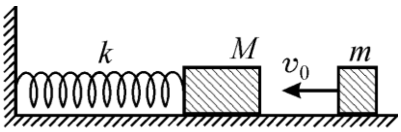
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Олимпиада «Ломоносов 2019/2020» по физике

Заключительный этап для 10-х – 11-х классов

Вариант №1

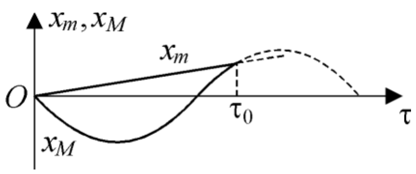
1.1. Задача. Брусок массой m скользит с постоянной скоростью по гладкому столу и совершает упругое соударение с бруском массой M, который прикреплен достаточно длинной пружиной к неподвижной стенке (см. рисунок).



После удара брусок массой m движется в обратном направлении, а брусок массой M начинает совершать гармонические колебания. Известно, что через время, равное 7/12 периода колебаний, брусок массой M догнал брусок массой m. Найдите отношение $n = M/m$ масс этих брусков.

Вопросы. Дайте определения импульса материальной точки и системы материальных точек. Сформулируйте закон сохранения импульса.

Решение. Пусть начальная скорость бруска массой m равна v_0. Используя законы сохранения импульса и механической энергии при упругом ударе, находим, что после соударения модули скоростей брусков m и M соответственно равны $v = \dfrac{M-m}{M+m}v_0$ и $u = \dfrac{2m}{M+m}v_0$. Будем использовать координатную систему с началом в точке соударения брусков и осью OX, направленной вправо.



Тогда закон движения бруска массой M после соударения имеет вид $x_M = -\dfrac{u}{\omega}\sin\omega t$, где $\omega = \sqrt{\dfrac{k}{M}}$, k – жесткость пружины. Соответственно закон движения бруска m определяется выражением $x_m = vt$. Введем обозначения $A = \dfrac{2m}{M+m}\cdot\dfrac{v_0}{\omega}$, $V = \dfrac{M-m}{M+m}\cdot\dfrac{v_0}{\omega}$, $\tau = \omega t$. Тогда законы движения брусков можно записать в виде $x_M(t) = -A\sin\tau$ и $x_m(t) = V\tau$ (см. рисунок, где изображены зависимости x_M и x_m от времени). Условие, при котором брусок массой M догонит брусок массой m в момент времени τ_0, определяется равенством $x_M(\tau_0) = x_m(\tau_0)$. Учитывая, что $\tau_0 = \omega\cdot\dfrac{7}{12}\cdot\dfrac{2\pi}{\omega} = \dfrac{7\pi}{6}$, находим, что $n = \dfrac{M}{m} = 1 + \dfrac{6}{7\pi} \approx 1{,}273$. **Ответ:** $n \approx 1{,}273$.

2.1. Задача. В горизонтально расположенном открытом с одной стороны цилиндре между дном и гладким подвижным поршнем находится влажный воздух при температуре t = 100 °С. При этом поршень располагается на расстоянии $h = 35$ см от дна цилиндра. Цилиндр устанавливают вертикально, поддерживая температуру системы постоянной. Через некоторое время поршень занимает новое положение равновесия, сместившись от первоначального положения на Δh = 5 см. Определите массу Δm сконденсировавшейся воды. Масса поршня M = 10 кг, площадь поперечного сечения цилиндрического сосуда S = 100 см^2, атмосферное давление p_0 = 10^5 Па, молярная масса воды □ = 18 г/моль. Модуль ускорения свободного падения считайте равным $g = 10$ м/с^2, а универсальную газовую постоянную − R = 8,3 Дж/(моль К).

Вопросы. Что такое насыщенный пар? Как зависят давление и плотность насыщенного пара от температуры?

