Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Олимпиада «Ломоносов 2018/2019» по физике

Заключительный этап для 10 - 11-х классов

Вариант 1

1.10.1. Задача. Вертолёт Ми-171 массой $m = 7{\cdot}10^3$ кг неподвижно завис над поверхностью Земли.

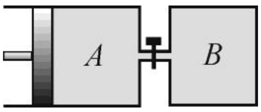
Какую мощность N развивает при этом его двигатель, если диаметр винта вертолёта $d = 20$ м. Считайте, что доля мощности двигателя, расходуемая на образование вертикальной струи воздуха, составляет $\eta = 80\%$ от его полной мощности, а скорость воздуха в этой струе примерно одинакова по всему ее сечению. Плотность воздуха $\rho = 1{,}3$ кг/м^3. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с^2.

Вопросы. Сформулируйте второй и третий законы Ньютона.

1.10.1. Решение. Масса отбрасываемого за время Δt винтом вертолёта воздуха равна $\Delta m = \dfrac{\rho v \Delta t \cdot \pi d^2}{4}$, где v – скорость струи воздуха от винта. Импульс, переданный воздуху за это время, $\Delta p = \Delta m \cdot v = \dfrac{\rho v^2 \Delta t \cdot \pi d^2}{4}$. Подъёмная сила, действующая на вертолёт, $F = \dfrac{\Delta p}{\Delta t} = \dfrac{\rho v^2 \pi d^2}{4}$. Поскольку вертолёт неподвижен, $F = mg$, откуда получаем, что $v = \sqrt{\dfrac{4mg}{\pi \rho d^2}}$. Энергия, передаваемая воздуху за время Δt, равна $\Delta E = \dfrac{\Delta m v^2}{2} = \dfrac{\pi \rho v^3 d^2 \Delta t}{8}$. Мощность, развиваемая двигателем вертолёта, $N = \dfrac{\Delta E}{\eta \Delta t} = \dfrac{\pi \rho v^3 d^2}{8\eta} = \dfrac{mg}{d\eta}\sqrt{\dfrac{mg}{\pi\rho}}$.

Ответ: $N = \dfrac{100\%}{\eta} \cdot \dfrac{mg}{d}\sqrt{\dfrac{mg}{\pi\rho}} \approx 573$ кВт.

2.6.1. Задача. Цилиндр A соединён с сосудом B короткой трубкой с краном.



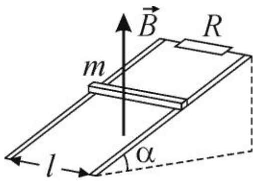
В исходном состоянии в сосуде и в цилиндре справа от поршня находились равные количества гелия при одинаковой температуре и давлении $p_0 = 1$ атм. Закрыв кран, объём гелия в цилиндре изобарно уменьшили в $n = 3$ раза, а гелий в сосуде нагрели так, что его давление возросло в $k = 3$ раза. Затем, зафиксировав положение поршня, открыли кран. Пренебрегая объемом трубки и теплообменом гелия с окружающими телами, определите установившееся давление p в сосуде. Ответ выразите в атмосферах.

Вопросы. Запишите уравнение Менделеева−Клапейрона (уравнение состояния идеального газа). Какими уравнениями описываются изотермический, изобарный и изохорный процессы?

2.6.1. Решение. Согласно уравнению Менделеева–Клапейрона абсолютная температура T_0, объём V_0 и число молей гелия в сосуде ν удовлетворяют соотношению: $p_0 V_0 = \nu R T_0$, где R – универсальная газовая постоянная. После закрытия крана согласно закону Гей-Люссака температура в цилиндре понизится до $T_A = \dfrac{T_0}{n}$, а согласно закону Шарля температура в сосуде станет равной $T_B = kT_0$. После открывания крана внутренняя энергия гелия не изменяется, т.е.

