



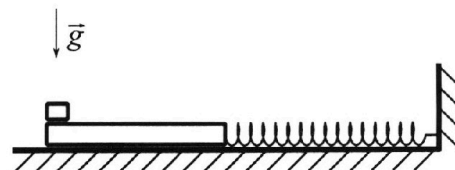
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-02

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



1. Длинную доску массой $M = 2$ 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 $k = 50$ Н/м, прикрепленная к стенке. Коэффициент трения скольжения бруска по доске $\mu = 0,3$. 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.

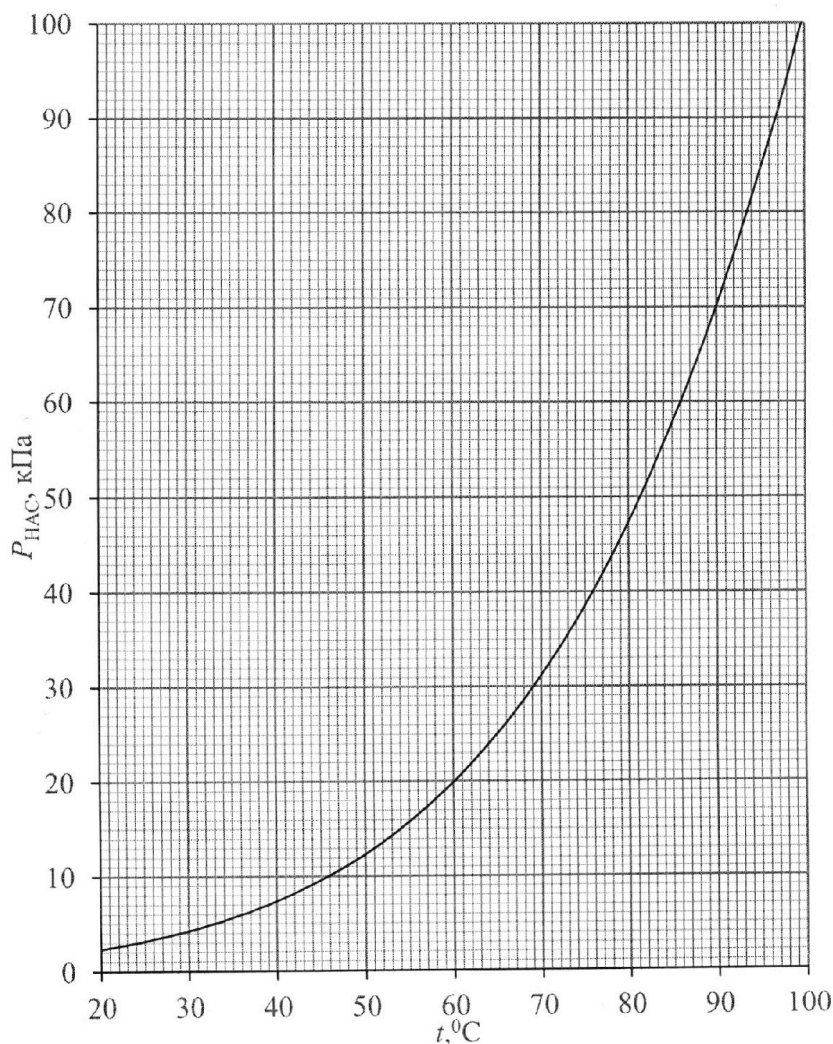


- 1) Найдите сжатие пружины в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным нулю, впервые после начала движения.
- 2) Найдите ускорение доски сразу после начала движения.
- 3) Найдите скорость доски в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным 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 11 раз больше массы пара. Содержимое сосуда постепенно нагревают до температуры $t = 97$ °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 га за можно пренебречь. Пар считать идеальным газом.





