



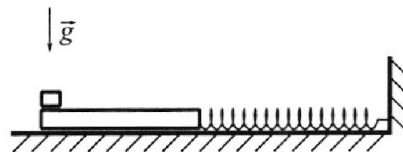
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



1. Длинную доску массой $M = 4$ кг удерживают на горизонтальной гладкой поверхности. На одном конце доски лежит небольшой брусок массой $m = 1$ кг, а в другой конец упирается легкая сжатая пружина жёсткостью $k = 100$ Н/м, прикреплённая к стенке. Коэффициент трения скольжения бруска по доске $\mu = 0,4$. Доску отпускают, она начинает движение, а брусок начинает двигаться относительно доски. Начальное сжатие пружины подобрано так, что в момент, когда ускорение доски почти достигает нуля первый раз, относительное движение бруска по доске прекращается. 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.

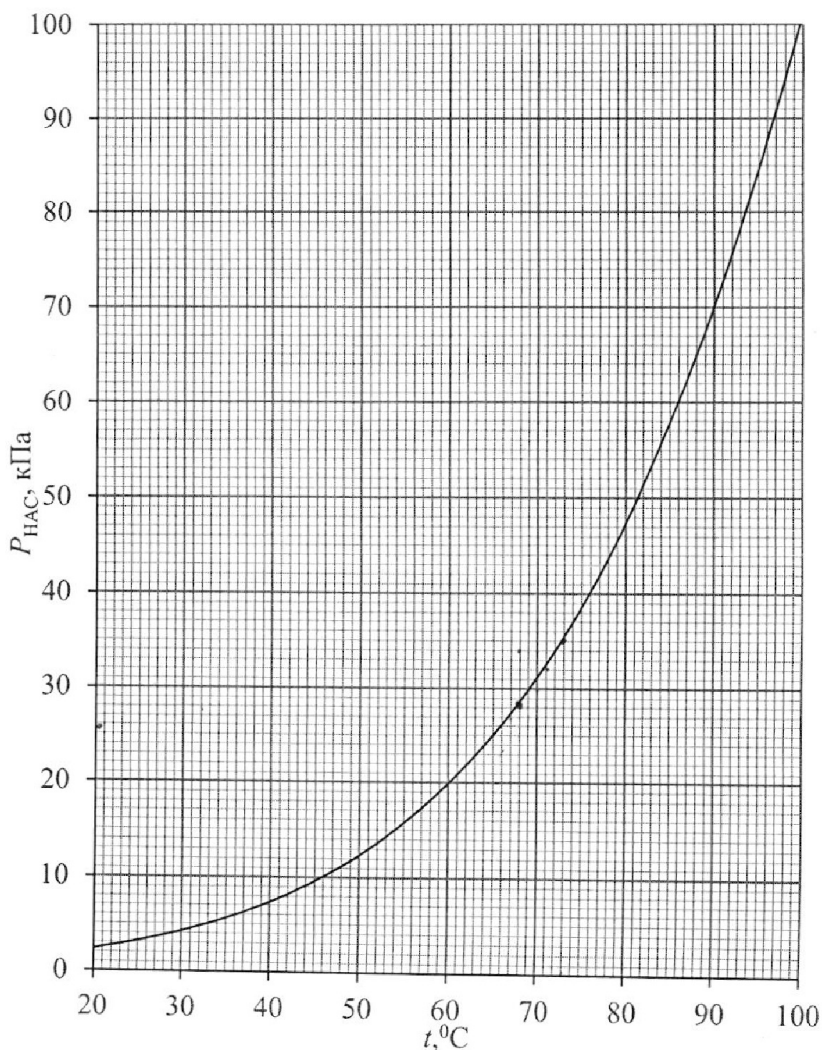


- 1) Найдите сжатие пружины в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным нулю, впервые после начала движения.
- 2) Найдите ускорение доски сразу после начала движения.
- 3) Найдите скорость доски в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным нулю, впервые после начала движения.

