



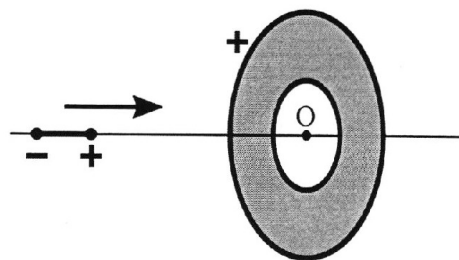
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-03

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

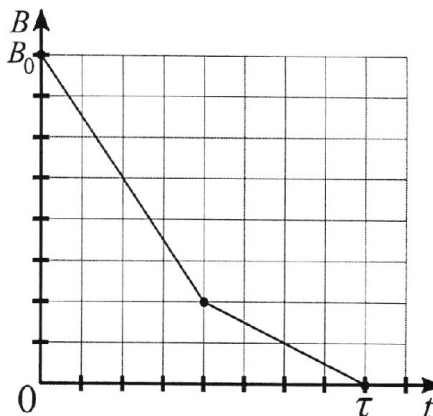
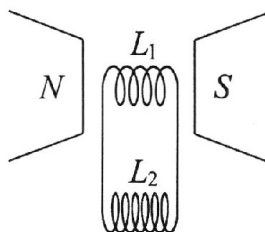


3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется с некоторой начальной скоростью из бесконечно удаленной точки вдоль оси симметрии диска и пролетает через отверстие. Заряды диполя находятся на маленьких шариках, на диполь действуют только силы электрического поля диска, диск закреплен, при пролете диполь не отклоняется от оси диска. Минимальная начальная скорость диполя, необходимая для пролета, равна V_0 . Диполь сообщают начальную скорость $\frac{3}{2}V_0$.



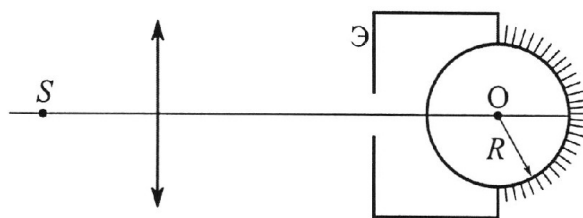
- 1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.
- 2) Найти отношение максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

4. Катушка индуктивностью $L_1 = L$ с числом витков n и площадью каждого витка S_1 находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией B_0 . Силовые линии поля перпендикулярны плоскости каждого витка. Вторая катушка индуктивностью $L_2 = 3L$ находится вне поля (см. рис.). Сопротивление катушек и соединительных проводов пренебрежимо мало. Изначально тока в катушках нет. Внешнее поле выключают в течение времени τ . Зависимость индукции внешнего поля от времени показана на рисунке. Взаимной индуктивностью катушек пренебречь.



- 1) Найти ток I_0 через катушку L_1 в конце выключения внешнего поля.
- 2) Найти заряд, протекший через катушку L_1 за время выключения внешнего поля.

5. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием F расположены центр O прозрачного шара и точечный источник S , удаленный от линзы на расстояние $a = 1,1F$ (см. рис.). На поверхность шара, противоположную поверхности входа лучей, нанесено идеально отражающее зеркальное покрытие. С шаром жестко скреплен непрозрачный экран $\mathcal{E}$ с небольшим круглым отверстием. Если шар расположен так, что расстояние от центра линзы до ближайшей к нему точки шара равно $b = 10,5F$, то изображение источника в системе «линза-шар» совпадает с самим источником при любом показателе преломления вещества шара.



- 1) Найти радиус R шара.

После того, как центр шара переместили вдоль оптической оси так, что расстояние от него до центра линзы увеличилось на $\Delta = 5,5F$, изображение источника снова совпало с самим источником.

- 2) Найти показатель преломления вещества шара.

Отражение света от наружной поверхности шара пренебрежимо мало. Экран $\mathcal{E}$ обеспечивает малость углов α лучей (падающих на шар) с оптической осью и справедливость приближения $\sin \alpha \approx \alpha$.



