0 450241 610009

45-02-41-61
(2.2)

13:50 вышел. Слуз.
13:54 пришел
+1 лист. Слуз.

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант №1; 10 класс

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников Ломоносов
наменование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

Белозерова Григория Олеговича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Дата
«09» февраля 2024 года

Подпись участника

45-02-41-61 (2.2)

Задача	1	2	3	4	5	Σ
Оценка	10	20	20	20	4	74
подпись	Юшков	Зыкова	Юшков	Зыкова	Курбатов	Селиверстов

Чистовик

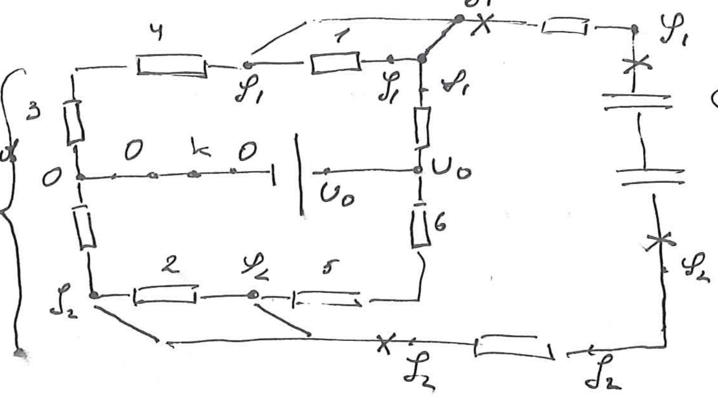
№ 1.4

Дано:
$C_1 = 4$ нФ
$C_2 = 6$ нФ
$U_0 = 5$ В

W_1 — ?

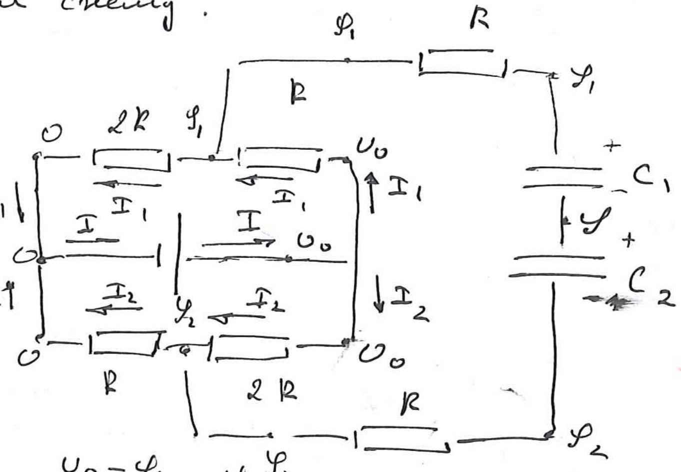
1) Рассмотрим цепь через длительное время после замыкания ключа K. Состояние цепи можно считать установившемся, поэтому ток через конденсаторы не течет. Используем метод потенциалов, т.е. расставим потенциалы на участках цепи. За нулевой потенциал примем минус источника тока. Пронумеруем некоторые резисторы.

метод потенциалов



2) Видим, что через резистор 1 ток не течет, так же как и через резистор 2, тогда эти резисторы можно из цепи убрать. Резистор 3 и 4, а также резистор 5 и 6 объединим в один с сопротивлением 2R. Перерисуем схему.

Рассмотрим токи в цепи, а также потенциалы



Пусть конденсаторы заряжены так, как показано на рисунке

- $I_1 = \frac{U_0 - \varphi_1}{R} = \frac{\varphi_1 - 0}{2R} \Rightarrow 2U_0 - 2\varphi_1 = \varphi_1 \Rightarrow 2U_0 = 3\varphi_1 \Rightarrow \varphi_1 = \frac{2}{3}U_0$
- $I_2 = \frac{U_0 - \varphi_2}{2R} = \frac{\varphi_2 - 0}{R} \Rightarrow U_0 - \varphi_2 = 2\varphi_2 \Rightarrow \varphi_2 = \frac{1}{3}U_0$

3) Т.к. конденсаторы сначала были не заряжены и они соединены последовательно, то в установившемся состоянии их заряды будут равны. $q_1 = q_2$ +

$q_1 = C_1(\varphi_1 - \varphi)$; $q_2 = C_2(\varphi - \varphi_2)$

$C_1\varphi_1 - C_1\varphi = C_2\varphi - C_2\varphi_2$

$C_2\varphi_2 + C_1\varphi_1 = (C_2 + C_1)\varphi \Rightarrow \varphi = \frac{C_2\varphi_2 + C_1\varphi_1}{C_2 + C_1}$

4) Энергия конденсатора C_1 в итоге

$$W_1 = \frac{C_1(\varphi_1-\varphi)^2}{2} = \frac{C_1}{2}\left(\varphi_1 - \frac{C_2\varphi_2 + C_1\varphi_1}{C_1+C_2}\right)^2 =$$

$$= \frac{C_1}{2}\left(\frac{\cancel{C_1\varphi_1}+C_2\varphi_1 - C_2\varphi_2 - \cancel{C_1\varphi_1}}{C_1+C_2}\right)^2 = \frac{C_1}{2}\cdot\left(\frac{C_2(\varphi_1-\varphi_2)}{C_1+C_2}\right)^2 =$$

$$= \frac{(\varphi_1-\varphi_2)^2}{2}\cdot\frac{C_1C_2^2}{(C_1+C_2)^2} = \frac{\left(\frac{2}{3}U_0 - \frac{1}{3}U_0\right)^2}{2}\cdot\frac{C_1C_2^2}{(C_1+C_2)^2} =$$

$$= \left(\frac{1}{3}U_0\right)^2 \cdot \frac{C_1C_2^2}{2(C_1+C_2)^2} = \frac{C_1C_2^2U_0^2}{18(C_1+C_2)^2}$$

$$\boxed{W_1 = \frac{C_1C_2^2U_0^2}{18(C_1+C_2)^2}} \quad +$$

$$W_1 = \frac{4\cdot 10^{-9}\,Ф \cdot 36\,(нФ)^2\cdot 25\,В^2}{18\,(4+6)^2\,нФ^2} = \frac{4\cdot\cancel{36}^{\,2}\cdot\cancel{25}^{\,5}}{\cancel{18}\cdot\cancel{10}_{\,5}}\,нДж =$$