Решение. Если количество сухого воздуха обозначить через ϑ, начальную массу водяного пара через $(m+\Delta m)$, давление сухого воздуха в горизонтальном цилиндре через $p_{с1}$, а давление водяного пара в горизонтальном цилиндре через $p_{п}$, то согласно условию задачи $p_{с1}+p_{п}=p_0$. Согласно уравнению Менделеева−Клапейрона выполняются соотношения: $p_{с1}Sh=\vartheta RT$ и $p_{п}Sh=\frac{m+\Delta m}{\mu}RT$, где $T=t+273$. При установке цилиндра в вертикальное положение поршень сместится вниз на расстояние Δh. Пренебрегая объёмом сконденсировавшейся воды, для этого случая получим: $p_{с2}S(h-\Delta h)=\vartheta RT$, $p_{с2}+p_{нп}=\frac{Mg}{S}+p_0$, $p_{нп}S(h-\Delta h)=\frac{m}{\mu}RT$, где $p_{с2}$ – давление сухого воздуха в вертикальном цилиндре, $p_{нп}$ − давление насыщенного пара, равное p_0, так как t = 100 °С. Из полученных соотношений следует, что $\Delta m=\frac{\mu}{RT}\left[p_0S\Delta h-Mg(h-\Delta h)\right]$.

Ответ: $\Delta m=\frac{\mu}{RT}\left[p_0S\Delta h-Mg(h-\Delta h)\right]\approx 0{,}12$ г.

3.1. Задача. На гладкой горизонтальной поверхности расположено легкое непроводящее кольцо, на котором на одинаковых расстояниях друг от друга закреплены N = 100 одинаковых маленьких бусинок массами m = 10 мг, несущих каждая заряд $q = 10^{-7}$ Кл. Кольцо находится в однородном постоянном магнитном поле, индукция B_0 = 100 Тл которого направлена вертикально. Сверху над кольцом закреплена кинокамера. Частоту съемки n, измеряемую в числе кадров в секунду, можно плавно менять. После выключения магнитного поля кольцо начало вращаться, и его стали снимать на кинопленку. При каком максимальном значении n кольцо в фильме будет оставаться неподвижным? Считайте, что длительность экспозиции каждого кадра при съемке фильма пренебрежимо мала.

Вопросы. Дайте определение магнитного потока. В чем состоит явление электромагнитной индукции?

Решение. На каждую заряженную бусинку действуют силы натяжения кольца, силы кулоновского отталкивания от остальных бусинок и силы со стороны вихревого электрического поля, возникающего при изменении магнитного потока через плоскость кольца. Для каждой бусинки сумма сил натяжения кольца и сил кулоновского отталкивания равна нулю. Вихревое электрическое поле, напряженность E которого направлена по касательной к кольцу, вызывает вращение кольца. По закону электромагнитной индукции (закону Фарадея) $\mathsf{E}=-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, где $\mathsf{E}=E\cdot 2\pi r$ – ЭДС индукции, $\Phi=B\cdot\pi r^2$ – магнитный поток, пронизывающий кольцо, r – радиус кольца. Имеем $E\cdot 2\pi r=-\frac{\Delta B}{\Delta t}\cdot\pi r^2$. По второму закону Ньютона для каждой бусинки $mr\Delta\omega=qE\,\Delta t$. Применяя закон Фарадея, отсюда получаем, что $\Delta\omega=-\frac{q}{2m}\Delta B$. Следовательно, конечная угловая скорость кольца $\omega_0=\frac{qB_0}{2m}$.

Поскольку камера производит съёмку с частотой n кадров в секунду, промежуток времени между кадрами равен $1/n$ секунды. Если за это время кольцо поворачивается на угол, кратный

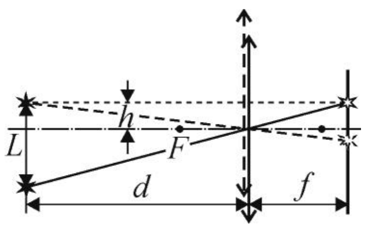
$\frac{2\pi}{N}$ радиан, то в фильме заряды на кольце будут казаться неподвижными. Таким образом, $\omega_0 = \frac{2\pi n}{N}k$ и $n = \frac{\omega_0 N}{2\pi k} = \frac{qB_0 N}{4\pi mk}$, где $k = 1, 2, 3, \cdots$. Максимальное значение n соответствует $k = 1$.

Ответ: $n = \frac{qB_0 N}{4\pi m} \approx 8$ с$^{-1}$.

