

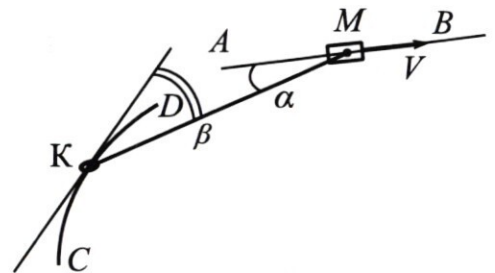
Олимпиада «Физтех» по физике, фе

Класс 11

Вариант 11-01

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без влож

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 4/5$) с направлением движения кольца.



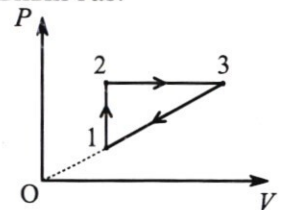
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

2. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изохоры, изобары и участка прямо пропорциональной зависимости давления P от объема V (см. рис.). Рабочее вещество – одноатомный идеальный газ.

1) Найти отношение молярных теплоемкостей на тех участках цикла, где происходило повышение температуры газа.

2) Найти в изобарном процессе отношение количества теплоты, полученной газом, к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица и через время T вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

1) Найдите скорость V_1 частицы при вылете из конденсатора.

2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.

3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица на бесконечно большом расстоянии от конденсатора?

При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

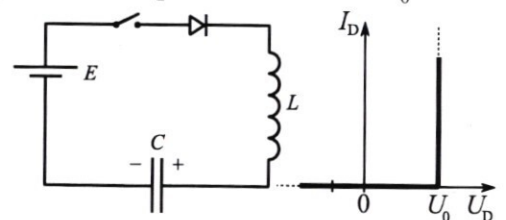
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В. Ключ замыкают.

Ключ замыкают.

1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.

2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.

3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

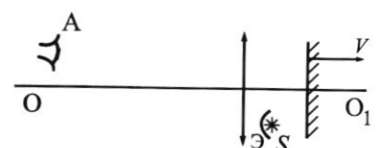


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $3F/4$ от оси OO_1 и на расстоянии $F/2$ от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии F от линзы.

1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?

2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)

3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$v = 68 \text{ см/с}$
 v_2 — скорость колеса
 $\cos \alpha = \frac{15}{17}$
 $\cos \beta = \frac{9}{5}$
 $r = \frac{5R}{3}$
 $m = 0,1 \text{ кг}$

$\vec{v}_1$ направлен по касательной
 Поскольку нить нерастяжима $\rightarrow$
 $\rightarrow l = \text{const} \rightarrow v_2 \cos \beta = v \cos \alpha$

$$v_2 = \frac{v \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{68 \cdot \frac{15}{17} \cdot \frac{5}{9}}{1} = 75 \text{ см/с}$$

2) $\vec{v}_{отн} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$
 Проздвин прелекую l , параллельно перенесет касательную к окружности. $\vec{v}_1$ сложим вектора $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$
 Так, как показано на рисунке $\rightarrow \delta = \beta + \alpha \rightarrow$
 $\rightarrow$ По T $\cos$: $v_x^2 = v^2 + v_2^2 - 2 \cdot v \cdot v_2 \cdot \cos(\beta + \alpha)$
 $v_x^2 = 68^2 + 75^2 - 2 \cdot 68 \cdot 75 \cdot \cos(\beta + \alpha)$
 $\sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{225}{289}} = \frac{8}{17}$; $\sin \beta = \sqrt{1 - \frac{16}{25}} = \frac{3}{5} \rightarrow$
 $\rightarrow v_x^2 = 68^2 + 75^2 - 2 \cdot 68 \cdot 75 \cdot (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta)$

$$v_k^2 = 68^2 + 75^2 - 2 \cdot 68 \cdot 75 \left(\frac{60}{5.17} - \frac{24}{5.17} \right) =$$

