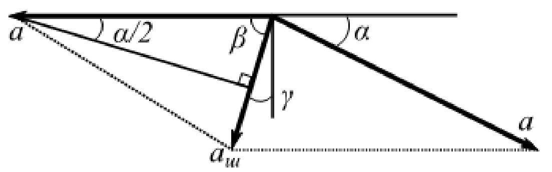
# Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 11-01
## Часть 1

**1.** Пусть $M$ – масса шара, $m$ - масса клина, $a$ – ускорение клина, $T$ – сила натяжения нити.

**1)** Ускорение шара относительно клина тоже $a$. Ускорение шара $a_ш$ равно сумме переносного и относительного ускорений (см. рис.). $\beta = 90^0 - \alpha/2$.




$\sin\beta = \cos\frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1+\cos\alpha}{2}} = \frac{2\sqrt{5}}{5}$ ($\cos\beta = \frac{\sqrt{5}}{5}$, $\mathrm{tg}\beta = 2$).

**2)** Уравнение движения для шара в проекциях на ось, перпендикулярную нити, $Ma\sin\alpha = Mg\cos\alpha$.

$a = \frac{g}{\mathrm{tg}\alpha} = \frac{g\cos\alpha}{\sin\alpha} = \frac{3}{4}g$.

**3)** Уравнения движения в проекциях на горизонтальную ось для шара и клина

$M(a - a\cos\alpha) = T\cos\alpha,\ ma = T - T\cos\alpha$. Отсюда $\frac{M}{m} = \frac{\cos\alpha}{(1-\cos\alpha)^2} = \frac{15}{4}$.

**4)** Относительно стола $H = \frac{1}{2}(a\sin\alpha)t^2$. Так как $a = \frac{g}{\mathrm{tg}\alpha}$, то $t = \sqrt{\frac{2H}{g\cos\alpha}} = \sqrt{\frac{10H}{3g}}$.

*Замечание*. Время можно найти, рассмотрев движение шара относительно клина.

**2.** Площадь под графиком зависимости теплоемкости от температуры есть теплота, полученная газом. Зависимость линейная. При изменении температуры от $T_0$ до $T$ теплота $Q = \nu\frac{1}{2}\left(C(T) + C(T_0)\right)(T - T_0)$.

**1)** $-Q_1 = \nu\frac{1}{2}\left(C\left(\frac{5}{6}T_0\right) + C(T_0)\right)\left(\frac{5}{6}T_0 - T_0\right) = -\frac{11}{36}\nu RT_0$. $Q_1 = \frac{11}{36}\nu RT_0$.

**2)** $Q(T) = \nu\frac{1}{2}\left(C(T) + C(T_0)\right)(T - T_0) = \nu R\left(1 + \frac{T}{T_0}\right)(T - T_0)$. $Q(T) = \nu\frac{3}{2}R(T - T_0) + A$. Отсюда

$A = \frac{\nu R}{2T_0}(T - T_0)(2T - T_0)$. Имеем параболическую зависимость. Минимальная работа $A_M$ при

$T_M = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}T_0 + T_0\right) = \frac{3}{4}T_0$.

**3)** $A_M = A(T_M) = -\frac{1}{16}\nu RT_0 < 0$.

## Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 11-01
## Часть 2

**3. 1)** До замыкания напряжение на $C_2$ равно $U_{02}=\dfrac{EC_1}{C_1+C_2}=\dfrac{2}{3}E$. Ток $I_{0R}=\dfrac{U_{02}}{R}=\dfrac{2}{3}\dfrac{E}{R}$.

**2)** Работа источника $A=Q+\Delta W_C$. $A=E\left(C_1E-\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}E\right)=\dfrac{C_1^2}{C_1+C_2}E^2$. Изменение энергии конденсаторов $\Delta W_C=\dfrac{1}{2}C_1E^2-\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}E^2=\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{C_1^2}{C_1+C_2}E^2$. Отсюда $Q=\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{C_1^2}{C_1+C_2}E^2=\dfrac{2}{3}CE^2$.

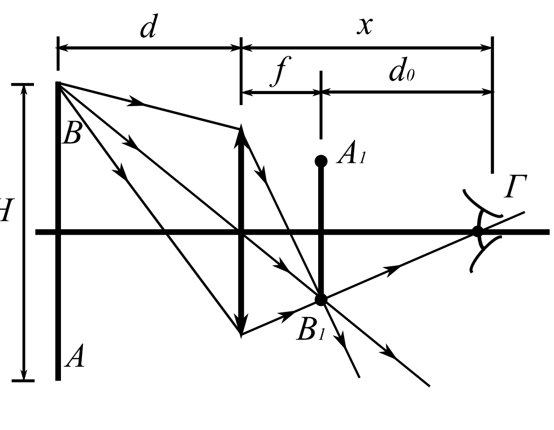
**3)** Пусть в некоторый момент после замыкания заряд левой обкладки у $C_1$ равен $q_1$, а заряд нижней обкладки у $C_2$ равен $q_2$. Тогда $E-\dfrac{q_1}{C_1}+\dfrac{q_2}{C_2}=0$. За малое время $\Delta t$ будет $\Delta\left(E-\dfrac{q_1}{C_1}+\dfrac{q_2}{C_2}\right)=0$.
$-\dfrac{\Delta q_1}{\Delta tC_1}+\dfrac{\Delta q_2}{\Delta tC_2}=0$. $-\dfrac{I_1}{C_1}+\dfrac{I_2}{C_2}=0$. $\dfrac{I_1}{C_1}=\dfrac{I_2}{C_2}$. У нас $\dfrac{I_1}{2}=I_2,\ I_1=I_0,\ I_2=\dfrac{1}{2}I_0$. Ток в резисторе $I=I_1+I_2=\dfrac{3}{2}I_0$.

**4. 1)** Начальный ток $I_0=\dfrac{BV_0L}{R_1+R_2}$. Ускорение второй перемычки $a_{02}=\dfrac{BI_0L}{m_2}=\dfrac{B^2V_0L^2}{m_2\left(R_1+R_2\right)}=\dfrac{1}{6}\dfrac{B^2V_0L^2}{mR}$.

**2)** Суммарная сила на перемычки равна нулю. Поэтому $m_1V_0=\left(m_1+m_2\right)V$. $V=V_0/3$.

**3)** Пусть в произвольный момент $V_1$ и $V_2$ - скорости перемычек, $S_1$ и $S_2$ – их пути, $I$ – ток. Тогда $m_2\dfrac{\Delta V_2}{\Delta t}=BIL=BL\dfrac{BV_1L-BV_2L}{R_1+R_2}$. $m_2\Delta V_2=BL\dfrac{BV_1\Delta tL-BV_2\Delta tL}{R_1+R_2}=\dfrac{B^2L^2}{R_1+R_2}\left(\Delta S_1-\Delta S_2\right)$. Суммируем: $m_2\left(V-0\right)=\dfrac{B^2L^2}{R_1+R_2}\left(S_1-S_2\right)$. Надо найти $S=S_0-\left(S_1-S_2\right)$. С учетом $V=V_0/3$ находим $S=S_0-\dfrac{2V_0Rm}{B^2L^2}$.

**5.** На рисунке $A_1B_1$ – изображение, рассматриваемое глазом *Г*. У нас $F=9$ см, $d=36$ см, $d_0=24$ см.




**1)** $f=\dfrac{dF}{d-F}=12$ см. $x=f+d_0=36$ см.

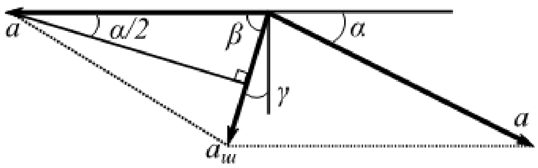
**2)** На рисунке показан ход лучей через линзу от т. $B$ при минимальном диаметре линзы $D_М$. Пусть $A_1B_1=h$.
$h=\dfrac{f}{d}H=3$ см. $\dfrac{D_M}{h}=\dfrac{x}{d_0}$, $D_M=\dfrac{hx}{d_0}=4{,}5$ см.

**3)** Все лучи, попавшие в зрачок глаза после прохождения линзы, должны выйти из точки, сопряженной зрачку в линзе. $\dfrac{1}{z}+\dfrac{1}{x}=\dfrac{1}{F}$. Экран надо поместить на главной оптической оси линзы слева от линзы на расстоянии $z=\dfrac{xF}{x-F}=12$ см.

**Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 11-02**
**Часть 1**

**1.** Пусть $M$ – масса шара, $m$ - масса клина, $a$ – ускорение клина, $T$ – сила натяжения нити.

**1)** Ускорение шара относительно клина тоже $a$. Ускорение шара $a_ш$ равно сумме переносного и относительного ускорений (см. рис.). $\gamma = \alpha / 2$.




$\cos\gamma = \cos\dfrac{\alpha}{2} = \sqrt{\dfrac{1+\cos\alpha}{2}} = \dfrac{3}{\sqrt{10}}$ $\left(\sin\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{10}}, \operatorname{tg}\gamma = \dfrac{1}{3}\right)$.

**2)** Уравнение движения для шара в проекциях на ось, перпендикулярную нити, $Ma\sin\alpha = Mg\cos\alpha$.

$a = \dfrac{g}{\operatorname{tg}\alpha} = \dfrac{g\cos\alpha}{\sin\alpha} = \dfrac{4}{3}g$.

**3)** Уравнения движения в проекциях на горизонтальную ось для шара и клина

$M\left(a - a\cos\alpha\right) = T\cos\alpha,\ ma = T - T\cos\alpha$. Отсюда $\dfrac{M}{m} = \dfrac{\cos\alpha}{\left(1-\cos\alpha\right)^2} = 20$.

**4)** Относительно стола $H = \dfrac{1}{2}\left(a\sin\alpha\right)t^2$. Так как $a = \dfrac{g}{\operatorname{tg}\alpha}$, то $t = \sqrt{\dfrac{2H}{g\cos\alpha}} = \sqrt{\dfrac{5H}{2g}}$.

*Замечание*. Время можно найти, рассмотрев движение шара относительно клина.

