



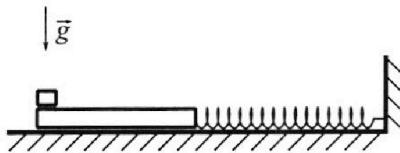
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

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 брускок 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 брускок 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.

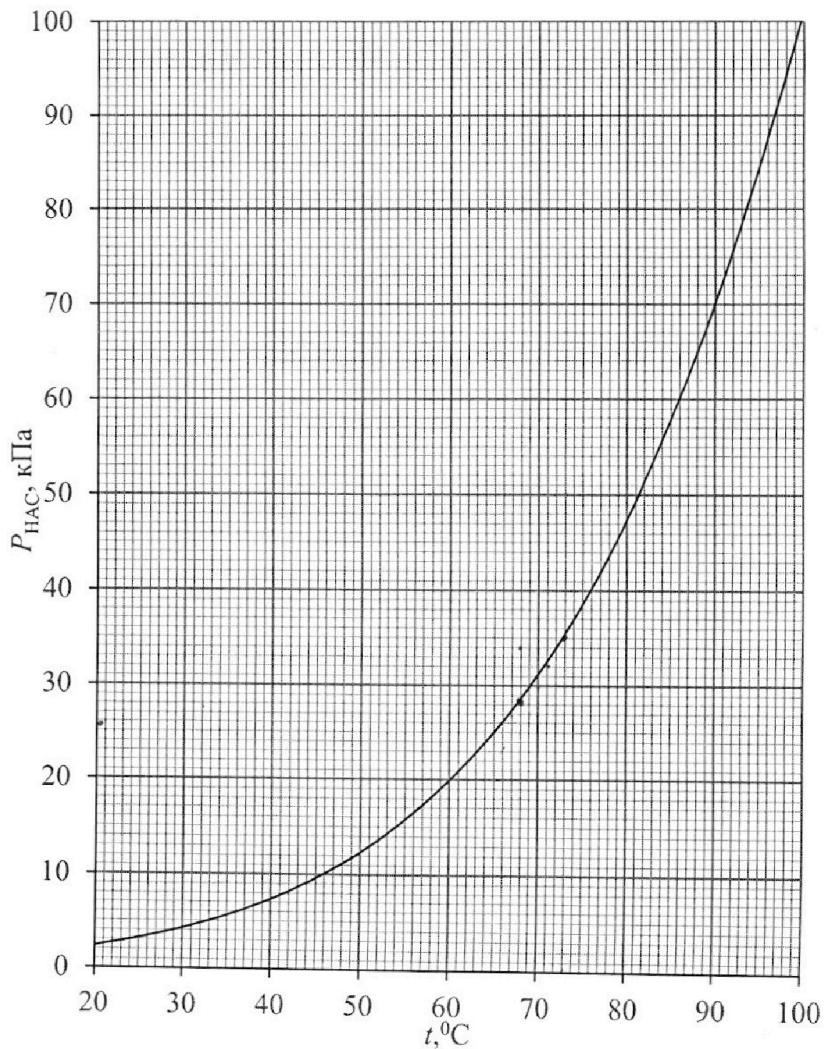


- 1) Найдите сжатие пружины в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным нулю, впервые после начала движения.
- 2) Найдите ускорение доски сразу после начала движения.
- 3) Найдите скорость доски в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным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

2. В сосуде постоянного объема находятся в равновесии влажный воздух при температуре $t_0 = 27$ °C и жидкую воду. Масса жидкой воды в 7 раз больше массы пара. Содержимое сосуда постепенно нагревают до температуры $t = 90$ °C. 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.