2. В сосуде постоянного объема находятся в равновесии влажный воздух при температуре $t_0 = 27$ °С и жидкая вода. Масса жидкой воды в 7 раз больше массы пара. Содержимое сосуда постепенно нагревают до температуры $t = 90$ °С. В результате вся вода превращается в пар. Известен график зависимости давления насыщенного пара воды от температуры.

- 1) Найти отношение масс пара в конце и в начале нагревания.
- 2) Найти температуру t^* , при которой прекратится испарение воды.
- 3) Найти относительную влажность φ в конце нагревания.

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





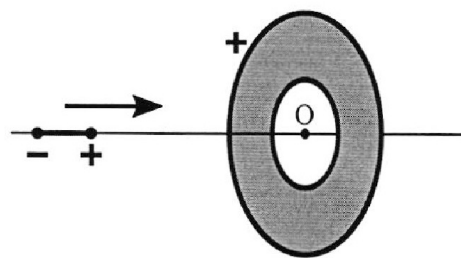
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



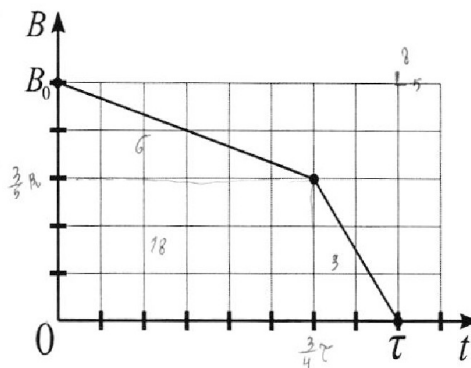
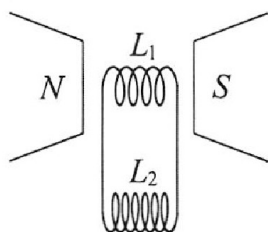
3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется 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 . Заряды диполя уменьшают по модулю в 3 раза и сообщают диполю начальную скорость V_0 .



1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.

2) Найти отношение максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

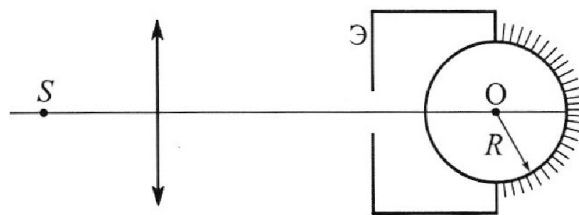
4. Катушка индуктивностью $L_1 = 5L$ с числом витков n и площадью каждого витка S_1 находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией B_0 . Силовые линии поля перпендикулярны плоскости каждого витка. Вторая катушка индуктивностью $L_2 = 8L$ находится вне поля (см. рис.). Сопротивление катушек 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_2 в конце выключения внешнего поля.

2) Найти заряд, протекший через катушку L_2 за время выключения внешнего поля.

5. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы расположены центр O прозрачного шара радиуса R и точечный источник S , удаленный от линзы на расстояние $a = 4,5R$ (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 $b = 8R$, то изображение источника в системе «линза-шар» совпадает с самим источником при любом показателе преломления вещества шара.



1) Найти фокусное расстояние линзы F .

После того, как центр шара переместили вдоль оптической оси так, что расстояние от него до центра линзы уменьшилось на $\Delta = 3R$, 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 $\sin \alpha \approx \alpha$.



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.



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!

N 1

2) Оптимизация колебаний.

по уравнению ускорения

$$-M\ddot{x} = Kx - mg = K(x - x_0)$$

$$(x - x_0)'' + \frac{K}{M}(x - x_0) = 0$$

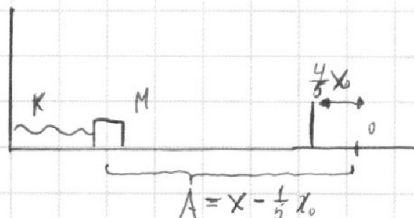
$$x = A \cos(\sqrt{\frac{K}{M}} t)$$

$$v_x = -A \sqrt{\frac{K}{M}} \sin(\sqrt{\frac{K}{M}} t)$$

$$a_x = -A \frac{K}{M} \cos(\sqrt{\frac{K}{M}} t)$$

$$-M\ddot{x} = Kx - mg = Kx - Kx_0 \frac{m}{m+M} = K(x - \frac{1}{5}x_0)$$

$$(x - \frac{1}{5}x_0)'' + \frac{K}{M}(x - \frac{1}{5}x_0) = 0$$



Сведем ситуацию к гармоническим колебаниям на нулевой или участке времени и смещен в точку $\frac{1}{5}x_0$.