**2.** Площадь под графиком зависимости теплоемкости от температуры есть теплота, полученная газом. Зависимость линейная. При изменении температуры от $T_0$ до $T$ теплота $Q = \nu\dfrac{1}{2}\left(C(T) + C(T_0)\right)\left(T - T_0\right)$.

**1)** $-Q_1 = \nu\dfrac{1}{2}\left(C\left(\dfrac{1}{2}T_0\right) + C(T_0)\right)\left(\dfrac{1}{2}T_0 - T_0\right) = -\dfrac{15}{16}\nu RT_0$. $Q_1 = \dfrac{15}{16}\nu RT_0$.

**2)** $Q(T) = \nu\dfrac{1}{2}\left(C(T) + C(T_0)\right)\left(T - T_0\right) = \nu R\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{5}{2} + \dfrac{5}{2}\dfrac{T}{T_0}\right)\left(T - T_0\right)$. $Q(T) = \nu\dfrac{3}{2}R\left(T - T_0\right) + A$. Отсюда

$A = \dfrac{\nu R}{4T_0}\left(T - T_0\right)\left(5T - T_0\right)$. Имеем параболическую зависимость. Минимальная работа $A_M$ при

$T_M = \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{1}{5}T_0 + T_0\right) = \dfrac{3}{5}T_0$.

**3)** $A_M = A\left(T_M\right) = -\dfrac{1}{5}\nu RT_0 < 0$.

## Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 11-02
## Часть 2

**3. 1)** До замыкания напряжение на $C_2$ равно $U_{02} = \dfrac{EC_1}{C_1 + C_2} = \dfrac{3}{4}E$. Ток $I_{0R} = \dfrac{U_{02}}{R} = \dfrac{3}{4}\dfrac{E}{R}$.

**2)** Работа источника $A = Q + \Delta W_C$. $A = E\left(C_1 E - \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}E\right) = \dfrac{C_1^2}{C_1 + C_2}E^2$. Изменение энергии конденсаторов $\Delta W_C = \dfrac{1}{2}C_1 E^2 - \dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}E^2 = \dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{C_1^2}{C_1 + C_2}E^2$. Отсюда $Q = \dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{C_1^2}{C_1 + C_2}E^2 = \dfrac{9}{8}CE^2$.

**3)** Пусть в некоторый момент после замыкания заряд левой обкладки у $C_1$ равен $q_1$, а заряд нижней обкладки у $C_2$ равен $q_2$. Тогда $E - \dfrac{q_1}{C_1} + \dfrac{q_2}{C_2} = 0$. За малое время $\Delta t$ будет $\Delta\left(E - \dfrac{q_1}{C_1} + \dfrac{q_2}{C_2}\right) = 0$.

$-\dfrac{\Delta q_1}{\Delta t C_1} + \dfrac{\Delta q_2}{\Delta t C_2} = 0$. $-\dfrac{I_1}{C_1} + \dfrac{I_2}{C_2} = 0$. $\dfrac{I_1}{C_1} = \dfrac{I_2}{C_2}$. У нас $\dfrac{I_1}{3} = I_2, I_2 = I_0, I_1 = 3I_0$. Ток в резисторе $I = I_1 + I_2 = 4I_0$. Напряжение на резисторе $U = IR = 4I_0 R$.

**4. 1)** Начальный ток $I_0 = \dfrac{BV_0L}{R_1 + R_2}$. Ускорение второй перемычки $a_{02} = \dfrac{BI_0L}{m_2} = \dfrac{B^2V_0L^2}{m_2\left(R_1 + R_2\right)} = \dfrac{2}{5}\dfrac{B^2V_0L^2}{mR}$.

**2)** Суммарная сила на перемычки равна нулю. Поэтому $m_1V_0 = \left(m_1 + m_2\right)V$. $V = 2V_0/3$.

**3)** Пусть в произвольный момент $V_1$ и $V_2$ - скорости перемычек, $S_1$ и $S_2$ – их пути, $I$ – ток. Тогда $m_2\dfrac{\Delta V_2}{\Delta t} = BIL = BL\dfrac{BV_1L - BV_2L}{R_1 + R_2}$. $m_2\Delta V_2 = BL\dfrac{BV_1\Delta tL - BV_2\Delta tL}{R_1 + R_2} = \dfrac{B^2L^2}{R_1 + R_2}\left(\Delta S_1 - \Delta S_2\right)$. Суммируем:

$m_2\left(V - 0\right) = \dfrac{B^2L^2}{R_1 + R_2}\left(S_1 - S_2\right)$. Надо найти $\Delta S = S_1 - S_2$. С учетом $V = 2V_0/3$ находим $\Delta S = \dfrac{5V_0Rm}{3B^2L^2}$.

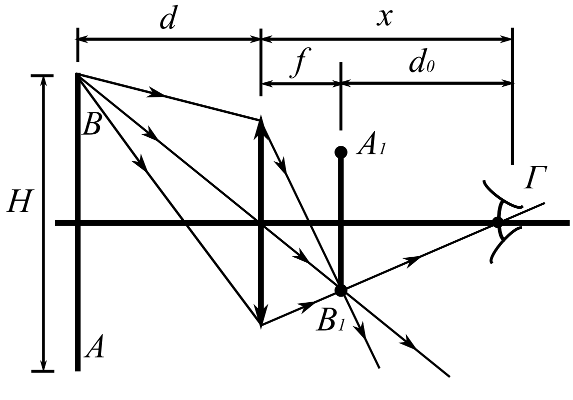
**5.** На рисунке $A_1B_1$ – изображение, рассматриваемое глазом *Г*. У нас $F = 12$ см, $d = 48$ см, $d_0 = 24$ см.

**1)** $f = \dfrac{dF}{d - F} = 16$ см. $x = f + d_0 = 40$ см.

**2)** На рисунке показан ход лучей через линзу от т. $B$ при минимальном диаметре линзы $D_М$. Пусть $A_1B_1 = h$.

$h = \dfrac{f}{d}H = 3$ см. $\dfrac{D_М}{h} = \dfrac{x}{d_0}$, $D_М = \dfrac{hx}{d_0} = 5$ см.

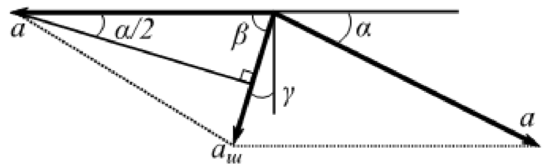
**3)** Все лучи, попавшие в зрачок глаза после прохождения линзы, должны выйти из точки, сопряженной зрачку в линзе. $\dfrac{1}{z} + \dfrac{1}{x} = \dfrac{1}{F}$. Экран надо поместить на главной оптической оси линзы слева от линзы на расстоянии $z = \dfrac{xF}{x - F}$. z = 120/7 см =17,1 см.



## Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 11-03
## Часть 1

**1.** Пусть $M$ – масса шара, $m$ - масса клина, $a$ – ускорение клина, $T$ – сила натяжения нити.

**1)** Ускорение шара относительно клина тоже $a$. Ускорение шара $a_{ш}$ равно сумме переносного и относительного ускорений (см. рис.). $\beta = 90^0 - \alpha/2$.




$\sin\beta = \cos\dfrac{\alpha}{2} = \sqrt{\dfrac{1+\cos\alpha}{2}} = \dfrac{3}{\sqrt{13}}$ ($\cos\beta = \dfrac{2}{\sqrt{13}}$, $\mathrm{tg}\beta = \dfrac{3}{2}$).

**2)** Уравнение движения для шара в проекциях на ось, перпендикулярную нити, $Ma\sin\alpha = Mg\cos\alpha$.

$a = \dfrac{g}{\mathrm{tg}\alpha} = \dfrac{g\cos\alpha}{\sin\alpha} = \dfrac{5}{12}g$.

**3)** Уравнения движения в проекциях на горизонтальную ось для шара и клина

$M\left(a - a\cos\alpha\right) = T\cos\alpha,\ ma = T - T\cos\alpha$. Отсюда $\dfrac{M}{m} = \dfrac{\cos\alpha}{\left(1-\cos\alpha\right)^2} = \dfrac{65}{64}$.

**4)** Относительно стола $H = \dfrac{1}{2}\left(a\sin\alpha\right)t^2$. Так как $a = \dfrac{g}{\mathrm{tg}\alpha}$, то $t = \sqrt{\dfrac{2H}{g\cos\alpha}} = \sqrt{\dfrac{26H}{5g}}$.

*Замечание*. Время можно найти, рассмотрев движение шара относительно клина.

**2.** Площадь под графиком зависимости теплоемкости от температуры есть теплота, полученная газом. Зависимость линейная. При изменении температуры от $T_0$ до $T$ теплота $Q = \nu\dfrac{1}{2}\left(C\left(T\right) + C\left(T_0\right)\right)\left(T - T_0\right)$.

**1)** $-Q_1 = \nu\dfrac{1}{2}\left(C\left(\dfrac{3}{5}T_0\right) + C\left(T_0\right)\right)\left(\dfrac{3}{5}T_0 - T_0\right) = -\dfrac{24}{25}\nu RT_0$. $Q_1 = \dfrac{24}{25}\nu RT_0$.

**2)** $Q\left(T\right) = \nu\dfrac{1}{2}\left(C\left(T\right) + C\left(T_0\right)\right)\left(T - T_0\right) = \nu R\dfrac{3}{2}\left(1 + \dfrac{T}{T_0}\right)\left(T - T_0\right)$. $Q\left(T\right) = \nu\dfrac{3}{2}R\left(T - T_0\right) + A$. Отсюда

$A = \dfrac{3\nu R}{2T_0}\left(T - T_0\right)T$. Имеем параболическую зависимость. Минимальная работа $A_M$ при

$T_M = \dfrac{1}{2}\left(T_0 + 0\right) = \dfrac{1}{2}T_0$.