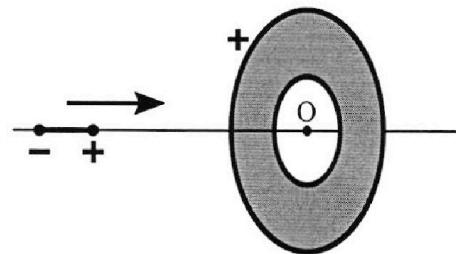
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025



Вариант 11-04

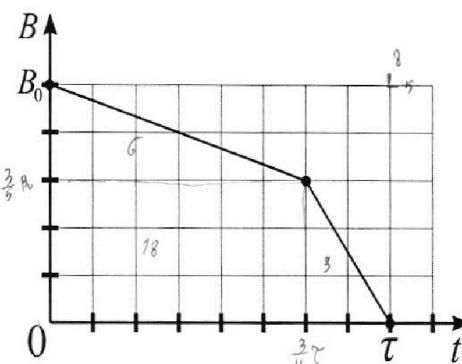
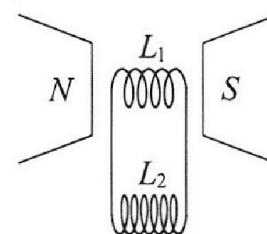
В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

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 .



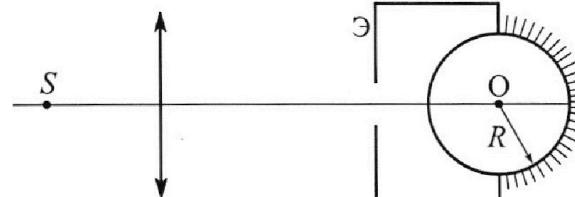
- 1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.
- 2) Найти отношение максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

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 , удалённый 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.

- | | | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 | <input type="checkbox"/> 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!

N 1

2) Описать возможные колебания.

gr уравнениям движения

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

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

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

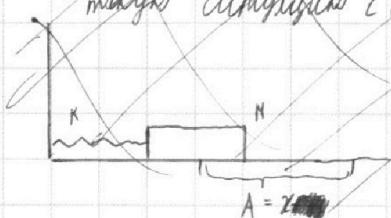
$$\dot{x}_0 = -A \sqrt{\frac{K}{M}} \sin(\sqrt{\frac{K}{M}} t)$$

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

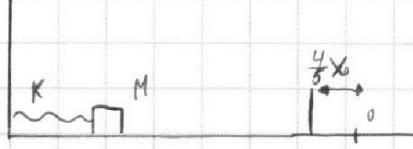
$$-M\ddot{x} = Kx - \mu mg = Kx - Kx_0 \frac{m}{m+M} = K(x - \frac{1}{5}x_0)$$

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

тогда говорят о ~~о~~ ~~х~~ о гармоническом движении с амплитудой x_0



Сведём ситуацию к гармоническому колебанию на ненулевом начальном времени и с нулем в точке $\frac{1}{5}x_0$.



$$A = x - \frac{1}{5}x_0$$

Здесь динамичдк = $x - 0,04$ 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 4 m/s^2

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

$$\dot{x}_0 = -A \sqrt{\frac{K}{m}} \sin(\sqrt{\frac{K}{m}} t)$$

$$\Rightarrow 4 = 25 \cdot \frac{4}{5}x_0$$

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

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**.

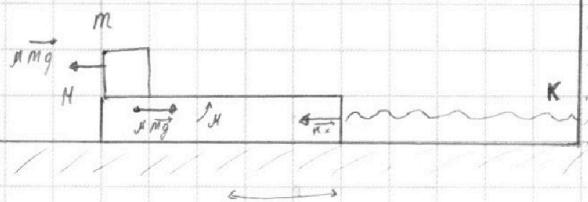


- | | | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 | <input type="checkbox"/> 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) **Поставим обозначения.** начальная деформация пружины x_0 , тогда сила Гука Kx_0 , а сила тяжести $= MN = mg$.

