

11 класс.

Первая задача.

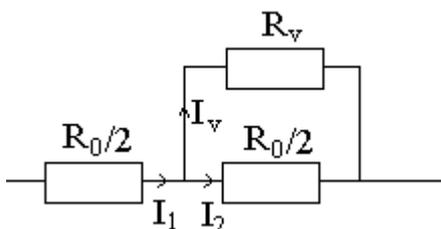
Изображение будет действительным, когда он будет находиться от линзы на расстоянии  $h \geq F$  (фокусное расстояние), с другой стороны  $F = (v_0^2 - v_1^2)/2g$ . Отсюда найдем  $v_1$  в фокусе линзы:

$$v_1 = (v_0^2 - 2g/D)^{1/2}$$

Время подъема шарика  $v_1/g$ . Значит, условие  $h \geq F$  выполняется в течении времени  $2(v_1/g)$ . При  $v_0^2 \geq 2g/D$  время  $t_x = 2(v_1/g)$ , а при  $v_0^2 \leq 2g/D$  время  $t_x = 0$ .

1. Определено условие получения действительного изображения (2 балла)
2. Найдена скорость шарика в фокусе линзы (3 балла)
3. Определено искомое время (3 балла)
4. Найдены два ответа задачи (2 балла)

Вторая задача.



$I_0$  и  $U_0/2$  – ток и напряжение на резисторе без вольтметра.

$U_v = U_R$  – как параллельно соединенные.

$$I_R R_v = I_2 R_0/2 \Rightarrow I_v/I_2 = R_0/2 R_v = 1/18.$$

$$I_0 = I_1 = I_2 + I_v = I_2(1 + 1/18) \Rightarrow I_2 = 18I_0/19$$

$$\text{Напряжение при наличии вольтметра: } U = I_2 R_0/2 = \frac{18 I_0 R_0}{19 \cdot 2} = \frac{9}{19} U_0$$

Сделан вывод об уменьшении показания вольтметра (этот вывод можно сделать как на основе полученной формулы, так и эквивалентной схемы: часть тока идет через вольтметр и  $I_2 < I_1$ , соответственно напряжение, по закону Ома, на резисторе уменьшится).

$$\text{Найдено } \varepsilon = (U_0/2 - U) / U_0/2. \quad \varepsilon\% = 5,3\%$$

1. Нарисована эквивалентная схема с указанием элементов (1 балл)
2. Определено напряжение на одном резисторе без вольтметра  $U_0/2$  (2 балла)
3. Найдена зависимость между  $I_1$  и  $I_2$  (2 балл)
4. Напряжение на резисторе при наличии вольтметра  $U = (9 U_0)/19$  (2 балла)
5. Сделан вывод об уменьшении показания вольтметра (1 балл)
6. Найдено  $\varepsilon = (U_0/2 - U) / U_0/2. \quad \varepsilon\% = 5,3\%$  (2 балла)

Третья задача.

Работа совершена за счет убыли энергии электрического поля.  $A = W_1 - W_2$  где  $W_1$  – энергия электрического поля сферического слоя от  $R$  до  $2R$  сразу после сообщения заряда ( $Q$ ) до расширения. Величина напряженности поля на расстоянии  $r$  равна  $E = k(q+Q)/r^2$ .

Величину энергии вычисляем интегрируя по объему слоя, воспользовавшись объемной плотностью энергии поля  $w = \epsilon_0 E^2 / 2$ :

$$W_1 = \int_{V_1}^{V_2} w dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{\epsilon_0 E^2}{2} dV$$

$$dV = 4\pi r^2 dr$$

$$W_1 = \int_{R_1}^{2R} \frac{\epsilon_0}{2} \left( \frac{k(q+Q)}{r^2} \right)^2 4\pi r^2 dr = \frac{k(q+Q)^2}{4R}$$

$W_2$  - энергия электрического поля сферического слоя от  $R$  до  $2R$  после расширения. Величина напряженности поля на расстоянии  $r$  равна  $E = kq / r^2$ . Энергия вычисляется аналогично и равна  $W_2 = kq^2 / 4R$ .