**3)** $A_M = A\left(T_M\right) = -\dfrac{3}{8}\nu RT_0 < 0$.

## Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 11-03
## Часть 2

**3. 1)** До замыкания напряжение на $C_2$ равно $U_{02}=\dfrac{EC_1}{C_1+C_2}=\dfrac{4}{5}E$. Ток $I_{0R}=\dfrac{U_{02}}{R}=\dfrac{4}{5}\dfrac{E}{R}$.

**2)** Работа источника $A=Q+\Delta W_C$. $A=E\left(C_1E-\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}E\right)=\dfrac{C_1^2}{C_1+C_2}E^2$. Изменение энергии конденсаторов $\Delta W_C=\dfrac{1}{2}C_1E^2-\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}E^2=\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{C_1^2}{C_1+C_2}E^2$. Отсюда $Q=\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{C_1^2}{C_1+C_2}E^2=\dfrac{8}{5}CE^2$.

**3)** Пусть в некоторый момент после замыкания заряд левой обкладки у $C_1$ равен $q_1$, а заряд нижней обкладки у $C_2$ равен $q_2$. Тогда $E-\dfrac{q_1}{C_1}+\dfrac{q_2}{C_2}=0$. За малое время $\Delta t$ будет $\Delta\left(E-\dfrac{q_1}{C_1}+\dfrac{q_2}{C_2}\right)=0$.

$-\dfrac{\Delta q_1}{\Delta tC_1}+\dfrac{\Delta q_2}{\Delta tC_2}=0$. $-\dfrac{I_1}{C_1}+\dfrac{I_2}{C_2}=0$. $\dfrac{I_1}{C_1}=\dfrac{I_2}{C_2}$. У нас $\dfrac{I_1}{4}=I_2, I_1=I_0, I_2=\dfrac{1}{4}I_0$. Ток в резисторе $I=I_1+I_2=\dfrac{5}{4}I_0$. Напряжение на резисторе $U=IR=\dfrac{5}{4}I_0R$.

**4. 1)** Начальный ток $I_0=\dfrac{BV_0L}{R_1+R_2}$. Ускорение первой перемычки $a_{01}=\dfrac{BI_0L}{m_1}=\dfrac{B^2V_0L^2}{m_1\left(R_1+R_2\right)}=\dfrac{1}{8}\dfrac{B^2V_0L^2}{mR}$.

**2)** Суммарная сила на перемычки равна нулю. Поэтому $m_1V_0=\left(m_1+m_2\right)V$. $V=2V_0/3$.

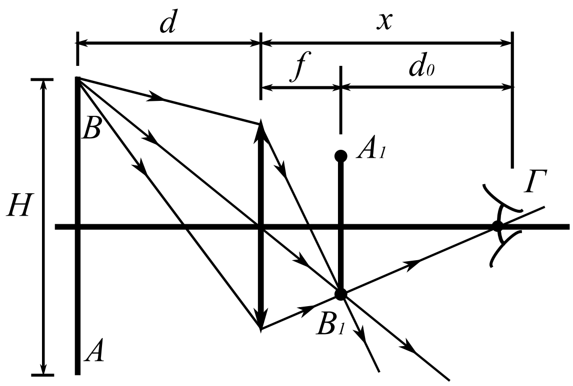
**3)** Пусть в произвольный момент $V_1$ и $V_2$ - скорости перемычек, $S_1$ и $S_2$ – их пути, $I$ – ток. Тогда $m_2\dfrac{\Delta V_2}{\Delta t}=BIL=BL\dfrac{BV_1L-BV_2L}{R_1+R_2}$. $m_2\Delta V_2=BL\dfrac{BV_1\Delta tL-BV_2\Delta tL}{R_1+R_2}=\dfrac{B^2L^2}{R_1+R_2}\left(\Delta S_1-\Delta S_2\right)$. Суммируем: $m_2\left(V-0\right)=\dfrac{B^2L^2}{R_1+R_2}\left(S_1-S_2\right)$. Надо найти $S=S_0-\left(S_1-S_2\right)$. С учетом $V=2V_0/3$ находим $S=S_0-\dfrac{8V_0Rm}{3B^2L^2}$.

**5.** На рисунке $A_1B_1$ – изображение, рассматриваемое глазом *Г*. У нас $F=18$ см, $d=72$ см, $d_0=24$ см.

**1)** $f=\dfrac{dF}{d-F}=24$ см. $x=f+d_0=48$ см.

**2)** На рисунке показан ход лучей через линзу от т. $B$ при минимальном диаметре линзы $D_{\text{М}}$. Пусть $A_1B_1=h$.
$h=\dfrac{f}{d}H=3$ см. $\dfrac{D_М}{h}=\dfrac{x}{d_0}$, $D_М=\dfrac{hx}{d_0}=6$см.

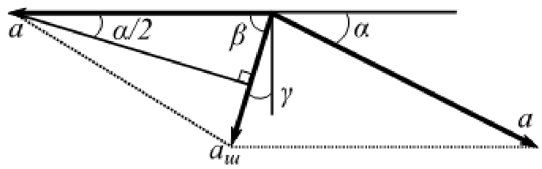
**3)** Все лучи, попавшие в зрачок глаза после прохождения линзы, должны выйти из точки, сопряженной зрачку в линзе. $\dfrac{1}{z}+\dfrac{1}{x}=\dfrac{1}{F}$. Экран надо поместить на главной оптической оси линзы слева от линзы на расстоянии $z=\dfrac{xF}{x-F}$ . z = 144/5 см =28,8 см.



## Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 11-04
## Часть 1

**1.** Пусть $M$ – масса шара, $m$ - масса клина, $a$ – ускорение клина, $T$ – сила натяжения нити.

**1)** Ускорение шара относительно клина тоже $a$. Ускорение шара $a_ш$ равно сумме переносного и относительного ускорений (см. рис.). $\gamma = \alpha / 2$.




$\cos\gamma = \cos\frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1+\cos\alpha}{2}} = \frac{5}{\sqrt{34}}$ ( $\sin\gamma = \frac{3}{\sqrt{34}}$, $\mathrm{tg}\gamma = \frac{3}{5}$ ).

**2)** Уравнение движения для шара в проекциях на ось, перпендикулярную нити, $Ma\sin\alpha = Mg\cos\alpha$.

$a = \frac{g}{\mathrm{tg}\alpha} = \frac{g\cos\alpha}{\sin\alpha} = \frac{8}{15}g$ .

**3)** Уравнения движения в проекциях на горизонтальную ось для шара и клина $M\left(a - a\cos\alpha\right) = T\cos\alpha,\ ma = T - T\cos\alpha$ . Отсюда $\frac{M}{m} = \frac{\cos\alpha}{\left(1-\cos\alpha\right)^2} = \frac{136}{81}$.

**4)** Относительно стола $H = \frac{1}{2}\left(a\sin\alpha\right)t^2$. Так как $a = \frac{g}{\mathrm{tg}\alpha}$ , то $t = \sqrt{\frac{2H}{g\cos\alpha}} = \sqrt{\frac{17H}{4g}}$ .

*Замечание*. Время можно найти, рассмотрев движение шара относительно клина.

**2.** Площадь под графиком зависимости теплоемкости от температуры есть теплота, полученная газом. Зависимость линейная. При изменении температуры от $T_0$ до $T$ теплота $Q = \nu\frac{1}{2}\left(C(T) + C(T_0)\right)\left(T - T_0\right)$.

**1)** $-Q_1 = \nu\frac{1}{2}\left(C\left(\frac{3}{4}T_0\right) + C(T_0)\right)\left(\frac{3}{4}T_0 - T_0\right) = -\frac{63}{160}\nu RT_0$. $Q_1 = \frac{63}{160}\nu RT_0$.

**2)** $Q(T) = \nu\frac{1}{2}\left(C(T) + C(T_0)\right)\left(T - T_0\right) = \frac{9\nu R}{10T_0}\left(T + T_0\right)\left(T - T_0\right)$. $Q(T) = \nu\frac{3}{2}R\left(T - T_0\right) + A$ . Отсюда $A = \frac{3\nu R}{10T_0}\left(T - T_0\right)\left(3T - 2T_0\right)$. Имеем параболическую зависимость. Минимальная работа $A_M$ при $T_M = \frac{1}{2}\left(\frac{2}{3}T_0 + T_0\right) = \frac{5}{6}T_0$.

**3)** $A_M = A\left(T_M\right) = -\frac{1}{40}\nu RT_0 < 0$ .

## Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 11-04
## Часть 2

**3. 1)** До замыкания напряжение на $C_2$ равно $U_{02} = \dfrac{EC_1}{C_1 + C_2} = \dfrac{5}{6}E$. Ток $I_{0R} = \dfrac{U_{02}}{R} = \dfrac{5}{6}\dfrac{E}{R}$.

**2)** Работа источника $A = Q + \Delta W_C$. $A = E\left(C_1 E - \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}E\right) = \dfrac{C_1^2}{C_1 + C_2}E^2$. Изменение энергии конденсаторов $\Delta W_C = \dfrac{1}{2}C_1 E^2 - \dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}E^2 = \dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{C_1^2}{C_1 + C_2}E^2$. Отсюда $Q = \dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{C_1^2}{C_1 + C_2}E^2 = \dfrac{25}{12}CE^2$.

**3)** Пусть в некоторый момент после замыкания заряд левой обкладки у $C_1$ равен $q_1$, а заряд нижней обкладки у $C_2$ равен $q_2$. Тогда $E - \dfrac{q_1}{C_1} + \dfrac{q_2}{C_2} = 0$. За малое время $\Delta t$ будет $\Delta\left(E - \dfrac{q_1}{C_1} + \dfrac{q_2}{C_2}\right) = 0$.

$-\dfrac{\Delta q_1}{\Delta t C_1} + \dfrac{\Delta q_2}{\Delta t C_2} = 0$. $-\dfrac{I_1}{C_1} + \dfrac{I_2}{C_2} = 0$. $\dfrac{I_1}{C_1} = \dfrac{I_2}{C_2}$. У нас $\dfrac{I_1}{5} = I_2,\ I_2 = I_0,\ I_1 = 5I_0$. Ток в резисторе $I = I_1 + I_2 = 6I_0$.

