

Всероссийская олимпиада школьников
II (муниципальный) этап
Физика
11 класс

Общее время выполнения работы – **3 часа 50 минут**.

Максимальное количество баллов - **50**

При выполнении работы можно пользоваться непрограммируемым калькулятором.

ЗАДАЧА 1. (10 баллов)

Два одинаковых шарика движутся навстречу друг другу. При этом скорость первого шарика v_1 вдвое больше скорости второго v_2 . В результате абсолютно неупругого удара температура шариков возросла на величину $\Delta T = 4\text{K}$. Найти скорости шариков, если теплоемкость вещества, из которого сделаны шарики, равна $450 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$.

РЕШЕНИЕ.

Учтем, что $v_1 = 2v_2$, и из закона сохранения импульса получим

$$2mv_2 - mv_2 = 2mu \quad (1)$$

Закон превращения энергии при неупругом ударе

$$\frac{4mv_2^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} = \frac{2mu^2}{2} + \Delta U \quad (2)$$

где ΔU – приращение внутренней энергии.

Для величины ΔU получим

$$\Delta U = \frac{9mv_2^2}{4} \quad (3)$$

Эта энергия идет на нагрев материала шариков

$$\Delta U = 2mc\Delta T = \frac{9mv_2^2}{4} \quad (4)$$

Тогда

$$v_2 = \sqrt{\frac{8c\Delta T}{9}} = 40 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad \text{и} \quad v_1 = 80 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (5)$$

ОТВЕТ: 40 м/с и 80 м/с

Критерии оценивания задачи №1.

Записан закон сохранения импульса (1)	2 балла
---------------------------------------	---------

Записан закон сохранения и превращения энергии (2)	2 балла
Получено выражение для приращения энергии (3)	2 балла
Записано уравнение теплового баланса (4)	2 балла
Получены значения скоростей v_1 и v_2 (5)	2 балла

ЗАДАЧА 2. (10 баллов)

Коэффициент полезного действия (к.п.д.) аккумулятора при подключении первого сопротивления равен 60%. Если подключить другое, к.п.д. аккумулятора станет равным 80%. Каков будет к.п.д. аккумулятора (округлить до сотых), если оба сопротивления соединить с аккумулятором: 1) последовательно? 2) параллельно?

РЕШЕНИЕ .

Коэффициент полезного действия аккумулятора зависит от его внутреннего сопротивления r и сопротивления внешней цепи R .

$$\eta = \frac{P_{\text{полезн}}}{P_{\text{полн}}} = \frac{IU}{I\varepsilon} = \frac{I^2 R}{I^2(R+r)} = \frac{R}{R+r}$$

Если при подключении сопротивления R_1 к.п.д. источника был равен η_1 , а при подключении сопротивления R_2 – равен η_2 , то

$$\eta_1 = \frac{R_1}{R_1+r} \quad \text{и} \quad \eta_2 = \frac{R_2}{R_2+r} \quad . \quad (1)$$

Если сопротивление R_1 и R_2 соединить последовательно ($R = R_1 + R_2$), то аккумулятор будет работать с к.п.д.

$$\eta_3 = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + r}.$$

При параллельном включении сопротивлений $\left(R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)$ к.п.д. аккумулятора равен:

$$\eta_4 = \frac{R_1 R_2}{R_1 R_2 + R_1 r + R_2 r}.$$

Выразив из уравнений R_1 и R_2 ($\eta_1 = 0,6$; $\eta_2 = 0,8$), получим

$$R_1 = \frac{\eta_1 r}{1 - \eta_1} = \frac{3r}{2}, \quad R_2 = \frac{\eta_2 r}{1 - \eta_2} = 4r.$$

Тогда

$$\eta_3 = \frac{11r/2}{13r/2} = 0,846.$$

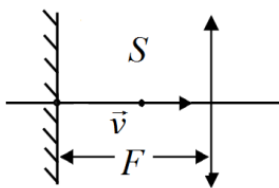
$$\eta_4 = \frac{R_1 R_2}{R_1 R_2 + R_1 r + R_2 r} = \frac{12r^2}{23r^2} = 0,52.$$

ОТВЕТ: 0,85 и 0,52

Критерии оценивания задачи №2.

Записаны выражения к.п.д. (1)	2 балла
Записаны выражения для к.п.д. последовательного и параллельного подключения (2) и (3)	2 балла
Найдены величины R_1 и R_2 (4)	3 балла
Получены выражения и вычислены значения для к.п.д. (5) и (6)	3 балла

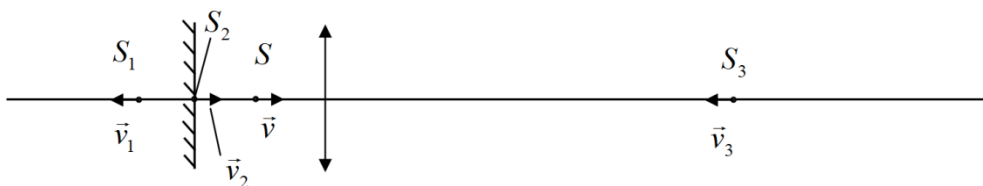
ЗАДАЧА 3. (10 баллов)



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.). 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. рис.)