$= 20$ нДж

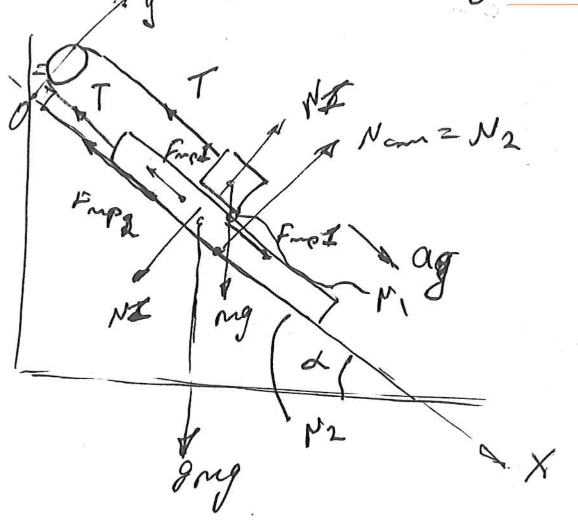
Ответ: $W_1 = 20$ нДж

N 1.1.

Дано:
$\alpha = 30^\circ$
$\mu_1 = 0{,}5$
$\mu_2 = 0{,}3$
$g = 10\ \frac{м}{с^2}$

$a = a_д$ — ?

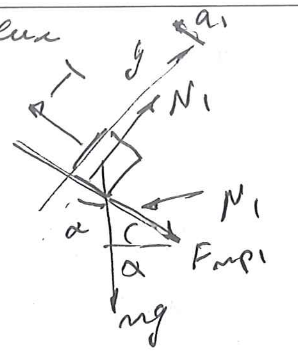
1) Нарисуем схему, отметим все силы, действующие на доску и брусок (брусок действует на доску с силами $F_{тр\,б}$ и $N_б$; сила натяжения нити равна T). Учтем, что $m = \frac{M}{9} \Rightarrow M = 9m$



Зададим систему координат XOy

2) Рассмотрим брусок. Направление силы ($F_{тр1}$) трения выбрано против направления скорости бруска относительно доски.

Чистовик

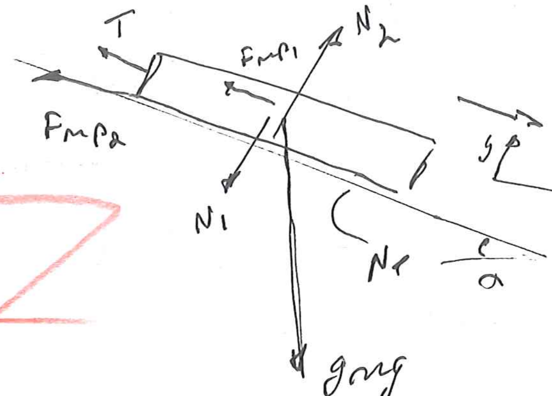


Второй закон Ньютона в проекции на ось оу: $N_1 + (-mg\cos\alpha) = 0 \Rightarrow N_1 = mg\cos\alpha$

т.к. брусок скользит, то $F_{тр1} = \mu_1 N_1 = \mu_1 mg\cos\alpha = const$

Второй закон Ньютона в проекции на ось ох: $ma_1 = T - F_{тр1} - mg\sin\alpha$

3) Рассмотрим доску:



Второй закон Ньютона в проекции на ось ох:

$9ma_д = 9mg(\sin\alpha) - T - F_{тр2} - F_{тр1}$

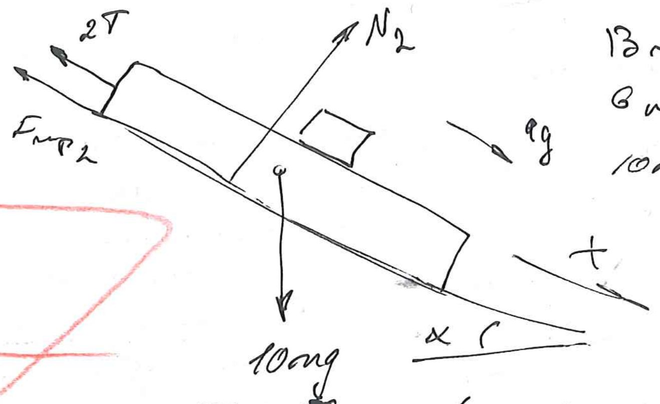
Второй закон Ньютона в проекции на ось оу:

$N_2 = N_1 + 9mg\cos\alpha = 10mg\cos\alpha$

Доска скользит $\Rightarrow F_{тр2} = \mu_2 10mg\cos\alpha$

$9ma_д = 9mg\sin\alpha - T - \mu_2 10mg\cos\alpha - \mu_1 mg\cos\alpha = 9mg\sin\alpha - (T + mg\cos\alpha(10\mu_2 + \mu_1))$ (1)

4) Рассмотрим доску и брусок в системе. Внутренние силы компенсируют друг друга, их на рисунке не указывали. Вся система движется с ускорением $a_д$