Здесь амплитуда $x = 0,04$ м

$$x = A \cos(\sqrt{\frac{K}{M}} t)$$

$$a_x = A \frac{K}{M} (-\cos \sqrt{\frac{K}{M}} t)$$

Мы знаем, что на расстоянии $\frac{4}{5}x_0$ ускорение груза равно $mg = 4 \text{ м/с}^2$

$$\frac{4}{5}x_0 = A \cos(\sqrt{\frac{K}{M}} t)$$

$$v_x = -A \sqrt{\frac{K}{M}} \sin(\sqrt{\frac{K}{M}} t)$$

$$4 = A \cdot 25 \cos(\sqrt{\frac{K}{M}} t) \Rightarrow 4 = 25 \cdot \frac{4}{5}x_0$$

$$4 = A \cdot 25 \cos(\sqrt{\frac{K}{M}} t)$$



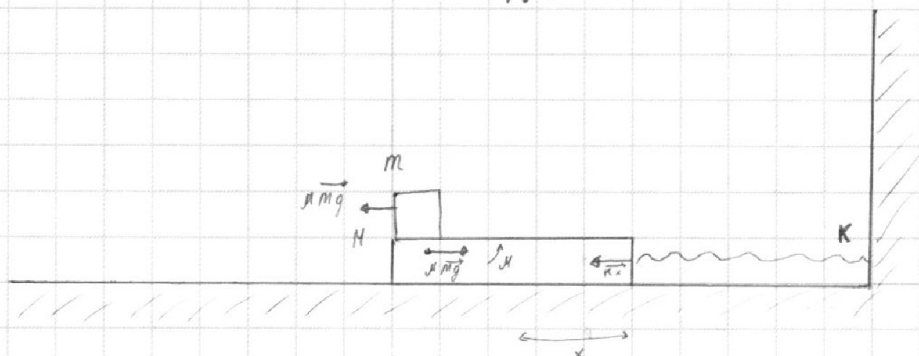
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!

N1



1) расстояние обозначения. начальная деформация пружины - x , тогда сила Гук-К $F_{\text{Гук-К}} = kx$, а силы трения $= \mu N = \mu mg$.

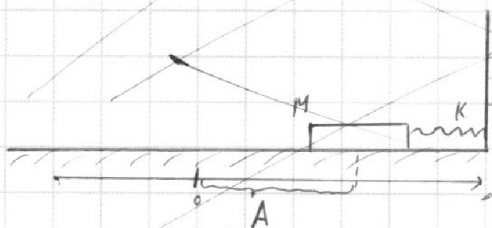
для интересующего момента запишем II закон Ньютона для доски и бруска при условии, что у них одинаковое ускорение

$$\begin{cases} \mu a = kx_0 - \mu mg \\ ma = \mu mg \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} kx_0 = (\mu + m)a \\ a = \mu g \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = \mu g \\ x_0 = \frac{(\mu + m)\mu g}{k} \end{cases}$$

интересующая нас деформация x_0 имеет вид как

$$x_0 = \frac{5 \cdot 0,4 \cdot 10}{100} \text{ м} = 0,2 \text{ м}$$

2) Оптимизм математически возникающие колебания: О осн x зведем в положение, когда относительные ускорения равны 0. Тогда мы можем избавиться от констант силы трения для интересующей части процесса:



здесь амплитуда A равна $x - x_0$; а угловая частота $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$

здесь зависимость координаты от времени такая

$$x = A \cos\left(\pm \sqrt{\frac{k}{m}} t\right); \text{ Из 3СЭ для этой системы } \frac{kA^2}{2} = \frac{mv^2}{2} \text{ получаем максимальную скорость } v = A \sqrt{\frac{k}{m}}$$

после этого брусок ускоряется с ускорением μg в обратном направлении

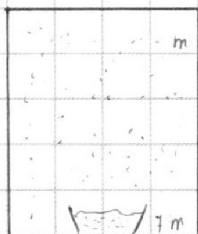


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1
☐2
☒3
☐4
☐5
☐6
☐7
☐СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

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!