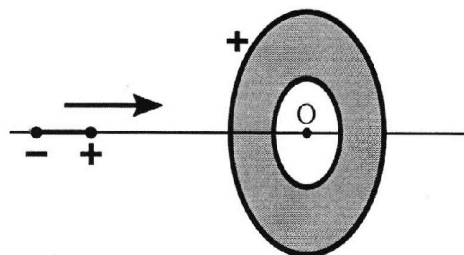
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-02

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



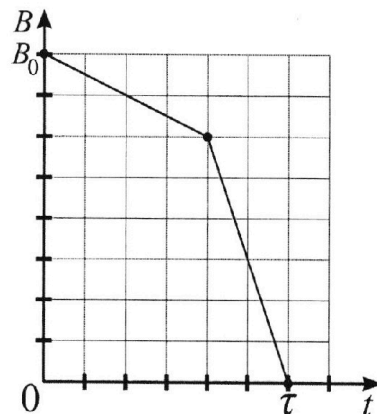
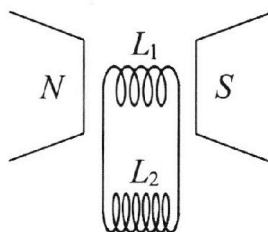
3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется 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 2 раза и сообщают диполью начальную скорость V_0 .



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

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

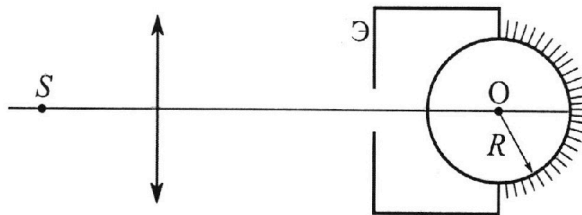
4. Катушка индуктивностью $L_1 = L$ с числом витков n и площадью каждого витка S_1 находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией B_0 . Силовые линии поля перпендикулярны плоскости каждого витка. Вторая катушка индуктивностью $L_2 = 6L$ находится вне поля (см. рис.). Сопротивление катушек 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 (см. рис.). Расстояние между источником S и центром линзы $a = 2R$. 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 $b = 7R$, 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 $\Delta = 4R$, 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 $\sin \alpha \approx \alpha$.



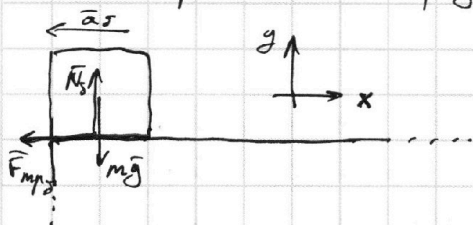
На одной странице можно оформлять **только одну задачу**. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!

Рассмотрим силы, действующие на брусок:



$$m\vec{g} + \vec{N}_s + \vec{F}_{тр.с} = m\vec{a}_s \quad - II \text{ ЗН}$$

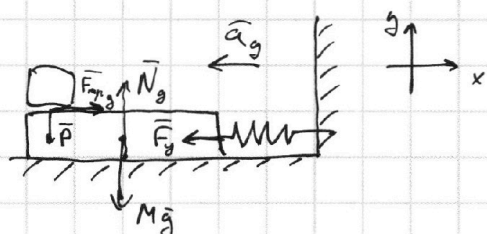
$$y': N_s - mg = 0$$

$$x': -F_{тр.с} = -ma_s$$

$$\Rightarrow -\mu N_s = -ma_s \Rightarrow \mu mg = ma_s \Rightarrow a_s = \mu g$$

ускорение бруска

Рассмотрим силы, действующие на доску:



$$M\vec{g} + \vec{N}_g + \vec{P} + \vec{F}_{тр.г} + \vec{F}_y = M\vec{a}_g \quad - II \text{ ЗН}$$

$$y': -Mg + N_g - P = 0 \Rightarrow N_g = Mg + mg = 3mg$$

$$x': F_{тр.г} + F_{yx} = +Ma_{gx}$$

$$\Rightarrow \mu P - kx = Ma_{gx}$$

$$\Rightarrow -\mu mg + kx + M\ddot{x} = 0$$

(x — координата точки крепления доски к пружине, 0 в положении недеформированной пружины)

1) Рассмотрим данный момент времени:

$$a_s = a_g = -a_{gx} = -\ddot{x} \quad (\ddot{x} \text{ направ. против } x) \Rightarrow$$

$$-\mu mg + kx + M\ddot{x} = -\mu mg + kx - Ma_s = -\mu mg + kx - \mu Mg = -3\mu mg + kx = 0 \Rightarrow x = \frac{3\mu mg}{k} = \frac{3 \text{ кг} \cdot 0,3 \cdot 10 \text{ м/с}^2}{50 \text{ Н/м}} = \boxed{0,18 \text{ м}} \quad - \text{статие пружины в данный момент}$$



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!

Введём ось x , направленную вдоль движения диска, диск расположим в 0 по оси x .