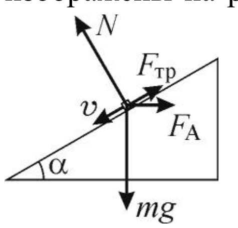
$\frac{3}{2}\nu R(T_A + T_B) = \frac{3}{2}2\nu RT$, где T – установившаяся температура, причём $pV_0\left(1+\frac{1}{n}\right) = 2\nu RT$. Из записанных выражений получаем, что $p = p_0\frac{kn+1}{n+1}$. **Ответ:** $p = p_0\frac{kn+1}{n+1} = 2{,}5$ атм.

3.1.1. Задача. По двум проводящим длинным шинам, установленным под углом $\alpha = 30°$ к горизонту, поступательно соскальзывает расположенный перпендикулярно шинам медный брусок массой $m = 100$ г (см. рисунок). Вся система находится в однородном вертикальном магнитном поле, модуль индукции которого равен $B = 0{,}1$ Тл. Сверху шины замкнуты на резистор сопротивлением $R = 0{,}1$ Ом. Коэффициент трения между поверхностями шин и бруска равен $\mu = 0{,}5$, а расстояние между шинами $l = 1$ м. Пренебрегая сопротивлением шин, бруска и мест контакта между ними, найдите тепловую мощность N, выделяющуюся в резисторе при движении бруска с установившейся скоростью. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с^2.



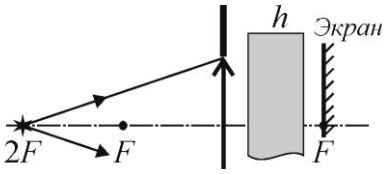
Вопросы. Сформулируйте закон электромагнитной индукции и правило Ленца.

3.1.1. Решение. Брусок движется по шинам под действием сил, модули и направления которых изображены на рисунке, где mg − модуль силы тяжести, N − модуль нормальной составляющей силы реакции шин, F_A − модуль силы Ампера, $F_{тр}$ − модуль силы трения скольжения. На концах бруска возникает ЭДС индукции, обусловленная действием силы Лоренца на свободные заряды в движущемся проводнике, и по модулю равная $\mathcal{E} = Blv\cos\alpha$. По контуру, образованному шинами, бруском и резистором, начинает течь ток силой $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$. В результате появляется сила Ампера, действующая на брусок, и по модулю равная $F_A = IBl$. Она нарастает до тех пор, пока скорость движения бруска не перестаёт увеличиваться, достигая значения $v_{уст.}$. Соответствующее уравнение движения имеет вид $0 = mg\sin\alpha - \mu(mg\cos\alpha + F_A\sin\alpha) - F_A\cos\alpha$. Сила протекающего в контуре тока равна при этом $I = \frac{Blv_{уст}\cos\alpha}{R}$, а сила Ампера: $F_A = \frac{B^2l^2v_{уст}\cos\alpha}{R}$. Подставляя полученное выражение для силы Ампера в уравнение движения, найдем установившуюся скорость движения бруска: $v_{уст} = \frac{mgR}{B^2l^2\cos\alpha}\cdot\frac{(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}{(\cos\alpha + \mu\sin\alpha)}$. Используя это выражение, находим, что сила тока в контуре $I = \frac{mg}{Bl}\cdot\frac{(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}{(\cos\alpha + \mu\sin\alpha)}$. Тепловая мощность, выделяющаяся в резисторе, по закону Джоуля−Ленца равна $N = I^2R = \left[\frac{mg}{Bl}\cdot\frac{(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}{(\cos\alpha + \mu\sin\alpha)}\right]^2 R$.



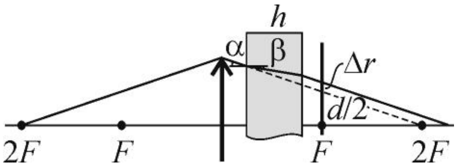
Ответ: $N = \left[\frac{mg}{Bl}\cdot\frac{(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}{(\cos + \mu\sin\alpha)}\right]^2 R \approx 0{,}039$ Вт ≈ 39 мВт.