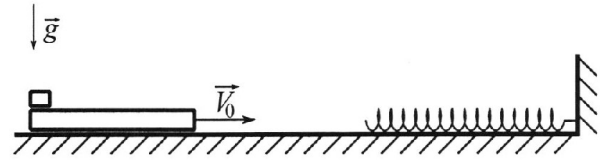
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-03

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



1. Длинная доска массой $M = 2$ кг, на одном конце которой лежит небольшой брусок массой $m = 1$ кг, движется по горизонтальной гладкой поверхности со скоростью $V_0 = 1$ м/с. В некоторый момент доска начинает сжимать лежащую на поверхности легкую достаточно длинную пружину с коэффициентом жёсткости $k = 36$ Н/м, которая одним концом упирается в стенку (см. рис.). Коэффициент трения скольжения бруска по доске $\mu = 0,3$. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Число «пи» в расчётах можете считать равным $\pi \approx 3$. Груз и доска всё время движутся в одной вертикальной плоскости.

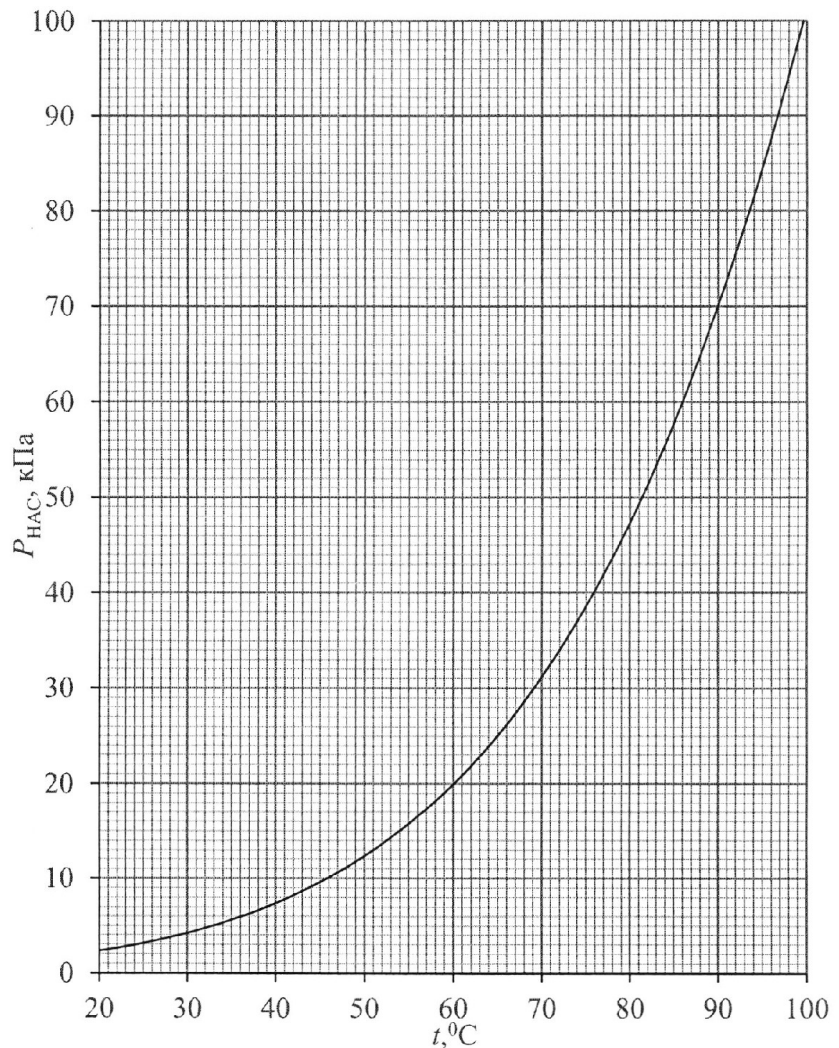


- 1) Найдите сжатие пружины в тот момент, когда начнётся относительное движение бруска и доски.
- 2) Найдите промежуток времени с момента начала сжатия пружины до момента начала относительного движения бруска и доски.
- 3) Найдите ускорение доски в момент максимального сжатия пружины.

2. В вертикальном цилиндре с гладкими стенками под массивным поршнем находится влажный воздух при давлении $p_0 = 105$ кПа, температуре $t_0 = 97$ °С и относительной влажности $\varphi_0 = 1/3$ (33,3%). Содержимое цилиндра постепенно остывает до температуры $t = 33$ °С. Известен график зависимости давления насыщенного пара воды от температуры.

- 1) Найти парциальное давление пара P_1 при 97 °С.
- 2) Найти температуру t^* , при которой начнётся конденсация пара.
- 3) Найти отношение объёмов содержимого цилиндра V/V_0 в конце и в начале остывания.

