

По материалам семинара ФИПИ «Согласование подходов к оцениванию экзаменационных работ по физике 2023»

методист ЦНППМПр ГБОУ ДО РК КРИППО

Бойчук Л. Я.

Обращение

Уважаемые коллеги, учителя физики, репетиторы – все кто готовит школьников решать открытую часть ЕГЭ!

Внимательно ознакомьтесь и познакомьте своих учеников с сюжетами задач из презентации.

- Обратите внимание на следующее:
 - В первой части нового не ожидается, кроме спутников, которые вращаются вокруг «других» планет.
 - Следует повторить графики различных функций.
 - Будут задания на поляризацию, интерференцию, дифракционную решетку, электростатическую индукцию.

- Во второй части:
 - № 25 механика/калориметрия
 - № 26 оптика а) собирающая/рассеивающая линза – формула, увеличение;
б) дифракционная решетка – ширина спектра, расстояние между максимумами;
 - № 27 МКТ – все
 - № 28 электростатика, постоянный ток, электромагнитная индукция
 - № 29 квантовая физика (фотоэффект, ядерные реакции+механика, давление света)
 - № 30 связанные тела, законы сохранения, статика.

ПОЛЬЗУЕМСЯ ОТКРЫТЫМ БАНКОМ ЕГЭ

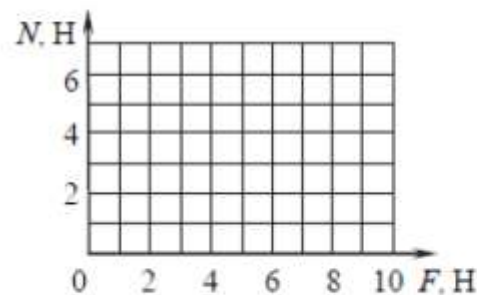
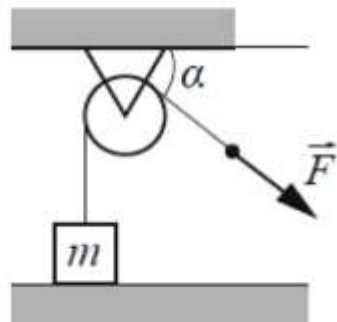


ФИПИ

Задача №24 Пример - 1

Лёгкая нить, привязанная к грузу массой $m = 0,4$ кг, перекинута через идеальный неподвижный блок. К правому концу нити приложена постоянная сила $\vec{F}$. Левая часть нити вертикальна, а правая наклонена под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту (см. рисунок).

Постройте график зависимости модуля силы реакции стола N от F на отрезке $0 \leq F \leq 10$ Н. Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности Вы использовали для объяснения. Сделайте рисунок с указанием сил, приложенных к грузу.





ФИПИ

Возможное решение

1. Если сила $\vec{F}$ достаточно мала, груз постоит относительно стола (эту систему отсчёта будем считать инерциальной). На груз при этом действуют сила тяжести $m\vec{g}$, сила реакции со стороны стола $\vec{N}$ и сила натяжения нити $\vec{T}$, показанные на рис. 1. Запишем второй закон Ньютона для груза в проекциях на ось y введённой системы отсчёта: $N + T - mg = 0$.

Поскольку нить лёгкая, а блок идеальный, модуль силы натяжения нити во всех точках одинаков, поэтому $T = F$.

Отсюда получаем: $N = mg - F \geq 0$ при $F \leq mg = 4 \text{ Н}$.

2. При $F > mg = 4 \text{ Н}$ груз отрывается от стола и движется вдоль оси y с ускорением. На груз при этом действуют только сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения нити $\vec{T}'$, показанные на рис. 2, а модуль силы реакции стола $N = 0$.

Таким образом: а) при $F \leq mg = 4 \text{ Н}$ $N = mg - F$;

б) при $F > mg = 4 \text{ Н}$ $N = 0$.

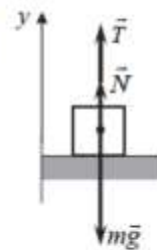


Рис. 1

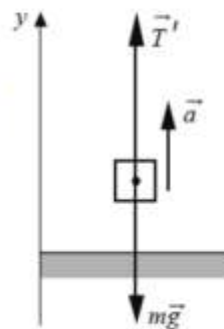
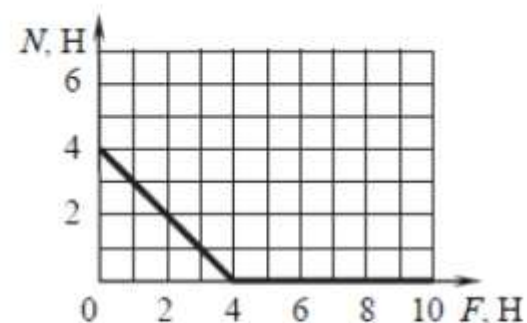


Рис. 2

3. График этой зависимости представляет собой ломаную линию.