Рассмотрим потенциальную энергию диска U :

$U = U_+ + U_-$ (U_+, U_- — потенциальные энергии положительных и отриц. зарядов (т.е. взаимодействия с диском))

Рассмотрим $U(x)$ на геттинг / несётность: (x — координ. центра)
 $U(-x)$ — энергия в координате $-x$, соответствует энергии в случае, если бы заряды поменяли знаки в координате x . U пропорциональна заряду, поэтому

$$U(-x) = -U(x)$$

$$\Rightarrow U(0) = 0 = U(\infty)$$

1) v_1 — скорость диска при пролёте через центр диска.
 $\frac{mv_0^2}{2} + U(\infty) = \frac{mv_1^2}{2} + U(0)$ (m — масса диска)

$$\Rightarrow \frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} \Rightarrow v_1 = v_0$$

2) Рассмотрим положение диска, в котором U макс.:
Чтобы преодолеть это положение полная механическая энергия в начале должна быть больше $U_{\max}$.

Если v — начальная скорость, то:

$$\frac{mv^2}{2} + U(\infty) > U_{\max} \Rightarrow \frac{mv^2}{2} > U_{\max}$$

т.е. v_0 — мин. такая скорость, то:

$$\frac{mv_0^2}{2} = U_{\max}$$

До этого мы рассматривали случай, когда заряды уменьшили в 2 раза по модулю.

Рассмотрим случай, когда заряды увеличили:

$$U \sim q \Rightarrow U_m = \frac{1}{2} U_{\max} \quad (U_m — новый максимум энергии)$$

ЗСЭ:

$$\frac{mv_0^2}{2} + U(0) = \frac{mv_m^2}{2} + U_m = \frac{mv_m^2}{2} - U_m \Rightarrow \begin{cases} \frac{mv_m^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} \\ \frac{mv_m^2}{2} = \frac{3mv_0^2}{4} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} v_m = \frac{1}{\sqrt{2}} v_0 = \frac{\sqrt{2}}{2} v_0 \\ v_m = \sqrt{\frac{3}{2}} v_0 = \frac{\sqrt{6}}{2} v_0 \end{cases} \Rightarrow v_m - v_m = \frac{\sqrt{6}-\sqrt{2}}{2} v_0$$

Ответ: 1) $v_1 = v_0$; 2) $v_m - v_m = \frac{\sqrt{6}-\sqrt{2}}{2} v_0$



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!

$\Phi_{\text{вн}} = BnS$ - поток внешнего поля через L_1
(B - и.м.п. в момент t)

$\Phi_1 = L_1 I$ - собственный поток L_1

$\Phi_2 = L_2 I$ - собственный поток L_2

$$U_1 = \frac{d\Phi_1}{dt} + \frac{d\Phi_{\text{вн}}}{dt} = L_1 \cdot \frac{dI}{dt} + nS \cdot \frac{dB}{dt} \quad \Rightarrow$$
$$U_1 = -U_2 = - \frac{d\Phi_2}{dt} = -L_2 \frac{dI}{dt}$$

$$L_1 I' + nSB' = -L_2 I' \Rightarrow nSB' = -7L I'$$
$$\Rightarrow I' = - \frac{nSB'}{7L}$$

$$1) I_0 = \int_0^{\infty} I' dt =$$



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!

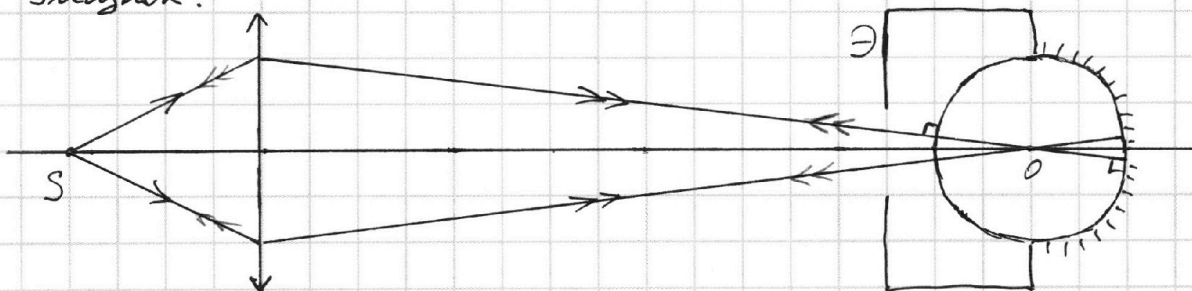
Рассмотрим Закон преломления для лучей, падающих на шар: (для одного любого из них)
 $\sin \alpha = n \sin \beta$, где α, β - углы падения, преломления соотв.,
 n - коэффициент преломления

$$\Rightarrow \sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n} \Rightarrow \beta = \frac{\alpha}{n}$$