4.4.1. Задача. Тонкая собирающая линза плотно вставлена в круглое отверстие в непрозрачной ширме. Точечный источник света располагается на главной оптической оси на удвоенном фокусном расстоянии от нее. При этом на экране, установленном в фокальной плоскости по другую сторону от линзы перпендикулярно ее главной оптической оси, наблюдается светлое пятно диаметра $d = 1$ см. Каким станет диаметр d_1 светлого пятна на экране, если между ним и линзой поместить плоскопараллельную стеклянную пластинку толщиной $h = 2$ см с показателем преломления $n = 2$? Фокусное расстояние линзы $F = 10$ см. Учтите, что для малых значений аргумента x, заданного в радианах, справедливы приближенные формулы $\sin x \approx \operatorname{tg} x \approx x$.



Вопросы. Какие линзы называют тонкими? Что такое фокусное расстояние и оптическая сила тонкой линзы?

4.4.1. Решение. Ход одного из крайних лучей, ограничивающих световое пятно на экране, изображен на рисунке. В отсутствие пластинки ход луча показан штриховой линией, а при наличии пластинки − сплошной. Видно, что преломление света на боковых поверхностях пластинки приводит к тому, что луч смещается параллельно самому себе на некоторое расстояние, что вызывает изменение размеров светлого пятна на экране. Как следует из рисунка, $\Delta r = h(\mathrm{tg}\,\alpha - \mathrm{tg}\,\beta)$, где α и β − углы падения и преломления на левой поверхности пластинки, причем $\mathrm{tg}\,\alpha = \dfrac{d}{2F}$. По условию $\dfrac{d}{2F} = 0{,}05 << 1$, поэтому справедливы приближенные формулы $\mathrm{tg}\,\alpha \approx \alpha$, $\mathrm{tg}\,\beta \approx \beta$. Кроме того, $\sin\alpha \approx \alpha$, $\sin\beta \approx \beta$ и закон преломления на гранях пластинки принимает вид $\dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta} \approx \dfrac{\alpha}{\beta} \approx n$. Из записанных равенств следует, что $\Delta r \approx \dfrac{dh}{2F}\cdot\dfrac{n-1}{n}$. Учитывая, что $d_1 = d + 2\Delta r$, получаем окончательно, что $d_1 = d\left(1 + \dfrac{h}{F}\cdot\dfrac{n-1}{n}\right)$. **Ответ:** $d_1 = d\left(1 + \dfrac{h}{F}\cdot\dfrac{n-1}{n}\right)$=1,1 см.



Вариант 2

1.10.2. Задача. Вертолёт Ми-171 массой $m = 7\cdot 10^3$ кг неподвижно завис над поверхностью Земли. Считая, что скорость воздуха в вертикальной струе, создаваемой винтом вертолета, примерно одинакова по всему ее сечению, найдите эту скорость v, если диаметр винта вертолёта d = 20 м. Плотность воздуха ρ = 1,3 кг/м^3. Ускорение свободного падения примите равным g = 10 м/с^2.

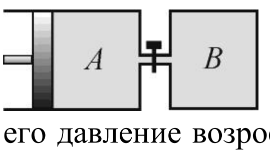
Вопросы. Как связаны изменение импульса материальной точки и импульс силы? Сформулируйте закон сохранения импульса системы материальных точек.

1.10.2. Решение. Масса отбрасываемого за время Δt винтом вертолёта воздуха равна $\Delta m = \dfrac{\rho v \Delta t\cdot \pi d^2}{4}$, где v – скорость струи воздуха от винта. Импульс, переданный воздуху за это время, $\Delta p = \Delta m \cdot v = \dfrac{\rho v^2 \Delta t \cdot \pi d^2}{4}$. Подъёмная сила, действующая на вертолёт, $F = \dfrac{\Delta p}{\Delta t} = \dfrac{\rho v^2 \pi d^2}{4}$.

