

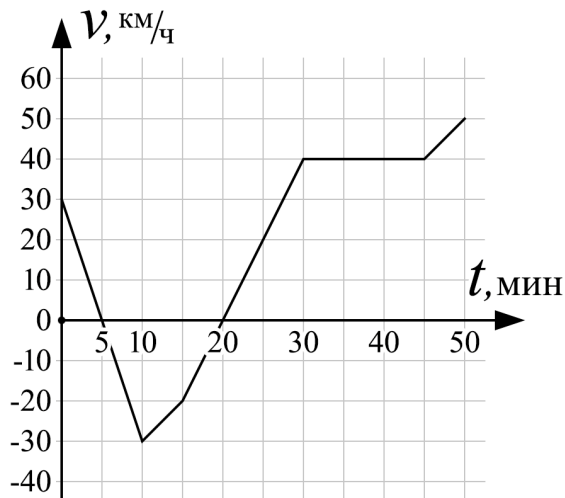
ЕГЭ по физике

Часть 1

Задача 1. На графике изображена зависимость скорости движения автобуса «Ночной рыцарь» от времени. Найдите расстояние, которое он проехал в промежутке от $t_1 = 30$ мин до $t_2 = 45$ мин. Ответ укажите в м и округлите до целого.

Решение. Пользуясь графиком, определяем, что в течение заданного промежутка «Ночной рыцарь» ехал с постоянной скоростью $v = 40$ км/ч. Значит, искомое расстояние $s = v \cdot (t_2 - t_1) = 40 \text{ км/ч} \cdot (45 \text{ мин} - 30 \text{ мин}) = 40 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot \frac{1}{4} \text{ ч} = 10 \text{ км}$.

Ответ: 10000 м.



Задача 2. Две Звезды Смерти вращаются вокруг Альдераана по круговым орбитам. Радиус орбиты первой Звезды в 5 раз меньше радиуса орбиты второй, а её масса равна 500 кг. При этом Звёзды притягиваются к Альдераану с одинаковыми по модулю силами. Чему равна масса второй Звезды Смерти? Ответ выразите в тоннах и округлите до десятых.

Решение. Пусть $m_1 = 500$ кг — масса первой Звезды Смерти, а m_2 — масса второй, а M — масса Альдераана. По условию радиус орбиты второй Звезды $R_2 = 5R_1$. Запишем закон всемирного тяготения:

$$F = G \frac{m_1 M}{R_1^2} = G \frac{m_2 M}{(5R_1)^2}, \Rightarrow m_2 = 25m_1 = 25 \cdot 500 = 12500 \text{ кг} = 12,5 \text{ т}.$$

Ответ: 12,5 т.

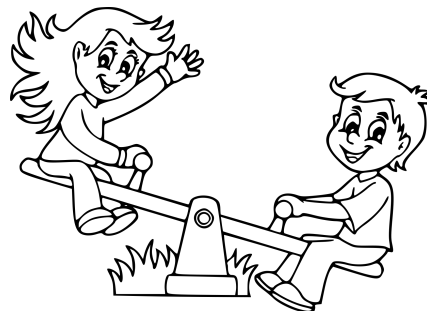
Задача 3. Джеймс Бонд уходит от погони по склонам Альп. Он едет на горных лыжах по горизонтальному участку, находящемуся на высоте $h = 800$ м над уровнем моря, со скоростью $v = 72$ км/ч. Во сколько раз его потенциальная энергия превышает кинетическую? Массу Джеймса Бонда примите равной $m = 76$ кг. Считайте, что потенциальная энергия отсчитывается от уровня моря. Ответ округлите до целого.

Решение. Потенциальная и кинетическая энергии Джеймса Бонда $E_{\text{п}} = mgh$, $E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$. Отсюда находим

$$\frac{E_{\text{п}}}{E_{\text{к}}} = \frac{2gh}{v^2} = \frac{2 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 800 \text{ м}}{(20 \text{ м/с})^2} = 40.$$

Ответ: 40.

Задача 4. Петя и Таня качаются на качелях. Хитрый мальчик хочет таким образом узнать массу девочки. Когда качели находятся в равновесии, Петя украдкой запоминает расстояния от каждого из них до опоры качелей. Расстояние от мальчика до опоры оказывается равным $l_1 = 130$ см, а от Тани — $l_2 = 1,5$ м. Какова масса девочки, если масса Пети $m_1 = 60$ кг? Ответ выразите в кг и округлите до целого.



Решение. Такие качели являются рычагом. Применим для него условие равновесия $P_1 \cdot l_1 = P_2 \cdot l_2$, где $P_1 = m_1 g$ и $P_2 = m_2 g$. Подставив выражения для P_1 и P_2 , получаем $m_1 \cdot l_1 = m_2 \cdot l_2$. Откуда

$$m_2 = m_1 \cdot \frac{l_1}{l_2} = 60 \text{ кг} \cdot \frac{1,3 \text{ м}}{1,5 \text{ м}} = 52 \text{ кг}.$$

Ответ: 52 кг.

Задача 5. Капитан Немо решил провести испытание Наutilusа. Немо на Наutilusе отправился в подводную экспедицию по озеру Байкал. В ходе экспедиции капитан записывал в таблицу результаты измерений гидростатического давления воды p в зависимости от времени t . Измерения на разных глубинах проводились при помощи датчика, установленного на Наutilusе.

t , мин	40	80	120	160	210	270	350
p , кПа	200	400	600	800	700	650	600

Из приведённого ниже списка выберите **два** правильных утверждения.

1. Глубина погружения Наutilusа всё время увеличивалась.
2. Максимальная глубина погружения Наutilusа составила 100 м.
3. Наutilus при погружении достиг глубины 80 м.
4. При погружении от глубины 20 м до глубины 60 м средняя скорость движения Наutilusа вдоль вертикали была равна 0,5 м/мин.
5. Наutilus всё время двигался с постоянной по модулю вертикальной скоростью.

В ответ запишите последовательность цифр, соответствующих номерам утверждений, без пробелов, запятых и других дополнительных символов.

Решение. Гидростатическое давление на Наutilus p связано с глубиной его погружения h формулой $p = \rho g h$. Утверждение 1 неверно, так как, начиная со $t = 160$ мин, глубина погружения Наutilusа уменьшалась (так как уменьшалось p).