По условию изображение источника совпадает с самим источником. Это означает, что точка, в которой пересекаются лучи, ~~исходящие~~ исходящие от источника после преломления в линзе совпадает с точкой, в которой пересекаются продолжения лучей, исходящих от шара. Заметим, что последняя точка зависит от угла преломления лучей, входящих в шар, т.к. от него зависит ход лучей в шаре. Это значит, что β не зависит от n , тогда:

$$\begin{cases} \beta = \frac{\alpha}{n} \\ \beta(n) = \text{const} \end{cases} \Rightarrow \beta = \alpha = 0, \text{ т.е. лучи падают на шар под } \text{прямозонным} \text{ углом } 0.$$

Рисунок:



Лучи проходят через центр шара O , после отражения идут обратным ходом.

1) Уравнение тонкой линзы: (f - расст. от линзы до изобр.)
 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{af}{a+f} = \frac{2R \cdot (7R+R)}{2R+7R+R} = 1,6 R$ - фокусное расстояние линзы

~~Заметим, что для того, чтобы изображение источника в системе "линза-шар" совпадало с источником, лучи после отражения должны идти обратным ходом, то есть лучи должны падать на зеркало под углом 0. Это значит, что лучи проходят через центр шара O .~~



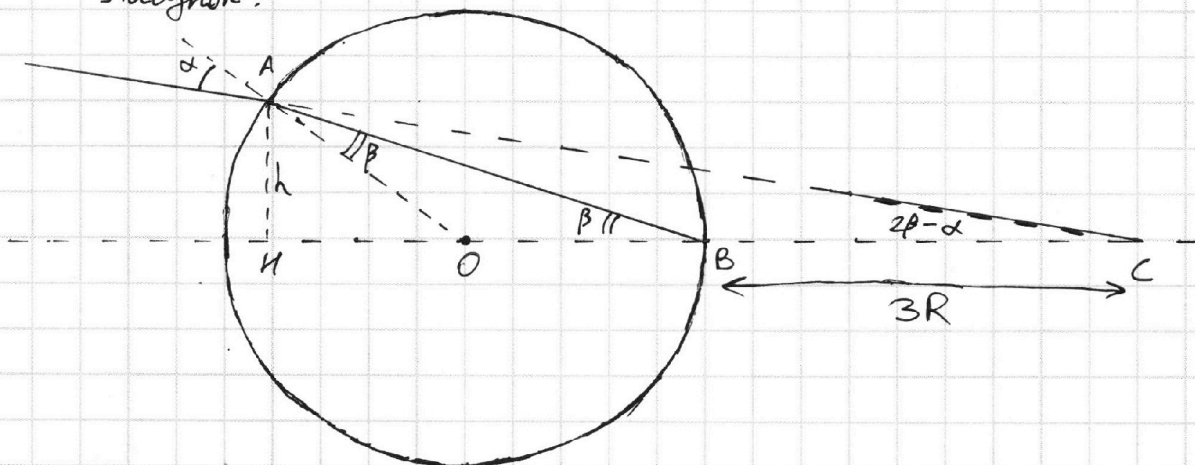
На одной странице можно оформлять **только одну задачу**. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!

- 2) Для того, чтобы изображение источника совпало с самим источником, после отражения лучи должны идти либо обратно тем же путем (по себе), либо идти симметрично себе отн. ГОО. В первом случае лучи проходят через центр шара, но тогда $\alpha = \beta = 0$ (α, β - углы падения и преломления лучей, входящих в шар), но $\alpha \neq 0$ - противоречие. Тогда лучи отражаются симметрично ГОО, т.е. они проходят через точку зеркала, лежащую на оси.
Рисунок:



$$\beta = \text{tg} \beta = \frac{h}{2R} \quad (BH = 2R, \text{ т.к. } h \ll R) \quad \left| \Rightarrow \alpha = \frac{4h}{5R} \right.$$

$$\angle ACH = \angle AOH - \angle OAC = 2\beta - \alpha = \text{tg} \angle ACH = \frac{h}{5R}$$

$$\sin \alpha = n \sin \beta \Rightarrow \alpha = n\beta \Rightarrow n = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{4/5}{1/2} = 8/5 = \boxed{1,6}$$