Объёмом жидкости по сравнению с объёмом газа можно пренебречь. Пар считать идеальным газом.





На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

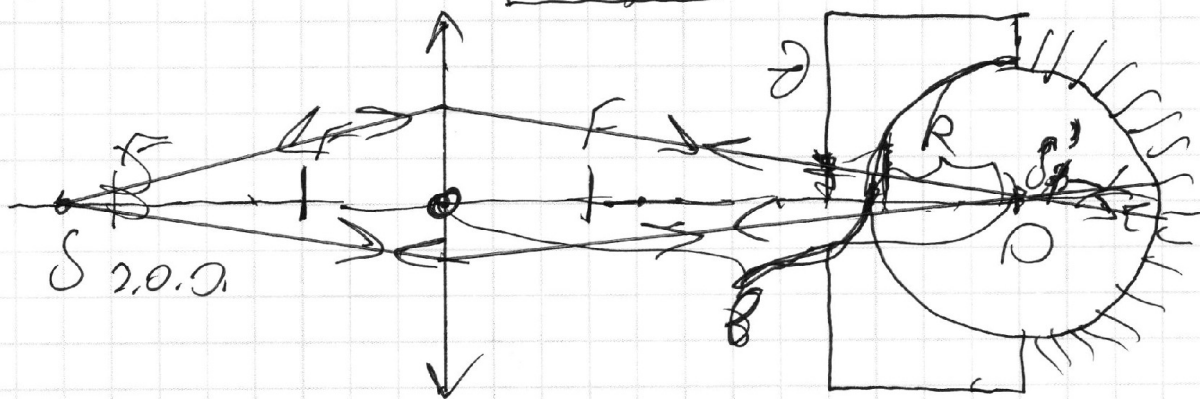
1 2 3 4 5 6 7
☐ ☐ ☐ ☐ ☒ ☐ ☐

СТРАНИЦА
1 из 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

(5) Дано: $f_1 = \left(\frac{1}{F} - \frac{1}{a}\right)^{-1} = \left(\frac{10}{10F} - \frac{1}{1F}\right)^{-1} = 1,1F$
 $F; a = 1,1F$
 $b = 10,5F$
 $\Delta b = 5,5F$
1) $R = ?$
2) $n = ?$

2) Чтобы n не вышло нелепо, чтобы $b + R = f_1$, тогда $R = 0,5F$



Все лучи от S , прошедшие через линзу, пройдут через выш.
пов-ть шара перпендикулярно ей, не преломляясь, пройдут через его центр, отразятся от зеркала, перп-но его пов-ти, а значит ^{с обратностью хода луча} вновь пройдут через источник S .