ФИПИ

Задача №24 Пример - 2

Три параллельных длинных прямых проводника 1, 2 и 3 расположены на одинаковом расстоянии a друг от друга (см. рисунки 1 и 2). В каждом проводнике протекает электрический ток силой I . Токи во всех проводниках текут в одном направлении. Определите направление результирующей силы, действующей на проводник 1 со стороны проводников 2 и 3. Сделайте рисунок, указав в области проводника 1 вектора магнитной индукции полей, созданных проводниками 2 и 3, вектор магнитной индукции результирующего магнитного поля и вектор результирующей силы. Ответ поясните, опираясь на законы электродинамики.

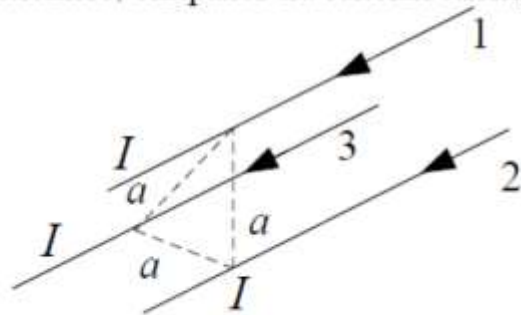


Рис. 1

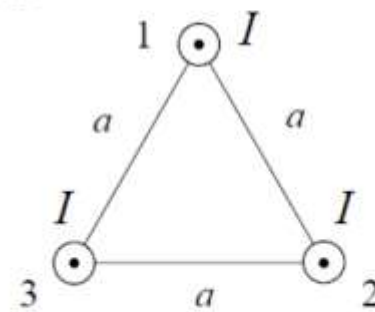
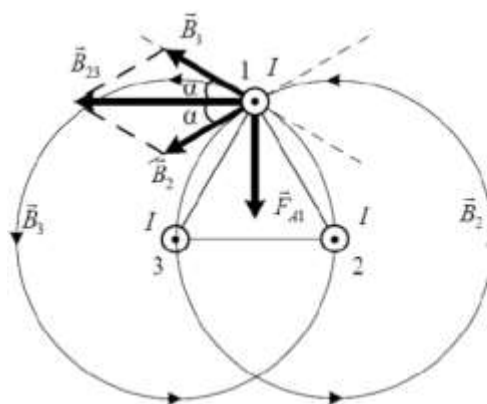


Рис. 2



ФИПИ



Возможное решение

1. На проводник 1 со стороны проводников 2 и 3 действует результирующая сила, направленная вертикально вниз (см. рисунок).
2. Вокруг проводников 2 и 3 возникает магнитное поле, линии индукции которого являются окружностями. Направление линий индукции магнитного поля определяется правилом буравчика (см. рисунок). Вектор магнитной индукции результирующего магнитного поля в области проводника 1 определяется принципом суперпозиции: $\vec{B}_{23} = \vec{B}_2 + \vec{B}_3$, где $\vec{B}_2$ и $\vec{B}_3$ – векторы индукции магнитных полей, созданных проводниками 2 и 3. Поскольку проводник 1 находится на одинаковом расстоянии a от каждого из проводников 2 и 3, и по проводникам протекают токи одинаковой силы, то $|\vec{B}_2| = |\vec{B}_3| = B$.
3. Из геометрических построений видно, что угол между векторами $\vec{B}_2$ и $\vec{B}_3$ составляет 60° , а значит, $\alpha = 30^\circ$. Следовательно, вектор индукции результирующего магнитного поля $\vec{B}_{23}$, созданного проводниками 2 и 3, направлен горизонтально влево (см. рисунок).
4. Со стороны результирующего магнитного поля $\vec{B}_{23}$ на проводник 1 с током действует сила Ампера $\vec{F}_{A1}$, направление которой определяется правилом левой руки. Таким образом, результирующая сила, действующая на проводник 1 со стороны проводников 2 и 3, направлена вертикально вниз.