Ответ: 1) $F = 1,6 R$; 2) $n = 1,6$



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
☐

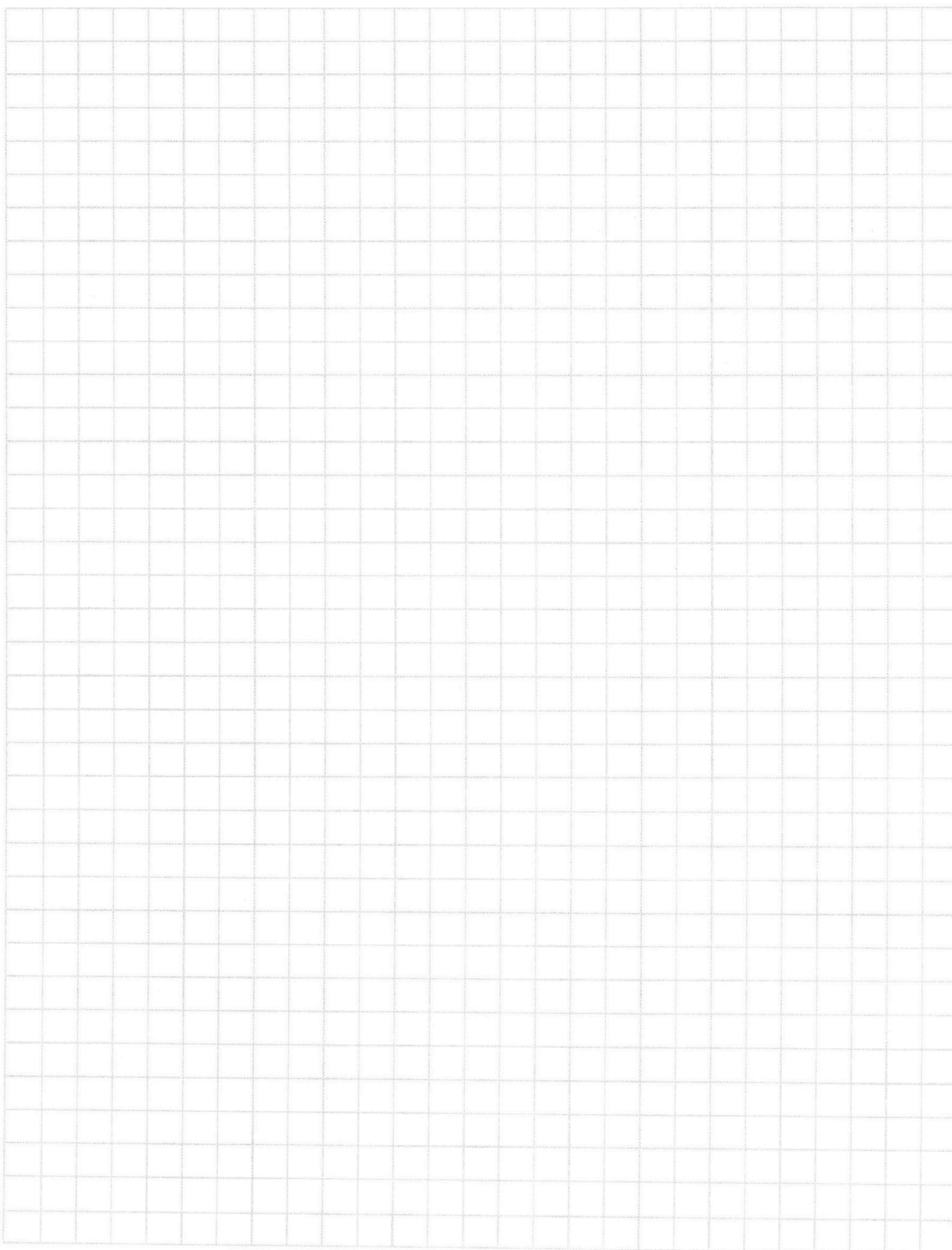
5
☐

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!