Все это возможно потому что поле вне слоя до и после неизменно.

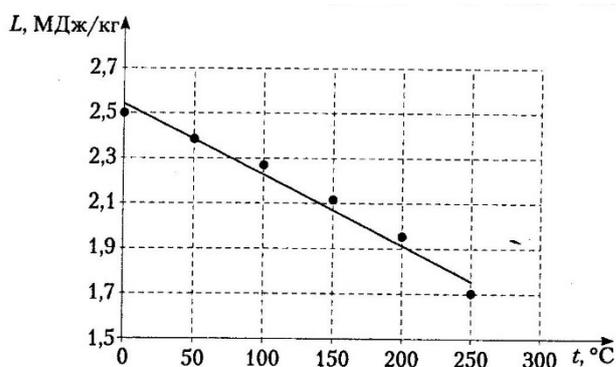
$A = k(2q+Q)Q/4R$ . Отсюда получаем квадратное уравнение  $Q^2 + 2qQ - 4RA/k = 0$ .

Получаем 4 ответа: два - для положительного заряда  $q$  и два - для отрицательного.

1. Если есть  $A = W_1 - W_2$  (1 балл)
2. Правильно рассчитана  $W_1$  с учётом объемной плотности энергии (3 балла)
3. Правильно рассчитана  $W_2$  (3 балла)
4. Получено квадратное уравнение (2 балла)
5. Получены 4 ответа (1 балл)

#### Четвертая задача.

График зависимости удельной теплоты испарения показан на рисунке.



С ростом температуры незначительно возрастает расстояние между молекулами, вследствие чего уменьшается энергия их взаимодействия и соответственно удельная теплота испарения. Построенную зависимость приближенно можно описать линейной функцией:  $L = L_0 - at$

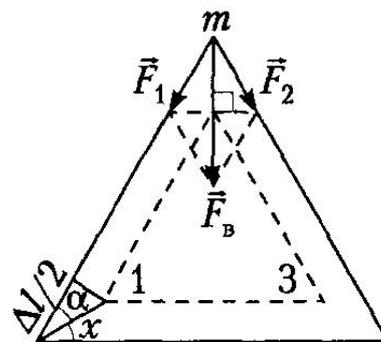
$L_0 = 2,5 \text{ МДж/кг}$ ,  $a = 0,003 \text{ МДж/кг град}$ .

1. График для воды:
  - разметка осей (1 балл)
  - нанесены точки (1 балл)
  - проведена сглаживающая прямая (1 балл)
2. Формула и качественное объяснение:

Увеличение расстояния между молекулами с ростом температуры, уменьшение энергии связи (2 балла)  
 получена приближенная формула (3 балла)  
 найдены численные значения (2 балла)

Пятая задача.

Все шарики в силу симметрии будут совершать одинаковые движения. Рассмотрим один из них. На шарик в горизонтальной плоскости действуют две силы упругости, модули которых одинаковы и равны  $F_1 = F_2 = k_1 \Delta l$ , где  $\Delta l = 2x$  – удлинение пружинки;  $x$  – смещение шарика из положения равновесия. Модуль равнодействующей этих сил  $F = 2 k_1 \Delta l \cos 30 = (4 k_1 \cos^2 30) x$  значит возвращающая сила пропорциональна смещению.



Уравнение колебаний:

$$ma = -F \quad \Rightarrow m \frac{d^2x}{dt^2} = -(4k_1 \cos^2 30)x \quad \Rightarrow \frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0,$$

где  $\omega_0^2 = \frac{4k_1 \cos^2 30}{m}$

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}$$

Следовательно, шарики будут совершать гармонические колебания с периодом  $T = 2\pi (m/3k_1)^{1/2}$ .

1. Использование симметрии (2 балла)
2. Нахождение равнодействующей (3 балла)
3. Вывод о гармоничности колебаний шарика (1 балл)
4. Получение формулы периода (3 балла)
5. Правильный ответ (1 балл)