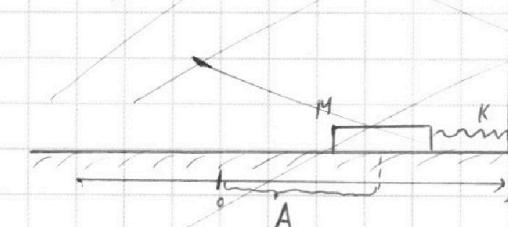
для интересующего момента земли \ddot{x} зная формула для силы и бросил при условии, что у них одинаковое ускорение

$$\begin{cases} Ma = Kx_0 - Mg \\ ta = Mg \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Kx_0 = (M+m)a \\ a = Mg \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = Mg \\ x_0 = \frac{(M+m)Mg}{K} \end{cases}$$

интересующая нас деформация x_0 ищется как

$$x_0 = \frac{5 \cdot 0,4 \cdot 10}{100} N = 0,2 M$$

2) **Опиши математически возникающие кинематич: О том что звёздой вложен, когда относительное ускорение равно 0. Тогда мы можем избавиться от межчастной силы тяжести для интересующей нас части пружины:**



здесь достигнуто равенство $x - x_0$; а учитывая что $m = \sqrt{\frac{K}{M}}$

здесь зависимость подчиняется от времени так

$$x = A \cos\left(t \sqrt{\frac{K}{M}}\right); \text{ Из } ЗСЭ \text{ для этой системы } \frac{KA^2}{2} = \frac{Mv^2}{2} \text{ получаем максимальную скорость } v = A \sqrt{\frac{K}{M}}$$

но и блок движется с ускорением H 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**.

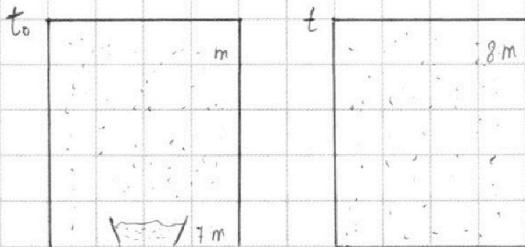


- | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1 | <input checked="" type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 | <input type="checkbox"/> 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



1) пусть в начальне масса пара в воздухе - m
тогда по условию масса воздуха в начальне - m
из условия испарения всей воды в конце
и закона сохранения массы следует, что
новая масса пара в воздухе - $8m$

(18)

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

В процессе испарения пар будет действовать насыщенным до того,
как испарится вся вода. ~~После~~ Для t^* напишем, что испарилась вся вода и
пар насыщенный (давление получено из графика)

$$\begin{cases} P_H(t_0)V = \frac{m}{\mu_n} R T_0 \\ P_H(t^*)V = \frac{8m}{\mu_n} R T^* \end{cases} \Rightarrow \frac{P_H(t^*)}{P_H(t_0)} = \frac{8T^*}{T_0} \quad \text{где } T^* = 273K + t^*, \text{ а } T_0 = 273K + t_0, \\ \text{это аддитивная температура,} \\ \text{а ур-е Ньютона-Киппера даёт нам формулу,} \\ \text{что пар - равновесный газ.}$$

подставим известные значения $P_H(t^*) = \frac{8(t^* + 273K)}{300K}$, $P_H(t^*) = 28000 \text{ Па} \cdot \frac{t^* + 273K}{300K}$

$P_H(t^*) = (25480 + \frac{t^*}{3} \cdot 280) \text{ Па}$. Тогда t^* можно угадать по графику.

Это $71^\circ C$ с близкой точностью.

(2) $71^\circ C$

3) выразим φ в terms of t находим как. $\varphi = \frac{P(t)}{P_H(t)}$, где $P(t)$ получена из ур-я Ньютона-Киппера
, а $P_H(t)$ - из графика

$$P_H(t^*)V = \frac{8m}{\mu_n} R (t^* + 273K)$$

$$P(t)V = \frac{m}{\mu_n} R (t + 273K)$$

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

поставим значение и получим $P(t) \approx 33670 \text{ Па}$.

$$P_H(t) = 40000 \text{ Па}$$

Ответ: 8, $71^\circ C$; 0,481.