4.1. Задача. Тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием $F = 10$ см создает на экране чёткое изображение точечного источника света, расположенного на главной оптической оси линзы. Расстояние от линзы до точечного источника $d = 25$ см. Линзу сместили в направлении, перпендикулярном её оптической оси на расстояние $h = 3$ см. На какое расстояние L нужно переместить источник света, чтобы его изображение осталось в той же точке экрана?

Вопросы. Запишите формулу тонкой линзы и поясните смысл входящих в нее величин. Чему равно увеличение, даваемое линзой?

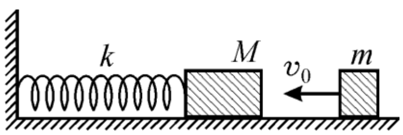
Решение. Пусть f – расстояние от линзы до экрана. При перемещении линзы это расстояние не меняется. Следовательно, расстояние от источника света до линзы тоже не должно меняться, иначе на экране не получится его чёткое изображение. Значит, источник нужно переместить перпендикулярно оптической оси в ту же сторону так, чтобы луч, идущий через оптический центр линзы попадал в ту же точку на экране (см. рисунок). Из подобия треугольников получим $\frac{f}{h} = \frac{d+f}{L}$. Запишем формулу, тонкой линзы: $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$. Решая систему из двух уравнений, получим, что $L = \frac{dh}{F}$.



Ответ: $L = \frac{dh}{F} = 7{,}5$ см.

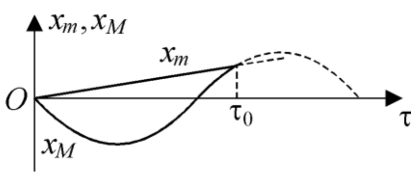
Вариант №2

1.2. Задача. Брусок массой m скользит с постоянной скоростью по гладкому столу и совершает упругое соударение с бруском массой M, который прикреплен достаточно длинной пружиной к неподвижной стенке (см. рисунок). После удара брусок массой m движется в обратном направлении, а брусок массой M начинает совершать гармонические колебания. Известно, что через время, равное 5/8 периода колебаний, брусок массой M догнал брусок массой m. Найдите отношение $n = M/m$ масс этих брусков.



Вопросы. Какие колебания называются гармоническими? Дайте определения амплитуды и фазы гармонических колебаний.

Решение. Пусть начальная скорость бруска массой m равна v_0. Используя законы сохранения импульса и механической энергии при упругом ударе, находим, что после соударения модули скоростей брусков m и M соответственно равны $v = \frac{M-m}{M+m}v_0$ и $u = \frac{2m}{M+m}v_0$. Будем использовать координатную систему с началом в точке соударения брусков и осью OX, направленной



вправо. Тогда закон движения бруска массой M после соударения имеет вид $x_M = -\frac{u}{\omega}\sin\omega t$, где $\omega = \sqrt{\frac{k}{M}}$, $k-$ жесткость пружины. Соответственно закон движения бруска m определяется выражением $x_m = vt$. Введем обозначения $A = \frac{2m}{M+m}\cdot\frac{v_0}{\omega}$, $V = \frac{M-m}{M+m}\cdot\frac{v_0}{\omega}$, $\tau = \omega t$. Тогда законы движения брусков можно записать в виде $x_M(t) = -A\sin\tau$ и $x_m(t) = V\tau$ (см. рисунок, где изображены зависимости x_M и x_m от времени). Условие, при котором брусок массой M догонит брусок массой m в момент времени τ_0, определяется равенством $x_M(\tau_0) = x_m(\tau_0)$. Учитывая, что $\tau_0 = \omega\cdot\frac{5}{8}\cdot\frac{2\pi}{\omega} = \frac{5\pi}{4}$, находим, что $n = \frac{M}{m} = 1 + \frac{4\sqrt{2}}{5\pi} \approx 1{,}36$. **Ответ:** $n \approx 1{,}36$.