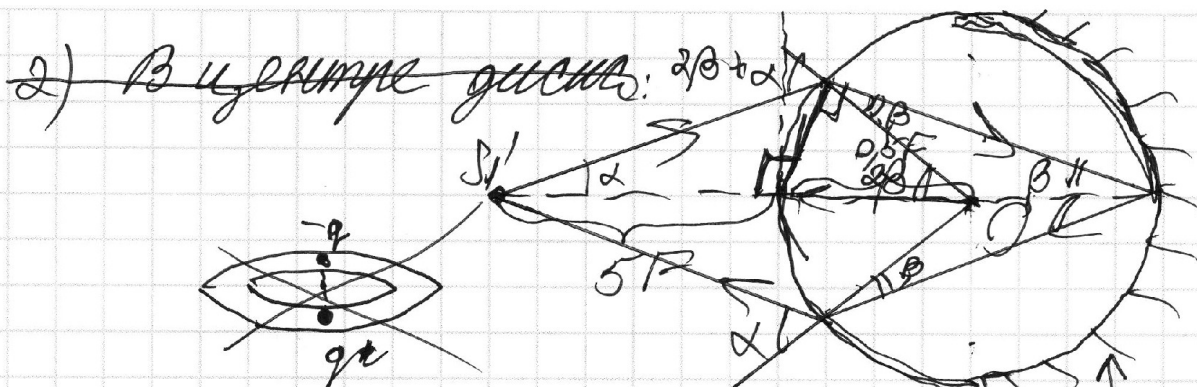


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

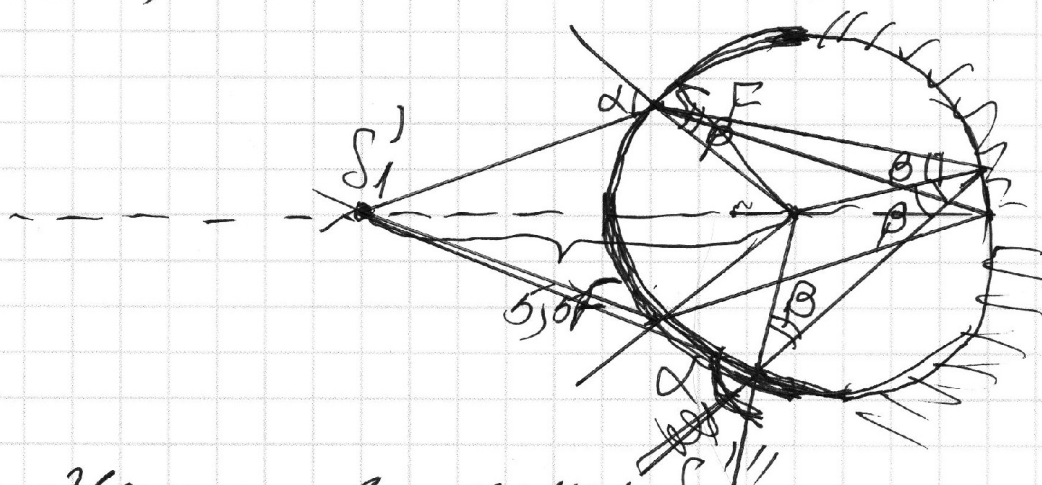
1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
2 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



(5) 3) $b_1 = b + \alpha b = \gamma b F \Rightarrow b_1 + \alpha = \gamma b F$



Из „изображений S_1 “ лучи пройдут через шарик зеркала, затем вернутся в S_1 , тогда из S_1 они вновь вернутся в S_1 .

$$\sin \alpha \approx \alpha; \sin \beta \approx \beta = \alpha \approx \beta$$

$$F \approx \beta \approx \alpha; \quad \gamma \approx \beta; \quad \gamma \approx \alpha.$$

$$\gamma \approx \beta; \quad 2\beta + \alpha = \gamma \beta.$$

$$\gamma \approx \beta; \quad 2\beta + \alpha = \gamma \beta$$

Ответ: $2, 2$

$$1 \alpha = n \cdot \beta \quad [n = 2, 2]$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 2 3 4 5 6 7

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

1) Дано:

$$M = 2 \text{ кг}$$

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$v_0 = 1 \text{ м/с}$$

$$k = 36 \text{ Н/м}$$

$$\mu = 0,3$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$\pi \approx 3$$

1) $\Delta l_1 - ?$

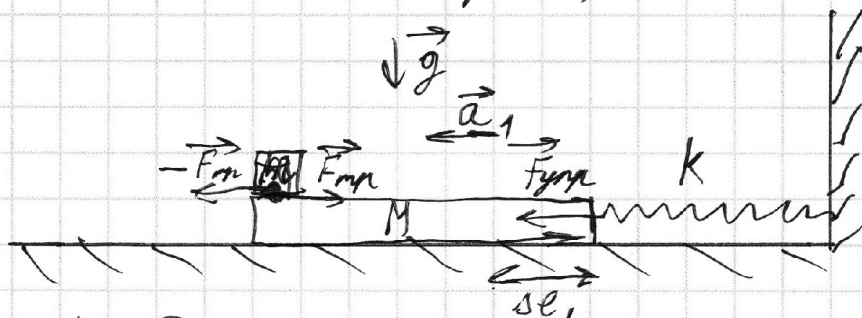
2) $x_1 - ?$

3) $a_2 - ?$

(1 - ~~найти скорость~~)

(2 - ~~найти расстояние~~)

Решение: (пока нет ^{возмущения} скольжения,
 $A_{\text{тр}} = 0; \Delta E = 0$)



1) До начала ~~скольжения~~ ^{возмущения} движения по доске: ~~($\Delta l_1 = 0$)~~

$$-F_{\text{тр}} = m\vec{a} \Rightarrow F_{\text{тр}} = ma$$

$$-M\vec{a} = \vec{F}_{\text{тр}} - \vec{F}_{\text{упр}} \Rightarrow F_{\text{упр}} = F_{\text{тр}} + Ma$$

$$\text{Отсюда } F_{\text{упр}} = (M+m)a$$

$$2) F_{\text{упр}} = k\Delta l_1$$

3) Скольжение начнется

в момент, когда $F_{\text{тр}} = \mu mg$ ($ma_1 = \mu mg$),

$$\text{т.е. } a_1 = \mu g = 3 \text{ м/с}^2$$

$$4) \text{ Но } k\Delta l_1 = (M+m)a_1 \Rightarrow \Delta l_1 = x_1 = \frac{(M+m)\mu g}{k}$$