Второй закон Ньютона в проекции на ох:

$10ma_д = 10mg\sin\alpha - 2T - F_{тр2}$

$2T = 10mg\sin\alpha - 10ma_д - F_{тр2}$

$T = 5m(g\sin\alpha - a_д) - \frac{F_{тр2}}{2} = 5m(g\sin\alpha - a_д) - \frac{\mu_2 10mg\cos\alpha}{2} = 5m(g\sin\alpha - a_д - g\mu_2\cos\alpha)$ (2)

5) Подставим (2) в (1)

$9ma_д = 9mg\sin\alpha - (5mg\sin\alpha - 5ma_д - 5mg\mu_2\cos\alpha + mg\cos\alpha\, 10\mu_2 + \mu_1 mg\cos\alpha)$

Чистовик

$9ma_g = 9mg\sin\alpha - 5mg\sin\alpha + 5ma_g + 5mg\mu_2\cos\alpha -$

$- 10mg\mu_2\cos\alpha - \mu_1 mg\cos\alpha$

$4ma_g = 4mg\sin\alpha - 5mg\mu_2\cos\alpha - \mu_1 mg\cos\alpha$

$a_g = g\sin\alpha - \frac{5}{4}g\mu_2\cos\alpha - \frac{1}{4}\mu_1 g\cos\alpha$

$a_g = g\left(\sin\alpha - \frac{5}{4}\mu_2\cos\alpha - \frac{1}{4}\mu_1\cos\alpha\right)$

$a = \boxed{a_g = g\left(\sin\alpha - \frac{1}{4}\cos\alpha\,(5\mu_2 + \mu_1)\right)}$

$a_g = 10\frac{м}{с^2}\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{4}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}(1,5 + 0,5)\right) =$

$= 5\frac{м}{с^2}\left(1 - \frac{1,73}{4}\cdot 2\right) =$

$= 5\frac{м}{с^2}\left(1 - \frac{1,73}{2}\right) = 5\frac{м}{с^2}\left(1 - \frac{\sqrt{3}}{2}\right) =$

$= 5\frac{м}{с^2}(1 - 0,86) = 5\frac{м}{с^2}\cdot 0,14 = \frac{70}{100}\frac{м}{с^2} = 0,7\frac{м}{с^2}$

$a = a_g = 0,7\frac{м}{с^2}$

Ответ. $a = a_g = 0,7\frac{м}{с^2}$

№ 1.3

$\nu = 1$ моль

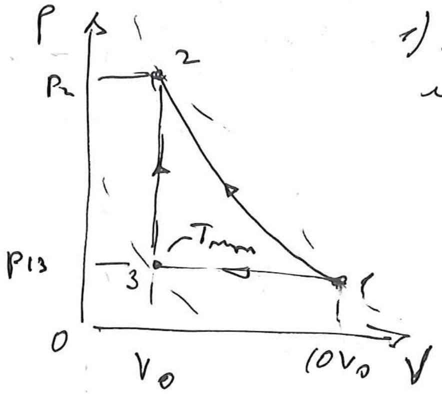
$T_{min} = 200K$

$A = 40$ кДж

$i = 3$

$Q - ?$

1) ~~т.к. теплота в действительности подводится, то происходит изобарное расширение.~~



1) Знаем, что газ можно перевести из начального состояния в конечное путём ~~изобар~~ адиабатического сжатия. Укажем начальную точку 1 на рисунке.

Тогда первый процесс из двух данных – это изобарное сжатие. Укажем точку 3. Методом изотерм понимаем, что $T_3 = T_{min}$

2) Первое начало термодинамики для процесса 1-2:

$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12}$

45-02-41-61 (2.2)

Чистовик

$Q_{12} = 0$, $A_{12} = -A \Rightarrow 0 = -A + \Delta U_{12} \Rightarrow \Delta U_{12} = A$

$\Delta U_{12} = \frac{i}{2} \nu k (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \nu k (T_2 - T_1)$

$A = \frac{3}{2} \nu k (T_2 - T_1) \Rightarrow T_2 - T_1 = \frac{2A}{3\nu k}$

3) Первое начало термодинамики для процесса 1-3: $Q_{13} = A_{13} + \Delta U_{13}$

$A_{13} = -p_{13}(10V_0 - V_0) = -p_{13} 9V_0$

$p_{13} V_0 = \nu k T_3 = \nu k T_{min}$ – уравнение Клапейрона – Менделеева

$A_{13} = -9\nu k T_{min}$

$\Delta U_{13} = \frac{3}{2} \nu k (T_3 - T_1) = \frac{3}{2} \nu k (T_{min} - T_1)$

$Q_{13} = \frac{3}{2} \nu k (T_{min} - T_1) - 9\nu k T_{min}$ (1)

4) Первое начало термодинамики для процесса 3-2:

$Q_{32} = A_{32} + \Delta U_{32}$

$A_{32} = 0 \Rightarrow Q_{32} = \Delta U_{32} = \frac{3}{2} \nu k (T_2 - T_3) =$
$= \frac{3}{2} \nu k (T_2 - T_{min})$ (2)

$Q_{32} = \frac{3}{2} \nu k (T_2 - T_{min})$

5) $Q = Q_{13} + Q_{32}$:

(1) + (2)

$Q_{13} + Q_{32} = \cancel{\frac{3}{2} \nu k T_{min}} - \frac{3}{2} \nu k T_1 - 9\nu k T_{min} +$
$+ \frac{3}{2} \nu k T_2 - \cancel{\frac{3}{2} \nu k T_{min}}$

$Q = -9\nu k T_{min} + \frac{3}{2} \nu k (T_2 - T_1) = -9\nu k T_{min} +$
$+ \frac{3}{2} \nu k \frac{2A}{3\nu k} = -9\nu k T_{min} + A$