2.2. Задача. В горизонтально расположенном открытом с одной стороны цилиндре между дном и гладким подвижным поршнем находится влажный воздух при температуре t = 100 °С. При этом поршень располагается на расстоянии h = 35 см от дна цилиндра. Цилиндр устанавливают вертикально, поддерживая температуру системы постоянной. Через некоторое время поршень занял новое положение равновесия, а под поршнем сконденсировалась вода массой Δm = 0,1 г. На какое расстояние Δh сместился поршень, если .масса поршня M = 10 кг, площадь поперечного сечения цилиндрического сосуда S = 100 см^2. Атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па, молярная масса воды μ = 18 г/моль. Модуль ускорения свободного падения считайте равным $g = 10$ м/с^2, а универсальную газовую постоянную − R = 8,3 Дж/(моль К).

Вопросы. Какие виды парообразования вы знаете? Дайте определение удельной теплоты парообразования.

Решение. Если количество сухого воздуха обозначить через ϑ, начальную массу водяного пара через $(m+\Delta m)$, давление сухого воздуха в горизонтальном цилиндре через $p_{с1}$, а давление водяного пара в горизонтальном цилиндре через $p_п$, то согласно условию задачи $p_{с1} + p_п = p_0$. Согласно уравнению Менделеева−Клапейрона выполняются соотношения: $p_{с1}Sh = \vartheta RT$ и $p_п Sh = \frac{m+\Delta m}{\mu}RT$, где $T = t + 273$. При установке цилиндра в вертикальное положение поршень сместится вниз на расстояние Δh. Пренебрегая объёмом сконденсировавшейся воды, для этого случая получим: $p_{с2}S(h-\Delta h) = \vartheta RT$, $p_{с2} + p_{нп} = \frac{Mg}{S} + p_0$, $p_{нп}S(h-\Delta h) = \frac{m}{\mu}RT$, где $p_{с2}$ – давление сухого воздуха в вертикальном цилиндре, $p_{нп}$ − давление насыщенного пара, равное p_0, так как t = 100 °С. Из полученных соотношений следует, что $\Delta m = \frac{\mu}{RT}\left[p_0 S\Delta h - Mg(h-\Delta h)\right]$, откуда $\Delta h = \frac{\Delta m RT + \mu Mgh}{\mu(p_0 S + Mg)}$. **Ответ:** $\Delta h = \frac{\Delta m RT + \mu Mgh}{\mu(p_0 S + Mg)} \approx 4{,}7$ см.

3.2. Задача. На гладкой горизонтальной поверхности расположено легкое непроводящее кольцо, на котором на одинаковых расстояниях друг от друга закреплены N = 100 одинаковых маленьких бусинок массами m = 10 мг, несущих каждая заряд $q = 10^{-7}$ Кл. Кольцо находится в однородном постоянном магнитном поле, индукция B_0 которого направлена вертикально. Сверху над кольцом закреплена кинокамера, которая производит съёмку с частотой n =8 кадров в секунду. После выключения магнитного поля кольцо начало вращаться, и его стали снимать на кинопленку. При каком минимальном значении B_0 кольцо в фильме будет оставаться неподвижным? Считайте, что длительность экспозиции каждого кадра при съемке фильма пренебрежимо мала.

Вопросы. Сформулируйте закон электромагнитной индукции и правило Ленца.

Решение. На каждую заряженную бусинку действуют силы натяжения кольца, силы кулоновского отталкивания от остальных бусинок и силы со стороны вихревого электрического поля, возникающего при изменении магнитного потока через плоскость кольца. Для каждой бусинки сумма сил натяжения кольца и сил кулоновского отталкивания равна нулю. Вихревое электрическое поле, напряженность E которого направлена по касательной к кольцу, вызывает вращение кольца. По закону электромагнитной индукции (закону Фарадея) $\mathsf{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, где $\mathsf{E} = E\cdot 2\pi r$ – ЭДС индукции, $\Phi = B\cdot\pi r^2$ – магнитный поток, пронизывающий кольцо, r – радиус кольца. Имеем $E\cdot 2\pi r = -\frac{\Delta B}{\Delta t}\cdot\pi r^2$. По второму закону Ньютона для каждой бусинки $m r\Delta\omega = qE\,\Delta t$. Применяя закон Фарадея, отсюда получаем, что $\Delta\omega = -\frac{q}{2m}\Delta B$. Следовательно, конечная угловая скорость кольца $\omega_0 = \frac{qB_0}{2m}$.