Поскольку вертолёт неподвижен, $F = mg$, откуда получаем, что $v = \sqrt{\dfrac{4mg}{\pi\rho d^2}}$.

Ответ: $v = \dfrac{2}{d}\sqrt{\dfrac{mg}{\pi\rho}} \approx 13$ м/с.

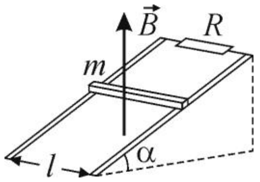
2.6.2. Задача. Цилиндр A соединён с сосудом B короткой трубкой с краном. В исходном состоянии в сосуде и в цилиндре справа от поршня находились равные количества гелия при одинаковой температуре и давлении. Закрыв кран, объём гелия в цилиндре изобарно уменьшили в $n = 3$ раза, а гелий в сосуде нагрели так, что его давление возросло в $k = 3$ раза. Затем, зафиксировав положение поршня, открыли кран, после чего установившееся давление стало равным $p = 2{,}5$ атм. Пренебрегая объемом трубки и теплообменом гелия с окружающими телами, определите первоначальное давление p_0 в сосуде. Ответ выразите в атмосферах.



Вопросы. Дайте определение идеального газа. Запишите основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа.

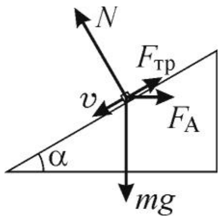
2.6.2. Решение. Согласно уравнению Менделеева–Клапейрона абсолютная температура T_0, объём V_0 и число молей гелия в сосуде ν удовлетворяют соотношению: $p_0V_0 = \nu RT_0$, где R – универсальная газовая постоянная. После закрытия крана согласно закону Гей-Люссака температура в цилиндре понизится до $T_A = \dfrac{T_0}{n}$, а согласно закону Шарля температура в сосуде станет равной $T_B = kT_0$. После открывания крана внутренняя энергия гелия не изменяется, т.е. $\dfrac{3}{2}\nu R(T_A + T_B) = \dfrac{3}{2}2\nu RT$, где T – установившаяся температура, причём $pV_0\left(1+\dfrac{1}{n}\right) = 2\nu RT$. Из записанных выражений получаем, что $p_0 = p\dfrac{n+1}{kn+1}$. **Ответ:** $p_0 = p\dfrac{n+1}{kn+1} = 1$ атм.

3.1.2. Задача. По двум проводящим длинным шинам, установленным под углом $\alpha = 30°$ к горизонту, поступательно соскальзывает расположенный перпендикулярно шинам медный брусок массой m = 100 г (см. рисунок). Вся система находится в однородном вертикальном магнитном поле, модуль индукции которого равен B = 0,1 Тл. Сверху шины замкнуты на резистор. Коэффициент трения между поверхностями шин и бруска равен μ = 0,5, а расстояние между шинами l = 1 м. Пренебрегая сопротивлением шин, бруска и мест контакта между ними, найдите сопротивление резистора R, если в нем при движении бруска с установившейся скоростью выделяется тепловая мощность N = 40 мВт. Ускорение свободного падения примите равным g = 10 м/с^2.

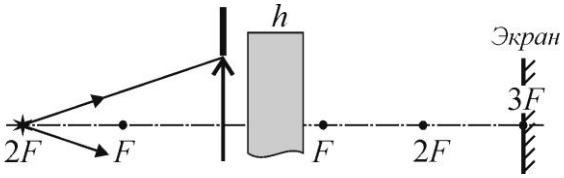


Вопросы. Как определяются работа и мощность электрического тока? Сформулируйте закон Джоуля−Ленца.

