

Решение юниорской олимпиады по физике, 2021
8 класс

Задача_1 [8 баллов].

а) [1,5 баллов] За каждый правильный ответ 0,5 баллов.

Ответ: сила тяжести (5), сила реакции опоры (2), сила сопротивления воздуха (8).

б) [3,5 баллов]

Для решения можно применить закон сохранения энергии, так же динамический и кинематический методы. Все альтернативные решения будут оцениваться равноценно.

Опишем влияние работы силы трения:

$$A_{\text{тр}} = \Delta E \quad (1)$$

$$\mu mg \cdot \cos\theta \cdot s = mgh - \frac{1}{2}mv^2 \quad (2)$$

$$\mu = \frac{gh - \frac{1}{2}v^2}{g \cos\theta \cdot s} \quad (3)$$

Ответ: $\mu = \frac{2gh - v^2}{2g \cos\theta \cdot s}$

в) [1,5 баллов]

Расстояние по горизонтали до точки посадки

$$N_{\text{приземление}} = v_0 t. \quad (4)$$

Расстояние по вертикали до точки посадки составляет

$$H_{\text{приземление}} = \frac{1}{2}gt^2. \quad (5)$$

Или пропорциональная оценка для любого другого метода

$$\text{Из } |k| = \frac{H}{N} = \frac{H_{\text{приземление}}}{N_{\text{приземление}}} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0 t},$$

Мы можем найти

$$t = \frac{2v_0}{g}k. \quad (6)$$

Ответ: $t = \frac{2v_0}{g}k$

г) [1.5 баллов]

$$D = \sqrt{N_{\text{приземление}}^2 + H_{\text{приземление}}^2} = N_{\text{приземление}} \sqrt{1 + k^2} = \frac{2v_0^2}{g} k \sqrt{1 + k^2} \quad (7)$$

Ответ: $D = \frac{2v_0^2}{g} k \sqrt{1 + k^2}$

Содержание	Баллы
1.1. Сила тяжести (5), сила реакции опоры (2), сила сопротивления воздуха (8)	0,5*3=1,5
1.2. Формула (1): $A_{\text{тр}} = \Delta E$	1,0
1.3. Формула (2): $\mu mg \cdot \cos\theta \cdot s = mgh - \frac{1}{2}mv^2$	2,0
1.4. Формула (3): $\mu = \frac{gh - \frac{1}{2}v^2}{g \cos\theta \cdot s}$	0,5
1.5. Формула (4): $N_{\text{приземление}} = v_0 t$	0,5
1.6. Формула (5): $H_{\text{приземление}} = \frac{1}{2}gt^2$	0,5
1.7. Формула (6): $t = \frac{2v_0}{g} \kappa$	0,5
1.8. Формула (7): $D = \sqrt{N_{\text{приземление}}^2 + H_{\text{приземление}}^2} = N_{\text{приземление}} \sqrt{1 + \kappa^2} = \frac{2v_0^2}{g} \kappa \sqrt{1 + \kappa^2}$	1,5
Итого	8,0

Задача_2 [7 баллов].

Для минимального угла θ_B угол падения на границе между стеклом и воздухом является критическим углом θ_c .

Запишем закон преломления:

$$n_c \sin \theta_c = n_{\text{воз}} \sin 90 \quad (1)$$

$$\sin \theta_c = \frac{n_{\text{воз}}}{n_c} = \frac{1}{1.5} \quad (2)$$

$$\theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{1}{1.5} \right) = 41.8^\circ \quad (3)$$

На границе вода-стекло

$$n_B \sin \theta_B = n_c \sin \theta_c \quad (4)$$

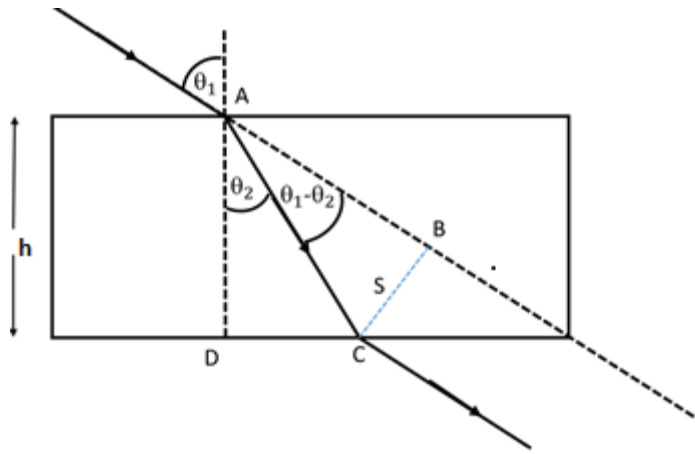
$$\sin \theta_B = \frac{n_c \sin \theta_c}{n_B} = \frac{n_c}{n_B} * \frac{n_{\text{воз}}}{n_c} \quad (5)$$

$$\theta_B = \sin^{-1} \left(\frac{n_c}{n_B} * \frac{n_{\text{воз}}}{n_c} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{n_{\text{воз}}}{n_B} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{1}{1.33} \right) \quad (6)$$