Максимальная глубина погружения Наutilusа определяется максимальным значением давления $p_{\max} = 800$ кПа и составляет $h_{\max} = 80$ м. Значит, утверждение 2 неверно, а утверждение 3 **верно**.

От глубины 20 м до глубины 60 м глубина погружения Наutilusа всё время увеличивалась. При этом на изменение глубины в $\Delta h = 40$ м Наutilus затратил $\Delta t = 80$ мин. Значит, средняя скорость погружения составила $v_{\text{сред}} = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{40}{80} = 0,5$ м/мин, то есть утверждение 4 **верно**.

От глубины 70 м до глубины 65 м Наutilus всплывал со скоростью $5/6$ м/мин, а от глубины 20 м до глубины 60 м Наutilus погружался со скоростью 0,5 м/мин. Значит, утверждение 5 неверно.

Ответ: 34 или 43.

Задача 6. Деревянный брусок плавает в сосуде с водой. При этом $1/2$ часть его объёма погружена в воду. Сосуд с бруском отправляют на Луну, где ускорение свободного падения g в 6 раз меньше Земного. Как при этом изменится вес сосуда и объём погруженной части бруска?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится;
- 2) уменьшится;
- 3) не изменится.

В ответ запишите последовательность цифр без пробелов, запятых и других дополнительных символов, в которой первая цифра описывает характер изменения веса сосуда, а вторая — объёма погруженной части бруска.

Решение. Вес сосуда, в котором плавает брусок, зависит от массы сосуда и ускорения свободного падения. Масса сосуда не изменяется, а ускорение свободного падения уменьшается в 6 раз. Значит, вес сосуда уменьшится.

Брусок плавает в сосуде с водой, если $F_A = P$. Пусть V — объём бруска, m — его масса, ρ — плотность воды. Тогда равенство силы Архимеда и веса можно записать в виде $\frac{1}{2}\rho gV = mg$, откуда следует, что объём погруженной части зависит только от плотности жидкости и не зависит от ускорения свободного падения g . Поэтому объём погруженной части бруска не изменится.

Ответ: 23.

Задача 7. Планета Эндор имеет радиус $R = 74000$ км и некоторую плотность ρ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым эти величины можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца. Планету Эндор считайте однородной сферической. В ответ запишите последовательность цифр без пробелов, запятых и других дополнительных символов, в которой первая цифра соответствует номеру формулы для ускорения свободного падения на поверхности Эндора, а вторая — для второй космической скорости.

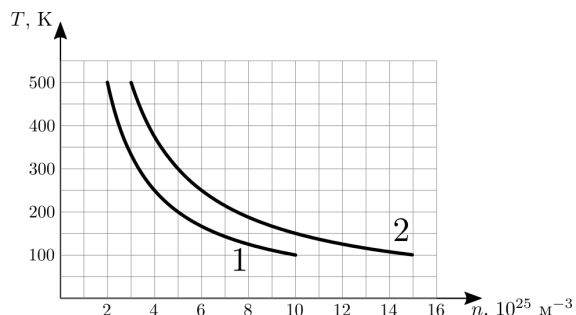
Физическая величина	Формула
А) ускорение свободного падения на поверхности планеты	1) $2R\sqrt{\frac{2\pi G\rho}{3}}$
Б) вторая космическая скорость	2) $\frac{2}{3}R\sqrt{\pi G\rho}$
	3) $\frac{4}{3}\pi G\rho R$
	4) $4\pi G\rho R$

Решение. Ускорение свободного падения на поверхности планеты массой M и радиуса R определяется формулой: $g = G\frac{M}{R^2}$. Так как планета Эндор однородная сферическая, то $M = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3$. Значит, $g = \frac{G}{R^2} \cdot \frac{4}{3}\pi R^3 \rho = \frac{4}{3}\pi G\rho R$. Эта формула представлена под цифрой 3.

Вторая космическая скорость определяется как $v_{2к} = \sqrt{2}v_{1к}$. Первая космическая скорость, в свою очередь определяется как $v_{1к} = \sqrt{gR} = \sqrt{\frac{4}{3}\pi G\rho R \cdot R} = 2R\sqrt{\frac{\pi G\rho}{3}}$. Откуда $v_{2к} = 2R\sqrt{\frac{2\pi G\rho}{3}}$. Эта формула представлена под цифрой 1.

Ответ: 31.

Задача 8. В двух сосудах при постоянном давлении находится идеальный трёхатомный газ. На графике изображена зависимость температуры газа от его концентрации в каждом из сосудов. Чему равно отношение давлений газа в этих сосудах? Ответ округлить до десятых.



Решение. Уравнение состояния идеального газа $p = nkT$. Тогда отношение давлений можно выразить через отношение температур и концентраций:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{n_2 T_2}{n_1 T_1}.$$

Выберем произвольные точки на каждом из графиков, например $n_1 = n_2 = 5 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ и соответствующие им $T_1 = 200 \text{ К}$, $T_2 = 300 \text{ К}$. Получаем $p_2/p_1 = 1,5$, либо $p_1/p_2 \approx 0,7$.

Ответ: 1,5 или 0,7.

Задача 9. Температуру 2 моль некоторого идеального газа адиабатически увеличили на $0,4 \text{ }^\circ\text{С}$, совершив при этом работу $16,62 \text{ Дж}$. Найдите показатель адиабаты этого газа. Ответ округлите до десятых.

Решение. Согласно первому началу термодинамики: $Q = \Delta U + A$, где A — работа, совершённая газом. В нашем случае $Q = 0$ (так как процесс адиабатический), а $A = -16,62 \text{ Дж}$, следовательно $\Delta U = -A$. По определению изменение внутренней энергии газа: $\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T$, откуда

$$i = \frac{2\Delta U}{\nu R \Delta T} = \frac{-2A}{\nu R \Delta T} = \frac{-2 \cdot (-16,62)}{2 \cdot 8,31 \cdot 0,4} = 2 \cdot \frac{5}{2} = 5.$$

Показатель адиабаты γ связан с количеством степеней свободы i формулой: $\gamma = \frac{i+2}{i} = \frac{5+2}{5} = 1,4$.