ФИПИ

Задача №24 Пример - 3

В опыте по изучению фотоэффекта катод освещается жёлтым светом, в результате чего в цепи возникает ток (рис. 1). Зависимость показаний амперметра I от напряжения U между анодом и катодом приведена на рис. 2. Используя законы фотоэффекта и предполагая, что отношение числа фотоэлектронов к числу поглощённых фотонов не зависит от частоты света, объясните, как изменится представленная зависимость $I(U)$, если освещать катод зелёным светом, оставив мощность поглощённого катодом света неизменной.

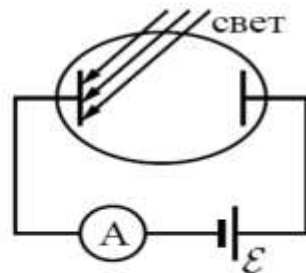


Рис. 1

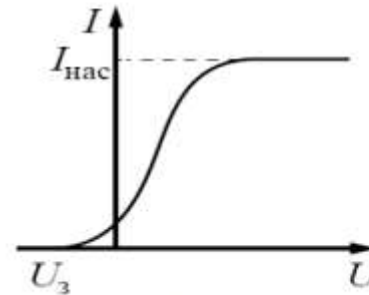


Рис. 2



ФИПИ

Возможное решение

1. При изменении света с жёлтого на зелёный его длина волны уменьшится, частота увеличится ($\nu_z > \nu_{\text{ж}}$).
 2. Работа выхода электронов из материала не зависит от частоты падающего света, поэтому в соответствии с уравнением Эйнштейна для фотоэффекта:
 $h\nu = A_{\text{вых}} + E_{\text{max}}$ – увеличится максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов E_{max} . Так как $E_{\text{max}} = e|U_z|$, то увеличится и модуль запирающего напряжения U_z .
 3. Мощность поглощённого света связана с частотой волны ν соотношением $P = N_{\text{ф}} E_{\text{ф}} = N_{\text{ф}} h\nu$, где $N_{\text{ф}}$ – число фотонов, падающих на катод за 1 с, $E_{\text{ф}} = h\nu$ – энергия одного фотона (соотношение Планка). Так как мощность света не изменилась, а энергия фотонов $E_{\text{ф}}$ увеличилась, то уменьшится число фотонов, падающих на катод за 1 с.
 4. Сила тока насыщения $I_{\text{нас}}$ определяется числом выбитых светом за 1 с электронов N_e , которое пропорционально числу падающих на катод за 1 с фотонов, поэтому сила тока насыщения уменьшится.
- Ответ: точка отрыва графика от горизонтальной оси U сдвинется влево, горизонтальная асимптота графика $I_{\text{нас}}$ сдвинется вниз



Оценивание №№25, 26 (расчетные задачи на 2 балла)

Обобщенная схема оценивания строится на основании четырех элементов решения:

- *Исходные формулы и законы (кодификатор);*
- *Обозначения физических величин (рисунок);*
- *Математические преобразования и расчеты;*
- *Правильный числовой ответ, размерность.*



ФИПИ

Задача №25 Пример - 1

25

Два велосипедиста стартуют одновременно по велодорожке в одном направлении, причём в момент старта второй находится позади первого на расстоянии 9 м от него. После старта они движутся прямолинейно и равноускоренно в одном направлении. Ускорение первого составляет 1 м/с^2 , второго равно 3 м/с^2 . Найдите время, через которое второй велосипедист догонит первого.



ФИПИ

Возможное решение

1. Выберем инерциальную систему отсчёта «велодорожка», расположив ось OX по скорости движения велосипедистов, выбрав за начало отсчёта положение первого велосипедиста.

2. Запишем закон движения каждого велосипедиста в выбранной системе отсчёта с учётом того, что они оба начинают движение с нулевой начальной скоростью:

– для первого велосипедиста:

$$x_1 = \frac{1}{2} a_1 t^2;$$

– для второго велосипедиста:

$$x_2 = x_0 + \frac{1}{2} a_2 t^2,$$

где a_1 и a_2 – ускорения первого и второго велосипедистов соответственно, а $x_0 = -9$ м – начальная координата второго велосипедиста.