5) В данной задаче до ~~момента~~ ^{до} начала ~~скольжения~~ ^{двигаясь} ~~двигаясь~~ ^{доски} ~~доска~~ ^{и доска} ~~отсчитывается~~ ^{отсчитывается} ~~ур-ием гарм. колеб.~~ ^{ур-ием гарм. колеб.}



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 2 3 4 5 6 7
☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

СТРАНИЦА
 _ ИЗ _

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$$\Delta l = x = A \cos(\omega t + \varphi_0); \varphi_0 = -\frac{\pi}{2}; \omega = \sqrt{\frac{k}{m+M}}$$

($x_0 = 0$, т.к. в мом-т столкновения доски с пружиной она ещё не деформируется)

6) $\frac{kA^2}{2} = \frac{mU_0^2}{2} + \frac{MU_0^2}{2}$ (предположим, что грузы m и M сразу начнут двигаться) ($\varphi = \frac{\pi}{2}$)

$A = U_0 \sqrt{\frac{m+M}{k}}$ - амплитуда полн. колеб. ^{гарм.} массы $M+m$ на пружине с жесткостью k .

7) $\Delta l_y = \frac{(M+m)g}{k}$; $\Delta l_1 = U_0 \cdot \sqrt{\frac{m+M}{k}} \cdot \cos(\tau_1 \sqrt{\frac{k}{m+M}} - \frac{\pi}{2})$
 $(\Delta l_1 = \frac{3 \text{ кг} \cdot 0,8 \cdot 10 \text{ м/с}^2}{36 \text{ Н/м}} = 0,25 \text{ м})$

$$0,25 \text{ м} = U_0 \cdot \sqrt{\frac{m+M}{k}} \cdot \cos(\tau_1 \sqrt{\frac{k}{m+M}} - \frac{\pi}{2})$$

$(\cos(\varphi - \frac{\pi}{2}) = \sin \varphi)$

$$\Delta l_1 = U_0 \cdot \sqrt{\frac{m+M}{k}} \cdot \sin(\tau_1 \sqrt{\frac{k}{m+M}})$$

$$0,25 \text{ м} = 1 \text{ м/с} \cdot \sqrt{\frac{1}{12}} \cdot \sin(\tau_1 \cdot \sqrt{12} \text{ с}^{-1})$$

$$0,25 = \sqrt{\frac{1}{12}} \cdot \sqrt{\frac{1}{3}} = \sqrt{\frac{1}{12}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} = \sin \frac{\pi}{3}$$

$$U_1 = U_0 \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ м/с}$$

$$U_1 = 0,5 U_0 = 0,5 \text{ м/с}$$

$$\tau_1 = \frac{\pi \text{ с}}{3 \sqrt{12}} = \frac{1 \text{ с}}{\sqrt{12}}$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

8) После начала скольжения модуль ускорения ~~будет~~ продолжит возрастать, а значит до момента остановки доски скольжение не прекратится.

Со стороны друга на доску будет действовать ^{норм.} сила: $F_{тр.ч} = \mu mg = 3H$; смещающее положение равновесия

на $\Delta x = \frac{\mu mg}{k} = \frac{1}{12} \text{ м}$, а ω_2 будет равна $\omega_2 = \sqrt{\frac{k}{M}}$ (доска длинная, а значит брусок с ней не упадет)

9) Новое ур-ие колебаний:

$$x^* = \Delta x + A_2 \cos(\omega_2 t^* + \varphi_0^*); \quad \Delta x = \frac{1}{12} \text{ м};$$

$$A_2 = U_0^* \sqrt{\frac{M}{k}}; \quad U_0^* - \text{ампл. скорост.}$$

$$A_2 \cos \varphi_0^* = \frac{1}{12} \text{ м}; \quad \frac{k(A_2 \cos \varphi_0^*)^2}{2} + \frac{mU_0^2}{2}$$

$$d = U_1 x_2 + \frac{a_2 x_2^2}{2}; \quad a_2 = \mu g; \quad A_{тр} = \mu mg d = -m(U_1 \mu g x_2 + 0.5(\mu g x_2)^2); \quad \text{ЭИМЭ: } \frac{(M+m)U_1^2}{2} + \frac{k(\Delta x + \frac{1}{12} \text{ м})^2}{2} = \frac{k\Delta x^2}{2} + \frac{A_{тр}}{2}$$

$$(M+m)U_1^2 = k(\Delta x^2 - \frac{1}{36} \text{ м}^2 + 2\Delta x(\Delta x_2^* - \frac{1}{12} \text{ м})) + A_{тр}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 2 3 4 5 6 7