N 2

 t_0  t 

1) Пусть в начале масса пара в воздухе - m
тогда по условию масса воды в начале - $7m$
Из условия испарения всей воды в конце
и закона сохранения массы следует, что
новая масса пара в воздухе - $8m$

(0.8)

2) Из графика при t_0 парциальное давление насыщенного пара
 3500 Па с большой точностью

В процессе медленного нагрева пар будет оставаться насыщенным до того,
как испарится вся вода. Для t^* найдем, что испарилась вся вода и
пар насыщенный (давление ищем из графика)

$$\begin{cases} p_H(t_0) V = \frac{m}{\mu_n} R T_0 \\ p_H(t^*) V = \frac{8m}{\mu_n} R T^* \end{cases} \Rightarrow \frac{p_H(t^*)}{p_H(t_0)} = \frac{8 T^*}{T_0} \quad \text{где } T^* = 273 \text{ К} + t^*, \text{ а } T_0 = 273 \text{ К} + t_0,$$

это абсолютная температура,
а ур-ие Менделеева-Клапейрона пишем потому,
что пар - равновесный газ.

подставим известные значения $\frac{p_H(t^*)}{3500 \text{ Па}} = \frac{8(t^* + 273 \text{ К})}{300 \text{ К}}; p_H(t^*) = 28000 \text{ Па} \cdot \frac{t^* + 273 \text{ К}}{300 \text{ К}}$

$$p_H(t^*) = \left(25480 + \frac{t^*}{3} \cdot 280 \right) \text{ Па} \quad \text{Точку } t^* \text{ можно угадать / найти по графику.}$$

это 71°C с большой точностью.

(2) 71°C

3) Влажность φ в начале t найдём как $\varphi = \frac{p(t)}{p_H(t)}$, где $p(t)$ ищем из ур-ия Менделеева-Клапейрона,
а $p_H(t)$ - из графика

$$p_H(t^*) V = \frac{8m}{\mu_n} R (t^* + 273 \text{ К})$$

$$p(t) V = \frac{8m}{\mu_n} R (t + 273 \text{ К})$$

подставим значения и получим $p(t) \approx 93670 \text{ Па}$

$$p_H(t) = 40000 \text{ Па}$$

(3) с большой точностью $\varphi = 0,481$

Ответ: 8, 71°C ; 0,481.

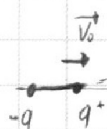


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1
☐2
☐3
☒4
☐5
☐6
☐7
☐СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

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!

N 3



пусть максимальный заряд $(q_1 - q)$, а
малы шариков (шарик) (m)

Потенциальная энергия системы шариков $W_p = \sum \frac{kq}{r_{1i}}$; она не зависит
элементарной системы, но мы помним из её вида, что при увеличении заряда

в 3 раза, его W_p увеличивается также в 3 раза.

W_p на бесконечности $= 0$, а предельный шарики q^+ делит до точки O и становится

наименьшей ЗСЭ.
$$\begin{cases} \frac{m v_0^2}{2} + 0 = W_{p1} \\ \frac{m v_0^2}{2} = \frac{W_{p1}}{3} + \frac{m u^2}{2} \end{cases} \Rightarrow \frac{m v_0^2}{3} = \frac{m u^2}{2}, \quad u = v_0 \sqrt{\frac{2}{3}}, \text{ где } u - \text{скорость при } q^+ \rightarrow O.$$

Из вида W_p помним, что при полёте центра дуги через O W_p его заряды
равны по модулю и противоположны по знаку $\Rightarrow W_p = 0$ тогда скорость в этот
момент $(-V_0)$