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

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

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

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

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

ОТВЕТ: влево

Критерии оценивания задачи №3.

Определено количество изображений	3 балла
Записано уравнение тонкой линзы	1 балл
Определено положение и направление движения первого изображения S_1	2 балла
Определено положение и направление движения второго мнимого изображения S_2	2 балла
Определено положение и направление движения второго мнимого изображения S_3	2 балла

ЗАДАЧА 4. (10 баллов)

Горячая вода, налитая доверху в большой сосуд, охлаждается до температуры t_0 за время $\tau = 20$ 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 :

$$r = \frac{R}{N} \quad h = \frac{H}{N} \quad (1)$$

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

$$\frac{M}{m} = \frac{V}{v} = \frac{\pi R^2 H}{\pi r^2 h} = N^3 = n \quad (2)$$

Тогда $N = \sqrt[3]{8} = 2$.

По условию задачи, для каждого из сосудов теплоотдача (тепловая мощность потерь) происходит с поверхности воды в соответствии с законом

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \alpha S(T - T_0), \quad (3)$$

где:

ΔQ – количество теплоты, отдаваемое за время Δt с поверхности площадью S ;
 T и T_0 - 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

$$\Delta Q = CM\Delta T, \quad (4)$$

где C - удельная теплоёмкость воды.

Значит, справедливо равенство

$$\frac{CM\Delta T}{\Delta t} = \alpha S(T - T_0). \quad (5)$$

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

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{\alpha S}{CM}(T - T_0) \sim \frac{\alpha R^2}{CR^2 H}(T - T_0) \sim \frac{T - T_0}{H}. \quad (6)$$

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.

$$\tau_1 = \tau / 2 = 10 \text{ мин.}$$

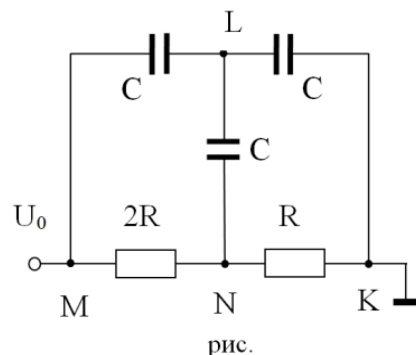
ОТВЕТ: 10 мин

Критерии оценивания задачи №4.

Предположено и доказано подобие сосудов и установлено соотношение масс (1) и (2)	1 балла
Записано уравнение тепловых потерь (тепловая мощность) (3)	2 балла
Записано уравнение теряемого количества теплоты и уравнение теплового баланса (4) и (5)	2 балла
Установлено, что скорость остывания воды обратно пропорциональна глубине сосуда H	3 балла
Найден коэффициент пропорциональности времени остывания и вычислено его значение	2 балла

ЗАДАЧА 5. (10 баллов)

Конденсаторы, емкости которых равны C , и резисторы, имеющие сопротивления R и $2R$, включены в



цепь, как показано на рис. Найти заряд на заземленной обкладке конденсатора. Напряжение U_0 известно.

РЕШЕНИЕ.

Через конденсаторы постоянный ток не идет. Потенциалы в точках схемы M , N и K определяются падением напряжения на сопротивлениях и будут равны:

$$U_M = U_0 \quad U_N = \frac{U_0}{3} \quad U_K = 0 \quad (1)$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = C$$

Сумма зарядов трех внутренних пластин конденсаторов, соединенных с точкой L , равна нулю:

$$q_1 + q_2 + q_3 = 0 \quad (2)$$

Пусть разность потенциалов на конденсаторе C_2 равна U_2 . Тогда

$$C(U_0 - U_2) = q_1 \quad CU_2 = q_2 \quad C(U_2 - U_0/3) = q_3 \quad (3)$$

отсюда

$$C(U_0 - U_2) + q_2 + C(U_2 - U_0/3) = 0$$

$$q_2 = -\frac{2}{3}CU_0 \quad (4)$$

ОТВЕТ: $q_2 = -\frac{2}{3}CU_0$

Критерии оценивания задачи №5.

Определены напряжения в точках M , N , K отн. земли (1)	2 балла
Записано уравнение закона сохранения заряда на внутр. обкладках	3 балла
Получены соотношения между зарядами и соответствующими емкостями	2 балла
Решены уравнения и получено искомое значение заряда	3 балла