$$= 68^2 + 75^2 - 2 \cdot 68 \cdot 75 \cdot \frac{36}{5.17} = 68^2 + 75^2 - 2 \cdot 4 \cdot 15 \cdot 36 =$$

$$= 4624 + 5625 - 4320 = 30425 = 5928$$

$$= 1808 \cdot 5 (2665)$$

$$47^2 = v_k^2$$

$$\Rightarrow v_k = 47$$

$$\begin{array}{r} \times 68 \\ 68 \\ \hline 544 \\ 108 \\ \hline 4624 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 75 \\ 75 \\ \hline 375 \\ 525 \\ \hline 5625 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 120 \\ 120 \\ \hline 42 \\ 36 \\ \hline 4320 \end{array}$$

3) Продлим прямую, которой принадлежит вектор $\vec{v}$ и проведем перпендикуляр к точке касания. Из рисунка видно, что $\gamma_1 = 90^\circ - \beta$. Если продлим вектор $m\vec{g}$ до пересечения с прямой вектора $\vec{v}$ и опустить перпендикуляр на ось радиуса, то получим, что $\gamma_2 = 180^\circ - (90^\circ - \beta) - \alpha = 90^\circ - \alpha - \beta$.

$$\text{Тогда } N \cos \gamma_1 + mg \sin \gamma_2 = \frac{mv^2}{R}$$

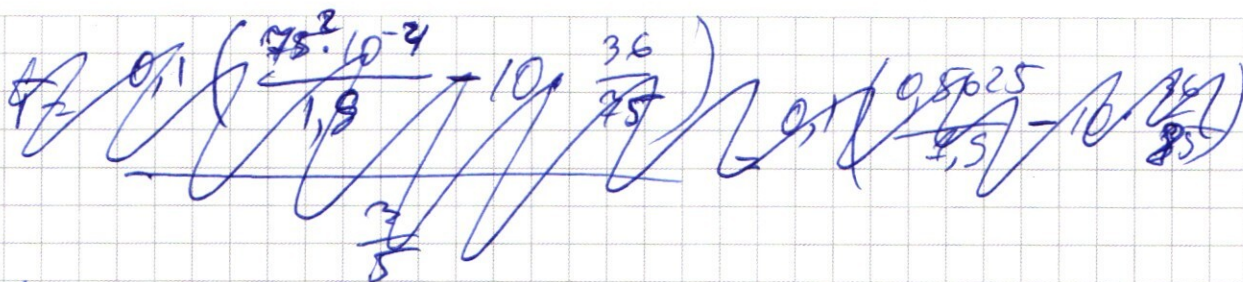
По 3-му
Ньютона

$$N \cos(90^\circ - \beta) + mg \sin(90^\circ - \alpha - \beta) = \frac{mv^2}{R}$$

$$N \sin \beta + mg \cos(\alpha + \beta) = \frac{mv^2}{R}$$

$$N = \frac{\frac{mv^2}{R} - mg \cos(\alpha + \beta)}{\sin \beta}$$

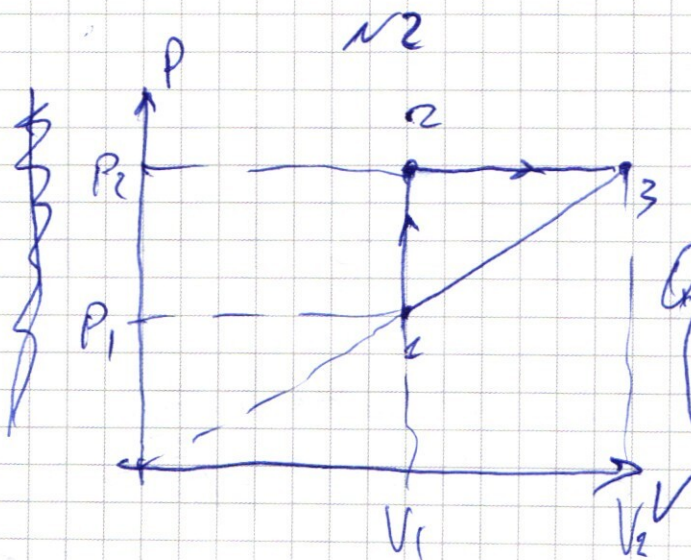
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Реш