При вылете q^+ из точки O наименьшей ЗСЭ.
$$\frac{m v_0^2}{2} = -\frac{W_{p1}}{3} + \frac{m u_2^2}{2}$$

$$\frac{m u_2^2}{2} = \frac{m v_0^2}{2} \left(1 + \frac{1}{3}\right) = \frac{2}{3} m v_0^2; \quad u_2^2 = \frac{4}{3} v_0^2, \quad u_2 = \sqrt{\frac{4}{3}} v_0 \quad (\text{при вылете дуги})$$

следовательно (опять же из вида W_p), что окончательная же и мин. скорости —

$$\frac{u_2}{u} = \frac{\sqrt{4}}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}$$

Ответ: $v_0; \sqrt{2} v_0$.



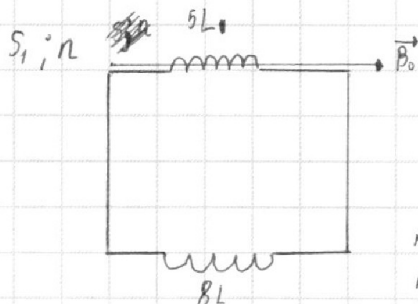
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

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!

N4



Так как у нас есть контур без сопротивления, состоящий из катушек, то по идее можно из II правила Кирхгофа получить закон сохранения магнитного потока: магнитный поток через контур не изменится. В конце через обе катушки течет ток I_0 . Итого: $\Phi_{нач} = B_0 S_1$ (поток в начале). В конце по определению индукции $\Phi_{кон} = (5L + 8L) I_0$.

Приравняв и получим: $I_0 = \frac{B_0 S_1}{13L}$

Из того же закона сохранения потока запишем $B(t)$ и $I(t)$ (или то же самое можно записать) сведя к одному: $B_0 S_1 = B(t) S_1 + 13L I(t)$

$$I(t) = \frac{B_0 S_1}{13L} - \frac{S_1}{13L} B(t)$$

Заряд, протекающий через L_2 за время τ и ток через нее равен ток.

$$Q = \int_0^\tau I(t) dt = \int_0^\tau \left(\frac{B_0 S_1}{13L} - \frac{S_1}{13L} B(t) \right) dt = \frac{S_1}{13L} \left(B_0 \tau - \int_0^\tau B(t) dt \right)$$

$\int_0^\tau B(t) dt$ посчитаем "по клеточкам" как площадь под графиком или графиком:

$$\int_0^\tau B(t) dt = \frac{27}{40} B_0 \tau$$

$$Q = \frac{S_1}{13L} \cdot B_0 \tau \cdot \frac{13}{40} = \frac{S_1 B_0 \tau}{40L}$$

Ответ: $\frac{B_0 S_1 \tau}{13L}$, $\frac{S_1 B_0 \tau}{40L}$



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
☐

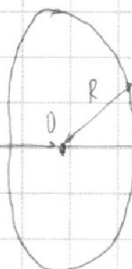
7
☐

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!

q^- q^+

x



$$\varphi = \sum_i \varphi_i = \frac{kq}{\sqrt{R^2 + x^2}} \sum_i q_i = \frac{kQq}{\sqrt{R^2 + x^2}}$$

$$W_H(x) = kQq \left(\frac{1}{\sqrt{R^2 + x^2}} - \frac{1}{\sqrt{R^2 + (x+d)^2}} \right)$$



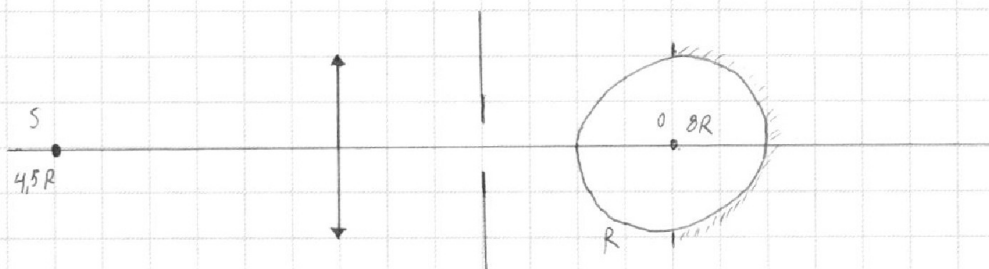
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

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!

