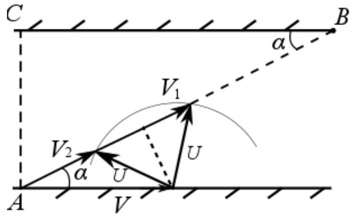
Олимпиада «Физтех». 2023. Физика. Вариант 09-01

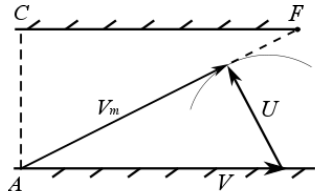


1. **1)** $V_1 = \dfrac{\sqrt{d^2 + L^2}}{T_1} \approx 1{,}3$ м/с, $V_2 = \dfrac{\sqrt{d^2 + L^2}}{T_2} \approx 0{,}6$ м/с,

Скорость пловца в подвижной системе отсчета, связанной с водой,

2) $U = \sqrt{\left(\dfrac{V_1 - V_2}{2}\right)^2 + \left(\dfrac{V_1 + V_2}{2} \cdot \dfrac{d}{L}\right)^2} \approx 0{,}45$ м/с. Скорость течения реки

$V = 0{,}5\left(V_1 + V_2\right)\dfrac{\sqrt{d^2 + L^2}}{L} \approx 1$ м/с.



Геометрия движения при заплыве на минимальный снос представлена на рисунке, $V_m = \sqrt{V^2 - U^2}$ – скорость в заплыве, A – точка старта, F – точка финиша

3) $T = \dfrac{V}{U} \cdot \dfrac{d}{\sqrt{V^2 - U^2}} \approx 175$ с.

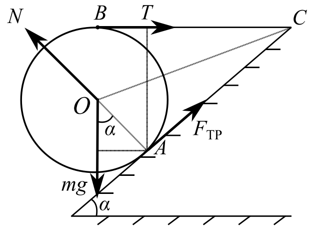
2. Из условия следует: время полета от старта до соударения со стенкой в пять раз больше времени полета после соударения. Следовательно, продолжительность полета от высшей точки траектории до соударения в два раза больше времени полета после соударения. Тогда при движении вниз отношение вертикальных перемещений равно $\dfrac{4}{5}$, отсюда

1) $h = \dfrac{5}{9}H = 9$ м,

2) $t_1 = \dfrac{5}{3}\sqrt{\dfrac{2H}{g}} = 3$ с.

После соударения модуль горизонтальной скорости мяча увеличится на $2U$

3) $d = 2U\dfrac{t_1}{5} = 2{,}4$ м/с.



3. Шар покоится. Из условия равенства моментов сил относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости чертежа через точку O, $T R = F_{TP} R$, отсюда $T = F_{TP}$. Переносим силу $\vec{N}$ вдоль линии действия и наблюдаем осевую симметрию! относительно прямой, на которой лежит биссектриса CO. Тогда $N = mg$.

Из условия равенства моментов сил относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости чертежа через точку A,

$T R\left(1 + \cos\alpha\right) = mgR\sin\alpha$,

1) $T = mg \cdot \dfrac{\sin\alpha}{1 + \cos\alpha} = mg \cdot tg\dfrac{\alpha}{2} = 10$ Н,

2) $F_{TP} = mg \cdot \dfrac{\sin\alpha}{1 + \cos\alpha} = 10$ Н.

Далее $F_{TP} \le \mu N$,

3) $\mu \ge \dfrac{\sin\alpha}{1 + \cos\alpha} = \dfrac{1}{3} \approx 0{,}33$.

Заметим, что этот результат может быть получен из треугольника сил: $m\vec{g}, \vec{T}, \vec{F} = \left(\vec{N} + \vec{F}_{TP}\right)$, *линии действия которых пересекаются в точке B.*

4. **1)**$P_H = I^2R = \mathbf{500}$ Вт.