Задача 10. Хорошо теплоизолированный холодильник Пина имеет форму прямоугольного параллелепипеда высотой $a = 90 \text{ см}$, шириной $b = 44 \text{ см}$, глубиной $c = 42 \text{ см}$. Однажды на внутренней поверхности холодильника пингвин обнаружил ледяную «шубу» толщиной $d = 1 \text{ см}$ и решил заморозить его. Чтобы сделать это быстро, Пин изменил конструкцию электрического чайника так, что он не выключается, пока вся содержащаяся в нём вода не выкипит. Сколько воды должен вскипятить пингвин в модернизированном чайнике, поместив его в холодильник, чтобы весь лёд с начальной температурой $t_{\text{л}} = -10 \text{ }^\circ\text{С}$ растаял? Плотность, удельную теплоёмкость, удельную теплоту плавления льда примите равными $\rho_{\text{л}} = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $c_{\text{л}} = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$, $\lambda_{\text{л}} = 330 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ соответственно. Удельную теплоту парообразования и удельную теплоёмкость воды считайте равными $l_{\text{в}} = 2260 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ и $c_{\text{в}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$ соответственно. Ответ выразите в кг, округлив до десятых.

Объём льда можно найти точно $V_{\text{л}} = abc - (a - 2d)(b - 2d)(c - 2d) = 18480 \text{ см}^3 = 0,01848 \text{ м}^3$ или приближённо $V_{\text{л}} = 2(ab + bc + ac) \cdot d = 19176 \text{ см}^3 = 0,019176 \text{ м}^3$. Численный ответ приведём для обоих случаев. Тогда $m_{\text{л}} = \rho_{\text{л}} V_{\text{л}}$. Пусть m — масса воды, которую Пин должен налить в чайник, t — температура кипения воды, t_0 — температура плавления льда. Уравнение теплового баланса:

$$l_{\text{в}} m + c_{\text{в}} m(t - t_0) = c_{\text{л}} m_{\text{л}}(t_0 - t_{\text{л}}) + \lambda_{\text{л}} m_{\text{л}}.$$

Откуда

$$m = \frac{m_{\text{л}}(c_{\text{л}}(t_0 - t_{\text{л}}) + \lambda_{\text{л}})}{l_{\text{в}} + c_{\text{в}}(t - t_0)} = \frac{\rho_{\text{л}} V_{\text{л}}(c_{\text{л}}(t_0 - t_{\text{л}}) + \lambda_{\text{л}})}{l_{\text{в}} + c_{\text{в}}(t - t_0)}.$$

Получаем $m \approx 2,2 \text{ кг}$ или $m \approx 2,3 \text{ кг}$.

Задача 11. Выпускница физтех-школы прикладной математики и информатики Маша экспериментирует с моделью тепловой машины, работающей по идеальному циклу Карно. Маша провела эксперимент: поддерживая постоянную температуру нагревателя, она меняла температуру холодильника $T_{\text{х}}$ и вычисляла КПД машины η . Результаты эксперимента Маша записала в таблицу, а полученные выводы в список.

$T_{\text{х}}, \text{ К}$	300	400	500	600	700	800	900
$\eta, \%$	70	60	50	40	30	20	10

Взглянув на выводы нерадивой выпускницы, научный руководитель сообщил ей, что только **два** из них верные. Помогите Маше определить, какие именно.

1. КПД цикла возрастает при увеличении T_X .
2. Температура нагревателя $T_H = 1000$ К.
3. $T_H = 500$ К.
4. При $T_X = 0^\circ\text{C}$ данный цикл будет иметь КПД $\eta = 100\%$.
5. При $T_X = 650$ К данный цикл будет иметь $\eta = 35\%$.

В ответ запишите последовательность цифр, соответствующих номерам утверждений, без пробелов, запятых и других дополнительных символов.

Решение. Из таблицы видно, что при увеличении температуры холодильника КПД уменьшается, значит, утверждение 1 неверно.

КПД идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно, может быть найден по формуле:

$$\eta = 1 - \frac{T_X}{T_H}, \text{ откуда } T_H = \frac{T_X}{1 - \eta} = \frac{300}{1 - 0,7} = 1000 \text{ К.}$$

Значит, утверждение 2 **верно**, а утверждение 3 неверно.

При $T_X = 0^\circ\text{C} = 273$ К данный цикл будет иметь КПД $\eta < 100\%$. Значит, утверждение 4 неверно.

При $T_X = 650$ К данный цикл будет иметь КПД $\eta = 1 - \frac{650}{1000} = 0,35$. Значит, утверждение 5 **верно**.

Ответ: 25 или 52.

Задача 12. Выполняя лабораторную работу по физике, Ёжик поместил в кастрюлю смесь воды и льда при температуре 0°C . Затем Ёжик подогрел кастрюлю со смесью на электрической плите, тем самым сообщив системе некоторое количество теплоты. В результате установления теплового равновесия часть льда растаяла. Помогите Ёжику понять, как при этом изменились внутренняя энергия льда и внутренняя энергия жидкой воды.

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилась;
- 2) уменьшилась;
- 3) не изменилась.

В ответ запишите последовательность цифр без пробелов, запятых и других дополнительных символов, в которой первая цифра описывает характер изменения внутренней энергии льда, а вторая — внутренней энергии жидкой воды.

Решение. Так как растаяла только часть льда, температура смеси осталась прежней, поэтому изменение внутренней энергии может произойти только вследствие изменения массы вещества. Так как часть льда растаяла, его масса уменьшилась, а масса жидкой воды увеличилась. Значит, внутренняя энергия льда уменьшилась, а внутренняя энергия жидкой воды увеличилась.

Ответ: 21.

Задача 13. Прямолинейный медный проводник длиной 25 см находится в однородном магнитном поле. На проводник со стороны магнитного поля с индукцией 2 Тл действует сила 500 мН. При этом по проводнику течёт ток 2 А. Под каким углом к линиям магнитной индукции расположен проводник? Ответ дайте в градусах и округлите до целого.

Решение. На проводник действует сила Ампера: $F_A = I \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha$, где α — искомый угол. Выражаем $\sin \alpha = \frac{F_A}{I \cdot B \cdot l} = \frac{0,5}{2 \cdot 2 \cdot 0,25} = \frac{0,5}{1} = 0,5$. Значит, $\alpha = 30^\circ$.