3.1.2. Решение. Брусок движется по шинам под действием сил, модули и направления которых изображены на рисунке, где mg − модуль силы тяжести, N − модуль нормальной составляющей силы реакции шин, $F_{\text{А}}$ − модуль силы Ампера, $F_{\text{тр}}$ − модуль силы трения скольжения. На концах бруска возникает ЭДС индукции, обусловленная действием силы Лоренца на свободные заряды в движущемся проводнике, и по модулю равная $\mathcal{E} = Blv\cos\alpha$. По контуру, образованному шинами, бруском и резистором, начинает течь ток силой $I = \dfrac{\mathcal{E}}{R}$. В результате появляется сила Ампера, действующая на брусок, и по модулю равная $F_{\text{А}} = IBl$. Она нарастает до тех пор, пока скорость движения бруска не перестаёт увеличиваться, достигая значения $v_{\text{уст.}}$. Соответствующее уравнение движения имеет вид $0 = mg\sin\alpha - \mu(mg\cos\alpha + F_{\text{А}}\sin\alpha) - F_{\text{А}}\cos\alpha$. Сила протекающего в контуре тока равна при этом $I = \dfrac{Blv_{\text{уст}}\cos\alpha}{R}$, а сила Ампера: $F_{\text{А}} = \dfrac{B^2l^2v_{\text{уст}}\cos\alpha}{R}$. Подставляя полученное выражение для силы Ампера в уравнение движения, найдем установившуюся скорость движения бруска: $v_{\text{уст}} = \dfrac{mgR}{B^2l^2\cos\alpha}\cdot\dfrac{(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}{(\cos\alpha + \mu\sin\alpha)}$. Используя это выражение, находим, что сила тока в контуре $I = \dfrac{mg}{Bl}\cdot\dfrac{(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}{(\cos\alpha + \mu\sin\alpha)}$. Тепловая мощность, выделяющаяся в резисторе, по закону Джоуля−Ленца равна $N = I^2R = \left[\dfrac{mg}{Bl}\cdot\dfrac{(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}{(\cos\alpha + \mu\sin\alpha)}\right]^2 R$. Отсюда $R = \left[\dfrac{Bl}{mg}\cdot\dfrac{(\cos\alpha + \mu\sin\alpha)}{(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}\right]^2 N$. **Ответ:** $R = \left[\dfrac{Bl}{mg}\cdot\dfrac{(\cos\alpha + \mu\sin\alpha)}{(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}\right]^2 N \approx 0{,}1$ Ом.

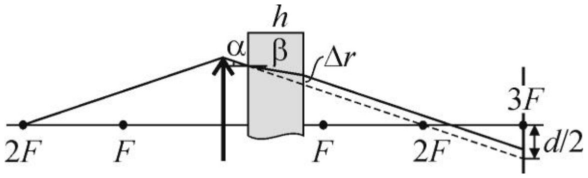


4.4.2. Задача. Тонкая собирающая линза плотно вставлена в круглое отверстие в непрозрачной ширме. Точечный источник света располагается на главной оптической оси линзы на удвоенном фокусном расстоянии от нее. При этом на экране, установленном на утроенном фокусном расстоянии по другую сторону от линзы перпендикулярно ее главной оптической оси, наблюдается светлое пятно диаметра $d = 1$ см. Каким станет диаметр d_1 светлого пятна на экране, если между ним и линзой поместить плоскопараллельную стеклянную пластинку толщиной $h = 2$ см с показателем преломления $n = 2$? Фокусное расстояние линзы $F = 10$ см. Учтите, что для малых значений аргумента x, заданного в радианах, справедливы приближенные формулы $\sin x \approx \operatorname{tg} x \approx x$.



Вопросы. Запишите формулу тонкой линзы. Что такое увеличение, даваемое линзой?