По графику $$P(t) = 100 + \frac{300-100}{400}t = 100 + 0,5t \text{ Вт.}$$

За любой промежуток времени от t до $t+\Delta t$ в окружающую среду уходит количество теплоты $\Delta Q = P\cdot\Delta t$, тогда за время от 0 до t в окружающую среду уходит количество теплоты, численно равное площади под графиком зависимости $P(t)$ за время от 0 до t,

$$Q(t) = \frac{100+100+0,5t}{2}t = (100+0,25t)t.$$

Закон сохранения энергии в тепловых процессах

$$I^2RT = \rho Vc(\tilde{t}_1 - \tilde{t}_0) + (100+0,25T)T.$$

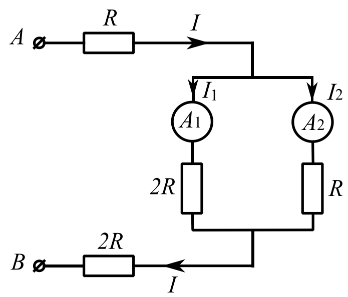
После подстановки численных значений физических величин приходим к квадратному уравнению $T^2 - 1600\cdot T + 369600 = 0$,

один из корней которого

2) $$T = \left(8,0 - \sqrt{27,04}\right)\cdot 10^2 = (8,0-5,2)\cdot 10^2 = 280 \text{ с}$$

является ответом на вопрос задачи.

5. Схема электрической цепи показана на рисунке.



Из равенства напряжений на параллельно соединенных резисторах следует

1) $I_2 = 2I_1 = 2$ А.

В неразветвленной части цепи сила тока

$I = I_1 + I_2 = 3I_1$,

в этой части цепи резисторы R и $2R$ можно поменять местами.

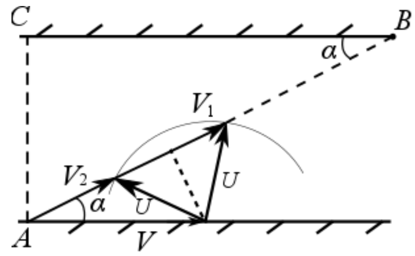
Эквивалентное сопротивление цепи

$R_{ЭКВ} = R + 2R + \frac{2}{3}R = \frac{11}{3}R$, здесь R=20 Ом,

2)$U = R_{ЭКВ}I = \frac{11}{3}R\cdot 3I_1 = 11RI_1 = 220$ В.

Олимпиада «Физтех». 2023. Физика. Вариант 09-02

1. **1)** $V_1 = \dfrac{\sqrt{d^2+L^2}}{T_1} = 1{,}3$ м/с, $V_2 = \dfrac{\sqrt{d^2+L^2}}{T_2} \approx 0{,}54$ м/с,

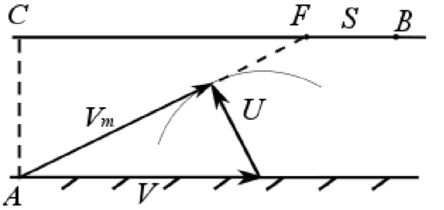


2) $V = 0{,}5\left(V_1+V_2\right)\dfrac{\sqrt{d^2+L^2}}{L} \approx 1$ м/с.

Скорость пловца в подвижной системе отсчета, связанной с водой,

$$U = \sqrt{\left(\frac{V_1-V_2}{2}\right)^2 + \left(\frac{V_1+V_2}{2}\cdot\frac{d}{L}\right)^2} \approx 0{,}54 \text{ м/с.}$$

Геометрия движения при заплыве на минимальный снос представлена на рисунке, $V_m = \sqrt{V^2-U^2}$ – скорость в заплыве, A – точка старта, F – точка финиша,



3) $S = L - d\cdot\dfrac{\sqrt{V^2-U^2}}{U} \approx 42$ м.