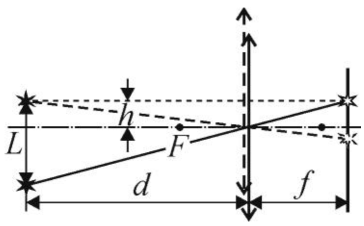
Поскольку камера производит съёмку с частотой n кадров в секунду, промежуток времени между кадрами равен $1/n$ секунды. Если за это время кольцо поворачивается на угол, кратный $\frac{2\pi}{N}$ радиан, то в фильме заряды на кольце будут казаться неподвижными. Таким образом, $\omega_0 = \frac{2\pi n}{N}k$ и $B_0 = \frac{4\pi mkn}{qN}$, где $k = 1, 2, 3, \cdots$. Минимальное значение B_0 соответствует $k = 1$.

Ответ: $B_0 = \frac{4\pi mn}{qN} \approx 100$ Тл.

4.2. Задача. Тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием $F = 15$ см создает на экране чёткое изображение точечного источника света, расположенного на главной оптической оси линзы. Расстояние от линзы до точечного источника $d = 30$ см. Источник сместили на расстояние $L = 8$ см в направлении, перпендикулярном её оптической оси. На какое расстояние h нужно переместить линзу, не поворачивая её, чтобы изображение источника осталось в той же точке экрана?

Вопросы. Какие линзы называют тонкими? Дайте определение фокусного расстояния и оптической силы линзы.

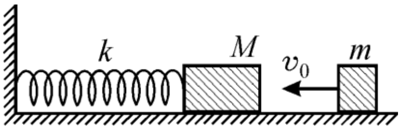
Решение. Чтобы изображение источника осталось в той же точке экрана, линзу нужно переместить вдоль плоскости, перпендикулярной главной оптической оси. При этом линия, соединяющая источник и его изображение пройдет через оптический центр линзы (см. рисунок). Из подобия треугольников получим соотношение $\frac{f}{h} = \frac{d+f}{L}$, где f – расстояние от линзы до экрана. Запишем уравнение тонкой линзы: $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$.



Решая систему из двух уравнений, найдем, что $h = \frac{LF}{d}$. **Ответ:** $h = \frac{LF}{d} = 4$ см.

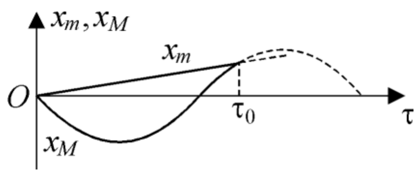
Вариант №3

1.3. Задача. Брусок массой m скользит с постоянной скоростью по гладкому столу и совершает упругое соударение с бруском массой M, который прикреплен достаточно длинной пружиной к неподвижной стенке (см. рисунок). После удара брусок массой m движется в обратном направлении, а брусок массой M начинает совершать гармонические колебания. Известно, что через время, равное 2/3 периода колебаний, брусок массой M догнал брусок массой m. Найдите отношение $n = M/m$ масс этих брусков.



Вопросы. Как определяется потенциальная энергия? Запишите выражения для потенциальной энергии тела вблизи поверхности Земли и потенциальной энергии деформированной пружины.

Решение. Пусть начальная скорость бруска массой m равна v_0. Используя законы сохранения импульса и механической энергии при упругом ударе, находим, что после соударения модули скоростей брусков m и M соответственно равны $v = \dfrac{M-m}{M+m} v_0$ и $u = \dfrac{2m}{M+m} v_0$. Будем использовать координатную систему с началом в точке соударения брусков и осью OX, направленной вправо. Тогда закон движения бруска массой M после соударения имеет вид $x_M = -\dfrac{u}{\omega}\sin\omega t$, где $\omega = \sqrt{\dfrac{k}{M}}$, $k-$ жесткость пружины. Соответственно закон движения бруска m определяется выражением $x_m = vt$. Введем обозначения $A = \dfrac{2m}{M+m} \cdot \dfrac{v_0}{\omega}$, $V = \dfrac{M-m}{M+m} \cdot \dfrac{v_0}{\omega}$, $\tau = \omega t$. Тогда законы движения брусков можно записать в виде $x_M(t) = -A\sin\tau$ и $x_m(t) = V\tau$ (см. рисунок, где изображены зависимости x_M и x_m от времени). Условие, при котором брусок массой M догонит брусок массой m в момент времени τ_0, определяется равенством $x_M(\tau_0) = x_m(\tau_0)$. Учитывая, что $\tau_0 = \omega \cdot \dfrac{2}{3} \cdot \dfrac{2\pi}{\omega} = \dfrac{4\pi}{3}$, находим, что $n = \dfrac{M}{m} = 1 + \dfrac{3\sqrt{3}}{4\pi} \approx 1{,}413$.