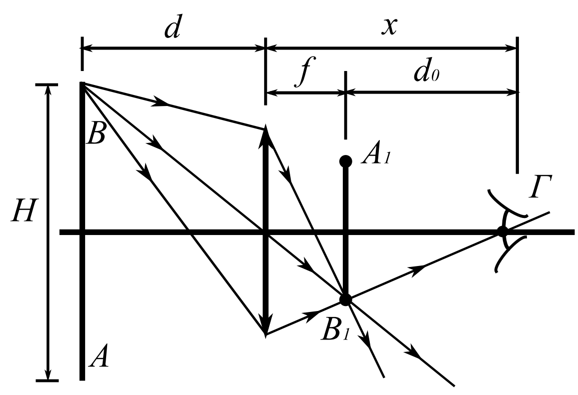
**4. 1)** Начальный ток $I_0 = \dfrac{BV_0 L}{R_1 + R_2}$. Ускорение первой перемычки $a_{01} = \dfrac{BI_0 L}{m_1} = \dfrac{B^2 V_0 L^2}{m_1\left(R_1 + R_2\right)} = \dfrac{1}{12}\dfrac{B^2 V_0 L^2}{mR}$.

**2)** Суммарная сила на перемычки равна нулю. Поэтому $m_1 V_0 = \left(m_1 + m_2\right)V$. $V = 4V_0/5$.

**3)** Пусть в произвольный момент $V_1$ и $V_2$ - скорости перемычек, $S_1$ и $S_2$ – их пути, $I$ – ток. Тогда $m_2\dfrac{\Delta V_2}{\Delta t} = BIL = BL\dfrac{BV_1 L - BV_2 L}{R_1 + R_2}$. $m_2\Delta V_2 = BL\dfrac{BV_1\Delta t L - BV_2\Delta t L}{R_1 + R_2} = \dfrac{B^2 L^2}{R_1 + R_2}\left(\Delta S_1 - \Delta S_2\right)$. Суммируем:

$m_2\left(V - 0\right) = \dfrac{B^2 L^2}{R_1 + R_2}\left(S_1 - S_2\right)$. Надо найти $\Delta S = S_1 - S_2$. С учетом $V = 4V_0/5$ находим $\Delta S = \dfrac{12V_0 Rm}{5B^2 L^2}$.

**5.** На рисунке $A_1B_1$ – изображение, рассматриваемое глазом $Г$. У нас $F = 24$ см, $d = 96$ см, $d_0 = 24$ см.




**1)** $f = \dfrac{dF}{d - F} = 32$ см. $x = f + d_0 = 56$ см.

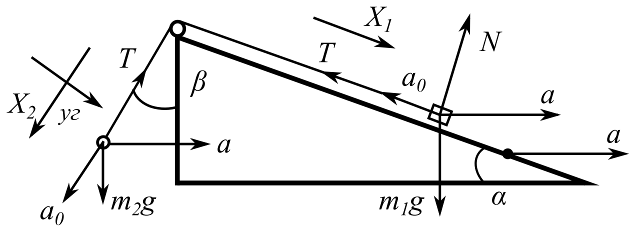
**2)** На рисунке показан ход лучей через линзу от т. $B$ при минимальном диаметре линзы $D_М$. Пусть $A_1B_1 = h$.

$h = \dfrac{f}{d}H = 3$ см. $\dfrac{D_М}{h} = \dfrac{x}{d_0}$, $D_М = \dfrac{hx}{d_0} = 7$ см.

**3)** Все лучи, попавшие в зрачок глаза после прохождения линзы, должны выйти из точки, сопряженной зрачку в линзе. $\dfrac{1}{z} + \dfrac{1}{x} = \dfrac{1}{F}$. Экран надо поместить на главной оптической оси линзы слева от линзы на расстоянии $z = \dfrac{xF}{x - F}$ . z = 42 см.

## Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 11-05
## Часть 1

**1.** Заметим, что $\sin\alpha=\dfrac{5}{13}, \sin\beta=\dfrac{3}{5}$. Пусть $a$ – ускорение клина, $a_0$ – ускорение бруска и шарика относительно клина, $T$ – сила натяжения нити, $N$ – сила давления клина на брусок, $m_1=13m$, $m_2=m$ (см. рис.).

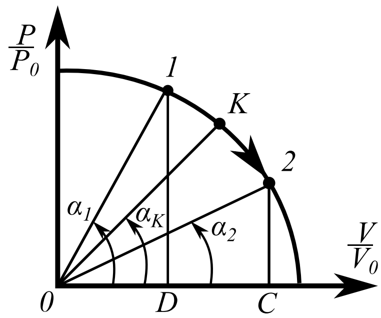



**1)** Ускорение шарика равно сумме переносного $a$ и его относительного $a_0$ ускорений. Аналогично для бруска. Уравнение движения для шарика в проекциях на ось $y_2$: $mg\sin\beta=ma\cos\beta$. Отсюда $a=g\,\mathrm{tg}\beta=\dfrac{3}{4}g$.

**2)** Уравнения движения для бруска в проекциях на ось $x_1$ и для шарика в проекциях на ось $x_2$: $13mg\sin\alpha-T=13m(-a_0+a\cos\alpha)$, $mg\cos\beta-T=m(a_0-a\sin\beta)$. Отсюда с учетом выражения для $a$ находим $a_0=\dfrac{g\left[1+13(\sin\beta\cos\alpha-\cos\beta\sin\alpha)\right]}{14\cos\beta}=\dfrac{3}{8}g$.

**3)** Для шарика относительно стола в проекциях на вертикальную ось $H=\dfrac{1}{2}(a_0\cos\beta+0)t^2$. Отсюда $t=\sqrt{\dfrac{2H}{a_0\cos\beta}}=\sqrt{\dfrac{20H}{3g}}$. Время можно найти и в системе отсчета, связанной с клином.

**2. 1)** Пусть радиус, проведенный в произвольную точку процесса 1-2, составляет угол $\alpha$ с горизонтальной осью. Найдем связь температуры в этой точке с углом $\alpha$. Обозначим через $r$ радиус дуги окружности. Тогда $PV=\nu RT$, $\dfrac{P}{P_0}=r\sin\alpha$, $\dfrac{V}{V_0}=r\cos\alpha$. Отсюда $T=\dfrac{P_0V_0r^2\sin2\alpha}{2\nu R}$. У нас $\alpha_1=60^0, \alpha_2=15^0$. $x=\dfrac{T_1}{T_2}=\dfrac{\sin2\alpha_1}{\sin2\alpha_2}=\sqrt{3}$.




**2)** Для элементарного процесса в процессе 1-2

$\Delta Q=\nu\dfrac{3}{2}R\Delta T+P\Delta V$. Теплоемкость равна нулю при $\Delta Q=0$. Выразим $\Delta Q$ через $\alpha$ и $\Delta T$.

$P\Delta V=P_0r\sin\alpha\cdot\Delta V=P_0r\sin\alpha\cdot(-V_0r\sin\alpha\cdot\Delta\alpha)$. Выразим $\Delta\alpha$ через $\Delta T$. Так как $T=\dfrac{P_0V_0r^2\sin2\alpha}{2\nu R}$, то

$\Delta T=\dfrac{P_0V_0r^2}{2\nu R}\cos2\alpha\cdot2\Delta\alpha$. Тогда $P\Delta V=-\nu R\dfrac{\sin^2\alpha}{\cos2\alpha}\cdot\Delta T$.

$\Delta Q=\nu R\left(\dfrac{3}{2}-\dfrac{\sin^2\alpha}{\cos2\alpha}\right)\Delta T=\nu R\dfrac{3\cos^2\alpha-5\sin^2\alpha}{2\left(\cos^2\alpha-\sin^2\alpha\right)}\Delta T$. $\Delta Q=0$ при $3\cos^2\alpha-5\sin^2\alpha=0$. Отсюда

$\mathrm{tg}\alpha=\sqrt{\dfrac{3}{5}}$. Итак, теплоемкость равна нулю при $\mathrm{tg}\alpha_K=\sqrt{\dfrac{3}{5}}$.

**3)** Работа в процессе расширения 1-2 $A_{12}=\Sigma P\Delta V=P_0V_0S_{12}$. Здесь $S_{12}$ - «площадь» под дугой 1-2.

$S_{12}=S_{012}+S_{02C}-S_{01D}$.

$S_{12}=\pi r^2\dfrac{\alpha_1-\alpha_2}{2\pi}+\dfrac{1}{2}r\cos\alpha_2\cdot r\sin\alpha_2-\dfrac{1}{2}r\cos\alpha_1\cdot r\sin\alpha_1=\dfrac{1}{4}r^2\left[2(\alpha_1-\alpha_2)+\sin2\alpha_2-\sin2\alpha_1\right]$.

$A_{12}=\dfrac{1}{4}P_0V_0r^2\left[2(\alpha_1-\alpha_2)+\sin2\alpha_2-\sin2\alpha_1\right]=\dfrac{1}{8}P_0V_0r^2\left[\pi+1-\sqrt{3}\right]$.

Изменение внутренней энергии $U_2-U_1=\nu C_V(T_2-T_1)=\dfrac{3}{4}P_0V_0r^2\left[\sin2\alpha_2-\sin2\alpha_1\right]=\dfrac{3}{8}P_0V_0r^2\left[1-\sqrt{3}\right]$.

$$\frac{A}{A_{12}}=\frac{Q_{12}+0}{A_{12}}=\frac{U_2-U_1+A_{12}}{A_{12}}=1+\frac{U_2-U_1}{A_{12}}=\frac{4-4\sqrt{3}+\pi}{1-\sqrt{3}+\pi}\approx0,09.$$

## Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 11-05
## Часть 2

**3. 1)** До замыкания напряжение на $C_2$ равно $U_{02} = \dfrac{EC_1}{C_1 + C_2} = \dfrac{1}{3}E$. Тогда $I'_L = \dfrac{U_{02}}{L} = \dfrac{1}{3}\dfrac{E}{L}$.