4.4.2. Решение. Ход одного из крайних лучей, ограничивающих световое пятно на экране, изображен на рисунке. В отсутствие пластинки ход луча показан штриховой линией, а при наличии пластинки − сплошной. Видно, что преломление света на боковых поверхностях пластинки приводит к тому, что луч смещается параллельно самому себе на некоторое расстояние, что вызывает изменение размеров светлого пятна на экране. Как следует из рисунка, $\Delta r = h(\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\beta)$, где α и β − углы падения и преломления на левой поверхности пластинки, причем $\operatorname{tg}\alpha = \dfrac{d}{2F}$. По условию $\dfrac{d}{2F} = 0{,}05 << 1$, поэтому справедливы приближенные формулы $\operatorname{tg}\alpha \approx \alpha$, $\operatorname{tg}\beta \approx \beta$. Кроме того, $\sin\alpha \approx \alpha$, $\sin\beta \approx \beta$ и закон преломления на гранях пластинки принимает вид $\dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta} \approx \dfrac{\alpha}{\beta} \approx n$. Из записанных равенств следует, что $\Delta r \approx \dfrac{dh}{2F} \cdot \dfrac{n-1}{n}$.



Учитывая, что $d_1 = d - 2\Delta r$, получаем окончательно, что $d_1 = d\left(1 - \dfrac{h}{F} \cdot \dfrac{n-1}{n}\right)$.

Ответ: $d_1 = d\left(1 - \dfrac{h}{F} \cdot \dfrac{n-1}{n}\right) = 0{,}9$ см.

Вариант 3

1.10.3. Задача. Вертолёт Ми-171, двигатель которого развивает мощность $N = 570$ кВт, неподвижно завис над поверхностью Земли. Какова масса вертолета m, если диаметр винта вертолёта $d = 20$ м. Считайте, что доля мощности двигателя, расходуемая на образование вертикальной струи воздуха, составляет $\eta = 0{,}8$ от его полной мощности, а скорость воздуха в этой струе примерно одинакова по всему ее сечению. Плотность воздуха $\rho = 1{,}3$ кг/м^3. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с^2.

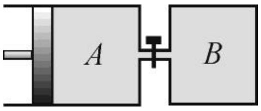
Вопросы. Что такое кинетическая энергия материальной точки? Как связано приращение кинетической энергии материальной точки и работа приложенных к точке сил?

1.10.3. Решение. Масса отбрасываемого за время Δt винтом вертолёта воздуха равна $\Delta m = \dfrac{\rho v \Delta t \cdot \pi d^2}{4}$, где v – скорость струи воздуха от винта. Импульс, переданный воздуху за это время, $\Delta p = \Delta m \cdot v = \dfrac{\rho v^2 \Delta t \cdot \pi d^2}{4}$. Подъёмная сила, действующая на вертолёт, $F = \dfrac{\Delta p}{\Delta t} = \dfrac{\rho v^2 \pi d^2}{4}$.

Поскольку вертолёт неподвижен, $F = mg$, откуда получаем, что $v = \sqrt{\dfrac{4mg}{\pi\rho d^2}}$. Энергия, передаваемая воздуху за время Δt, равна $\Delta E = \frac{\Delta m v^2}{2} = \frac{\pi\rho v^3 d^2 \Delta t}{8}$. Мощность, развиваемая двигателем вертолёта, $N = \frac{\Delta E}{\eta \Delta t} = \frac{\pi\rho v^3 d^2}{8\eta} = \frac{mg}{d\eta}\sqrt{\frac{mg}{\pi\rho}}$. Отсюда $m = \frac{\sqrt[3]{(N\eta d)^2 \pi\rho}}{g}$.

Ответ: $m = \frac{\sqrt[3]{(N\eta d)^2 \pi\rho}}{g} \approx 7 \cdot 10^3$ кг.

2.6.3. Задача. Цилиндр A соединён с сосудом B короткой трубкой с краном. В исходном состоянии



в сосуде и в цилиндре справа от поршня находились равные количества гелия при одинаковой температуре и давлении $p_0 = 1$ атм. Закрыв кран, объём гелия в цилиндре изобарно уменьшили в $n = 3$ раза, а гелий в сосуде нагрели так, что его давление возросло в некоторое число k раз. Затем, зафиксировав положение поршня, открыли кран. Пренебрегая объемом трубки и теплообменом гелия с окружающими телами, определите k, если установившееся давление стало равным p = 2,5 атм.