Задача 14. В электрическую цепь включена нихромовая проволока некоторой длины с площадью поперечного сечения $0,01 \text{ мм}^2$. К концам проволоки приложено напряжение 12 В. При этом через

нее течёт ток силой 0,2 А. Найдите напряжённость электрического поля в проволоке. Удельное сопротивление нихрома 1,2 Ом · мм²/м. Ответ дайте в В/м и округлите до целого.

Решение. Известно, что $U = E \cdot d$, где d — длина проводника. Значит, $E = \frac{U}{d}$. Чтобы найти длину проводника d , используем закон Ома: $U = I \cdot R$, откуда $R = \frac{U}{I}$. Учитывая, что сопротивление проводника связано с его длиной $R = \frac{\rho \cdot d}{S}$, получаем $d = \frac{U \cdot S}{I \cdot \rho}$. Таким образом,

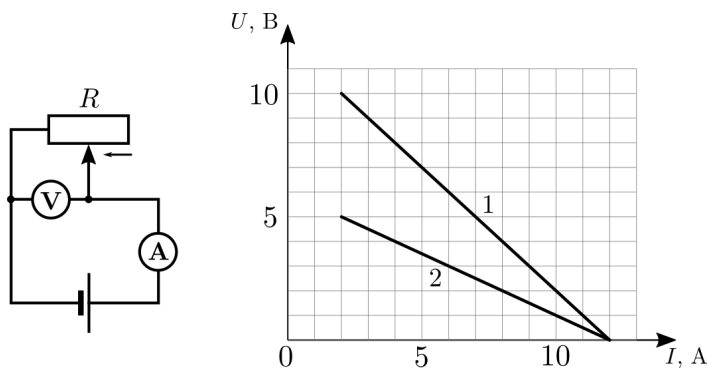
$$E = \frac{I \cdot \rho}{S} = \frac{0,2 \cdot 1,2}{0,01} = 0,24 \cdot 100 = 24 \text{ В/м}.$$

Задача 15. В идеальном колебательном контуре имеющегося у Пина радиоприёмника происходят электромагнитные колебания. Зависимость силы тока в катушке I в амперах от времени t в секундах имеет вид: $I(t) = 6\pi^2 \cdot \sin\left(6 \cdot 10^6 \pi t + \frac{\pi}{6}\right)$. Пин очень хочет услышать бороздящего просторы космоса Биби, поэтому собирается перенастроить свой приёмник на ультракороткие волны. В какое минимальное количество раз ему для этого нужно уменьшить ёмкость конденсатора? Ультракороткими называются волны с длиной волны, не превышающей 10 м.

Решение. Так как $I(t) = 6\pi^2 \cdot \sin\left(6 \cdot 10^6 \pi t + \frac{\pi}{6}\right) = 6\pi^2 \cdot \sin\left(6 \cdot 10^6 \pi t + \frac{3\pi}{2} - \frac{4\pi}{3}\right) = 6\pi^2 \cdot \cos\left(6 \cdot 10^6 \pi t - \frac{4\pi}{3}\right)$, то $\omega = 6 \cdot 10^6 \pi$. Откуда находим, на какую длину волны изначально был настроен радиоприёмник Пина: $\lambda = \frac{2\pi \cdot c}{\omega} = \frac{2\pi \cdot 3 \cdot 10^8}{6 \cdot 10^6 \pi} = 100 \text{ м}$. Обозначим длину волны, на которую Пин хочет перенастроить приёмник, как $\lambda^* = 10 \text{ м}$. Запишем отношение: $\frac{\lambda^*}{\lambda} = \frac{\omega}{\omega^*} = \frac{1}{10}$. Так как $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, а $\omega^* = \frac{1}{\sqrt{LC^*}}$, получаем $\frac{\omega}{\omega^*} = \sqrt{\frac{C^*}{C}} = \frac{1}{10}$. Значит, $\frac{C^*}{C} = \frac{1}{100}$.

Ответ: 100.

Задача 16. Пин исследовал зависимость напряжения на реостате от величины протекающего тока с помощью установки, схема которой приведена на рисунке слева. В ходе измерений пингвин двигал ползунок реостата справа налево. На рисунке справа приведены графики, построенные Пином по результатам измерений для двух имевшихся у него в запасе разных источников питания. Выберите **два** утверждения, соответствующих результатам этих измерений. Используемый Пином вольтметр можно считать идеальным.



1. В первом опыте при силе тока 6 А вольтметр показывает значение 6 В.
2. Ток короткого замыкания равен 10 А.
3. Во втором опыте сопротивление резистора уменьшалось с большей скоростью.
4. Во втором опыте при силе тока 4 А вольтметр показывает значение 4 В.
5. В первом опыте ЭДС источника равна 5 В.

В ответ запишите последовательность цифр, соответствующих номерам утверждений, без пробелов, запятых и других дополнительных символов.

Решение. Из графика видно, что в первом опыте при силе тока 6 А вольтметр показывает значение 6 В.

При токе, равном 12 А реостат полностью выведен, цепь замкнута накоротко, следовательно, 12 А — ток короткого замыкания.

На данном графике представлена лишь зависимость напряжения от тока, поэтому ничего нельзя сказать о скорости изменения сопротивления резистора.

Из графика видно, что во втором опыте при силе тока 4 А вольтметр показывает значение 4 В.

В первом опыте ЭДС источника равна 12 В.

Ответ: 14 или 41.

Задача 17. Изучая свойства тонкой собирающей линзы своих очков, Совунья располагает на её главной оптической оси между фокусным и двойным фокусным расстоянием небольшой предмет. Затем любопытная Совунья начинает приближать предмет к фокусу линзы. Помогите ей понять, как при этом меняются размер изображения и оптическая сила линзы?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается;
- 2) уменьшается;
- 3) не изменяется.

В ответ запишите последовательность цифр без пробелов, запятых и других дополнительных символов, в которой первая цифра описывает характер изменения размера изображения, а вторая — оптической силы линзы.

Решение. Размер изображения при приближении предмета к фокусу собирающей линзы увеличивается. Оптическая сила линзы не зависит от положения предмета.

Ответ: 13.