Конечный ответ: $\theta_B = 48.8 \quad (7)$

Ниже на рисунке приведена иллюстрация, показывающая ход луча через пластинку.

Правильное обозначение углов θ_1 и θ_2 показаны на рисунке.



Из треугольника ABC, $\frac{BC}{AC} = \sin(\theta_1 - \theta_2)$ (8)

Из треугольника ADC, $\frac{AD}{AC} = \cos(\theta_2)$ (9)

Следовательно $AC = \frac{AD}{\cos(\theta_2)} = \frac{h}{\cos(\theta_2)}$ (10)

$\sin(\theta_1 - \theta_2) = \frac{BC}{AC} = \frac{BC \cdot \cos(\theta_2)}{h}$

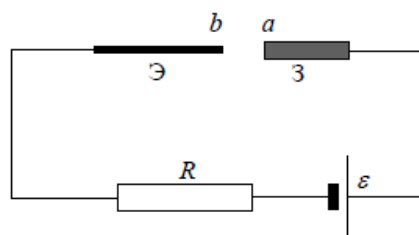
То есть:

$BC \cdot \cos(\theta_2) = h \cdot \sin(\theta_1 - \theta_2)$ (11)

$BC = s = \frac{h \cdot \sin(\theta_1 - \theta_2)}{\cos(\theta_2)}$ (12)

Содержание	Баллы
2.1. Формула (1): $n_c \sin \theta_c = n_{\text{воз}} \sin 90$	0,5
2.2. Формула (2): $\sin \theta_c = \frac{n_{\text{воз}}}{n_c} = \frac{1}{1.5}$	0,25
2.3. Формула (3): $\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{1}{1.5}\right) = 41.8^\circ$	0,5
2.4. Формула (4): $n_B \sin \theta_B = n_c \sin \theta_c$	0,5
2.5. Формула (5): $\sin \theta_B = \frac{n_c \sin \theta_c}{n_B} = \frac{n_c}{n_B} * \frac{n_{\text{воз}}}{n_c}$	0,5
2.6. Формула (6): $\theta_B = \sin^{-1}\left(\frac{n_c}{n_B} * \frac{n_{\text{воз}}}{n_c}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{n_{\text{воз}}}{n_B}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1}{1.33}\right)$	0,5
2.7. Формула (7): $\theta_B = 48.8$	0,5
2.8. Правильно изображен ход луча через пластинку	1,0
2.9. Правильно обозначены углы θ_1 и θ_2	0,5
2.10. Формула (8): $\frac{BC}{AC} = \sin(\theta_1 - \theta_2)$	0,5
2.11. Формула (9): $\frac{AD}{AC} = \cos(\theta_2)$	0,5
2.12. Формула (10): $AC = \frac{AD}{\cos(\theta_2)} = \frac{h}{\cos(\theta_2)}$	0,5
2.13. Формула (11): $BC \cdot \cos(\theta_2) = h \cdot \sin(\theta_1 - \theta_2)$	0,5
2.14. Формула (12): $BC = s = \frac{h \cdot \sin(\theta_1 - \theta_2)}{\cos(\theta_2)}$	0,25
Итого	7,0

Задача_3 [10 баллов]. На рисунке изображена замкнутая электрическая цепь, и, согласно закону Ома для полной цепи,



$$I = \frac{\varepsilon}{R + R_{a-b}} \quad \text{или} \quad IR + U_{a-b} - \varepsilon = 0, \quad (1)$$

где R_{a-b} – электрическое сопротивление дуги, U_{a-b} – падение напряжения на дуге. Учитывая то, что, согласно условию, $U_{a-b} = A + \frac{B}{I}$, где $A = 55 \text{ В}$, $B = 45 \text{ В} \cdot \text{А}$ – известные постоянные, получаем:

$$I^2 R + (A - \varepsilon)I + B = 0. \quad (2)$$

Дуга будет гореть, если данное квадратное уравнение имеет решение в действительных числах, а так как

$$I_{1,2} = \frac{\varepsilon - A \pm \sqrt{(\varepsilon - A)^2 - 4BR}}{2R}, \quad (3)$$