Ответ: 1) $v_2 = 75 \text{ cm/s}$

2) $v_{\text{рез}} = |\vec{v}_2 - \vec{v}_1| = 77 \text{ cm/s}$



- 1) $T_2 > T_1$, т.к. $P_2 \geq P_1$,
 $T_3 > T_2$, т.к. $V_2 > V_1$

$Q_{12} = \mu A$
 $Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \nu C_{m1} (T_2 - T_1)$
 $C_{m1} = \frac{3}{2} R$

$Q_{23} = \frac{5}{2} \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + 2 \nu R (T_3 - T_2) =$
 $= \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \nu C_{m2} (T_3 - T_2)$
 $C_{m2} = \frac{5}{2} R \Rightarrow$

$\frac{C_{m1}}{C_{m2}} = \frac{3}{5}$

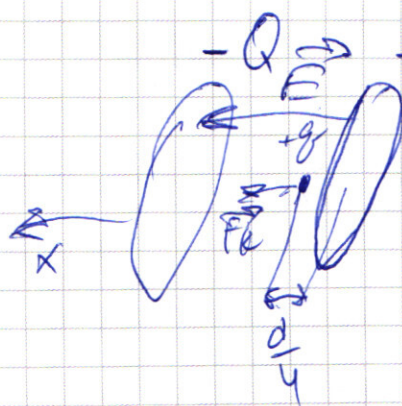
$$2) Q = \alpha U + A$$

$$Q_{23} = \frac{5}{2} \alpha R (T_3 - T_2)$$

$$A_{23} = \alpha R (T_3 - T_2)$$

$$\boxed{\frac{Q_{23}}{A_{23}} = \frac{5}{2}}$$

Ответ: 1) $\frac{Q_{12}}{A_{12}} = \frac{3}{5}$; 2) $\frac{Q_{23}}{A_{23}} = \frac{5}{2}$



Дано: $S, T, \frac{q}{m} = \gamma, d$

1) $v_1 = ?$

На q действует постоянная сила кулона, равная $qE \rightarrow$
 $\rightarrow q$ имеет постоянное ускорение a .

За время T q прошел путь $S = \frac{3d}{4}$

$$x(t) = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

$$\frac{3d}{4} = \frac{aT^2}{2} \rightarrow a = \frac{3d}{2T^2}; v_x = v_{0x} + a_x t \rightarrow \boxed{v_1 = \frac{3d}{2T}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2) По II 3-му Ньютона;

$$F_k = ma$$

$$qE = ma$$

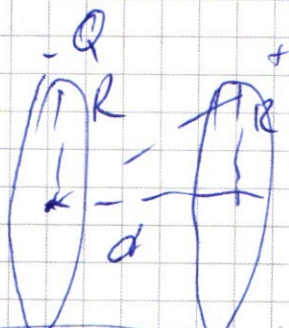
$$ma = q \cdot E \cdot \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = q \cdot \frac{Q}{S\epsilon_0}$$

$$m \cdot \frac{3d}{2T^2} = q \cdot \frac{Q}{S\epsilon_0}$$

$$\frac{3d}{2\epsilon_0 T^2} = \frac{Q}{S\epsilon_0} \Rightarrow Q = \frac{3d\epsilon_0 S}{2\epsilon_0 T^2}$$

3) Т.к. обкладки — круглые металлические сетки $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ в момент, когда q пролетает сквозь обкладку, его потенциальная энергия равна $W_1 + W_2 = W_k$



$$= -\frac{kQq}{R^2} + \frac{kQq}{R^2 + d^2} \left(Q = \sum q_i \text{ — количество зарядов } \Rightarrow W = \sum \frac{kQq_i}{R^2} = \frac{kQq}{R^2} \right)$$