**2)** После замыкания в установившемся режиме ток через катушку не идет, $C_2$ не заряжен. Работа источника $A = Q + \Delta W_C$. $A = E\left(C_1 E - \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}E\right) = \dfrac{C_1^2}{C_1 + C_2}E^2$. Изменение энергии конденсаторов $\Delta W_C = \dfrac{1}{2}C_1 E^2 - \dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}E^2 = \dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{C_1^2}{C_1 + C_2}E^2$. Отсюда $Q = \dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{C_1^2}{C_1 + C_2}E^2 = \dfrac{1}{6}CE^2$.

**3)** Пусть в некоторый момент после замыкания заряд левой обкладки у $C_1$ равен $q_1$, а заряд левой обкладки у $C_2$ равен $q_2$. Тогда $E - \dfrac{q_1}{C_1} + \dfrac{q_2}{C_2} = 0$. За малое время $\Delta t$ будет $\Delta\left(E - \dfrac{q_1}{C_1} + \dfrac{q_2}{C_2}\right) = 0$.

$-\dfrac{\Delta q_1}{\Delta t C_1} + \dfrac{\Delta q_2}{\Delta t C_2} = 0$. $-\dfrac{I_1}{C_1} + \dfrac{I_2}{C_2} = 0$. $\dfrac{I_1}{C_1} = \dfrac{I_2}{C_2}$. У нас $\dfrac{I_1}{C} = \dfrac{I_2}{2C}, I_1 = I_0, I_2 = 2I_0$. Ток в катушке $I = I_1 + I_2 = 3I_0$.

**4. 1)** ЭДС в рамке $E = BV_0 d$, ток $I_0 = \dfrac{BV_0 d}{R}$, сила $F_0 = BI_0 d = \dfrac{B^2 V_0 d^2}{R}$, ускорение $a_0 = \dfrac{F_0}{m} = \dfrac{B^2 V_0 d^2}{mR}$.

**2)** В некоторый момент при движении правой стороны в поле $m\dfrac{\Delta V}{\Delta t} = -BId = -B\dfrac{BVd}{R}d$. Здесь $V$ - скорость, $\Delta V$ - изменение скорости за малое время $\Delta t$. Отсюда $m\Delta V = -\dfrac{B^2 d^2}{R}V\Delta t = -\dfrac{B^2 d^2}{R}\Delta S$. Здесь $\Delta S$ - путь за $\Delta t$. Суммируем за время нахождения правой стороны в поле: $m\left(V_1 - V_0\right) = -\dfrac{B^2 d^2}{R}H$.

Окончательно $V_1 = V_0 - \dfrac{B^2 d^3}{3mR}$.

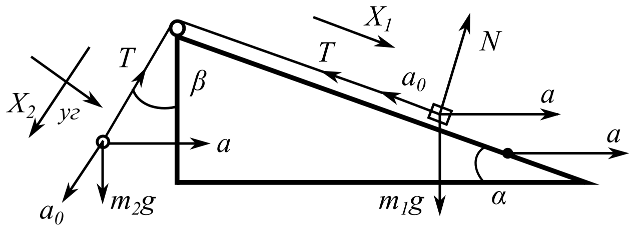
**3)** Когда левая и правая стороны рамки вне поля, скорость постоянна. После вхождения левой стороны в поле идет торможение аналогичное торможению правой стороны в поле: $m\left(V_2 - V_1\right) = -\dfrac{B^2 d^2}{R}H$. В итоге $V_2 = V_0 - \dfrac{2B^2 d^2}{mR}H$, $V_2 = V_0 - \dfrac{2B^2 d^3}{3mR}$.

**5. 1)** Обозначим $d_0 = 25$ см. $\dfrac{1}{\infty} + \dfrac{1}{-x} = D_1$, $\dfrac{1}{d_0} + \dfrac{1}{-x} = D_2$, $\dfrac{D_1}{D_2} = 2$. Отсюда $x$ = 1/8 м = 12,5 см, для рассматривания удаленных предметов $D_1$= -8 дптр.

**2)** Обозначим $d_K$ = 50 см =0,5 м. $\dfrac{1}{d_K} + \dfrac{1}{-x} = D_3$. Для работы на компьютере $D_3$= -6 дптр.

# Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 11-06
## Часть 1

**1.** Заметим, что $\sin\alpha=\dfrac{3}{5}, \sin\beta=\dfrac{5}{13}$. Пусть $a$ – ускорение клина, $a_0$ – ускорение бруска и шарика относительно клина, $T$ – сила натяжения нити, $N$ – сила давления клина на брусок, $m_1=2m$, $m_2=m$ (см. рис.).

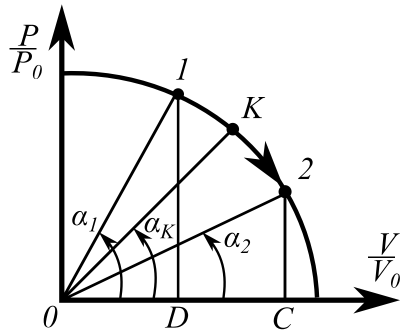



**1)** Ускорение шарика равно сумме переносного $a$ и его относительного $a_0$ ускорений. Аналогично для бруска. Уравнение движения для шарика в проекциях на ось $y_2$: $mg\sin\beta=ma\cos\beta$. Отсюда $a=g\operatorname{tg}\beta=\dfrac{5}{12}g$.

**2)** Уравнения движения для бруска в проекциях на ось $x_1$ и для шарика в проекциях на ось $x_2$: $2mg\sin\alpha-T=2m\left(-a_0+a\cos\alpha\right)$, $mg\cos\beta-T=m\left(a_0-a\sin\beta\right)$. Отсюда с учетом выражения для $a$ находим $a_0=\dfrac{g\left[1+2\left(\sin\beta\cos\alpha-\cos\beta\sin\alpha\right)\right]}{3\cos\beta}=\dfrac{11}{60}g$.

**3)** Для шарика относительно стола в проекциях на вертикальную ось $H=\dfrac{1}{2}\left(a_0\cos\beta+0\right)t^2$. Отсюда $t=\sqrt{\dfrac{2H}{a_0\cos\beta}}=\sqrt{\dfrac{130H}{11g}}$. Время можно найти и в системе отсчета, связанной с клином.

**2. 1)** Пусть радиус, проведенный в произвольную точку процесса 1-2, составляет угол $\alpha$ с горизонтальной осью. Найдем связь температуры в этой точке с углом $\alpha$. Обозначим через $r$ радиус дуги окружности.




Тогда $PV=\nu RT$, $\dfrac{P}{P_0}=r\sin\alpha$, $\dfrac{V}{V_0}=r\cos\alpha$. Отсюда $T=\dfrac{P_0V_0r^2\sin2\alpha}{2\nu R}$.

У нас $\alpha_1=67{,}5^0, \alpha_2=15^0$. $x=\dfrac{T_1}{T_2}=\dfrac{\sin2\alpha_1}{\sin2\alpha_2}=\sqrt{2}$.

**2)** Для элементарного процесса в процессе 1-2 $\Delta Q=\nu\dfrac{5}{2}R\Delta T+P\Delta V$.

Теплоемкость равна нулю при $\Delta Q=0$. Выразим $\Delta Q$ через $\alpha$ и $\Delta T$.

$P\Delta V=P_0r\sin\alpha\cdot\Delta V=P_0r\sin\alpha\cdot\left(-V_0r\sin\alpha\cdot\Delta\alpha\right)$. Выразим $\Delta\alpha$ через $\Delta T$. Так как $T=\dfrac{P_0V_0r^2\sin2\alpha}{2\nu R}$, то

$\Delta T=\dfrac{P_0V_0r^2}{2\nu R}\cos2\alpha\cdot2\Delta\alpha$. Тогда $P\Delta V=-\nu R\dfrac{\sin^2\alpha}{\cos2\alpha}\cdot\Delta T$.

$\Delta Q=\nu R\left(\dfrac{5}{2}-\dfrac{\sin^2\alpha}{\cos2\alpha}\right)\Delta T=\nu R\dfrac{5\cos^2\alpha-7\sin^2\alpha}{2\left(\cos^2\alpha-\sin^2\alpha\right)}\Delta T$. $\Delta Q=0$ при $5\cos^2\alpha-7\sin^2\alpha=0$. Отсюда

$\operatorname{tg}\alpha=\sqrt{\dfrac{5}{7}}$. Итак, теплоемкость равна нулю при $\operatorname{tg}\alpha_K=\sqrt{\dfrac{5}{7}}$.

**3)** Работа в процессе расширения 1-2 $A_{12}=\Sigma P\Delta V=P_0V_0S_{12}$. Здесь $S_{12}$ - «площадь» под дугой 1-2.

$S_{12}=S_{012}+S_{02C}-S_{01D}$.

$S_{12}=\pi r^2\dfrac{\alpha_1-\alpha_2}{2\pi}+\dfrac{1}{2}r\cos\alpha_2\cdot r\sin\alpha_2-\dfrac{1}{2}r\cos\alpha_1\cdot r\sin\alpha_1=\dfrac{1}{4}r^2\left[2\left(\alpha_1-\alpha_2\right)+\sin2\alpha_2-\sin2\alpha_1\right]$.

$A_{12}=\dfrac{1}{4}P_0V_0r^2\left[2\left(\alpha_1-\alpha_2\right)+\sin2\alpha_2-\sin2\alpha_1\right]=\dfrac{1}{8}P_0V_0r^2\left[\dfrac{7}{6}\pi+1-\sqrt{2}\right]$.

Изменение внутренней энергии $U_2-U_1=\nu C_V\left(T_2-T_1\right)=\dfrac{5}{4}P_0V_0r^2\left[\sin2\alpha_2-\sin2\alpha_1\right]=\dfrac{5}{8}P_0V_0r^2\left[1-\sqrt{2}\right]$.

$$\frac{A}{A_{12}}=\frac{Q_{12}+0}{A_{12}}=\frac{U_2-U_1+A_{12}}{A_{12}}=1+\frac{U_2-U_1}{A_{12}}=\frac{7\pi-36\left(\sqrt{2}-1\right)}{7\pi-6\left(\sqrt{2}-1\right)}\approx0{,}36.$$

## Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 11-06
## Часть 2

**3. 1)** До замыкания напряжение на $C_2$ равно $U_{02}=\dfrac{EC_1}{C_1+C_2}=\dfrac{1}{4}E$. $LI'_L=U_{02}$. Тогда $I'_L=\dfrac{U_{02}}{L}=\dfrac{1}{4}\dfrac{E}{L}$.