то для этого должно выполняться условие:

$$(\varepsilon - A)^2 \geq 4BR. \quad (4)$$

Отсюда находим максимально возможное сопротивление балластного резистора:

$$R < \frac{(\varepsilon - A)^2}{4B} = 5 \text{ Ом}. \quad (5)$$

Если же $R = \frac{R_{\text{MAX}}}{2}$ или $R = \frac{(\varepsilon - A)^2}{8B}$, то сила тока в дуге описывается уравнением

$$I^2 \frac{(\varepsilon - A)^2}{8B} + (A - \varepsilon)I + B, \quad (6)$$

решая которое, получаем:

$$I_{1,2} = \frac{4B(\sqrt{2} \pm 1)}{(\varepsilon - A)\sqrt{2}}. \quad (7)$$

Устойчивому горению дуги отвечает корень со знаком «+», соответствующий большему значению силы тока. Это связано с тем, что при зажигании дуги в промежутке между электродом и заготовкой происходит лавинная ионизация молекул воздуха ускоренными электрическим полем свободными электронами: сопротивление разрядного промежутка резко понижается, а сила тока возрастает:

$$I_{1,2} = \frac{4B(\sqrt{2} \pm 1)}{(\varepsilon - A)\sqrt{2}} = 10,3 \text{ А}. \quad (8)$$

Содержание	Баллы
3.1. Формула (1): $I = \frac{\varepsilon}{R + R_{a-b}}$ или $IR + U_{a-b} - \varepsilon = 0$	1,5
3.2. Формула (2): $I^2 R + (A - \varepsilon)I + B = 0$	1,0
3.3. Формула (3): $I_{1,2} = \frac{\varepsilon - A \pm \sqrt{(\varepsilon - A)^2 - 4BR}}{2R}$	1,5
3.4. Формула (4): $(\varepsilon - A)^2 \geq 4BR$	1,0
3.5. Формула (5): $R < \frac{(\varepsilon - A)^2}{4B} = 5 \text{ Ом}$	1,5

3.6. Формула (6): $I^2 \frac{(\varepsilon-A)^2}{8B} + (A - \varepsilon)I + B$	1,5
3.7. Формула (7): $I_{1,2} = \frac{4B(\sqrt{2}\pm 1)}{(\varepsilon-A)\sqrt{2}}$	1,5
3.8. Формула (8): $I_{1,2} = \frac{4B(\sqrt{2}\pm 1)}{(\varepsilon-A)\sqrt{2}} = 10,3 \text{ A}$	0,5
Итого	10,0

Задача_4 [5 баллов].

Рассмотрим указанную систему учитывая теплообмен между маслом и кипятильником, а также между маслом и окружающей средой. Когда масло нагревают, есть подвод тепла от кипятильника N_1 и отвод тепла в окружающую среду N_0 (тут важно отметить, что мощность теплообмена с окружающей средой постоянна в пределах указанного диапазона температур - (1)).

$$(N_1 - N_0)\tau_1 = mc\Delta t_1 \quad (2),$$

где $\tau_1 = 170$ сек., $\Delta t_1 = 21$ °C, $m = 0.6$ кг, $c = 1700$ Дж·°C/кг.

Когда кипятильник отключают, учитываются только потери тепла в окружающую среду.

$$N_0\tau_2 = mc\Delta t_2 \quad (3),$$

где $\tau_2 = 100$ сек., $\Delta t_2 = 2$ °C.

Решаем систему уравнений (2), (3) и получаем выражение для N_1 :

$$N_1 = mc(\Delta t_1/\tau_1 + \Delta t_2/\tau_2) \quad (4)$$

Подставляем все значения $N_1 = 0,6 \cdot 1700 \cdot (21/170 + 2/100)$

Получаем ответ $N_1 = 146,4$ Вт (5)

Содержание	Баллы
4.1. (1) Отмечено, что мощность теплообмена с окружающей средой постоянна в пределах указанного диапазона температур	1,0
4.2. Формула (2): $(N_1 - N_0)\tau_1 = mc\Delta t_1$	1,0
4.3. Формула (3): $N_0\tau_2 = mc\Delta t_2$	1,0
4.4. Формула (4): $N_1 = mc(\Delta t_1/\tau_1 + \Delta t_2/\tau_2)$	1,0
4.5. Численное значение в последней формуле (5): $N_1 = 146,4$ Вт	1,0
Итого	5,0