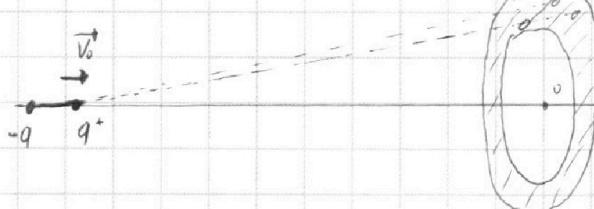
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

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



путь начального злед - $(q_0 - q)$, а
массы шариков (гвоздей) - (m)

Потенциальная энергия складывается из начальной $W_p = \sum \frac{kq}{q_{in}}$, она не поддается измерению с точностью, но мы понимаем из её вида, что при уменьшении зледа в 3 раза, его W_p уменьшается также в 3 раза.

W_p на бесконечности - 0, а предельный случай $-q^+$ достигается до точки 0 и означает

Начальный ЗСЭ. $\left(\frac{m V_0^2}{2} + 0 \right)_{W_p(\infty)} = W_{p1} \Rightarrow \frac{m V_0^2}{3} = \frac{m u^2}{2} + \boxed{U = V_0 \sqrt{\frac{2}{3}}}$, где u - скорость при фокусации $q^+ 90^\circ$.

$$\left(\frac{m V_0^2}{2} \right) = \frac{W_{p1}}{3} + \frac{m u^2}{2}$$

Из виду W_p понимаем, что при прохождении частицы через 0 W_p неизменяется потому что q^+ пропадает из производственного поля $\Rightarrow W_p = 0$ тогда скорость в этом месте $(-V_0)$

При вспоминании q^- за точку 0 получаем ЗСЭ. $\frac{m V_0^2}{2} = -\frac{W_{p1}}{3} + \frac{m u_2^2}{2}$

$$\frac{m u_2^2}{2} = \frac{m V_0^2}{2} \left(1 + \frac{1}{3} \right) = \frac{2}{3} m V_0^2 ; u_2^2 = \frac{4}{3} V_0^2 , u_2 = \sqrt{\frac{4}{3}} V_0 \quad (\text{при вспоминании зледа})$$

следовательно (однако не из виду W_p), что движение имеет и иная скорость -

$$\frac{u_2}{u} = \frac{\sqrt{4}}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \quad \text{Ответ. } V_0, \sqrt{2}.$$

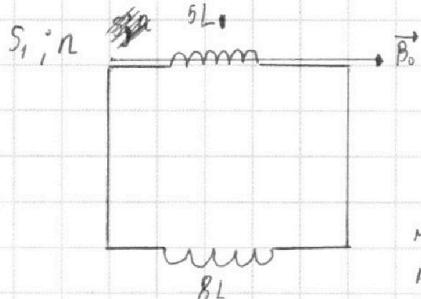


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

- | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input checked="" type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 | <input type="checkbox"/> 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 закону Фарадея из II правила Бирхгофа получаем закон изменения максимального потока: магнитный поток через контур не изменится. В конце через обе катушки тек-

ший поток Φ_0 . Имеем $\Phi_{\text{ нач}} = B_0 S_1 n$ (поток в начале). В конце по определению индукции $\Phi_{\text{ кон}} = (5L + 8L) \Phi_0$.

$$\text{Продифференцируем по времени: } \Phi_0 = \frac{B_0 S_1 n}{13L}$$

Из закона сохранения потока изменения $B(t)$ и $\Phi(t)$ (пока не обеих катушек) следовательно: $B_0 S_1 n = B(t) S_1 n + 13L \Phi(t)$

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

Затем, проектируем через L_2 за время t и поток через нее сдвигом потока.