Задача 18. Лосяш поручил Крошу восстановить в справочнике стёршиеся единицы измерения некоторых физических величин. С большей частью величин у Кроша проблем не возникло, но про ЭДС индукции и индуктивность маленький кролик ничегошеньки не знает. Помогите Крошу узнать, какими единицами в СИ измеряются нужные ему физические величины. В ответ запишите последовательность цифр без пробелов, запятых и других дополнительных символов, в которой первая цифра соответствует номеру единицы измерения ЭДС индукции, а вторая — индуктивности.

Физическая величина	Формула
А) ЭДС индукции	1) $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{А} \cdot \text{с}^3}$
Б) индуктивность	2) $\frac{\text{А} \cdot \text{с}^2}{\text{кг} \cdot \text{м}^2}$
	3) $\frac{\text{А} \cdot \text{с}^2}{\text{кг} \cdot \text{м}^2}$
	4) $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{А}^2 \cdot \text{с}^2}$

Решение. ЭДС индукции измеряется в вольтах. Вольт — работа по перемещению единичного за-

ряда, то есть $B = \frac{Дж}{Кл} = \frac{Н \cdot м}{Кл}$. Кулон — заряд, протекающий по проводнику за 1 с при силе тока в 1 А, то есть $B = \frac{Н \cdot м}{Кл} = \frac{Н \cdot м}{А \cdot с} = \frac{кг \cdot м^2 / с^2}{А \cdot с} = \frac{кг \cdot м^2}{А \cdot с^3}$.

Индуктивность можно найти из формулы: $\mathcal{E} = -L \cdot \dot{I}$. Значит, индуктивность измеряется в

$$\frac{В \cdot с}{А} = \frac{кг \cdot м^2}{А \cdot с^3} \cdot \frac{с}{А} = \frac{кг \cdot м^2}{А^2 \cdot с^2}.$$

Ответ: 14.

Задача 19. В 1970 году независимо в подмосковной Дубне и американском городе Беркли был получен химический элемент с атомным номером 105. В разные годы его называли нильсборием, ганием, жолиотием, пока в 1997 году не остановили свой выбор на названии дубний. Изотоп дубния с самым большим периодом полураспада имеет массовое число 267. Сколько нуклонов и сколько нейтронов содержится в атомном ядре этого изотопа? В ответ запишите два числа, не разделяя их пробелом.

Решение. Массовое число (полное количество нуклонов) A связано с зарядовым числом Z и количеством нейтронов N формулой $A = Z + N$. В нашей задаче $A = 267$, $Z = 105$, значит, $N = 267 - 105 = 162$.

Ответ: 267162.

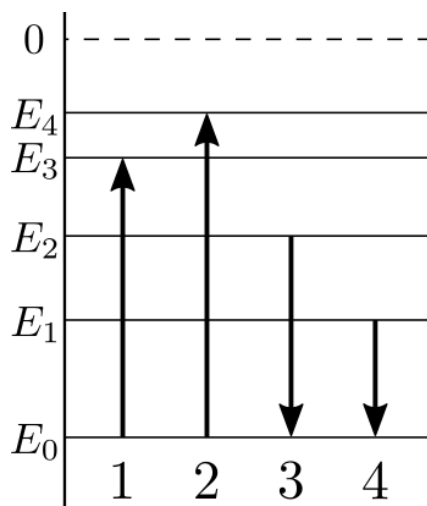
Задача 20. Дифракционная решётка имеет период 1 см. На неё падает поток фотонов с импульсом $19,8 \cdot 10^{-32}$ кг·м/с. Во сколько раз длина волны излучения этого фотона меньше расстояния между соседними штрихами дифракционной решётки?

Решение. Импульс фотона связан с длиной волны формулой $\lambda = \frac{h}{p}$. Расстояние между соседними штрихами дифракционной решётки это по определению её период. Тогда

$$\frac{\lambda}{d} = \frac{h}{p \cdot d} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34}}{19,8 \cdot 10^{-32} \cdot 10^{-2}} = \frac{1}{3}.$$

Ответ: 3. В условии этой задачи была допущена опечатка: период решётки был дан в мм вместо см. При подсчёте с периодом решётки 1 мм получалось, что длина волны в $\frac{10}{3}$ раза **больше** периода решётки.

Задача 21. На уроке физики Лосяш изобразил на доске упрощённую диаграмму энергетических уровней некоторого атома. Нумерованными стрелками он отметил некоторые возможные переходы атома между этими уровнями. Лосяш вызвал к доске Бараша и попросил его установить соответствие между процессами поглощения или излучения света наибольшей длины волны и стрелками, указывающими энергетические переходы атома. Весь урок витавший в облаках Бараш испытывает сложности с этим заданием. Помогите барашку: к каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго. В ответ запишите последовательность цифр без пробелов, запятых и других дополнительных символов, в которой первая цифра указывает номер стрелки, соответствующей поглощению света наибольшей длины волны, а вторая — излучению.



Процесс	Энергетический переход
А) поглощение света наибольшей длины волны	1) 1
Б) излучение света наибольшей длины волны	2) 2
	3) 3
	4) 4

Решение. Квант энергии поглощается при переходе на более высокий уровень, излучается при переходе на более низкий. При этом расстояние между уровнями обратно пропорционально длине волны: $\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$. Таким образом, поглощению света наибольшей длины волны соответствует энергетический переход 1, а излучению света наибольшей длины волны отвечает переход 4.

Ответ: 14.

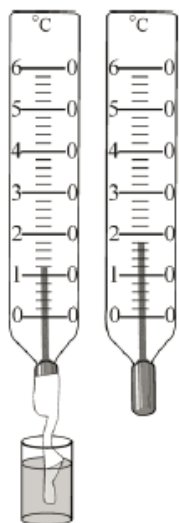
Задача 22. Чтобы измерить количество осадков, выпадающих за сутки, их собирают в цилиндрический сосуд с площадью дна 100 см^2 . Для измерения уровня осадков в сосуде, их переливают в мензурку с ценой деления 1 мл . Первого сентября 2019 года после измерения в мензурке оказалось 78 мл осадков. Найдите количество осадков в мм, выпавшее в этот день.