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черпунком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

9) $(M+m)U_1^2 = k(\Delta l_2^* - \frac{1}{36}u^2) + 2 \cdot \frac{1}{12}u \cdot (\Delta l_2^* - \frac{1}{36}u) + m(2U_1 \mu g r_2 + (\mu g r_2)^2)$ (значит для системы полагается равновесие, то $\Delta E = 0$ и можно записать ур-ие энергии колес.)

Отсюда $A_2 =$

10) В момент макс. смещения пружины (нач. движение с ускорением a_2) ось покоится, а значит U_2^2

$M a_2 = F_{up} - k \Delta l_2$, где $\Delta l_2 = \Delta x + A_2$;
 $U_2^* = U_1$, т.е. это $A = \sqrt{\frac{F}{k}}$ и

$U_0^* = \sqrt{\frac{(M+m)U_1^2}{M+m}} = \frac{U_1}{\sqrt{2}}$; $U_0^* = \sqrt{\frac{3200}{3 \cdot 12}} = \frac{80}{\sqrt{3}}$ и

$\Delta x = x^* = U_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{12}} \cdot c \cdot \sin(\gamma_1^* \cdot \sqrt{\frac{k}{m+m}})$

$\frac{1}{12}u = U_0 \cdot \sqrt{\frac{1}{12}} \cdot c \cdot \sin(\gamma_1^* \cdot \sqrt{\frac{k}{m+m}})$

$U_0^* = \sqrt{\frac{11}{12}} \text{ м/с}$

$A_2 = \frac{U_0^*}{U_2} = \sqrt{\frac{11}{12}} \text{ м/с} \cdot \sqrt{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{3} \text{ с} = \frac{\sqrt{11}}{6\sqrt{6}} \text{ м}$

Итак, значит $a_2^* = U_0^* U_2 = \sqrt{\frac{11}{12}} \text{ м/с} \cdot \sqrt{18} \text{ с}^{-1} = \sqrt{16,5} \text{ м/с}^2$

Ответ: $0,25 \text{ м}$; $\frac{1}{\sqrt{12}} \text{ с}$; $\sqrt{16,5} \text{ м/с}^2$



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 2 3 4 5 6 7

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

② Дано:

$$p_0 = 105 \text{ кПа}$$

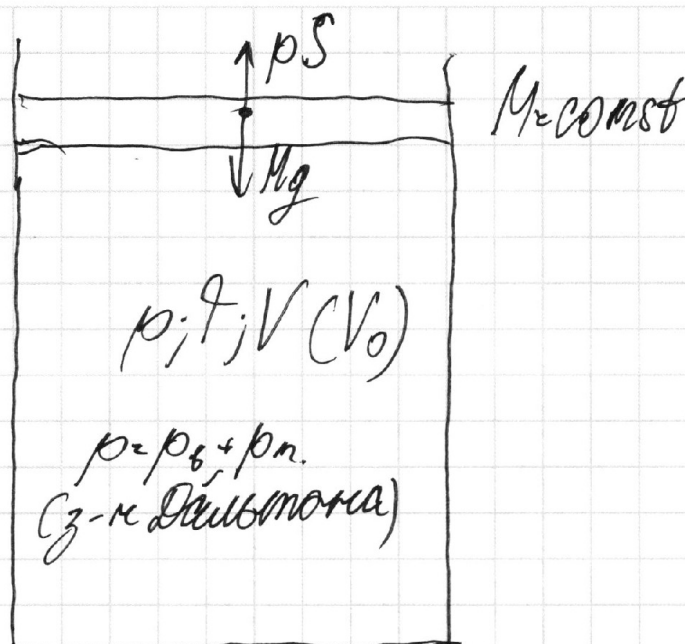
$$T_0 = 370 \text{ К}$$

$$\varphi_0 = \frac{1}{3} \quad (\Delta V_{\text{возд}})$$

$$T = 306 \text{ К}$$

$$R = 8,31 \text{ Дж/(К} \cdot \text{моль)}$$

график $p_{\text{н.п.}}(T)$



1) $p_{\text{н.п.}} - ?$; $\mu_1 = 0,029 \text{ моль}$

2) $T^* - ?$; $\mu_2 = 0,018 \text{ моль}$

3) $\frac{V_{\text{к.}}}{V_0} - ?$

1) Процесс, происходящий
изобарный, т.е.
стенки гладкие

а процесс медленный (связан с равновесием)