Ответ: $n \approx 1{,}413$.

2.3. Задача. В горизонтально расположенном открытом с одной стороны цилиндре между дном и гладким подвижным поршнем находится влажный воздух при температуре t = 100 °С. При этом поршень располагается на расстоянии h = 35 см от дна цилиндра. Цилиндр устанавливают вертикально, поддерживая температуру системы постоянной. Через некоторое время поршень занял новое положение равновесия, сместившись от первоначального положения на Δh = 5 см, а под поршнем сконденсировалась вода массой Δm = 0,1 г. Какова масса поршня M, если площадь поперечного сечения цилиндрического сосуда S = 100 см^2. Атмосферное давление p_0 = 10^5 Па, молярная масса воды □ = 18 г/моль. Модуль ускорения свободного падения считайте равным $g = 10$ м/с^2, а универсальную газовую постоянную − R = 8,3 Дж/(моль К).

Вопросы. Что такое температура кипения? Как зависит температура кипения от давления?

Решение. Если количество сухого воздуха обозначить через ϑ, начальную массу водяного пара через $(m + \Delta m)$, давление сухого воздуха в горизонтальном цилиндре через $p_{с1}$, а давление водяного пара в горизонтальном цилиндре через $p_п$, то согласно условию задачи $p_{с1} + p_п = p_0$. Согласно уравнению Менделеева−Клапейрона выполняются соотношения: $p_{с1}Sh = \vartheta RT$ и

$p_{п}Sh = \dfrac{m+\Delta m}{\mu}RT$, где $T = t + 273$. При установке цилиндра в вертикальное положение поршень сместится вниз на расстояние Δh. Пренебрегая объёмом сконденсировавшейся воды, для этого случая получим: $p_{c2}(h-\Delta h) = \vartheta RT$, $p_{c2} + p_{нп} = \dfrac{Mg}{S} + p_0$, $p_{нп}S(h-\Delta h) = \dfrac{m}{\mu}RT$, где p_{c2} – давление сухого воздуха в вертикальном цилиндре, $p_{нп}$ – давление насыщенного пара, равное p_0, так как t = 100 °С. Из полученных соотношений следует, что $\Delta m = \dfrac{\mu}{RT}\left[p_0 S\Delta h - Mg(h-\Delta h)\right]$, откуда $M = \dfrac{\mu p_0 S\Delta h - \Delta m RT}{\mu g(h-\Delta h)}$. **Ответ:** $M = \dfrac{\mu p_0 S\Delta h - \Delta m RT}{\mu g(h-\Delta h)} \approx 10{,}9$ кг.

3.3. Задача. На гладкой горизонтальной поверхности расположено легкое непроводящее кольцо, на котором на одинаковых расстояниях друг от друга закреплены N одинаковых маленьких бусинок массами m = 10 мг, несущих каждая заряд $q = 10^{-7}$ Кл. Кольцо находится в однородном постоянном магнитном поле, индукция B_0 = 100 Тл которого направлена вертикально. Сверху над кольцом закреплена кинокамера, которая производит съёмку с частотой n = 8 кадров в секунду. После выключения магнитного поля кольцо начало вращаться, и его стали снимать на кинопленку. При каком минимальном значении N кольцо в фильме будет оставаться неподвижным? Считайте, что длительность экспозиции каждого кадра при съемке фильма пренебрежимо мала.

Вопросы. Что такое индуктивность? Чему равна ЭДС самоиндукции?