Решение. Погрешность измерения мензуркой равна половине цены ее деления. Объем осадков в мензурке $78,0 \pm 0,5 \text{ мл}$. Количество осадков вычисляется как

$$h = \frac{V}{S} = \frac{78,0 \pm 0,5 \text{ мл}}{100 \text{ см}^2} = 0,780 \pm 0,005 \text{ см} = 7,80 \pm 0,05 \text{ мм}.$$

Ответ: 7,800,05.

Задача 23. Под руководством Лосяша Совунья провела эксперимент по измерению влажности воздуха в оранжерее, где она выращивает цветы. Совунья измерила температуру воздуха сухим и влажным термометрами и нарисовала их показания. Используя представленную ниже психрометрическую таблицу, определите температуру и относительную влажность воздуха в процентах в оранжерее Совуньи. Запишите два числа подряд, не разделяя их знаками, сначала укажите температуру.



Температура сухого термометра, °C	Разность показаний сухого и влажного термометров, °C			
	3	4	5	6
15	71	61	52	44
16	71	62	54	45
17	72	64	55	47
18	73	64	56	48
19	74	65	58	50
20	74	66	59	51
21	75	67	60	52
22	76	68	61	54
23	76	69	61	55
24	77	69	62	56
25	77	70	63	57

Решение. Из рисунка видно, что температура сухого термометра (температура воздуха в помещении) составляет 18 °C, влажного — 12 °C. По таблице находим, что относительная влажность при этом равна 48%.

Ответ: 1848.

Задача 24. Звезда Смерти движется вокруг Центра по орбите с малой полуосью $15\sqrt{39}$ а. е. и эксцентриситетом 0,95. Выберите **два** утверждения, которые соответствуют характеру движения Звезды Смерти.

Название планеты	Большая полуось, а. е.
Эндор	5,2
Альдераан	1,0
Татуин	1,5

1. Звезда Смерти может столкнуться с Альдерааном.
2. Звезда Смерти никогда не бывает ближе к Центру, чем Эндор.
3. В афелии Звезда Смерти удаляется от Центра больше, чем на 500 а. е.
4. Период обращения Звезды Смерти вокруг Центра меньше, чем у Татуина.
5. Средняя скорость орбитального движения Звезды Смерти больше, чем у Альдераана.

В ответ запишите последовательность цифр, соответствующих номерам утверждений, без пробелов, запятых и других дополнительных символов.

Решение. Найдём большую полуось орбиты Звезды Смерти из определения эксцентриситета:

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}, \Rightarrow a^2 = \frac{b^2}{1 - e^2}, \Rightarrow a = b\sqrt{\frac{1}{1 - e^2}}, \Rightarrow a = 15\sqrt{39} \cdot \sqrt{\frac{20^2}{20^2 - 19^2}} = 15 \cdot 20 = 300 \text{ а. е.}$$

Минимальное расстояние Звезды Смерти от Центра: $a \cdot (1 - e) = 300 \cdot 0,05 = 15$ а. е., а максимальное — $a \cdot (1 + e) = 300 \cdot 1,95 = 585$ а. е. Отсюда делаем вывод, что с Альдерааном Звезда Смерти столкнуться не может, так как его максимальное удаление не превышает удвоенной большой полуоси, т.е. 2 а. е. Эндор также не удаляется далее 10,4 а. е. от Центра. В афелии Звезда Смерти действительно улетает дальше, чем на 500 а. е. Из третьего закона Кеплера — чем больше большая полуось орбиты, тем больше период обращения. Отсюда получаем, что период обращения Звезды смерти не может быть меньше, чем у Татуина. Чем меньше большая полуось орбиты, тем быстрее движется небесное тело вокруг Центра. Значит, последний пункт верным быть не может.

Ответ: 23 или 32.

Часть 2

Задача 25. Луч света падает под углом $\alpha = 30^\circ$ из воздуха на поверхность озера Тахо. Определите время, за которое луч пройдёт от поверхности озера до дна, если его глубина $h = 500$ м. Ответ выразите в мкс и округлите до десятых долей.

Решение. После прохождения поверхности луч пойдёт под углом преломления β , который находится из закона Снеллиуса $\sin \alpha = n \sin \beta$. Длина пути от поверхности до дна равна $\ell = \frac{h}{\cos \beta}$. В среде свет распространяется со скоростью $v = \frac{c}{n}$. Тогда время прохождения от поверхности до дна будет равно

$$t = \frac{\ell}{v} = \frac{nh}{c \cos \beta} = \frac{nh}{c \sqrt{1 - \sin^2 \beta}} = \frac{nh}{c \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n^2}}} = \frac{1.33 \cdot 500}{3 \cdot 10^8 \sqrt{1 - \frac{0.5^2}{1.33^2}}} \approx 2.39 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$$

Ответ: 2.4

Задача 26. После неудачного падения с лестницы в своей огромной библиотеке Лосяш никак не мог вспомнить значение постоянной Планка. Как приличный учёный он решил определить постоянную Планка экспериментально. Для этого Лосяш облучал фотоэлемент монохроматическим светом с известными длинами волн и измерял соответствующее им запирающее напряжение. Результаты своего эксперимента он записал в таблицу. Одна беда — нужные для определения постоянной Планка по этим данным формулы Лосяш тоже забыл! Определите постоянную Планка с точностью до первого знака после запятой. В ответе приведите значение, умноженное на 10^{34} .

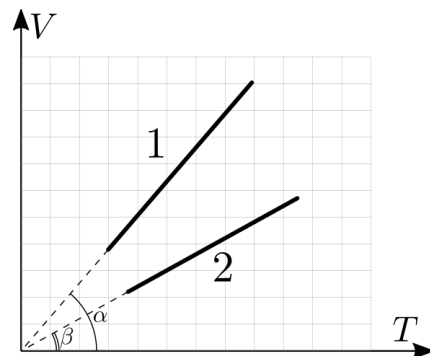
Длина волны λ , нм	339	513	589
Запирающее напряжение U , В	1.6	0.4	0.1

Решение. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта для каждого случая имеет вид $h\nu_i = A_{\text{вых}} + eU_i$. Выразим частоту через длину волны $\nu_i = \frac{c}{\lambda_i}$. Чтобы найти значение постоянной Планка нужно взять любые два измерения и исключить с их помощью работу выхода

$$h \frac{c}{\lambda_2} - h \frac{c}{\lambda_1} = e(U_2 - U_1) \implies h = \frac{e}{c} \cdot \frac{U_2 - U_1}{1/\lambda_2 - 1/\lambda_1}.$$

В зависимости от того, какое измерение взять в качестве первого, а какое — в качестве второго, получаются ответы $h = 6.40 \cdot 10^{-34}$, $6.36 \cdot 10^{-34}$ и $6.39 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, после округления до первого знака во всех случаях получается $6.4 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. Ответ: 6.4.