На бесконечности $W = 0 \Rightarrow$

$$\frac{mv_1^2}{2} - \frac{kQq}{R^2} + \frac{kQq}{R^2 + d^2} = \frac{mv_2^2}{2} \quad | : m$$

$$\frac{v_1^2}{2} - \frac{kQq}{R^2} + \frac{kQq}{R^2 + d^2} = \frac{v_2^2}{2}$$

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 - \frac{2kQq}{R^2} + \frac{2kQq}{R^2 + d^2}} = \sqrt{\frac{9d^2}{4T^2} - \frac{2kQq}{R^2} + \frac{2kQq}{R^2 + d^2}}$$

$$S = \pi R^2 \rightarrow R^2 = \frac{S}{\pi} \rightarrow$$

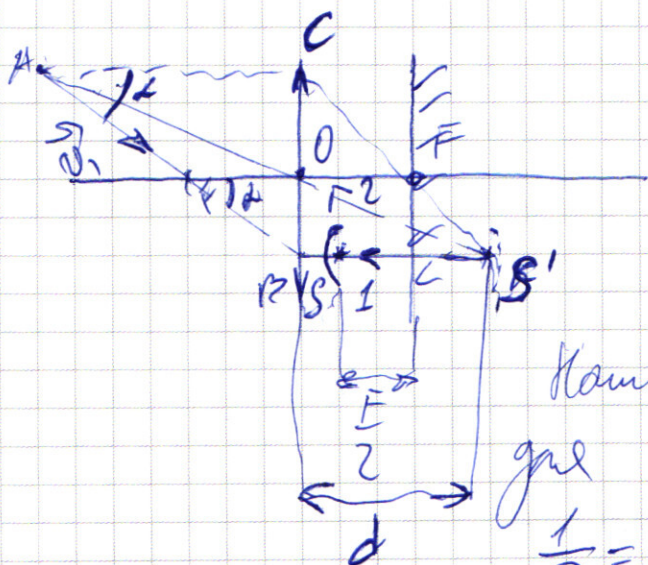
$$\rightarrow v_2 = \sqrt{\frac{9d^2}{4\tau^2} - \frac{2KQ\delta\pi}{S} + \frac{2KQ\delta}{\frac{S}{\pi} + d^2}}$$

Даны: 1) $v_1 = \frac{3d}{2\tau}$

3) $v_2 = \sqrt{\frac{9d^2}{4\tau^2} - \frac{2KQ\delta\pi}{S} + \frac{2KQ\delta}{\frac{S}{\pi} + d^2}}$

2) $Q = \frac{3d\epsilon_0 S}{2\delta\tau^2}$

N 5



1) Отраженное изображение источника находится на расстоянии $\frac{3F}{2}$ от линзы.

Найдем формулу тонкой линзы для отраженного источника

$$\frac{1}{F} = \frac{2}{3F} + \frac{1}{f}$$

$\frac{1}{f} = \frac{1}{3F} \rightarrow f = 3F \rightarrow$ Наблюдатель увидит изображение источника на расстоянии $3F$

2) Построим изображение источника. При перевернутом зеркале вправо по горизонтали, ~~изображение~~ ^{отраженный источник} будет двигаться со скоростью $2v$ ~~и~~ тем же направлением $\rightarrow$ меняться будет ход 2-го луча $\rightarrow$ изображение будет двигаться по прямой AB $\rightarrow \tan \alpha = \frac{OB}{OF} = \frac{(\frac{3F}{4} + F)}{F} = \frac{3}{4} \rightarrow \alpha = \arctg(\frac{3}{4})$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3) $\triangle ACO \sim \triangle OS'B$

$\frac{AC}{OS'} = \frac{f}{d}$. Отражение ~~из~~ источника в зеркале движет-

ся со скоростью $2v \rightarrow$ ~~проекция~~ Две проекции скорости изображения источника ^{на ось AC} складываются

соотношение: $\frac{v_1 \cos \alpha}{2v} = \frac{f}{d}$ v_1

$$v_1 = \frac{f}{d} \cdot \frac{2v}{\cos \alpha} = \frac{2 \cdot 2 \cdot v}{\frac{4}{5}} = 5v$$

Даны: 1) $f = 3F$

2) $\alpha = \arctg\left(\frac{3}{4}\right)$

3) $v_1 = 5v$

То-ток в начальном момент времени



Дано: $E = 9V$; $C = 40 \cdot 10^{-6}F$; $U_1 = 5V$; $L = 9mH$; $U_0 = 1V$.