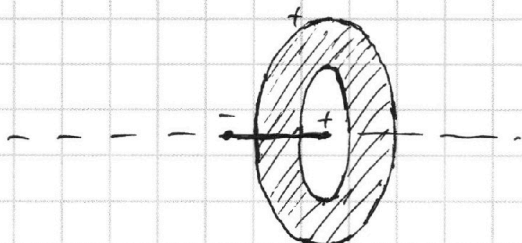
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!

Рассмотрим момент, когда потенциальная энергия э. взаимодействия диска с кабелем будет наибольшей:



~~В этот момент положительный заряд диска прелетает~~

E_{max} — наиб. потенциальная энергия
 m — масса диска

Если начальная полная механическая энергия диска больше E_{max} , то диск пройдет это положение, в противном случае — нет. Если v — начальная скорость:

$\frac{mv_0^2}{2} > E_{\text{max}}$ (т.к. потенциальная энергия в начале равна нулю)

т.к. v_0 — минимальная скорость, при которой диск преодолеет барьер, то:

$$\frac{mv_0^2}{2} = E_{\text{max}}$$

$E_{\text{max}} \sim q$, где q — положительный заряд диска.

Рассмотрим случай, когда заряды взаимодействуют в 2 раза:

$$1) \frac{mv_1^2}{2} = \frac{1}{2} E_{\text{max}} + \frac{mv_0^2}{2} - 3 \text{ ЛЭ}$$

$$\Rightarrow v_1^2 = \frac{E_{\text{max}}}{m} = \frac{v_0^2}{2} \Rightarrow v_1 = \boxed{\frac{1}{\sqrt{2}} v_0} \text{ — скорость диска при прохождении через центр диска.}$$

2) В процессе пролёта наибольшая скорость

~~$$a_0 = \frac{F_{\text{max}}}{m} = \mu g$$~~

$$\Phi_{\text{сод}} = L_1 I$$

$$\Phi_{\text{вн}} = B n S$$

$$\mathcal{U}_{L_1} = \Phi_{\text{сод}}' + \Phi_{\text{вн}}' = -\mathcal{U}_{L_2} = -\Phi_{\text{сод}_2}'$$