Задача 27. В двух нежёстких закрытых сосудах находится некоторое количество кислорода. Изначально давления газа в сосудах равны. Над газом в каждом из сосудов провели процесс, графики этих процессов изображены на рисунке. Почему угол α оказался больше угла β ? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



Решение. В приведенных процессах объем пропорционален температуре, то есть $V = aT$, где a — некоторая постоянная, своя в каждом процессе. Из закона Клапейрона–Менделеева $pV = \nu RT$ найдем коэффициент $a = \frac{\nu R}{p}$. Так как сосуд закрыт, количество вещества в нем постоянно. Из постоянства a заключаем, что давление в каждом процессе неизменно, то есть перед нами два изобарных процесса. Поскольку перед проведением процессов давления в каждом сосуде совпадали, они продолжали совпадать и в течение обоих процессов. Так как угол наклона графика 1 больше угла наклона графика 2, коэффициент a для первого процесса больше, чем для второго. А это возможно только если количество вещества в первом сосуде больше, чем во втором.

Задача 28. Однородный алюминиевый шарик с воздушной полостью плавает в жидкости. Объем погруженной части шарика в 1,5 раза больше объема непогруженной части. Плотность жидкости в 1,2 раза больше плотности алюминия. Какую часть объема шарика занимает полость?

Теперь представим, что плотность жидкости можно изменять так, чтобы она в k раз отличалась от плотности алюминия. Определите, при каком k шарик начнет тонуть.

Решение. Пусть V — объем алюминия, а V_0 — объем полости, значит, объем всего шарика — $V + V_0$. Плотность алюминия обозначим ρ , тогда плотность жидкости $1,2\rho$. Объем погруженной части найдём из условия:

$$\frac{V_{\text{пог}}}{V + V_0 - V_{\text{пог}}} = 1,5, \Rightarrow V_{\text{пог}} = \frac{3}{5}(V + V_0).$$

Запишем первое условие равновесия (равнодействующая всех сил, действующих на шарик, равна $\vec{0}$) в проекции на вертикальную ось:

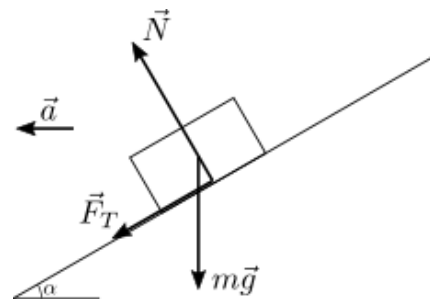
$$1,2\rho g V_{\text{пог}} - \rho g V = 0, \Rightarrow 1,2 V_{\text{пог}} = V, \Rightarrow \frac{6}{5} \cdot \frac{3}{5}(V + V_0) = V, \Rightarrow V = \frac{18}{7} V_0.$$

Откуда находим, что $\alpha = \frac{V_0}{V + V_0} = \frac{V_0}{\frac{18}{7} V_0 + V_0} = \frac{7}{25} = 0,28$.

Плотность алюминия обозначим ρ , тогда плотность жидкости $k\rho$. В момент, когда шарик начинает тонуть, объем погруженной части равен объёму всего шарика: $V_{\text{пог}} = V + V_0$. Шарик начнёт тонуть, если сила Архимеда не будет превышать силу тяжести: $k\rho g V_{\text{пог}} - \rho g V \leq 0, \Rightarrow k(V + V_0) \leq V, \Rightarrow k(\frac{18}{7} V_0 + V_0) \leq \frac{18}{7} V_0, \Rightarrow k \leq \frac{18}{25}$.

Задача 29. Тренируя навыки экстремального вождения, Джеймс Бонд едет на своём Aston Martin DB5 по учебному треку. Имитируя уход от погони, Джеймс проезжает поворот радиуса $R = 325$ м с максимально возможной скоростью, равной 234 км/ч. Угол наклона дорожного полотна к горизонту на этом треке составляет $\alpha = 30^\circ$ внутрь поворота. При каком минимальном коэффициенте трения колёс автомобиля о дорогу μ автомобиль Бонда не вылетит с трека? Ответ округлить до сотых.

Решение. При движении автомобиля по окружности его ускорение направлено к центру окружности и по модулю равно $a = \frac{v^2}{R}$. При этом на автомобиль действуют три силы: сила тяжести, сила реакции опоры и сила трения между поверхностью и колесами автомобиля. Сила трения направлена противоположно направлению вылета автомобиля с трека. Запишем второй закон Ньютона в проекциях на горизонтальное и вертикальное направления:



$$\begin{aligned} ma &= F_T \cos \alpha + N \sin \alpha, \\ 0 &= N \cos \alpha - mg - F_T \sin \alpha. \end{aligned}$$

Подставим $F_T = \mu N$ (максимальная сила трения покоя, при которой еще не начинается проскальзывание) и перенесем mg налево:

$$\begin{aligned} ma &= N(\mu \cos \alpha + \sin \alpha), \\ mg &= N(\cos \alpha - \mu \sin \alpha). \end{aligned}$$

Разделим второе уравнение на первое

$$\frac{g}{a} = \frac{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}{\mu \cos \alpha + \sin \alpha} \Rightarrow a(\cos \alpha - \mu \sin \alpha) = g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) \Rightarrow \mu = \frac{a - g \tan \alpha}{g + a \tan \alpha}.$$

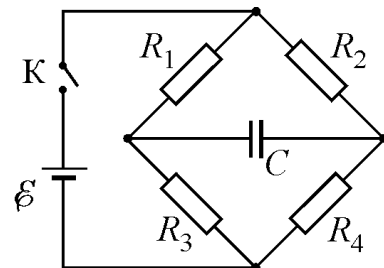
Подставляя числовые значения, получаем $a = \frac{(234/3.6)^2}{325} = 13 \text{ м/с}^2$, $\mu = \frac{13 - 10/\sqrt{3}}{10 + 13/\sqrt{3}} \approx 0.41$.