~~Энергия~~ Энергия в началь-
ный момент времени:

$$W_1 = \frac{L I_0^2}{2} + \frac{C U_1^2}{2}$$

Энергия в момент, когда заряд конденсатора максимальен: $W_2 = \frac{C E^2}{2} \rightarrow$
 $\rightarrow$ По закону сохранения энергии: $W_1 = W_2$

$$\frac{L I_0^2}{2} + \frac{C U_1^2}{2} = \frac{\varepsilon^2 C}{2}; \quad \frac{L I_A^2}{2} = \frac{C \varepsilon^2}{2} \Rightarrow I_A = \varepsilon \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$I_0 = \sqrt{\frac{C(\varepsilon^2 - U_1^2)}{L}}; \quad I(t) = I_A \cos \omega t$$

$$I_0 = I(x) = I_A \cos \omega x$$

$$\sqrt{\frac{C(\varepsilon^2 - U_1^2)}{L}} = \varepsilon \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} x\right) \Rightarrow \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} x\right) = \frac{\sqrt{\varepsilon^2 - U_1^2}}{\varepsilon}$$

$$v_I(t) = I(t)' = I_A \omega \cos \omega t$$

$$v_I(x) = I_A \omega \cos(\omega x) = \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot \frac{1}{\sqrt{LC}} \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon^2 - U_1^2}}{\varepsilon} = \frac{\sqrt{\varepsilon^2 - U_1^2}}{L}$$

$$\text{Итого: } v_I = \frac{\sqrt{\varepsilon^2 - U_1^2}}{L}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\sqrt{T_3} = \frac{\sqrt{T_1} \pm 4\sqrt{T_1}}{5} = \sqrt{T_1}; \quad -\frac{3\sqrt{T_1}}{5}$$

$$\frac{1}{5}(\sqrt{T_3} - \sqrt{T_1}) = \frac{\sqrt{T_3} - \sqrt{T_1}}{5\sqrt{T_3} + 3\sqrt{T_1}} = \sqrt{T_3} - \frac{4}{V_2}\sqrt{T_3}$$

$$\frac{P_1}{P_2} \cdot \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_3}$$

$$\frac{V_1^2}{V_2^2} = \frac{T_1}{T_3} \rightarrow T_1 = \frac{V_1^2}{V_2^2} T_3$$

$$\frac{1 - \frac{V_1}{V_2}}{5 + 3\frac{V_1}{V_2}} =$$

$$\frac{V_2 - V_1}{5V_2 + 3V_1} = \frac{5V_2 + 3V_1 - 4V_2 - 4V_1}{5V_2 + 3V_1} = \frac{V_2 - V_1}{5V_2 + 3V_1}$$

$$Q = \frac{3d}{2T^2} = m \frac{3d}{2 \cdot T^2} = F_k = qE = q \frac{Q}{\epsilon_0} = q \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$Q = \frac{3d\epsilon_0}{2T^2} \quad 1 - \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$



$$F_k = qE = q \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$ma = F_k$$

$$v = aT = \frac{3d}{2T}$$

$$\frac{3d}{2T} = \frac{aT^2}{2}$$

$$\frac{3d}{2} = aT^2$$

$$\frac{3d}{2T^2} = a$$

Страница №____
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N1.