2. Из условия следует: время полета от старта до соударения со стенкой в три раза больше времени полета после соударения. Следовательно, продолжительность полета от высшей точки траектории до соударения равна времени полета после соударения. Тогда при движении вниз вертикальные перемещения за эти промежутки времени отличаются в три раза,

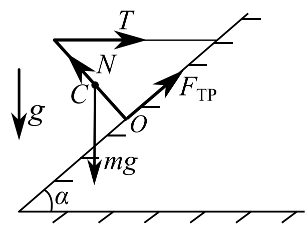
1) $H=4h/3=7{,}2$ м,

2) $t_1 = \sqrt{\dfrac{2h}{3g}} = 0{,}6$ с.

После соударения модуль горизонтальной скорости мяча увеличится на $2U$

3) $U = \dfrac{d}{2t_1} = 1{,}5$ м/с.

3. Из условия равенства моментов сил относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости чертежа через точку O,



$T\,L\cos\alpha = mg\dfrac{L}{2}\sin\alpha$,

1) $m = \dfrac{2T}{g\cdot tg\alpha} \approx 6$ кг.

Из условия равенства моментов сил относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости чертежа через точку C,

$$F_{TP}\frac{L}{2} = T\frac{L}{2}\cos\alpha\,,$$

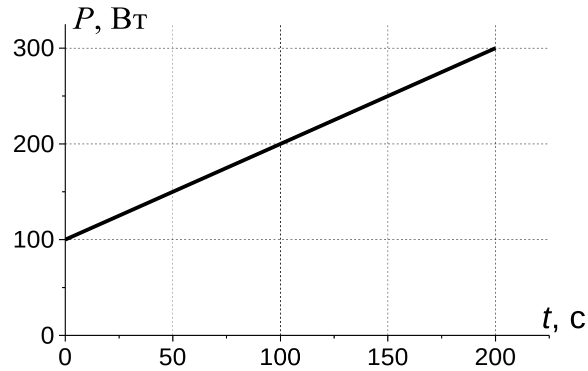
2) $F_{TP} = T\cos\alpha \approx 15$ Н.

Сумма сил по вертикали равна нулю $mg = N\cos\alpha + F_{TP}\sin\alpha$,

далее $F_{TP} \le \mu N$, из приведенных соотношений следует

3) $\mu \geq \dfrac{\cos\alpha}{\dfrac{2}{\sin\alpha} - \sin\alpha} = \dfrac{\sqrt{3}}{7} \approx 0,25.$

4. **1)** $P_H = \frac{U^2}{R} = 400$ Вт.



По графику

$$P(t) = 100 + \frac{300-100}{200}t = 100 + t \quad \text{Вт.}$$

За любой промежуток времени от t до $t+\Delta t$ в окружающую среду уходит количество теплоты $\Delta Q_П = P\cdot\Delta t$, тогда за время от 0 до t в окружающую среду уходит количество теплоты, численно равное площади под графиком зависимости $P(t)$ за время от 0 до t,

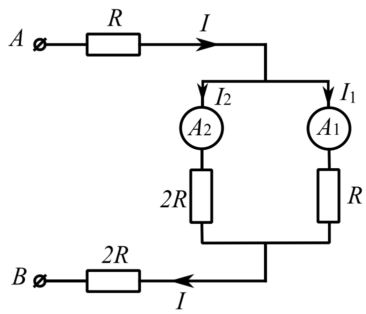
$$Q_П(t) = \frac{100+100+t}{2}t = (100+0,5t)t.$$

Закон сохранения энергии в тепловых процессах

$$\frac{U^2}{R}T = \rho Vc(\tilde{t}_1 - \tilde{t}_0) + (100+0,5T)T,$$

2) $\tilde{t}_1 = \tilde{t}_0 + \dfrac{\dfrac{U^2}{R}T - (100+0,5T)T}{\rho Vc} = 25\,^0$C.

5. Схема электрической цепи показана на рисунке.



Из равенства напряжений на параллельно соединенных резисторах следует

1) $I_2 = 0,5I_1 = 1$ А.