$$\Rightarrow L_1 I' + n S \cdot B' = -L_2 I' \Rightarrow n S B' = -7 L I'$$

$$\Rightarrow I' = -\frac{n S B'}{7 L}$$



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
☐

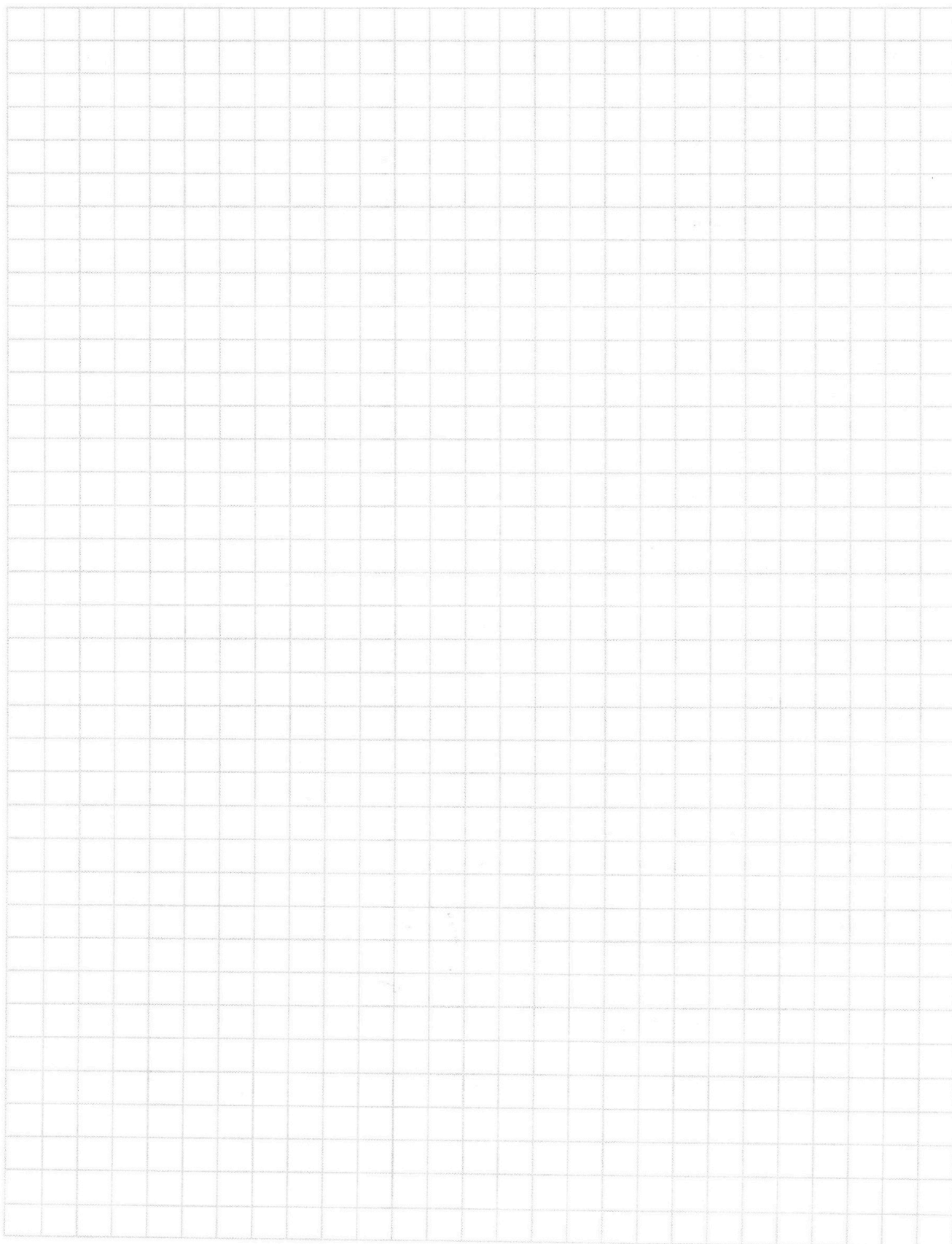
5
☒

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!

~~$$E_n = E_{n1} + E_{n2}$$

$$F_n = \sum F_i = \sum kq \cdot q$$~~

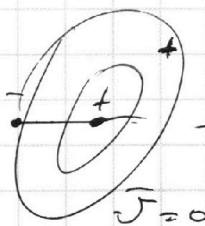
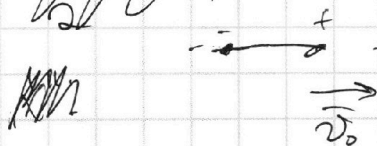
$$\varepsilon = -\frac{d\varphi}{dt} = nS \cdot \frac{dB}{dt}$$

~~$$E_{n1} + \frac{m\vec{v}_0^2}{2} = E_{n2}$$~~

~~$$-\frac{kqQ}{r} + \frac{kqQ}{r+l} + \frac{m\vec{v}_0^2}{2} = +\frac{kqQ}{r} + \frac{kqQ}{r+l} \Leftrightarrow$$~~

~~$$2kqQ\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r+l}\right) = m\vec{v}_0^2 \Leftrightarrow 2kqQ \frac{l}{r(r+l)} = \frac{2m\vec{v}_0^2}{2}$$~~

~~$$m\vec{v}_0^2 = 1$$~~

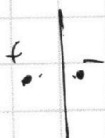
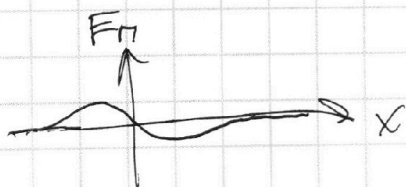


$$\frac{m\vec{v}_0^2}{2} = E_{MAX}$$

$$E_{MAX} \sim q \Rightarrow E_{MAX} = \alpha q$$

$$\frac{m\vec{v}_0^2}{2} = \frac{1}{2} E_{MAX} + \frac{m\vec{v}_1^2}{2} \Rightarrow \vec{v}_1^2 = \frac{E_{MAX}}{m} = \frac{\vec{v}_0^2}{2} \Rightarrow$$

