2 = 1$ мм, совершающие колебания в одинаковой фазе и возбуждающие в окружающей среде волны длиной $\lambda = 0{,}6$ м. Определите амплитуду A колебаний точки среды, отстоящей от одного источника колебаний на расстоянии $x_1 = 3{,}5$ м и от другого на расстоянии $x_2 = 5{,}4$ м. Направления колебаний в рассматриваемой точке совпадают.

Решение

В рассматриваемой точке среды колебания обусловлены наложением двух волн с одинаковой амплитудой *($A_1 = A_2 = A$).* Примем начальные фазы колебаний источников равными нулю. Тогда смещение частицы среды от положения равновесия

$$s = s_1 + s_2 = A\left[\cos\left(\mu t - \frac{\mu}{v} x_1\right) + \cos\left(\mu t - \frac{\mu}{v} x_2\right)\right].$$

Обозначим фазы колебаний: $\mu t - \frac{\mu}{v} x_1 = \sim$; $\mu t - \frac{\mu}{v} x_2 =$.

Из тригонометрии известно, что

$$\cos\sim + \cos = 2\cos\frac{\sim +}{2}\cos\frac{\sim -}{2}.$$

Следовательно,

$$s = 2A\cos\left[\mu t - \frac{\mu}{2v}(x_1 + x_2)\right]\cos\frac{\mu}{2v}(x_2 - x_1).$$

Выражение $2A\cos\frac{\mu}{2v}(x_2 - x_1)$ не зависит от времени и является амплитудой результирующего колебания. Поскольку угловая частота $\mu = 2®¬$, длина волны $\lambda = \frac{v}{¬}$, то $\frac{\mu}{v} = \frac{2®}{a}$, и амплитуда колебаний равна:

$$2A\cos\frac{®}{a}(x_2 - x_1).$$

Подставив числовые значения величин из условия задачи, найдем ответ: 1,73 мм.

Максимальный балл – 80. Проведен анализ. Получено решение с правильным ответом.
60 баллов. Идея решения верна, но сделаны математические ошибки.
30 баллов. Правильно написаны уравнения волн.
До 15 баллов, по усмотрению проверяющего, за разумные идеи или формулы.

Задание 5

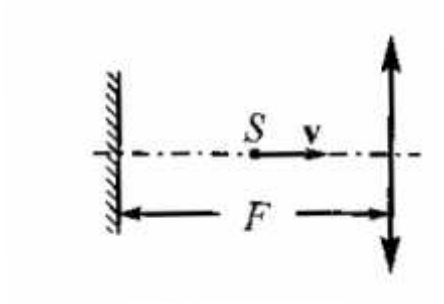

Рис.2

Вдоль оптической оси системы, состоящей из плоского зеркала и тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием *F*, равномерно движется точечный источник света *S* со скоростью *v* (рис. 2). Определите направление движения изображений в данной системе в тот момент, когда источник находится посередине между зеркалом и линзой, расстояние между которыми равно фокусному расстоянию линзы.

Решение

В данной системе получится 3 изображения (см. рис3)

Рис. 3.

1) Изображение источника в зеркале S_1 будет находиться на равном расстоянии по другую сторону зеркала и будет двигаться со скоростью $v_1 = v$ влево.

2) Для нахождения положения изображения S_2 (изображение точки S в линзе) воспользуемся формулой линзы

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = \frac{1}{F} \qquad \frac{2}{F} - \frac{1}{b} = \frac{1}{F} \qquad b = F \quad .$$

Таким образом, изображение S_2 мнимое и расположено в плоскости зеркала.

Изображение источника в линзе S_2 движется вправо, приближаясь к зеркалу.

3) Третье изображение S_3 создается лучами, отразившимися от зеркала и затем прошедшими линзу (изображение в линзе, получаемое от изображения в зеркале).

Для нахождения положения изображения S_3 также воспользуемся формулой линзы

$$a = \frac{3F}{2} \; , \; \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F} \qquad b = 3F \; .$$

Изображение S_3 будет приближаться к линзе, следовательно, его скорость направлена влево.

Максимальный балл – 100. Проведен анализ. Получено решение с правильным ответом (все три изображения).
70 баллов. Решения для двух изображений.
60 баллов. Изображения построены, скорости определены неверно.
До 30 баллов, по усмотрению проверяющего, за разумные идеи или формулы.