В неразветвленной части цепи сила тока

$I = I_1 + I_2 = 1,5I_1$.

В этой части цепи резисторы R и $2R$ можно поменять местами. Эквивалентное сопротивление цепи

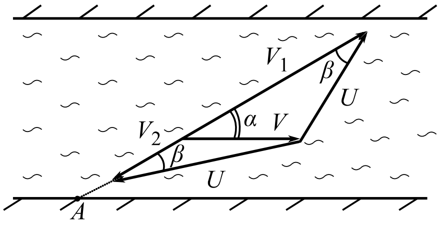
$R_{ЭКВ} = R + 2R + \frac{2}{3}R = \frac{11}{3}R$, здесь R=30 Ом,

2) $P = I^2 R_{ЭКВ} = \left(\frac{3}{2}I_1\right)^2 \frac{11}{3}R = \frac{33}{4}I_1^2 R = 990$ Вт.

Олимпиада «Физтех». 2023. Физика. Вариант 09-03

1. По условию $\frac{U+V}{U-V}=5$,

1) $V=\dfrac{2}{3}U=1$ м/с,



Следуем закону сложения скоростей (см. рис.)

$$V_1=U\cos\beta+V\cos\alpha\,,\ V_2=U\cos\beta-V\cos\alpha\,,$$

2) $T=\dfrac{R}{V_1}+\dfrac{R}{V_2}=2R\dfrac{\sqrt{U^2-V^2\cdot\sin^2\alpha}}{U^2-V^2}\approx 212$ с,

здесь учтено равенство $V\sin\alpha=U\sin\beta$,

3) $T_{MIN}=\dfrac{2R}{\sqrt{U^2-V^2}}=80\sqrt{5}\approx 179$ с, в этом случае $\alpha=90^0$.

2. Продолжительность полета T, в полете $a_Y=-g$, далее

$$V_Y\left(T-\tau\right)=\frac{g\tau}{2}-\frac{h}{\tau}=-16 \text{ м/с},\qquad V_{0Y}=\sqrt{V_Y^2+2g\left(h-H\right)}=8 \text{ м/с},$$

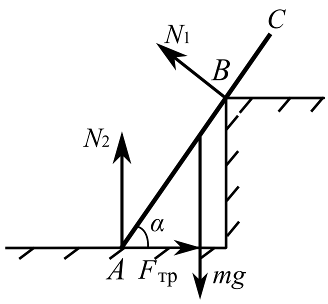
1) $t_1=\dfrac{V_{0Y}}{g}=\dfrac{\sqrt{\left(\dfrac{h}{\tau}-\dfrac{g\tau}{2}\right)^2-2g\left(H-h\right)}}{g}=0{,}8$ с.

В момент падения $V_Y\left(T\right)=V_Y\left(T-\tau\right)-g\tau=-24$ м/с, $T=\dfrac{V_{0Y}-V_Y\left(T\right)}{g}=3{,}2$ с,

2) $S=V_{0X}\cdot T=\dfrac{V_{0Y}}{tg\alpha}\cdot T=16$ м.

3. Моменты сил относительно оси, проходящей через точку А перпендикулярно плоскости чертежа,

$$mg\frac{l}{2}\cos\alpha=N_1\frac{2}{3}l\,,$$



отсюда $\qquad N_1=\dfrac{3}{4}mg\cos\alpha\,,$

1) $\vec{P}=-\vec{N}_1,\ P=\dfrac{3}{4}mg\cos\alpha=37{,}5$ Н.

Сумма сил по вертикали нулевая

$N_2=mg-N_1\cos\alpha=mg\left(1-\dfrac{3}{4}\cos^2\alpha\right), F_{TP}=N_1\sin\alpha=\dfrac{3}{4}mg\cos\alpha\cdot\sin\alpha\,,\ \ F_{TP}\le\mu N_2$, из этих соотношений следует

2) $\mu\ge\dfrac{0{,}75\sin\alpha\cdot\cos\alpha}{1-0{,}75\cdot\cos^2\alpha}\approx 0{,}4$.