$$\vec{v}_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \vec{v}_0$$



~~$$E_n = E_{q1} + E_{q2}$$

$$E_n = E_q(d_2 - d_1)$$~~

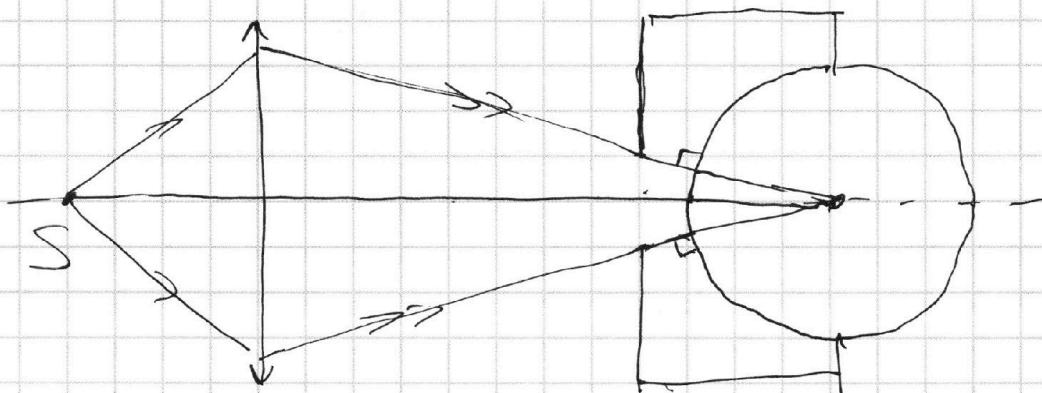


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в **решении каждой задачи отдельно**.

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!



$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \Rightarrow F = \frac{df}{d+f} = \frac{2R \cdot 8R}{2R+8R} = 1,6R$$

$$[uL] = \text{an}$$

$$\Phi = LI$$



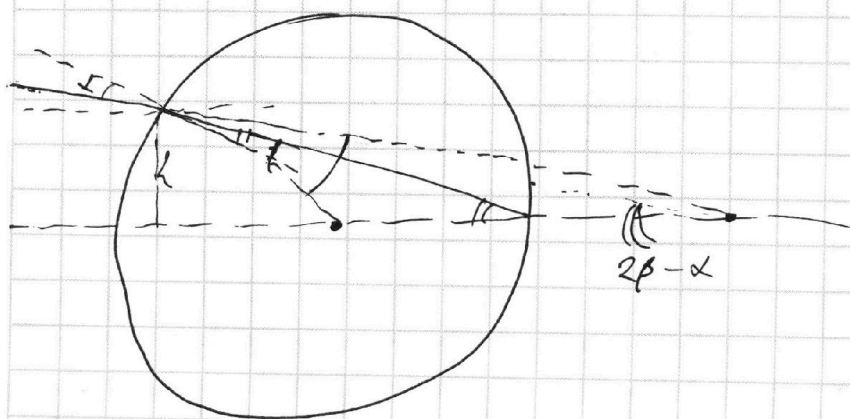
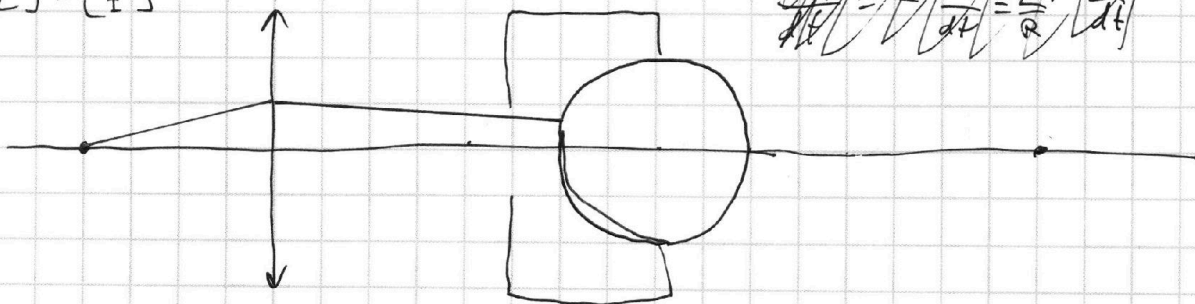
$$\Phi = Bns = LI$$

$$\Rightarrow L = \frac{Bns}{I}$$

$$[uL] = \left[\frac{\Phi}{It} \right]$$

$$[L] = \left[\frac{\Phi}{I} \right]$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = L \frac{dI}{dt} = \frac{LI}{R} \left[\frac{dI}{dt} \right]$$



$$\beta = \frac{h}{2R}$$

$$2\beta - \alpha = \frac{h}{5R}$$

$$\alpha = \frac{h}{R} - \frac{h}{5R} = \frac{4h}{5R}$$

$$n = \frac{c}{v} = \frac{4/5}{1/2} = 8/5$$