2) $p_{\text{н.п.}} = p_{\text{н.п.}}(T_1)$; $\varphi_0 = 0,1 \text{ кПа}$; $\frac{1}{3} = \frac{30(3)}{105}$ кПа

3) Условие конденсации: $\varphi = 100\% = \varphi$

$$p_{\text{в.о.}} = 105 \text{ кПа} - 30,3 \text{ кПа} = 74,6 \text{ кПа}$$

4) $p_v V = \nu_v R T$; ~~$p_v = \text{const}$~~ ; $\nu_v R = \text{const}$, т.е.

$$p V \sim T; \text{ но } p_v + p_n = 105 \text{ кПа} = \text{const}$$

5) До начала конд: $p_v V = \nu_v R T$; $p_v \sim \frac{T}{V}$

Значит $p_n = K p_v$ $p_n V = \nu_n R T$ $p_n \sim \frac{T}{V}$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

(H) Дано: $\cancel{1) B_0 \cdot nS = L I_0} \quad I_0 = 0 \text{ (yau.)}$
 $L_1 = L$
 $R \rightarrow 0 \quad L_2 = 3L$
 $n; \delta_4 = 5$
 $B(\frac{r}{2})$
 $I_1(?) = ?$
 $I_{L_1}(?) = ?$
 $3) I_1 = \frac{nS}{L}$

2) $\epsilon_2 = \frac{d\Phi}{dt} = -nS \frac{dB}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$
 $\epsilon_2 = L \frac{dI}{dt} ; \epsilon_1 = -\epsilon_2 (R \rightarrow 0)$
 $nS \frac{dB}{dt} =$
 $K_1 = \left(\frac{dB}{dt} \right)_1 = \frac{3B_0}{2r}$
 $K_2 = \left(\frac{dB}{dt} \right)_2 = \frac{B_0}{2r}$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 2 3 4 5 6 7

СТРАНИЦА
__ ИЗ __

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

(3) Дано:
 $U_0; U = \frac{3}{2} U_0$

1) U_n - ?

2) $\frac{U_{max}}{U_{min}}$ - ?

(Энергия зависит только от расстояний от границ до центра диска)

1) Условие прогиба:

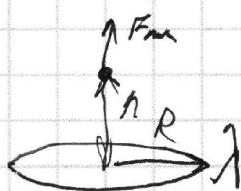
$$F_n \geq F_{крит.} \Rightarrow F_n = F_{крит.} + F_n^*$$

$$F_{крит.} = \frac{m U_0^2}{2} \quad (3C\partial)$$

В нашем случае

$$F_n^* = 1,25 \frac{m U_0^2}{2}$$

$$F_n = \frac{2\pi R \gamma_0 h}{(R^2 + h^2)^{1,5}} \cdot K$$



$$F_{крит.} = \frac{2\pi R \gamma_0 h}{(R^2 + h^2)^{1,5}} \cdot K$$

$$\left(\frac{x}{C+x} \right)^{1,5} = \frac{(C+x)^{2,5}}{(C+x)^3} = \frac{(C+x)^{-0,5}}{(C+x)^3} = \frac{1}{(C+x)^{3,5}}$$



$$F_{крит.} = \frac{2\pi R \gamma_0 h}{(R^2 + h^2)^{1,5}} \cdot K$$

$$\gamma = \frac{2\pi R \gamma_0 h}{(R^2 + h^2)^{1,5}} \cdot K$$

$$F_{крит.} = \frac{6h\gamma K}{(R_1^2 + h^2)^{0,5}} - \frac{6h\gamma K}{(R_2^2 + h^2)^{0,5}}$$

$$W = \int \frac{6h\gamma K dh}{(R_1^2 + h^2)^{0,5}} = 6h\gamma K$$

Потенциальная энергия ракета с приближением к центру диска