Решение. На каждую заряженную бусинку действуют силы натяжения кольца, силы кулоновского отталкивания от остальных бусинок и силы со стороны вихревого электрического поля, возникающего при изменении магнитного потока через плоскость кольца. Для каждой бусинки сумма сил натяжения кольца и сил кулоновского отталкивания равна нулю. Вихревое электрическое поле, напряженность E которого направлена по касательной к кольцу, вызывает вращение кольца. По закону электромагнитной индукции (закону Фарадея) $\mathcal{E} = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, где $\mathcal{E} = E\cdot 2\pi r$ – ЭДС индукции, $\Phi = B\cdot\pi r^2$ – магнитный поток, пронизывающий кольцо, r – радиус кольца. Имеем $E\cdot 2\pi r = -\dfrac{\Delta B}{\Delta t}\cdot\pi r^2$. По второму закону Ньютона для каждой бусинки $mr\Delta\omega = qE\,\Delta t$. Применяя закон Фарадея, отсюда получаем, что $\Delta\omega = -\dfrac{q}{2m}\Delta B$. Следовательно, конечная угловая скорость кольца $\omega_0 = \dfrac{qB_0}{2m}$.

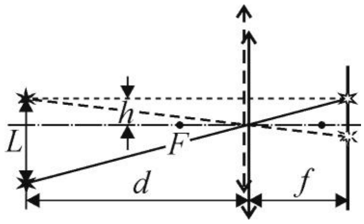
Поскольку камера производит съёмку с частотой n кадров в секунду, промежуток времени между кадрами равен $1/n$ секунды. Если за это время кольцо поворачивается на угол, кратный $\dfrac{2\pi}{N}$ радиан, то в фильме заряды на кольце будут казаться неподвижными. Таким образом, $\omega_0 = \dfrac{2\pi n}{N}k$ и $N = \dfrac{4\pi mkn}{qB_0}$, где $k = 1, 2, 3, \cdots$. Минимальное значение N соответствует $k = 1$.

Ответ: $N = \dfrac{4\pi mn}{qB_0} = 100$.

4.3. Задача. Тонкая собирающая линза создает на экране четкое изображение точечного источника света, расположенного на главной оптической оси линзы. Расстояние от линзы до точечного источника d = 24 см. Источник сместили на расстояние L = 6 см в направлении, перпендикулярном её главной оптической оси. Чтобы изображение источника оставалось в той же точке экрана, линзу сдвинули на расстояние h = 2 см. Чему равно фокусное расстояние линзы F?

Вопросы. Приведите примеры построения изображений в собирающей и рассеивающей линзах.

Решение. Чтобы изображение источника осталось в той же точке экрана, линзу, как и источник, нужно перемещать вдоль плоскости, перпендикулярной главной оптической оси линзы. При этом линия, соединяющая источник и его изображение, пройдет оптический центр смещенной линзы (см. рисунок). Из подобия треугольников получим, что $\frac{f}{h} = \frac{d+f}{L}$, где f – расстояние от линзы до экрана. Запишем уравнение тонкой линзы: $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$. Решая систему из двух уравнений, найдем $F = \frac{hd}{L}$. **Ответ:** $F = \frac{hd}{L} = 8$ см.



Критерии оценки

Задача оценивается максимально в 15 баллов

1. Задача вовсе не решалась – **0 баллов**.
2. Задача не решена, но сделан поясняющий рисунок (если требуется), частично сформулированы необходимые физические законы – **1 – 5 баллов**.
3. Задача не решена, но правильно сформулированы физические законы и правильно записаны основные уравнения, необходимые для решения задачи – **6 – 10 баллов**.
4. Задача решена, но допущены незначительные погрешности – **11-14 баллов**.
5. Задача решена полностью и получен правильный ответ – **15 баллов**.

Теоретический вопрос оценивается максимально в 10 баллов

1. Ответ по существу вопроса полностью отсутствует – **0 баллов**.
2. Ответ является неполным (дан ответ только на одну часть вопроса) – **1 – 5 балла**.
3. Ответ является неполным (даны формально ответы на все части вопроса, но отсутствуют или не полностью приведены необходимые пояснения) – **6 – 9 баллов**
4. Ответ является полным – **10 баллов**.