4. $Q=\sum\Delta Q=M\sum c\left(t\right)\Delta t$,

суммируем площадь по графиком зависимости $c\left(t\right)=2000+20\cdot t$

1) $Q=M\,\dfrac{c\left(t_0\right)+c\left(t_1\right)}{2}\left(t_1-t_0\right)=2{,}1\cdot 10^3$ Дж.

Следуем закону сохранения энергии в тепловых процессах

$$M\,\frac{c(t_1)+c(t_3)}{2}(t_3-t_1)=m\,c_Г\,(78-t_3)$$

Подстановка численных значений физических величин приводит к квадратному уравнению $t_3^2+950t_3-60600=0$, корень которого $t_3=-475+535$ приводит к ответу

2) $t_3=60\,^0$С.

5. По условию

$U=2\cdot\dfrac{U}{r_A+\dfrac{R\,R_V}{R+R_V}}\cdot\dfrac{R\,R_V}{R+R_V}$, отсюда $r_A=\dfrac{R\,R_V}{R+R_V}$,

следуем условию далее $\dfrac{3}{2}\dfrac{U}{r_A+R}=\dfrac{U}{r_A+\dfrac{R\,R_V}{R+R_V}}$, подстановка r_A в это равенство приводит к ответу на первый вопрос задачи

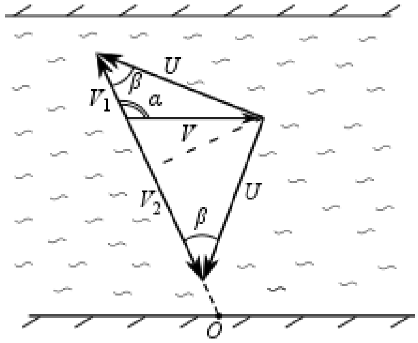
1) $R_V=R$.

Далее из $r_A=\dfrac{R\,R_V}{R+R_V}$ находим $r_A=0,5R$.

2) Наименьшая мощность рассеивается на амперметре в цепи, схема которой представлена на правом рисунке.

3) $P_{MIN}=\dfrac{2}{9}\dfrac{U^2}{R}$.

Олимпиада «Физтех». 2023. Физика. Вариант 09-04



1. По условию $\frac{U+V}{U-V}=9$,

1) $U=\dfrac{5}{4}V=1$ м/с,

Следуем закону сложения скоростей (см. рис.)

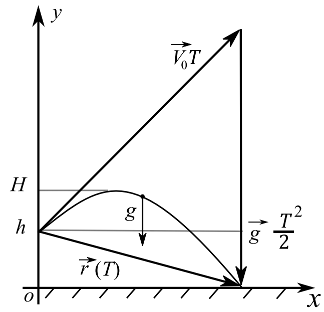
$V_1=U\cos\beta-V\cos(\pi-\alpha)$, $V_2=U\cos\beta+V\cos(\pi-\alpha)$,

2) $T=\dfrac{R}{V_1}+\dfrac{R}{V_2}=2R\dfrac{\sqrt{U^2-V^2\cdot\sin^2\alpha}}{U^2-V^2}\approx 240$ с,

здесь учтено равенство $V\sin(\pi-\alpha)=U\sin\beta$,

3) $T_{MAX}=\dfrac{2RU}{U^2-V^2}\approx 333$ с, в этом случае $\alpha=0^0$, $\alpha=180^0$.