**2)** После замыкания в установившемся режиме ток через катушку не идет, $C_2$ не заряжен. Работа источника $A=Q+\Delta W_C$. $A=E\left(C_1E-\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}E\right)=\dfrac{C_1^2}{C_1+C_2}E^2$. Изменение энергии конденсаторов $\Delta W_C=\dfrac{1}{2}C_1E^2-\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{C_1C_2}{C_1+C_2}E^2=\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{C_1^2}{C_1+C_2}E^2$. Отсюда $Q=\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{C_1^2}{C_1+C_2}E^2=\dfrac{1}{8}CE^2$.

**3)** Пусть в некоторый момент после замыкания заряд левой обкладки у $C_1$ равен $q_1$, а заряд левой обкладки у $C_2$ равен $q_2$. Тогда $E-\dfrac{q_1}{C_1}+\dfrac{q_2}{C_2}=0$. За малое время $\Delta t$ будет $\Delta\left(E-\dfrac{q_1}{C_1}+\dfrac{q_2}{C_2}\right)=0$.
$-\dfrac{\Delta q_1}{\Delta t C_1}+\dfrac{\Delta q_2}{\Delta t C_2}=0$. $-\dfrac{I_1}{C_1}+\dfrac{I_2}{C_2}=0$. $\dfrac{I_1}{C_1}=\dfrac{I_2}{C_2}$. У нас $\dfrac{I_1}{C}=\dfrac{I_2}{3C}, I_2=I_0, I_1=\dfrac{1}{3}I_0$. Ток в резисторе $I=I_1+I_2=\dfrac{4}{3}I_0$. Напряжение на резисторе $U_R=\dfrac{4}{3}I_0R$.

**4. 1)** ЭДС в рамке $E=BV_0d$, ток $I_0=\dfrac{BV_0d}{R}$, сила $F_0=BI_0d=\dfrac{B^2V_0d^2}{R}$, ускорение $a_0=\dfrac{F_0}{m}=\dfrac{B^2V_0d^2}{mR}$.

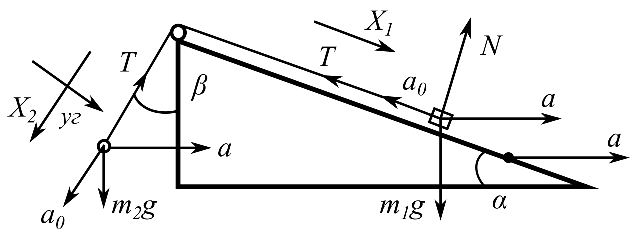
**2)** Рамка тормозится пока правая сторона в поле, а левая вне поля. Когда вся рамка движется в поле, ее скорость постоянна. При торможении $m\dfrac{\Delta V}{\Delta t}=-BId=-B\dfrac{BVd}{R}d$. Здесь $V$ -скорость, $\Delta V$ - изменение скорости за малое время $\Delta t$. Отсюда $m\Delta V=-\dfrac{B^2d^2}{R}V\Delta t=-\dfrac{B^2d^2}{R}\Delta S$. Здесь $\Delta S$ - путь за $\Delta t$.
Суммируем за время торможения: $m(V_1-V_0)=-\dfrac{B^2d^2}{R}b$. Окончательно $V_1=V_0-\dfrac{B^2d^3}{4mR}$.

**3)** После выхода из поля правой стороны левая будет тормозиться так же, как и правая, когда находилась в поле: $m(V_2-V_1)=-\dfrac{B^2d^2}{R}b$. В итоге $V_2=V_0-\dfrac{2B^2d^2}{mR}b$, $V_2=V_0-\dfrac{B^2d^3}{2mR}$.

**5. 1)** Обозначим $d_0=25$ см. $\dfrac{1}{\infty}+\dfrac{1}{-x}=D_1$, $\dfrac{1}{d_0}+\dfrac{1}{-x}=D_2$, $\dfrac{D_1}{D_2}=\dfrac{7}{3}$. Отсюда $x$ = 1/7 м $\approx$ 14 см, для рассматривания удаленных предметов $D_1$= -7 дптр.

**2)** Обозначим $d_К$ = 50 см =0,5 м. $\dfrac{1}{d_K}+\dfrac{1}{-x}=D_3$. Для работы на компьютере $D_3$= -5 дптр.

# Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 11-07
## Часть 1

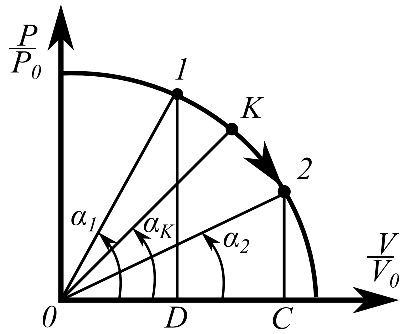



**1.** Заметим, что $\sin\alpha=\dfrac{12}{13}$, $\sin\beta=\dfrac{4}{5}$. Пусть $a$ – ускорение клина, $a_0$ – ускорение бруска и шарика относительно клина, $T$ – сила натяжения нити, $N$ – сила давления клина на брусок, $m_1=m/2$, $m_2=m$ (см. рис.).

**1)** Ускорение шарика равно сумме переносного $a$ и его относительного $a_0$ ускорений. Аналогично для бруска. Уравнение движения для шарика в проекциях на ось $y_2$: $mg\sin\beta=ma\cos\beta$. Отсюда $a=g\,\mathrm{tg}\beta=\dfrac{4}{3}g$.

**2)** Уравнения движения для бруска в проекциях на ось $x_1$ и для шарика в проекциях на ось $x_2$: $\dfrac{1}{2}mg\sin\alpha-T=\dfrac{1}{2}m\left(-a_0+a\cos\alpha\right)$, $mg\cos\beta-T=m\left(a_0-a\sin\beta\right)$. Отсюда с учетом выражения для $a$ находим $a_0=\dfrac{g\left[2+\left(\sin\beta\cos\alpha-\cos\beta\sin\alpha\right)\right]}{3\cos\beta}=\dfrac{38}{39}g$.

**3)** Для шарика относительно стола в проекциях на вертикальную ось $H=\dfrac{1}{2}\left(a_0\cos\beta+0\right)t^2$. Отсюда $t=\sqrt{\dfrac{2H}{a_0\cos\beta}}=\sqrt{\dfrac{65H}{19g}}$. Время можно найти и в системе отсчета, связанной с клином.




**2. 1)** Пусть радиус, проведенный в произвольную точку процесса 1-2, составляет угол $\alpha$ с горизонтальной осью. Найдем связь температуры в этой точке с углом $\alpha$. Обозначим через $r$ радиус дуги окружности. Тогда $PV=\nu RT$, $\dfrac{P}{P_0}=r\sin\alpha$, $\dfrac{V}{V_0}=r\cos\alpha$. Отсюда $T=\dfrac{P_0V_0r^2\sin2\alpha}{2\nu R}$. У нас $\alpha_1=60^0$, $\alpha_2=15^0$. $x=\dfrac{T_1-T_2}{T_2}=\dfrac{T_1}{T_2}-1=\dfrac{\sin2\alpha_1}{\sin2\alpha_2}-1=\sqrt{3}-1$.

**2)** Для элементарного процесса в процессе 1-2 $\Delta Q=\nu\dfrac{3}{2}R\Delta T+P\Delta V$. Теплоемкость равна нулю при $\Delta Q=0$. Выразим $\Delta Q$ через $\alpha$ и $\Delta T$.

$P\Delta V=P_0r\sin\alpha\cdot\Delta V=P_0r\sin\alpha\cdot\left(-V_0r\sin\alpha\cdot\Delta\alpha\right)$. Выразим $\Delta\alpha$ через $\Delta T$. Так как $T=\dfrac{P_0V_0r^2\sin2\alpha}{2\nu R}$, то

$\Delta T=\dfrac{P_0V_0r^2}{2\nu R}\cos2\alpha\cdot2\Delta\alpha$. Тогда $P\Delta V=-\nu R\dfrac{\sin^2\alpha}{\cos2\alpha}\cdot\Delta T$.

$\Delta Q=\nu R\left(\dfrac{3}{2}-\dfrac{\sin^2\alpha}{\cos2\alpha}\right)\Delta T=\nu R\dfrac{3\cos^2\alpha-5\sin^2\alpha}{2\left(\cos^2\alpha-\sin^2\alpha\right)}\Delta T$. $\Delta Q=0$ при $3\cos^2\alpha-5\sin^2\alpha=0$. Отсюда

$\mathrm{tg}\alpha=\sqrt{\dfrac{3}{5}}$. Итак, теплоемкость равна нулю при $\mathrm{tg}\alpha_K=\sqrt{\dfrac{3}{5}}$.

**3)** Работа в процессе расширения 1-2 $A_{12}=\Sigma P\Delta V=P_0V_0S_{12}$. Здесь $S_{12}$ - «площадь» под дугой 1-2. $S_{12}=S_{012}+S_{02C}-S_{01D}$.

$$S_{12}=\pi r^2\frac{\alpha_1-\alpha_2}{2\pi}+\frac{1}{2}r\cos\alpha_2\cdot r\sin\alpha_2-\frac{1}{2}r\cos\alpha_1\cdot r\sin\alpha_1=\frac{1}{4}r^2\left[2\left(\alpha_1-\alpha_2\right)+\sin2\alpha_2-\sin2\alpha_1\right].$$

$$A_{12}=\frac{1}{4}P_0V_0r^2\left[2\left(\alpha_1-\alpha_2\right)+\sin2\alpha_2-\sin2\alpha_1\right]=\frac{1}{8}P_0V_0r^2\left[\pi+1-\sqrt{3}\right].$$

Изменение внутренней энергии $U_2-U_1=\nu C_V\left(T_2-T_1\right)=\frac{3}{4}P_0V_0r^2\left[\sin 2\alpha_2-\sin 2\alpha_1\right]=\frac{3}{8}P_0V_0r^2\left[1-\sqrt{3}\right]$.