$\boxed{Q = A - 9\nu k T_{min}}$, $R = 8,3 \frac{Дж}{моль\,К}$

$9\nu k T_{min} = 9 \cdot 1\,моль \cdot 8,3 \frac{Дж}{моль\,К} \cdot 200\,К = 20 \cdot 9 \cdot 83\,Дж$

$\begin{array}{r} \times 83 \\ 9 \\ \hline 747 \end{array}$ $\Rightarrow 9\nu k T_{min} = 7470 \cdot 2\,Дж = 14940\,Дж = 14,94\,кДж$

$Q = 40\,кДж - 14,94\,кДж = 25,16\,кДж \approx 25,2\,кДж$, теплота в действительности подводится

Ответ. $Q = 25,2\,кДж$

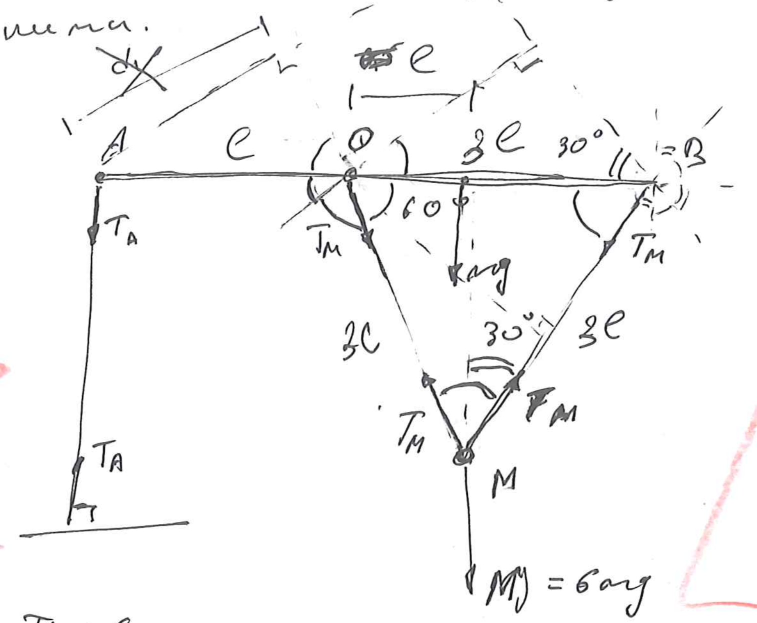
Чистовик

N1.2

Дано
m
$M=6m$

$\frac{(T_A)_{max}}{T_A}$

1) Рассмотрим систему до пережигания нити.



2) Правило моментов, точка O — полюс:

Сила тяжести стержня приложена к его центру масс, который находится на расстоянии 2l от его конца, в его геометрическом центре.

$M_{\circlearrowright} = M_{\circlearrowleft}$

$M_{\circlearrowright} = T_M \cdot d_M + mg \cdot l$

$d_M = 3l\cos 30° = l\frac{3\sqrt{3}}{2}$

$M_{\circlearrowright} = \frac{3\sqrt{3}}{2}T_M l + mg l$

$M_{\circlearrowleft} = T_A l$

$T_A l = \frac{3\sqrt{3}}{2}T_M l + mgl \Rightarrow T_A = \frac{3\sqrt{3}}{2}T_M + mg$

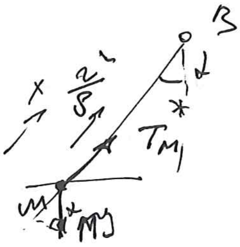
3) Условие равновесия для „M":

$Mg = 2T_M \cdot \cos 30° = 2T_M \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = T_M\sqrt{3} \Rightarrow$

$\Rightarrow T_M = \frac{Mg}{\sqrt{3}} = \frac{6mg}{\sqrt{3}}$

$T_A = \frac{3\sqrt{3}}{\cancel{2}} \cdot \frac{\cancel{6}^{3}mg}{\sqrt{3}} + mg = mg\left(\frac{\sqrt{3}\,9}{\sqrt{3}} + 1\right) = 10mg$ (+)

4) Рассмотрим колебания „M"



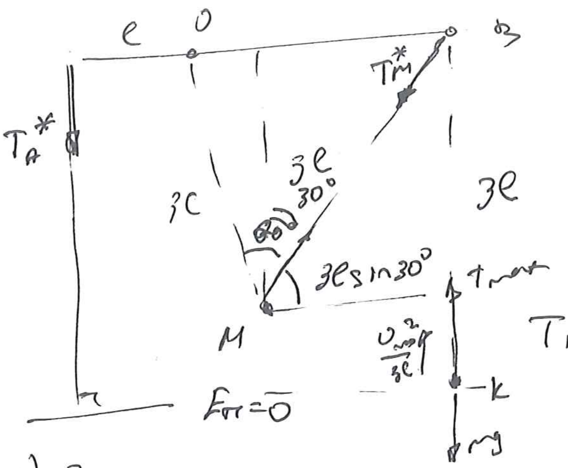
$T_M^* + Mg_x = a_n = \frac{v^2}{\rho} = \frac{v^2}{3l}$

$T_M^* - Mg\sin\alpha = \frac{v^2}{3l}$

$T_M^* = Mg\sin\alpha + \frac{v^2}{3l}$

Чистовик

5) Рассмотрим систему:



Видим, что $T_A^* = (T_A)_{max}$, когда $T_M^* d_M^* = max = T_{M max}\cdot 3l$

Правило моментов

$T_A^* l = T_M^* \cdot d_M^* + mgl$

$T_M^* = max$, когда $v = max$, это соответствует точке K

6) Закон сохранения механической энергии для шарика: $Mgh = \frac{Mv_{max}^2}{2}$