$\sin \beta = \frac{3}{5}$
 $\sin \alpha = \frac{8}{17}$

$v_1 \cos \alpha = v_2 \cos \beta$
 $\frac{68 \cdot 15}{17} = v_2 \cdot \frac{4}{5}$
 $60 = v_2 \cdot \frac{4}{5}$

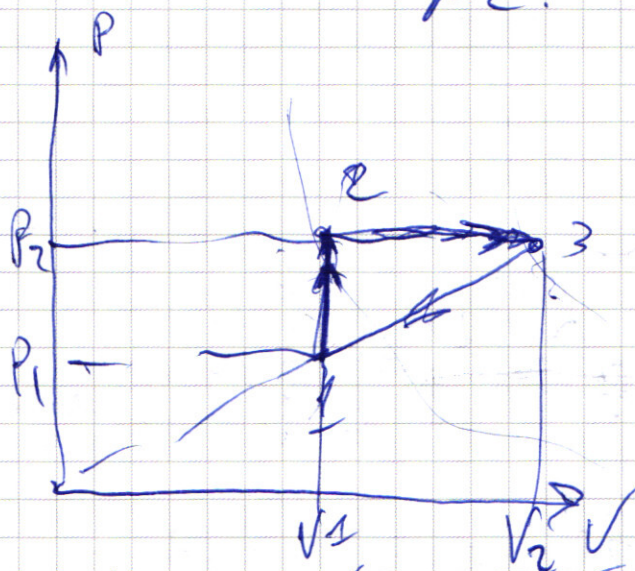
$175 = v_2$

$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta$
 $= \frac{15}{17} \cdot \frac{4}{5} - \frac{3}{8} \cdot \frac{8}{17} = \frac{60 - 24}{17 \cdot 5} = \frac{36}{85}$

$\cos 2\beta = 2\cos^2 \beta - 1 = 2 \cdot \frac{16}{25} - 1 = \frac{32}{25} - 1 = \frac{7}{25}$

$2 - 2\cos 2\beta = \frac{28}{9}$
 $2\cos 2\beta = -\frac{7}{9} \Rightarrow \cos 2\beta = -\frac{7}{18}$

№2.



$$\frac{PV}{T} = \text{const.} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\text{also: } P_1 V_1 = \nu R T_1 \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_2}{T_3}$$

$$\text{also } P_2 V_1 = \nu R T_2 \quad \boxed{T_2 - T_3 T_1}$$

$$P_2 V_2 = \nu R T_3 \quad Q = \nu c_{\mu} \Delta T \quad P_1 = k V_1$$

$$1) \quad Q_1 = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \nu c_{\mu} \Delta (T_2 - T_1) \quad P_2 = k V_2$$

$$c_{\mu 1} = \frac{3}{2} R \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$Q_2 = \nu R (T_3 - T_2) + \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \nu c_{\mu 2} (T_3 - T_2)$$

$$\text{also } Q_2 = T_1 + \frac{5}{2} \nu R \cdot \frac{3}{8} T_1 = 16 T_1$$

$$\frac{c_{\mu 2}}{c_{\mu 1}} = \frac{5}{2} = \frac{5}{3}$$

$$T_3 = \sqrt{T_1}$$

$$\frac{\frac{T_3}{2} - \sqrt{T_3 T_1} + \frac{T_1}{2}}{-\sqrt{T_3 T_1} - \frac{3}{2} T_1 + \frac{5}{2} T_3} =$$

$$2) \quad Q = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2)$$

$$A = \nu R (T_3 - T_2)$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{5}{2} = \frac{1}{2} (T_3 - T_1)^2$$

$$\frac{5}{2} T_3 - \sqrt{T_3 T_1} - \frac{3}{2} T_1$$

$$3) \quad \eta = \frac{A}{Q_1 + Q_2} = \frac{\nu R (T_3 - T_2) + \frac{1}{2} \nu R (T_1 - T_3)}{\frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2)}$$

$$= \frac{T_3 - T_2 + \frac{T_1 - T_3}{2}}{\frac{3}{2} T_2 - \frac{3}{2} T_1 + \frac{5}{2} T_3 - \frac{5}{2} T_2} = \frac{\frac{T_3 - T_2 + \frac{T_1}{2}}{2}}{-T_2 - \frac{3}{2} T_1 + \frac{5}{2} T_3}$$