Теплота подводится только на участке 1-К. $\eta=\frac{A}{Q_{1K}}=\frac{Q_{12}+0}{Q_{1K}}=\frac{U_2-U_1+A_{12}}{U_K-U_1+A_{1K}}$.

$U_K-U_1=\nu C_V\left(T_K-T_1\right)=\frac{3}{4}P_0V_0r^2\left[\sin 2\alpha_K-\sin 2\alpha_1\right]=\frac{3}{16}P_0V_0r^2\left[\sqrt{15}-2\sqrt{3}\right]$.

$A_{1K}=\frac{1}{4}P_0V_0r^2\left[2\left(\alpha_1-\alpha_K\right)+\sin 2\alpha_K-\sin 2\alpha_1\right]=\frac{1}{4}P_0V_0r^2\left[\frac{2\pi}{3}-2\operatorname{arc}tg\sqrt{\frac{3}{5}}+\frac{\sqrt{15}}{4}-\frac{\sqrt{3}}{2}\right]$.

$$\eta=\frac{3\left(4-4\sqrt{3}+\pi\right)}{2\left[3\sqrt{15}-6\sqrt{3}+2\pi-6\operatorname{arc\,tg}\sqrt{3/5}\right]}\approx 0,09.$$

## Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 11-07
## Часть 2

**3. 1)** До замыкания напряжение на $C_2$ равно $U_{02}=\frac{EC_1}{C_1+C_2}=\frac{1}{5}E$. $LI_L'=U_{02}$. Тогда $I_L'=\frac{U_{02}}{L}=\frac{1}{5}\frac{E}{L}$.

**2)** После замыкания в установившемся режиме ток через катушку не идет, $C_2$ не заряжен. Работа источника $A=Q+\Delta W_C$. $A=E\left(C_1E-\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}E\right)=\frac{C_1^2}{C_1+C_2}E^2$. Изменение энергии конденсаторов $\Delta W_C=\frac{1}{2}C_1E^2-\frac{1}{2}\cdot\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}E^2=\frac{1}{2}\cdot\frac{C_1^2}{C_1+C_2}E^2$. Отсюда $Q=\frac{1}{2}\cdot\frac{C_1^2}{C_1+C_2}E^2=\frac{1}{10}CE^2$.

**3)** Пусть в некоторый момент после замыкания заряд левой обкладки у $C_1$ равен $q_1$, а заряд левой обкладки у $C_2$ равен $q_2$. Тогда $E-\frac{q_1}{C_1}+\frac{q_2}{C_2}=0$. За малое время $\Delta t$ будет $\Delta\left(E-\frac{q_1}{C_1}+\frac{q_2}{C_2}\right)=0$.

$-\frac{\Delta q_1}{\Delta tC_1}+\frac{\Delta q_2}{\Delta tC_2}=0$. $-\frac{I_1}{C_1}+\frac{I_2}{C_2}=0$. $\frac{I_1}{C_1}=\frac{I_2}{C_2}$. У нас $\frac{I_1}{C}=\frac{I_2}{4C}, I_1=I_0, I_2=4I_0$. Ток в резисторе $I=I_1+I_2=5I_0$.

**4. 1)** ЭДС в рамке $E=BV_0d$, ток $I_0=\frac{BV_0d}{R}$, сила $F_0=BI_0d=\frac{B^2V_0d^2}{R}$, ускорение $a_0=\frac{F_0}{m}=\frac{B^2V_0d^2}{mR}$.

**2)** В некоторый момент при движении правой стороны в поле $m\frac{\Delta V}{\Delta t}=-BId=-B\frac{BVd}{R}d$. Здесь $V$ - скорость, $\Delta V$ - изменение скорости за малое время $\Delta t$. Отсюда $m\Delta V=-\frac{B^2d^2}{R}V\Delta t=-\frac{B^2d^2}{R}\Delta S$. Здесь $\Delta S$ - путь за $\Delta t$. Суммируем за время нахождения правой стороны в поле: $m\left(V_1-V_0\right)=-\frac{B^2d^2}{R}H$.

Окончательно $V_1=V_0-\frac{B^2d^3}{5mR}$.

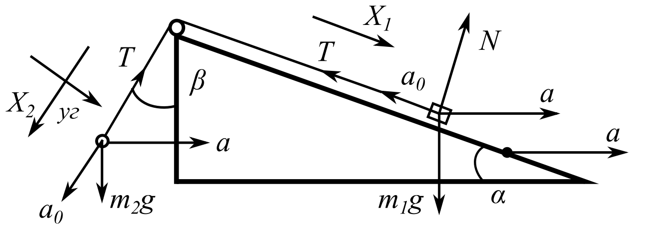
**3)** Когда левая и правая стороны рамки вне поля, скорость постоянна. После вхождения левой стороны в поле идет торможение аналогичное торможению правой стороны в поле: $m\left(V_2-V_1\right)=-\frac{B^2d^2}{R}H$. В итоге $V_2=V_0-\frac{2B^2d^2}{mR}H$, $V_2=V_0-\frac{2B^2d^3}{5mR}$.

**5. 1)** Обозначим $d_0=25$ см. $\frac{1}{\infty}+\frac{1}{-x}=D_1$, $\frac{1}{d_0}+\frac{1}{-x}=D_2$, $\frac{D_1}{D_2}=3$. Отсюда $x$ = 1/6 м $\approx$ 17 см, для рассматривания удаленных предметов $D_1$= -6 дптр.

**2)** Обозначим $d_K$ = 50 см =0,5 м. $\frac{1}{d_K}+\frac{1}{-x}=D_3$. Для работы на компьютере $D_3$= -4 дптр.

# Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 11-08
## Часть 1

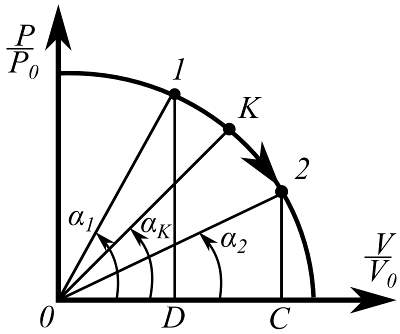
**1.** Заметим, что $\sin\alpha=\dfrac{4}{5}$, $\sin\beta=\dfrac{12}{13}$. Пусть $a$ – ускорение клина, $a_0$ – ускорение бруска и шарика относительно клина, $T$ – сила натяжения нити, $N$ – сила давления клина на брусок, $m_1=5m$, $m_2=m$ (см. рис.).




**1)** Ускорение шарика равно сумме переносного $a$ и его относительного $a_0$ ускорений. Аналогично для бруска. Уравнение движения для шарика в проекциях на ось $y_2$: $mg\sin\beta=ma\cos\beta$. Отсюда $a=g\operatorname{tg}\beta=\dfrac{12}{5}g$.

**2)** Уравнения движения для бруска в проекциях на ось $x_1$ и для шарика в проекциях на ось $x_2$: $5mg\sin\alpha-T=5m\left(-a_0+a\cos\alpha\right)$, $mg\cos\beta-T=m\left(a_0-a\sin\beta\right)$. Отсюда с учетом выражения для $a$ находим $a_0=\dfrac{g\left[1+5\left(\sin\beta\cos\alpha-\cos\beta\sin\alpha\right)\right]}{6\cos\beta}=\dfrac{29}{30}g$. **3)** Для шарика относительно стола в проекциях на вертикальную ось $H=\dfrac{1}{2}\left(a_0\cos\beta+0\right)t^2$. Отсюда $t=\sqrt{\dfrac{2H}{a_0\cos\beta}}=\sqrt{\dfrac{156H}{29g}}$. Время можно найти и в системе отсчета, связанной с клином.

**2. 1)** Пусть радиус, проведенный в произвольную точку процесса 1-2, составляет угол $\alpha$ с горизонтальной осью. Найдем связь температуры в этой точке с углом $\alpha$. Обозначим через $r$ радиус дуги окружности. Тогда $PV=\nu RT$, $\dfrac{P}{P_0}=r\sin\alpha$, $\dfrac{V}{V_0}=r\cos\alpha$. Отсюда $T=\dfrac{P_0V_0r^2\sin2\alpha}{2\nu R}$. У нас $\alpha_1=67{,}5^0$, $\alpha_2=15^0$. $x=\dfrac{T_1-T_2}{T_2}=\dfrac{T_1}{T_2}-1=\dfrac{\sin2\alpha_1}{\sin2\alpha_2}-1=\sqrt{2}-1$.




**2)** Для элементарного процесса в процессе 1-2 $\Delta Q=\nu\dfrac{5}{2}R\Delta T+P\Delta V$. Теплоемкость равна нулю при $\Delta Q=0$.

Выразим $\Delta Q$ через $\alpha$ и $\Delta T$. $P\Delta V=P_0r\sin\alpha\cdot\Delta V=P_0r\sin\alpha\cdot\left(-V_0r\sin\alpha\cdot\Delta\alpha\right)$. Выразим $\Delta\alpha$ через $\Delta T$. Так как $T=\dfrac{P_0V_0r^2\sin2\alpha}{2\nu R}$, то $\Delta T=\dfrac{P_0V_0r^2}{2\nu R}\cos2\alpha\cdot2\Delta\alpha$. Тогда $P\Delta V=-\nu R\dfrac{\sin^2\alpha}{\cos2\alpha}\cdot\Delta T$.

$\Delta Q=\nu R\left(\dfrac{5}{2}-\dfrac{\sin^2\alpha}{\cos2\alpha}\right)\Delta T=\nu R\dfrac{5\cos^2\alpha-7\sin^2\alpha}{2\left(\cos^2\alpha-\sin^2\alpha\right)}\Delta T$. $\Delta Q=0$ при $5\cos^2\alpha-7\sin^2\alpha=0$. Отсюда $\operatorname{tg}\alpha=\sqrt{\dfrac{5}{7}}$. Итак, теплоемкость равна нулю при $\operatorname{tg}\alpha_K=\sqrt{\dfrac{5}{7}}$.