N 5





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!

$$67 + 273 = 70 + 270 = 340$$

$$\frac{34}{30} = \frac{17}{15}$$

$$\frac{35}{30} = \frac{7}{6}$$

$$\frac{28}{6} t = \frac{14}{3} t$$

$$77 + 273 = 350$$

$$280_{\text{Па}} \left(\frac{t^*}{3} + \frac{273\text{K}}{3} \right) = \frac{280}{3} t^* + 280 \cdot 91$$

$$\begin{array}{r} 280 \\ \times 91 \\ \hline 280 \\ + 2520 \\ \hline 25480 \end{array}$$

$$P_H(66^\circ) = 26000 \text{ Па}$$

$$P_H(72^\circ\text{C}) = 34000 \text{ Па}$$

$$\begin{array}{r} 280 \\ \times 24 \\ \hline 1120 \\ + 2800 \\ \hline 3920 \end{array}$$

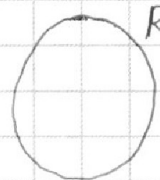
$$\begin{array}{r} 25480 \\ + 3920 \\ \hline 29400 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 280 \\ \times 24 \\ \hline 1120 \\ + 2800 \\ \hline 3920 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 25480 \\ + 3920 \\ \hline 29400 \end{array}$$

$$70 \cdot \frac{280}{3} = 100 \cdot \frac{7 \cdot 28}{3} = \frac{19600}{3} \approx 6533$$

$$\begin{array}{r} 19600 \\ \div 3 \\ \hline 6533 \end{array}$$



$$\frac{P_H(t^*)}{P(t)} = \frac{t^* + 273\text{K}}{t + 273\text{K}}$$

$$P(t) = \frac{383}{364} \cdot 32000 = \frac{383 \cdot 8}{91} \cdot 1000 \approx 33670$$

$$\begin{array}{r} 383 \\ \times 8 \\ \hline 3064 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 306491 \\ \div 33,670 \\ \hline 272 \\ \times 33,670 \\ \hline 334 \\ - 279 \\ \hline 610 \\ - 546 \\ \hline 640 \\ - 637 \\ \hline 3 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 33670 \\ \div 7000 \\ \hline 0,481 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 33670 \\ - 28000 \\ \hline 56700 \\ - 56000 \\ \hline 7000 \\ + 000 \\ \hline 0 \end{array}$$