$h = 3l - 3l\cos 30° = 3l\left(1-\frac{\sqrt3}{2}\right)$

$6mg\,3l\left(1-\frac{\sqrt3}{2}\right) = \frac{6m v_{max}^2}{2}$

$v_{max}^2 = g6l\left(1-\frac{\sqrt3}{2}\right)$

$T_{M max} = Mg + M\frac{v_{max}^2}{3l} = 6mg + \frac{6gl\left(1-\frac{\sqrt3}{2}\right)}{3l}\cdot 6m =$

$= 6mg\left(1+\frac{6l}{3l}\left(1-\frac{\sqrt3}{2}\right)\right) = 6mg(1+2-\sqrt3) = 6mg(3-\sqrt3)$

7) $T_{M max}\cdot 3l + mgl = (T_A^*)_{max}\cdot l$

$6mg(3-\sqrt3)\cdot 3l + mgl = (T_A^*)_{max}\, l$

$mg(18(3-\sqrt3)+1) = (T_A^*)_{max}$

8) $\frac{(T_A^*)_{max}}{T_A} = \frac{mg(18(3-\sqrt3)+1)}{10mg\left(\frac{9}{\sqrt3}+1\right)} = \frac{54-18\sqrt3+1}{\frac{9+\sqrt3}{\sqrt3}10} =$ +

$= \frac{(55-18\sqrt3)\sqrt3}{(9+\sqrt3)10} = \cancel{\frac{55\sqrt3-18\cdot3}{(9+\sqrt3)10}} = \cancel{\frac{55\sqrt3-54}{9+\sqrt3}} = \frac{55-18\sqrt3}{10} \approx \frac{55-18\cdot1{,}73}{10} = \frac{55-30{,}6}{10} = \frac{24{,}4}{10} = 2{,}44$

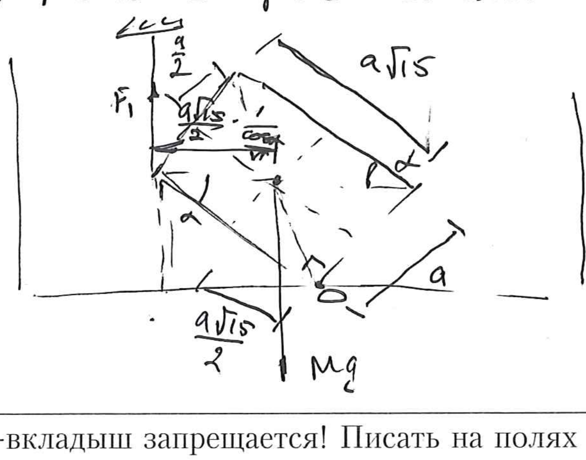
$18 \times 1{,}7 = 12{,}6$; $30{,}6$

Ответ. $\cancel{\frac{55\sqrt3-54}{9+\sqrt3}}$ $\frac{55-18\sqrt3}{10} \approx 2{,}44$

№1.8

$\frac{F_2}{F_1}$ — ?

1) Рассмотрим систему в сухой кювете:

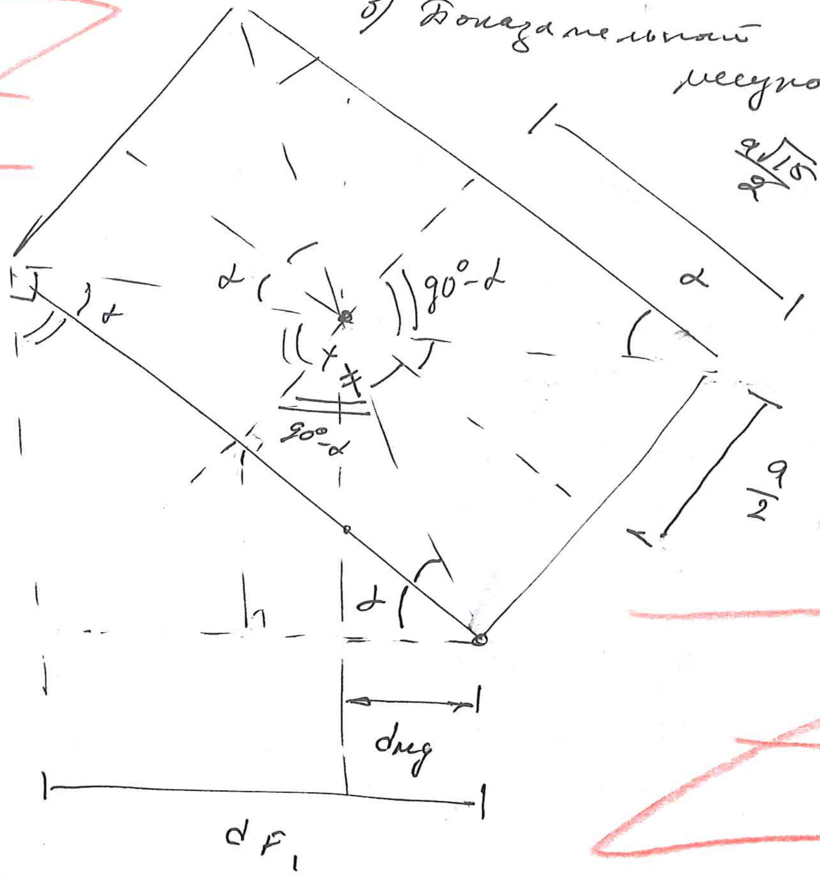


центр тяжести детали находится в ее геометрическом центре, в точке пересечения диагоналей