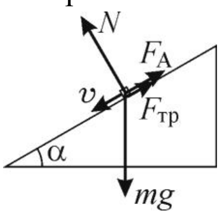
Вопросы. Сформулируйте основные положения молекулярно-кинетической теории. Каковы по порядку величины масса и размер молекул?

2.6.3. Решение. Согласно уравнению Менделеева–Клапейрона абсолютная температура T_0, объём V_0 и число молей гелия в сосуде ν удовлетворяют соотношению: $p_0 V_0 = \nu R T_0$, где R – универсальная газовая постоянная. После закрытия крана согласно закону Гей-Люссака температура в цилиндре понизится до $T_A = \frac{T_0}{n}$, а согласно закону Шарля температура в сосуде станет равной $T_B = kT_0$. После открывания крана внутренняя энергия гелия не изменяется, т.е. $\frac{3}{2}\nu R(T_A + T_B) = \frac{3}{2} 2\nu R T$, где T – установившаяся температура, причём $pV_0\left(1 + \frac{1}{n}\right) = 2\nu RT$. Из записанных выражений получаем, что $k = \frac{1}{n}\left(\frac{p}{p_0}(n+1) - 1\right)$. **Ответ:** $k = \frac{1}{n}\left(\frac{p}{p_0}(n+1) - 1\right) = 3$.

3.1.3. Задача. По двум проводящим длинным шинам, установленным под углом $\alpha = 30°$ к горизонту, поступательно соскальзывает расположенный перпендикулярно шинам медный брусок массой m = 100 г (см. рисунок).. Вся система находится в однородном магнитном поле, вектор индукции которого перпендикулярен к плоскости движения бруска, а модуль равен B = 0,1 Тл. Сверху шины замкнуты на резистор сопротивлением R = 0,2 Ом. Коэффициент трения между поверхностями шин и бруска равен μ = 0,5, а расстояние между шинами l = 1 м. Пренебрегая сопротивлением шин, бруска и мест контакта между ними, найдите тепловую мощность N, выделяющуюся в резисторе при движении бруска с установившейся скоростью. Ускорение свободного падения примите равным g = 10 м/с^2.

Вопросы. Сформулируйте закон Ампера. Чему равна сила, действующая на заряд, движущийся в магнитном поле?

3.1.3. Решение. Брусок движется по шинам под действием сил, модули и направления которых изображены на рисунке, где mg − модуль силы тяжести, N − модуль нормальной составляющей



силы реакции шин, F_A − модуль силы Ампера, $F_{тр}$ − модуль силы трения скольжения. На концах бруска возникает ЭДС индукции, обусловленная действием силы Лоренца на свободные заряды в движущемся проводнике, и по модулю равная $\mathcal{E} = Blv$. По контуру, образованному шинами, бруском и резистором, начинает течь ток силой $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$. В результате появляется сила

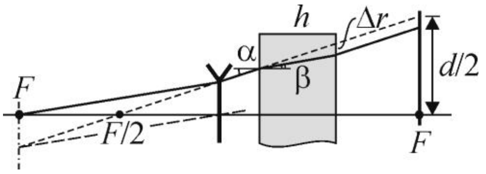
Ампера, действующая на брусок, и по модулю равная $F_{\text{А}} = IBl$. Она нарастает до тех пор, пока скорость движения бруска не перестаёт увеличиваться, достигая значения $v_{\text{уст.}}$. Соответствующее уравнение движения имеет вид $0 = mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha - F_{\text{А}}$. Сила протекающего в контуре тока равна при этом $I = \dfrac{Blv_{\text{уст}}}{R}$, а сила Ампера: $F_{\text{А}} = \dfrac{B^2l^2v_{\text{уст}}}{R}$. Подставляя полученное выражение для силы Ампера в уравнение движения, найдем установившуюся скорость движения бруска: $v_{\text{уст}} = \dfrac{mgR}{B^2l^2}(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$. Используя это выражение, находим, что сила тока в контуре $I = \dfrac{mg}{Bl}\cdot(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$. Тепловая мощность, выделяющаяся в резисторе, по закону Джоуля−Ленца равна $N = I^2R = \left[\dfrac{mg}{Bl}\cdot(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)\right]^2 R$.