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

$\int_0^T B(t) dt$ посчитали "по кинетике" как ползунок под длиной пути засечек:

$$\int_0^T B(t) dt = \frac{\pi \times 4}{40} B_0 T$$

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

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



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

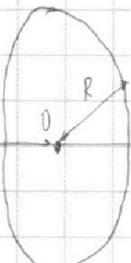
7

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!

d^+
 d^-

a x



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

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



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

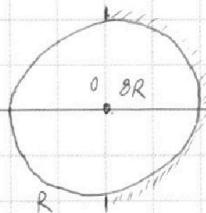
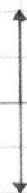
7

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!

N5

S
4.5R





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!

$$67 + 273 = 70 + 270 = 340, \quad \frac{34}{30} = \frac{17}{15}, \quad \frac{35}{30} = \frac{7}{6}, \quad \frac{26}{6} = \frac{14}{3}$$

$$77 + 273 = 350$$

$$280 \text{ на } \left(\frac{t^4}{3} + \frac{273k}{3} \right) = \frac{280}{3} t^4 + 280 \cdot 91$$

$$\begin{array}{r} \times 280 \\ 91 \\ \hline 280 \\ + 2520 \\ \hline 29480 \end{array}$$

$$P_H(66^\circ) = 26000 \text{ Па}$$

$$P_H(72^\circ) = 34000 \text{ Па}$$

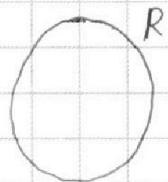
$$\begin{array}{r} 29 \\ \times 280 \\ \hline 24 \\ + 1120 \\ \hline 3920 \\ + 280 \\ \hline 39200 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 25480 \\ + 2520 \\ \hline 29480 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 280 \\ \times 29 \\ \hline 24 \\ + 1120 \\ \hline 3920 \\ + 280 \\ \hline 32200 \end{array}$$

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

$$\begin{array}{r} 19600 \\ \times 3 \\ \hline 18 \\ + 16 \\ \hline 6533 \end{array}$$



$$\frac{P_H(t^4)}{P(t)} = \frac{t^4 + 273k}{t + 273k}, \quad P(t) = \frac{383}{364} \cdot 32000 = \frac{383 \cdot 8}{91} \cdot 1000 \approx 33670$$

$$\begin{array}{r} 383 \\ \times 8 \\ \hline 3064 \\ - 279 \\ \hline 241 \\ - 279 \\ \hline 610 \\ - 546 \\ \hline 640 \\ - 637 \\ \hline 3 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 306491 \\ - 279 \\ \hline 334 \\ - 279 \\ \hline 56 \\ - 546 \\ \hline 14 \\ - 13 \\ \hline 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3367 \\ | \quad 7000 \\ 0,481 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 33640 \\ - 28000 \\ \hline 56400 \\ - 56000 \\ \hline 400 \\ + 400 \\ \hline 0 \end{array}$$



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

1

1

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!

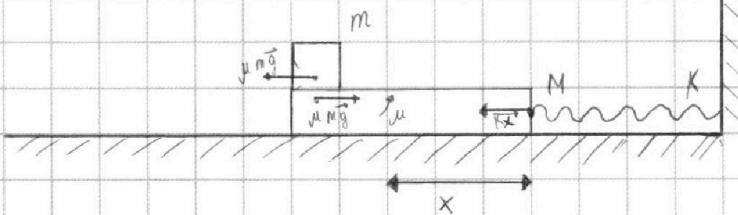


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

 1 2 3 4 5 6 7СТРАНИЦА
_ 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!

N1



1) составим обозначения. x - начальное сжатие пружины, \rightarrow сила упругости $-Kx$

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

т.к. бруска с доской едят как одно целое. и эта система не ускоряется, то по II закону Ньютона сила, действующая на неё, компенсируются \rightarrow это

$Kx_0 = 0$; $(x_0 = 0)$ (~~не деформируется в этот момент~~). Из определения ускорения бруска следует отсутствие силы трения в этот момент.

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

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