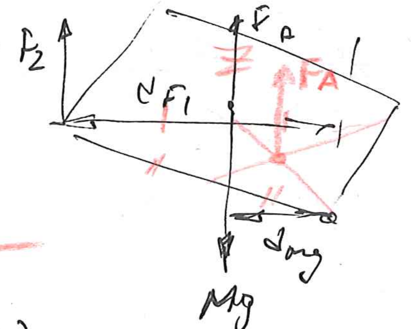
2) Правило статики моментов (система в равновесии), относительно полюса O:

$$d'_{F_1}\quad F_1 \cdot \cancel{\frac{a\sqrt{15}}{2\cos\alpha}} = Mg\, d_{Mg} \quad (1)$$

3) Показательный рисунок:



3) Рассмотрим систему в жидкости.
Суммарный момент сил вращающих против часовой стрелки уменьшился за счет момента силы Архимеда, приложенной ~~исходящей~~ к центру детали. К Ц.М. ПОГРУЖЕННОЙ ЧАСТИ



Правило моментов

$$F_2\, d_{F_1} = (Mg - F_A)\, d_{Mg} \quad (2)$$

4) $\frac{(2)}{(1)}$: $\frac{F_2\, d_{F_1}}{F_1\, d_{F_1}} = \frac{(Mg - F_A)\, d_{Mg}}{Mg\, d_{Mg}}$

$$\frac{F_2}{F_1} = 1 - \frac{F_A}{Mg}$$

5) $F_A = \rho_M V_\Pi g$, $V_\Pi = \frac{V}{2}$, V - объем детали
(частично)

$V = a^3\sqrt{15}$, $\rho_M = \frac{\rho_A}{3}$

$F_A = \frac{\rho_A}{3} \cdot \frac{V}{2} g = \frac{\rho_A V g}{6}$

$mg = \rho_A V g \Rightarrow \frac{F_A}{mg} = \frac{1}{6}$

$\frac{F_2}{F_1} = 1 - \frac{1}{6} = \frac{5}{6}$

Ответ. $\frac{5}{6}$

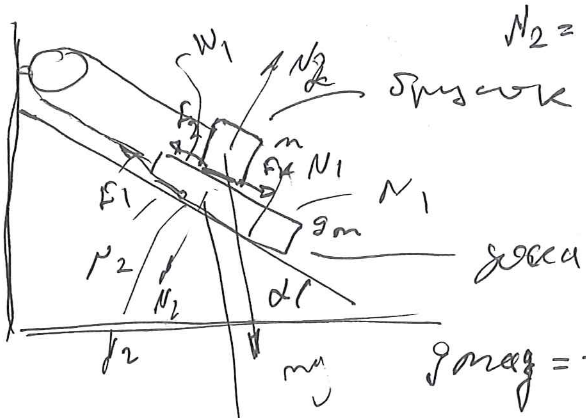
Черновик

(1.1) $\alpha, \mu_1, \mu_2 \quad m = \frac{M}{9} \Rightarrow M = 9m$

$N_2 = mg\cos\alpha$

$ma_1 = T - F_2$

$F_2 = \mu_1 mg\cos\alpha$



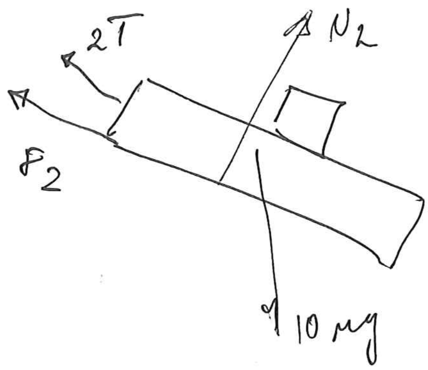
$9ma_2 = -(F_1 + F_2) + 9mg\sin\alpha$

$N_1 = 9mg\cos\alpha + N_2 = 10mg\cos\alpha \Rightarrow F_1 = \mu_2 10mg\cos\alpha$

$9ma = 9mg\sin\alpha - (\mu_2 10mg\cos\alpha + \mu_1 \cdot mg\cos\alpha) \Rightarrow a = g\sin\alpha - \frac{mg\cos\alpha(10\mu_2 + \mu_1)}{9m} =$

$= g\sin\alpha - g\cos\alpha(10\mu_2 + \mu_1) =$

$= g(\sin\alpha - \cos\alpha(10\mu_2 + \mu_1))$



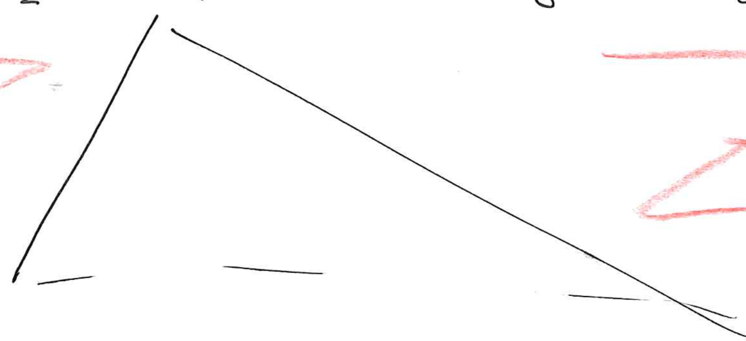
$\cancel{10mg\sin\alpha} - \mu_2 10mg\cos\alpha - 2T = 10ma_2$

$a_1 + ma_1 = T - mg\sin\alpha - F_1$

$9ma_2 = -T - F_1 + F_2 + 9mg\sin\alpha$

$9ma_2 + ma_1 = 8mg\sin\alpha - F_1 - F_2$

$-2T - F_2 + 10mg\sin\alpha = 9ma_2 + ma_1$



45-02-41-61
(2.2)