3. В момент, когда второй велосипедист догонит первого, их координаты становятся равны. Время найдём, решив уравнение и подставив в него исходные данные:

$$\frac{1}{2} a_1 t^2 = x_0 + \frac{1}{2} a_2 t^2, \text{ откуда}$$
$$t = \sqrt{\frac{2x_0}{a_1 - a_2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (-9)}{1 - 3}} = 3 \text{ с.}$$

Ответ: $t = 3$ с

© все права защищены



ФИПИ

Задача №25 Пример - 3

В калориметре находятся в тепловом равновесии вода и лёд. После опускания в калориметр болта, имеющего массу 165 г и температуру $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, 20% воды превратилось в лёд. Удельная теплоёмкость материала болта равна $500\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$. Какая масса воды первоначально находилась в калориметре? Теплоёмкостью калориметра пренебречь.

Возможное решение

Так как вода и лёд находятся в тепловом равновесии, то и до опускания болта, и после его нагревания температура в сосуде $t_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Согласно уравнению теплового баланса количество теплоты, выделившееся при замерзании воды, было затрачено на нагревание болта:

$0,2m \cdot r = cm_1(t_0 - t)$, где m – масса воды в сосуде, m_1 – масса болта, c – удельная теплоёмкость болта, r – удельная теплота плавления льда, t – начальная температура болта.

$$\text{Получим: } m = \frac{cm_1(t_0 - t)}{0,2r} = \frac{500 \cdot 0,165 \cdot 40}{0,2 \cdot 3,3 \cdot 10^5} = 0,05 \text{ кг.}$$

Ответ: $m = 0,05 \text{ кг}$



ФИПИ

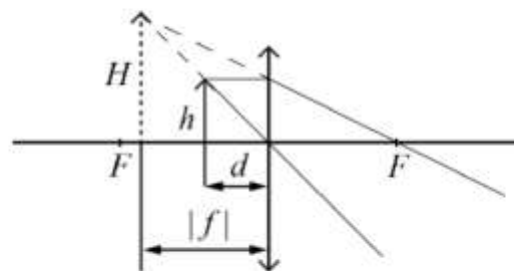
Задача №26 Пример - 1

26

Собирающая линза даёт мнимое, увеличенное в 5 раз изображение предмета, которое находится на расстоянии 20 см от линзы. Постройте изображение предмета в линзе. Определите фокусное расстояние линзы.

Возможное решение

Построим изображение предмета в линзе, используя свойства луча, проходящего через главный оптический центр линзы, и луча, параллельного главной оптической оси.



По формуле линзы с учётом того, что изображение мнимое $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{|f|}$.

Увеличение линзы $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{|f|}{d}$. Следовательно, $d = \frac{|f|}{\Gamma}$.

Найдём фокусное расстояние линзы: $\frac{1}{F} = \frac{\Gamma - 1}{|f|}$; $F = \frac{20}{5 - 1} = 5 \text{ см}$.

Ответ: $F = 5 \text{ см}$



ФИПИ

Оценивание №№27-29 (расчетных задач)

Обобщенная схема оценивания строится на основании четырех (пяти) элементах решения:

- *Исходные формулы и законы (кодификатор);*
- *Обозначения физических величин;*
- *Рисунок с указанием сил (если требуется);*
- *Математические преобразования и расчеты;*
- *Правильный числовой ответ, размерность.*



ФИПИ

Задача №27 Пример - 1

В комнате при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ относительная влажность воздуха составляет 40%. В состоянии покоя через лёгкие человека проходит 5 л воздуха за 1 мин. Выдыхаемый воздух имеет температуру $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительную влажность 100%. Давление насыщенного водяного пара при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ равно 2,34 кПа, а при $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 5,32 кПа. Какое количество воды теряет тело человека за 1 ч за счёт дыхания? Считать, что выдыхаемый воздух имеет такой же объём, какой проходит через лёгкие человека. Влажность воздуха в комнате не изменяется.



ФИПИ

Возможное решение

1. Водяной пар в воздухе до момента конденсации является разреженным газом и описывается уравнением Менделеева – Клапейрона: $pV = \frac{m}{M}RT$, где

p – парциальное давление пара, m – масса пара в рассматриваемом объёме V , T – абсолютная температура, $M = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль – молярная массы воды. При комнатной температуре T_1 и парциальном давлении p_1 в выделенном объёме V содержится $m_1 = M \frac{p_1 V}{RT_1}$ водяного пара, а в выдыхаемом воздухе

при температуре T_2 и парциальном давлении p_2 содержится $m_2 = M \frac{p_2 V}{RT_2}$.