Ответ: $N = \left[\dfrac{mg}{Bl}(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)\right]^2 R \approx 0{,}09$ Вт $= 90$ мВт.

4.4.3. Задача. Тонкая рассеивающая линза плотно вставлена в круглое отверстие в непрозрачной ширме. Точечный источник света располагается на главной оптической оси линзы на фокусном расстоянии от нее. При этом на экране, установленном на фокусном расстоянии по другую сторону от линзы перпендикулярно ее главной оптической оси, наблюдается светлое пятно диаметра $d = 3$ см. Каким станет диаметр d_1 светлого пятна на экране, если между ним и линзой поместить плоскопараллельную стеклянную пластинку толщиной $h = 1$ см с показателем преломления $n = 2$? Модуль фокусного расстояния линзы $F = 10$ см. Учтите, что для малых значений аргумента x, заданного в радианах, справедливы приближенные формулы $\sin x \approx \operatorname{tg} x \approx x$.

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

4.4.3. Решение. Ход одного из крайних лучей, ограничивающих световое пятно на экране, изображен на рисунке. В отсутствие пластинки ход луча показан штриховой линией, а при наличии пластинки − сплошной. Видно, что преломление света на боковых поверхностях пластинки приводит к тому, что луч смещается параллельно самому себе на некоторое расстояние, что вызывает изменение размеров светлого пятна на экране. Как следует из рисунка,



$\Delta r = h(\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\beta)$, где α и β − углы падения и преломления на левой поверхности пластинки, причем $\operatorname{tg}\alpha = \dfrac{d}{3F}$. По условию $\dfrac{d}{3F} = 0{,}1 << 1$, поэтому справедливы приближенные формулы $\operatorname{tg}\alpha \approx \alpha$, $\operatorname{tg}\beta \approx \beta$. Кроме того, $\sin\alpha \approx \alpha$, $\sin\beta \approx \beta$ и закон преломления на гранях пластинки принимает вид $\dfrac{\sin\alpha}{\sin\beta} \approx \dfrac{\alpha}{\beta} \approx n$. Из записанных равенств следует, что $\Delta r \approx \dfrac{dh}{3F}\cdot\dfrac{n-1}{n}$. Учитывая, что $d_1 = d - 2\Delta r$, получаем окончательно, что $d_1 = d\left(1 - \dfrac{2h}{3F}\cdot\dfrac{n-1}{n}\right)$.

Ответ: $d_1 = d\left(1 - \dfrac{2h}{3F}\cdot\dfrac{n-1}{n}\right)$=2,9 см.

<u>Критерии оценки</u>

Задачи (каждая 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 – 11 баллов**.

4. Задача решена, но допущены незначительные погрешности – **12-14 баллов**.

5. Задача решена полностью и получен правильный ответ – **15 баллов**.

Теоретические вопросы (каждый вопрос оценивается максимально в 10 баллов)

1. Ответ по существу обеих частей вопроса полностью отсутствует – **0 баллов**.

2. Ответ является неполным (даны формальные ответы, но отсутствуют или не полностью приведены необходимые пояснения) **-** ответы по каждой из частей вопроса оценивается независимо от **1 до 5 баллов**, далее баллы суммируются **1-9 баллов**.

3. Ответ является полным (содержит по обеим частям вопроса необходимые физические понятия и величины с пояснением их смысла) – **10 баллов**.