Черновик

$3l\left(1-\frac{\sqrt{3}}{2}\right)=\frac{v_{max}^2}{2}$

$g3l\left(2-\sqrt{3}\right)=v_{max}^2$

$T_{n\,max}=6mg+6mg(2-\sqrt{3})=6mg(3-\sqrt{3})$

$6mg(3-\sqrt{3})\,3\cancel{l}+mg\cancel{l}=N\cancel{l}$

$N=mg\left((18-6\sqrt{3})3+1\right)=$

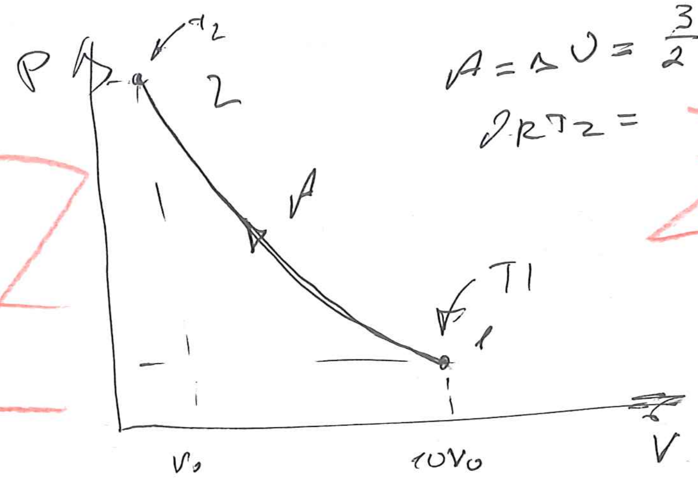
Черновик

$9mg\sin\alpha - F_1 - F_2 - T = 9ma_2$

$mg\sin\alpha + F_1 - T = -ma_1$

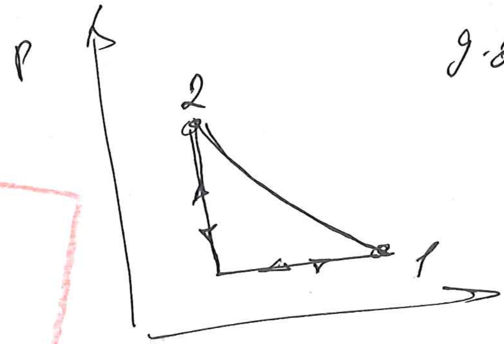
1,73 | 2
16 — 0,86
13

14 × 5 = 70 = 20,7



$A = \Delta U = \frac{3}{2}(\nu RT_2 - \nu RT_1)$

$\nu RT_2 =$

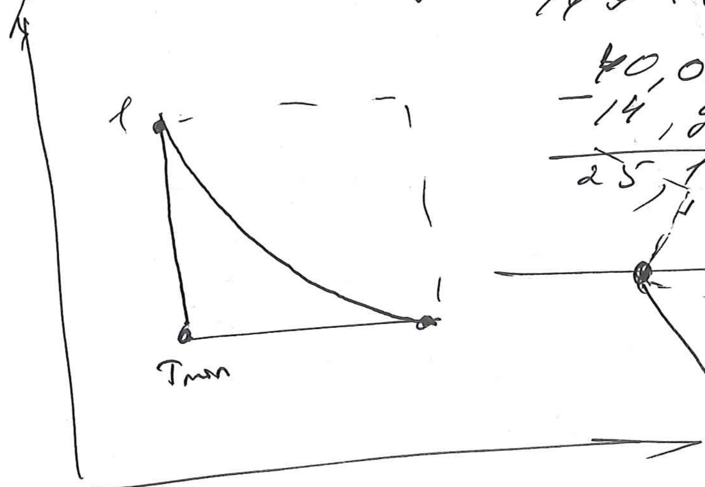


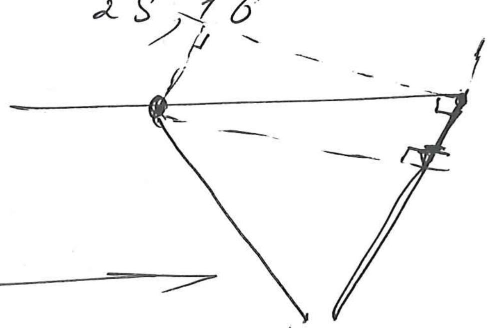
$9 \cdot 8{,}3 \cdot 200 = 1800 \cdot 8{,}3 =$