**3)** Работа в процессе расширения 1-2 $A_{12}=\Sigma P\Delta V=P_0V_0S_{12}$. Здесь $S_{12}$ - «площадь» под дугой 1-2. $S_{12}=S_{012}+S_{02C}-S_{01D}$.

$$S_{12}=\pi r^2\frac{\alpha_1-\alpha_2}{2\pi}+\frac{1}{2}r\cos\alpha_2\cdot r\sin\alpha_2-\frac{1}{2}r\cos\alpha_1\cdot r\sin\alpha_1=\frac{1}{4}r^2\left[2\left(\alpha_1-\alpha_2\right)+\sin2\alpha_2-\sin2\alpha_1\right].$$

$$A_{12}=\frac{1}{4}P_0V_0r^2\left[2\left(\alpha_1-\alpha_2\right)+\sin2\alpha_2-\sin2\alpha_1\right]=\frac{1}{8}P_0V_0r^2\left[\frac{7}{6}\pi+1-\sqrt{2}\right].$$

Изменение внутренней энергии $U_2 - U_1 = \nu C_V (T_2 - T_1) = \frac{5}{4} P_0 V_0 r^2 [\sin 2\alpha_2 - \sin 2\alpha_1] = \frac{5}{8} P_0 V_0 r^2 \left[1 - \sqrt{2}\right]$.

Теплота подводится только на участке 1-К. $\eta = \frac{A}{Q_{1K}} = \frac{Q_{12} + 0}{Q_{1K}} = \frac{U_2 - U_1 + A_{12}}{U_K - U_1 + A_{1K}}$.

$U_K - U_1 = \nu C_V (T_K - T_1) = \frac{5}{4} P_0 V_0 r^2 [\sin 2\alpha_K - \sin 2\alpha_1]$. $A_{1K} = \frac{1}{4} P_0 V_0 r^2 \left[2(\alpha_1 - \alpha_K) + \sin 2\alpha_K - \sin 2\alpha_1\right]$.

$$\eta = \frac{7\pi - 36\left(\sqrt{2} - 1\right)}{3\left[4\sqrt{35} - 12\sqrt{2} + 3\pi - 8 \operatorname{arc\,tg} \sqrt{5/7}\right]} \approx 0,22 .$$

## Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 11-08
## Часть 2

**3. 1)** До замыкания напряжение на $C_2$ равно $U_{02} = \frac{EC_1}{C_1 + C_2} = \frac{1}{6} E$. $LI'_L = U_{02}$. Тогда $I'_L = \frac{U_{02}}{L} = \frac{1}{6} \frac{E}{L}$.

**2)** После замыкания в установившемся режиме ток через катушку не идет, $C_2$ не заряжен. Работа источника $A = Q + \Delta W_C$. $A = E\left(C_1 E - \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} E\right) = \frac{C_1^2}{C_1 + C_2} E^2$. Изменение энергии конденсаторов $\Delta W_C = \frac{1}{2} C_1 E^2 - \frac{1}{2} \cdot \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} E^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{C_1^2}{C_1 + C_2} E^2$. Отсюда $Q = \frac{1}{2} \cdot \frac{C_1^2}{C_1 + C_2} E^2 = \frac{1}{12} CE^2$.

**3)** Пусть в некоторый момент после замыкания заряд левой обкладки у $C_1$ равен $q_1$, а заряд левой обкладки у $C_2$ равен $q_2$. Тогда $E - \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2} = 0$. За малое время $\Delta t$ будет $\Delta\left(E - \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2}\right) = 0$.

$-\frac{\Delta q_1}{\Delta t C_1} + \frac{\Delta q_2}{\Delta t C_2} = 0$. $-\frac{I_1}{C_1} + \frac{I_2}{C_2} = 0$. $\frac{I_1}{C_1} = \frac{I_2}{C_2}$. У нас $\frac{I_1}{C} = \frac{I_2}{5C}, I_2 = I_0, I_1 = \frac{1}{5} I_0$. Ток в резисторе $I = I_1 + I_2 = \frac{6}{5} I_0$. Напряжение на резисторе $U_R = \frac{6}{5} I_0 R$.

**4. 1)** ЭДС в рамке $E = BV_0 d$, ток $I_0 = \frac{BV_0 d}{R}$, сила $F_0 = BI_0 d = \frac{B^2 V_0 d^2}{R}$, ускорение $a_0 = \frac{F_0}{m} = \frac{B^2 V_0 d^2}{mR}$.

**2)** Рамка тормозится пока правая сторона в поле, а левая вне поля. Когда вся рамка движется в поле, ее скорость постоянна. При торможении $m \frac{\Delta V}{\Delta t} = -BId = -B \frac{BVd}{R} d$. Здесь $V$ -скорость, $\Delta V$ - изменение скорости за малое время $\Delta t$. Отсюда $m\Delta V = -\frac{B^2 d^2}{R} V \Delta t = -\frac{B^2 d^2}{R} \Delta S$. Здесь $\Delta S$ - путь за $\Delta t$.

Суммируем за время торможения: $m(V_1 - V_0) = -\frac{B^2 d^2}{R} b$. Окончательно $V_1 = V_0 - \frac{2B^2 d^3}{3mR}$.

**3)** После выхода из поля правой стороны левая будет тормозиться так же, как и правая, когда находилась в поле: $m(V_2 - V_1) = -\frac{B^2 d^2}{R} b$. В итоге $V_2 = V_0 - \frac{2B^2 d^2}{mR} b$, $V_2 = V_0 - \frac{4B^2 d^3}{3mR}$.

**5. 1)** Обозначим $d_0 = 25$ см. $\frac{1}{\infty} + \frac{1}{-x} = D_1$, $\frac{1}{d_0} + \frac{1}{-x} = D_2$, $\frac{D_1}{D_2} = 5$. Отсюда $x$ = 1/5 м = 20 см, для рассматривания удаленных предметов $D_1$= -5 дптр.

**2)** Обозначим $d_K$ = 50 см =0,5 м. $\frac{1}{d_K} + \frac{1}{-x} = D_3$. Для работы на компьютере $D_3$= -3 дптр.

# Критерии оценивания. Олимпиада «Физтех» 2021 г.

## Варианты 11-01, 11-02, 11-03, 11-04

### Задача 1. (10 баллов)

1) Есть понимание, что относит. уск. = уск. клина …….….... 1 балл
   Ответ на 1-й вопрос ……………..……………….……..... 2 балла
   Ответы $\beta = 90^0 - \alpha/2$, $\gamma = \alpha/2$ засчитывать
2) Ответ на 2-й вопрос ……………………………………..... 3 балла
3) Ответ на 3-й вопрос ……………………………………..... 2 балла
4) Ответ на 4-й вопрос ……………………………………..... 2 балла

### Задача 2. (10 баллов)

1) Ответ на 1-й вопрос ........................................................... 5 баллов
2) Получено прав. выражение *A(T)* ……………………..…… 1 балл
   Ответ на 2-й вопрос .....................................................…… 2 балла
3) Ответ на 3-й вопрос .....................................................…… 2 балла

### Задача 3. (10 баллов)

1) Ответ на 1-й вопрос .....................................................…… 4 балла
2) Ответ на 2-й вопрос …………………………………...…… 4 балла
3) Ответ на 3-й вопрос с обоснованием ..................………… 2 балла
   Ответ на 3-й вопрос без обоснования ...................………… 1 балл

### Задача 4. (10 баллов)

1) Ответ на 1-й вопрос .....................................................…… 4 балла
2) Ответ на 2-й вопрос с обоснованием ………………...……… 3 балла
   Правильный ответ без обоснования ………..................……… 1 балл
3) Ответ на 3-й вопрос .....................................................…… 3 балла

### Задача 5. (10 баллов)

1) Ответ на 1-й вопрос ............................................................ 3 балла
2) Ответ на 2-й вопрос …………………………………...…… 4 балла
3) Ответ на 3-й вопрос .....................................................…… 3 балла

# Критерии оценивания. Олимпиада «Физтех» 2021 г.
# Варианты 11-05, 11-06, 11-07, 11-08

### Задача 1. (10 баллов)

1) Есть все ур-я для нахождения ускорения клина …….….... 2 балла
   Ответ на 1-й вопрос ……………..……………..……….... 2 балла
2) Есть все ур-я для нахождения относительного ускорения . 2 балла
   Ответ на 2-й вопрос ……………..…………………….…..... 2 балла
3) Есть и обосновано выражение $t$ через $a_0$ ………...…… 1 балл
   Ответ на 3-й вопрос ……………..…………………….…..... 1 балл

### Задача 2. (10 баллов)

1) Ответ на 1-й вопрос ............................................................ 5 баллов
2) Ответ на 2-й вопрос ...........................................................… 3 балла
3) Ответ на 3-й вопрос ...........................................................… 2 балла

### Задача 3. (10 баллов)

1) Ответ на 1-й вопрос ...........................................................… 4 балла
2) Ответ на 2-й вопрос ……………………………………...…... 4 балла
3) Ответ на 3-й вопрос с обоснованием .............................…… 2 балла
   Ответ на 3-й вопрос без обоснования .............................…… 1 балл

### Задача 4. (10 баллов)

1) Ответ на 1-й вопрос ...........................................................… 4 балла
2) Ответ на 2-й вопрос ……………………………………...…... 3 балла
   Если считают что ускорение постоянно ……….............…… 0 баллов
3) Ответ на 3-й вопрос ...........................................................… 3 балла

### Задача 5. (10 баллов)

1) Есть понимание, что линзы отрицательные ……………...…. 1 балл
   Правильно записаны все необходимые ур-я ………………… 2 балла
   Найдено $x$ ............................................................................. 2 балла
   Найдено $D_1$ (для удаленных предметов) ................................ 2 балла
2) Ответ на 2-й вопрос ……………………………………...…... 3 балла