Задача 30. Зимой Крош и Ёжик пошли в поход. От прогулки по заснеженному лесу они немного замёрзли и устали, поэтому решили организовать привал и выпить горячего чая. Ёжик плотно набил алюминиевый котелок массой $m = 1 \text{ кг}$ снегом и подвесил над разведённым Крошем костром. Когда почти все дрова прогорели, снег растаял, и котелок оказался на $\alpha = \frac{3}{4}$ своего объёма наполнен водой температуры $t_0 = 0^\circ\text{C}$. Чтобы Ёжик смог вскипятить образовавшуюся воду, Крошу необходимо найти ещё $m^* = 1 \text{ кг}$ дров. Найдите объём котелка, если коэффициент полезного действия костра равен $\eta = 9\%$. Ответ выразите в л. Удельные теплоёмкости воды и алюминия, удельную теплоту сгорания дров примите равными $c_1 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$ и $c_2 = 900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$, $q = 15 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ соответственно.

Решение. Пусть V — искомый объём котелка, $t = 100^\circ\text{C}$ — температура кипения воды. Тогда $c_1 \cdot \rho \alpha V(t - t_0) + c_2 \cdot m(t - t_0) = \eta q \cdot m^*$, откуда

$$V = \frac{\eta q \cdot m^* - c_2 \cdot m(t - t_0)}{c_1(t - t_0) \cdot \rho \alpha} = \frac{0,09 \cdot 15000000 \cdot 1 - 900 \cdot 1 \cdot 100}{4200 \cdot 100 \cdot 1000 \cdot 0,75} = 4 \text{ л.}$$

Задача 31. В цепи, схема которой изображена на рисунке, ЭДС идеального источника равна $\mathcal{E} = 6 \text{ В}$, ёмкость конденсатора $C = 2 \text{ мкФ}$, сопротивления резисторов равны $R_1 = 1 \text{ кОм}$, $R_2 = 1 \text{ кОм}$, $R_3 = 2 \text{ кОм}$, $R_4 = 3 \text{ кОм}$. Какой заряд установится на конденсаторе спустя большое время после замыкания ключа К? Ответ дайте в мкКл и округлите до десятых.



Решение. Спустя большое время после замыкания ключа К ток через конденсатор прекратится. Значит удаление его из цепи не изменит токов, текущих через резисторы. Напряжение на конденсаторе будет равно разности потенциалов между точками, к которым он был подключен. После

удаления конденсатора к источнику подключено параллельное соединение двух последовательно соединенных пар резисторов. Через пару R_1-R_3 течет ток $I_1 = I_3 = \frac{\mathcal{E}}{R_1+R_3}$, а через пару R_2-R_4 течет ток $I_2 = I_4 = \frac{\mathcal{E}}{R_2+R_4}$. Разность потенциалов V между точками подключения конденсатора равна разности напряжений на резисторах R_1 и R_2 ,

$$V = U_1 - U_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2 = \mathcal{E} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_2}{R_2 + R_4} \right) = \mathcal{E} \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)}.$$

Заряд на конденсаторе будет равен $q = CV = C\mathcal{E} \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)} = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot \frac{1 \cdot 3 - 1 \cdot 2}{(1+2)(1+3)} = 10^{-6}$ Кл.
 Ответ: 1.

Задача 32. На горизонтально вращающемся диэлектрическом столе на расстоянии $R = 1$ м от оси вращения находится небольшое заряженное тело. Отношение заряда тела к его массе равно $q/m = 0,4$ Кл/кг. Стол равномерно вращается вокруг своей оси по часовой стрелке (если смотреть сверху), совершая один оборот за $T = 3$ с. Коэффициент трения между телом и поверхностью диска равен $\mu = 0,2$. Какой должна быть индукция однородного вертикального магнитного поля B , чтобы тело не соскальзывало со стола? В какую сторону она должна быть направлена? Ответ выразите в Тл, округлив до десятых.

Решение. Стол вращается с угловой скоростью $\omega = 2\pi/T$. Чтобы тело удерживалось на столе, сила трения F_T и сила Лоренца F_L должны сообщать ему достаточное центростремительное ускорение $\omega^2 R$. При этом сила F_T является силой трения покоя, и может быть направлена как к оси вращения (в случае слабого поля), так и от неё (в случае сильного поля). В случае слабого поля сила трения покоя предотвращает отталкивание тела от оси вращения, а в случае сильного поля — притягивание тела к оси вращения. Сила Лоренца должна быть направлена к оси вращения. Тело движется по окружности со скоростью $v = \omega R$:

$$|F_T| \leq \mu N \leq \mu mg, \\ F_L = qvB = q\omega RB.$$

Условие удержания тела на столе выражается как

$$\pm \mu mg + q\omega RB = m\omega^2 R \Rightarrow \pm \mu g + \frac{q}{m} \omega RB = \omega^2 R, \text{ откуда} \\ B_{\min} = \frac{\omega^2 R - \mu g}{\omega R \cdot q/m} = \frac{4\pi^2 R - \mu g T^2}{2\pi T R \cdot q/m} = \frac{4\pi^2 \cdot 1 - 0,2 \cdot 10 \cdot 3^2}{2\pi \cdot 3 \cdot 1 \cdot 0,4} = 2,84 \text{ Тл, а} \\ B_{\max} = \frac{\omega^2 R + \mu g}{\omega R \cdot q/m} = \frac{4\pi^2 R + \mu g T^2}{2\pi T R \cdot q/m} = \frac{4\pi^2 \cdot 1 + 0,2 \cdot 10 \cdot 3^2}{2\pi \cdot 3 \cdot 1 \cdot 0,4} = 20,24 \text{ Тл.}$$

Таким образом, искомая индукция B : $B_{\min} \leq B \leq B_{\max}$. Чтобы сила Лоренца была направлена к центру стола, индукция магнитного поля должна быть направлена вверх.

Ответ: искомая индукция больше или равна 2.8 Тл, но меньше или равна 20.2 Тл и направлена вверх.