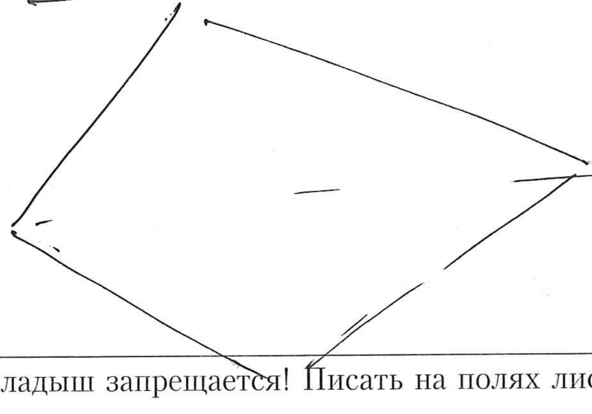
$= 180 \cdot 83$

83 × 18 = 664 + 83 = 1494 0

40,00 − 14,94 = 25,16





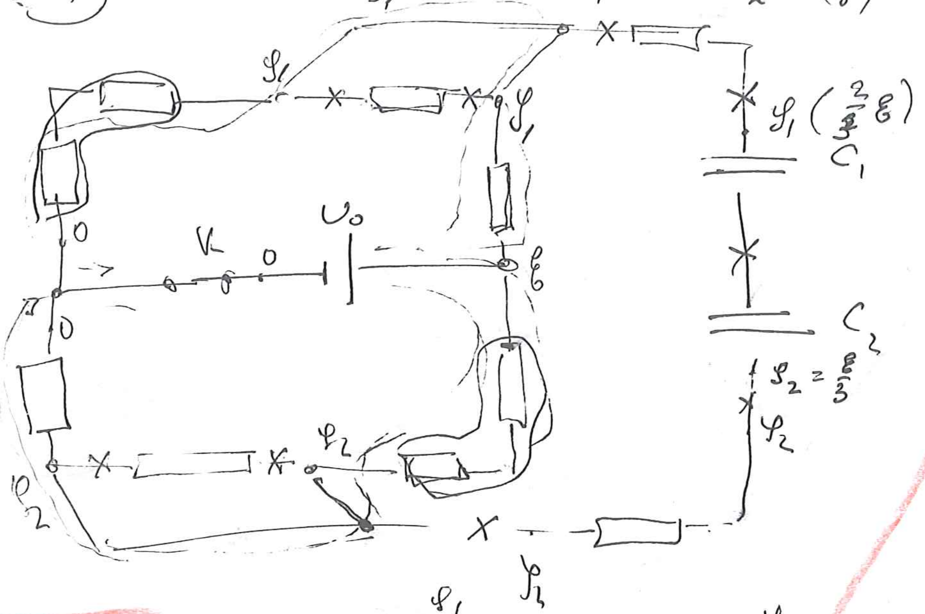


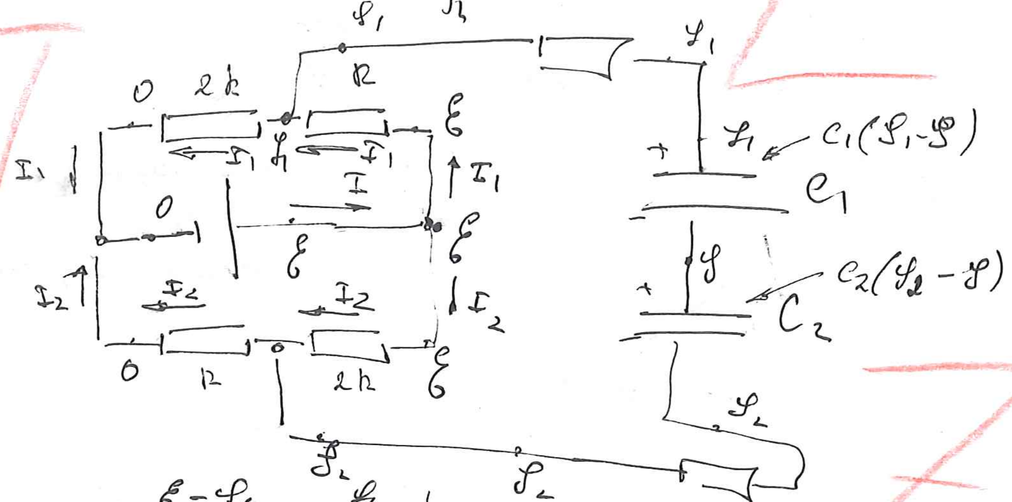
Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

Черновик:

1.4

$$W_0 = \frac{C_1+C_2}{2}(\varphi_1-\varphi_2)^2 = \frac{C_1+C_2}{2}\left(\frac{\mathcal{E}}{3}\right) = \frac{C_1+C_2}{18}\mathcal{E}^2$$





$$I_1 = \frac{\mathcal{E}-\varphi_1}{R} = \frac{\varphi_1}{2R} \quad \Big| \cdot 2R$$

$$2\mathcal{E} - 2\varphi_1 = \varphi_1 \Rightarrow 2\mathcal{E} = 3\varphi_1 \Rightarrow \varphi_1 = \frac{2}{3}\mathcal{E}$$

$$I_2 = \frac{\mathcal{E}-\varphi_2}{2R} = \frac{\varphi_2}{R} \Rightarrow \mathcal{E} - \varphi_2 = 2\varphi_2 \Rightarrow \mathcal{E} = 3\varphi_2 \Rightarrow \varphi_2 = \frac{\mathcal{E}}{3}$$

$$C_1\varphi_1 - C_1\varphi = -C_2\varphi_2 + C_2\varphi$$

$$C_1\varphi_1 + C_2\varphi_2 = (C_1 + C_2)\varphi$$

$$\varphi = \frac{C_1\varphi_1 + C_2\varphi_2}{C_1+C_2} = \frac{C_1\frac{2}{3}\mathcal{E} - C_2\frac{\mathcal{E}}{3}}{C_1 - C_2} = \frac{2C_1 - C_2}{3(C_1-C_2)}\cdot\mathcal{E}$$

$$W_1 = \frac{C_1(\varphi_1-\varphi)^2}{2} = \frac{C_1}{2}\left(\frac{2}{3}\mathcal{E} - \frac{2C_1-C_2}{3(C_1-C_2)}\mathcal{E}\right)^2 =$$

$$= \frac{C_1}{2}\cdot \mathcal{E}^2\left(\frac{2}{3} - \frac{2C_1-C_2}{3C_1-3C_2}\right)^2 =$$

$$= \frac{C_1\mathcal{E}^2}{2}\left(\frac{6C_1-6C_2-2C_1+C_2}{9(C_1-C_2)}\right)^2 = \frac{C_1\mathcal{E}^2}{2}\left(\frac{4C_1+5C_2}{9(C_1+C_2)}\right)^2$$