2. Движение равнопеременное, в полете $a_Y=-g$, в момент окончания полета



$0=h+V_{0Y}T-\dfrac{gT^2}{2}$, отсюда $V_{0Y}=\dfrac{gT}{2}-\dfrac{h}{T}$, далее

$H=h+\dfrac{V_{0Y}^2}{2g}$,

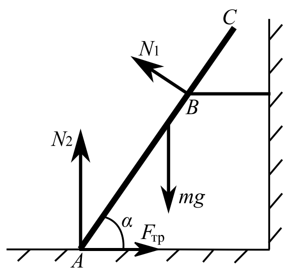
1) $H=h+\dfrac{\left(\dfrac{gT}{2}-\dfrac{h}{T}\right)^2}{2g}\approx 18$ м,

$\vec{r}(T)=\vec{V}_0T+\dfrac{\vec{g}T^2}{2}$, к ответу на второй вопрос приходим по теореме Пифагора (см.рис.)

2) $d=|\vec{r}(T)|=\sqrt{h^2+(V_0\cdot T)^2-\left(\dfrac{gT^2}{2}-h\right)^2}\approx 30$ м.

3. Моменты сил относительно оси, проходящей через точку A перпендикулярно плоскости чертежа, $2l=AC$ – длина стержня,

$$mg\,l\cos\alpha=N_1\cdot AB,$$



отсюда $N_1=\dfrac{l}{AB}mg\cos\alpha$,

$$F_{TP}=N_1\sin\alpha=\frac{l}{AB}mg\cos\alpha\cdot\sin\alpha,$$

1) $\alpha=\dfrac{\pi}{4}$, $\alpha=45^0$.

При $\alpha=\dfrac{\pi}{4}$ $F_{TP}=\dfrac{l}{2AB}mg$.

Сумма сил по вертикали нулевая

$$N_2=mg-N_1\cos\alpha=mg\left(1-\frac{l}{AB}\cos^2\alpha\right),$$

при $\alpha=\dfrac{\pi}{4}$ $N_2=mg\left(1-\dfrac{l}{2AB}\right)$,

далее $F_{TP}\le\mu N_2$, $\dfrac{l}{2AB}mg\le\mu mg\left(1-\dfrac{l}{2AB}\right)$

из этих соотношений следует

2) $\frac{AB}{AC} \ge \frac{1+\mu}{4\mu} = 0,75$.

4. $Q = \sum \Delta Q = M \sum c(t) \Delta t$**,**

суммируем площадь под графиком зависимости $c(t) = 1000 + 15 \cdot t$

1) $Q = M\,\frac{c(t_0)+c(t_1)}{2}(t_0 - t_1) = 4,7 \cdot 10^4$ Дж.

Следуем закону сохранения энергии в тепловых процессах

$$M\,\frac{c(t_1)+c(t_3)}{2}(t_1 - t_3) = m\,c_Г\,(t_3 - t_2)$$

Подстановка численных значений физических величин приводит к квадратному уравнению $3t_3^2 + 800t_3 - 58800 = 0$, корень которого $t_3 = \frac{-800+1160}{2 \cdot 3}$ приводит к ответу

2) $t_3 = 60\,^0$С.

5. По условию

$U_0 = \frac{3}{2} \cdot \frac{U_0}{r_A + \frac{R\,R_V}{R+R_V}} \cdot \frac{R\,R_V}{R+R_V}$, отсюда $r_A = \frac{1}{2} \cdot \frac{R\,R_V}{R+R_V}$,

далее $2 \cdot \frac{U_0}{r_A + R} = \frac{U_0}{r_A + \frac{R\,R_V}{R+R_V}}$, подстановка r_A в это равенство приводит

к ответу на первый вопрос задачи

1) $r_A = 0,2R$.

Далее из $r_A = \frac{1}{2} \cdot \frac{R\,R_V}{R+R_V}$ находим $R_V = \frac{2}{3}R$.

Эквивалентное сопротивление левой цепи $R_Л = \frac{3}{5}R$, правой $R_П = \frac{3}{7}R$,

$$R_Л > R_П$$

2) Силы в источнике развивают бóльшую мощность в цепи, схема которой представлена на правом рисунке.

3) $P_{MAX} = \frac{7}{3} \cdot \frac{U^2}{R}$.