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
☐

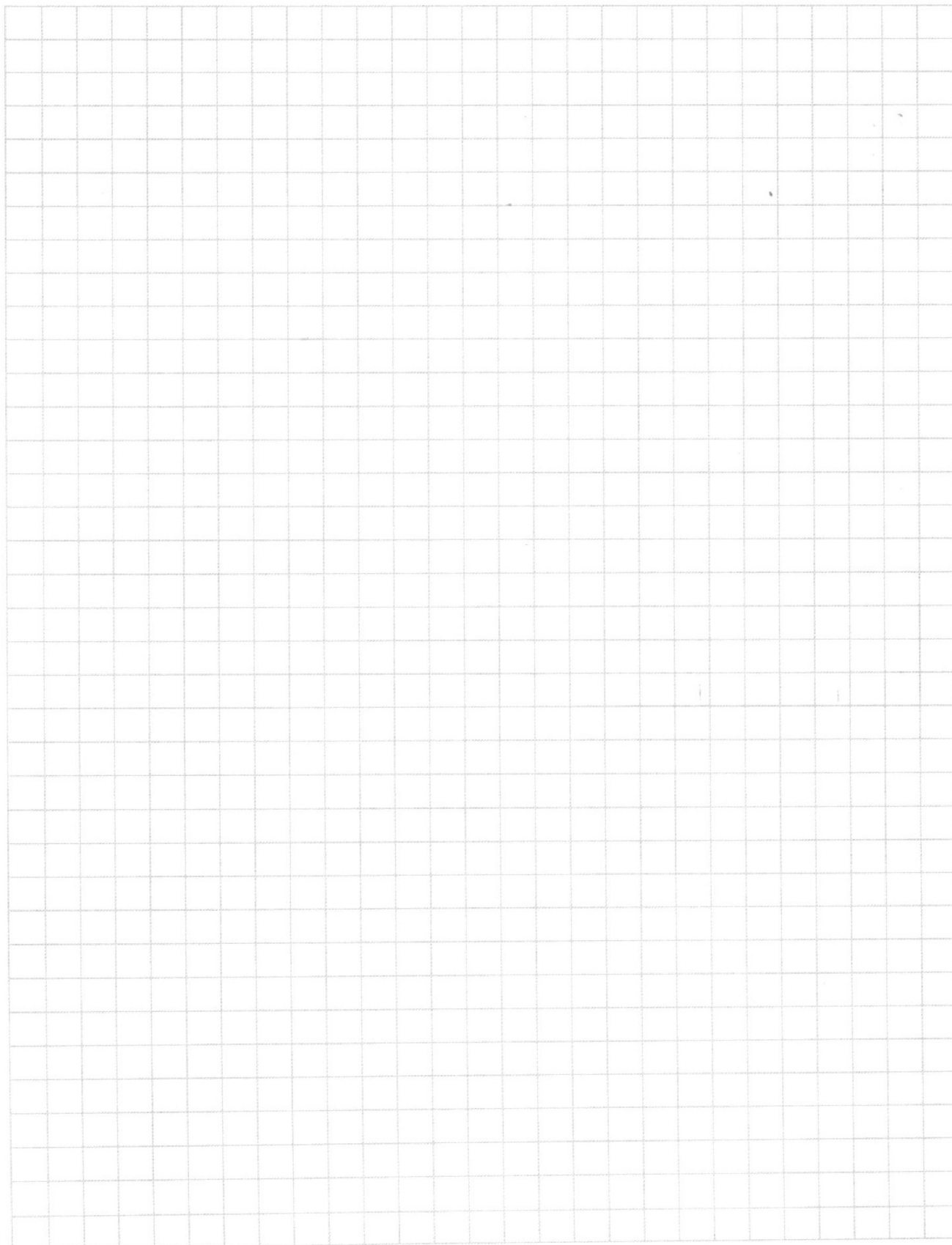
5
☐

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!





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

☐

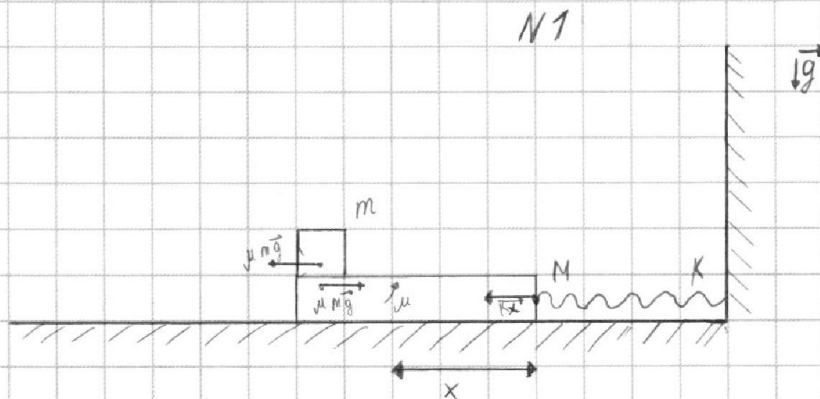
7

☐

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) рассмотрим обобщенный. x - начальное статическое удлинение; $\Rightarrow$ сила упругости $- kx$

сила трения между доской и бруском $= \mu N = \mu mg$.

т.к. брусок с доской едут как одно целое, и эта система не ускоряется, то по II закону Ньютона сила, действующая на нее скомпенсирована $\rightarrow$ нулю

$kx_0 = 0$; $(x_0 = 0)$ (~~не~~ деформация в этот момент). Из отсутствия ускорения бруска следует отсутствие силы трения в этот момент.

2) Найдём ускорение доски из II закона Ньютона в этот момент:

$$Ma = kx - \mu mg.$$