2. Количество испарённой воды в этом объёме

$$m = m_2 - m_1 = M \frac{p_2 V}{RT_2} - M \frac{p_1 V}{RT_1} = \frac{MV}{R} \left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right).$$

При $t = 20^\circ\text{C}$ ($T_1 = 273 + 20 = 293$ К) и относительной влажности 40% парциальное давление водяного пара $p_1 = 0,4 p_{\text{н}1} = 0,4 \cdot 2,34 \cdot 10^3$ Па = 936 Па, а при $t_2 = 34^\circ\text{C}$ ($T_2 = 273 + 34 = 307$ К) и относительной влажности 100% парциальное давление водяного пара $p_2 = p_{\text{н}2} = 5320$ Па.

Здесь $p_{\text{н}1} = 2,34 \cdot 10^3$ Па – давление насыщенного водяного пара при $t_1 = 20^\circ\text{C}$, а $p_{\text{н}2} = 5320$ Па – давление насыщенного водяного пара при $t_2 = 34^\circ\text{C}$.

3. Через лёгкие за 1 мин. проходит 5 л воздуха, а за 1 ч – 300 л, т.е. $V = 0,3$ м³. Подставляя значения физических величин, получим количество потерянной за час воды:

$$m = \frac{MV}{R} \left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right) = \frac{18 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3}{8,31} \cdot \left(\frac{5320}{307} - \frac{936}{293} \right) = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 9,2 \text{ г}.$$

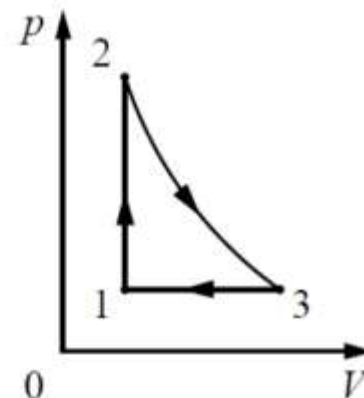
Ответ: $m = 9,2$ г



ФПИ

Задача №27 Пример - 2

1 моль одноатомного идеального газа совершает цикл 1–2–3–1, состоящий из изохоры (1–2), адиабаты (2–3) и изобары (3–1) (см. рисунок). Абсолютные температуры газа в состояниях 1, 2 и 3 равны 400 К, 600 К и 510 К соответственно. Определите коэффициент полезного действия цикла.





ФГИП

Возможное решение

Коэффициент полезного действия теплового двигателя определяется

формулой $\eta = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}$, где Q_1 – количество теплоты, полученное за цикл

газом от нагревателя, $|Q_2|$ – количество теплоты, отданное за цикл газом холодильнику. Анализируя график цикла, приходим к выводу, что газ получает положительное количество теплоты на изохоре 1–2, отдаёт положительное количество теплоты на изобаре 3–1, а в адиабатическом процессе 2–3 $Q_{2-3} = 0$.

Таким образом, $Q_1 = Q_{1-2}$ и $Q_2 = Q_{3-1}$.

Согласно первому закону термодинамики для изохорного процесса 1–2

$$(V = \text{const}; A = 0) \quad Q_1 = Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1).$$

Для изобарного процесса 3–1 полученное газом количество теплоты

$$Q_2 = Q_{3-1} = \Delta U_{3-1} + A_{3-1} = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) + p_1 (V_1 - V_3) < 0.$$

С учётом уравнения Менделеева – Клапейрона ($pV = \nu RT$) получаем:

$$|Q_2| = |Q_{3-1}| = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_1).$$

$$\text{Таким образом,} \quad \eta = 1 - \frac{\frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_1)}{\frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)} = 1 - \frac{5(T_3 - T_1)}{3(T_2 - T_1)} = 1 - \frac{5(510 - 400)}{3(600 - 400)} \approx$$

$$\approx 0,083 = 8,3\%.$$

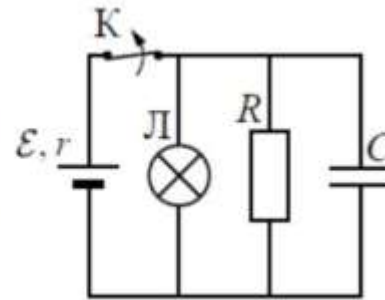
Ответ: $\eta \approx 8,3\%$



ФИПИ

Задача №28 Пример - 1

К аккумулятору с ЭДС 50 В и внутренним сопротивлением 4 Ом подключили лампу сопротивлением 10 Ом и резистор сопротивлением 15 Ом, а также конденсатор ёмкостью 100 мкФ (см. рисунок). Спустя длительный промежуток времени ключ К размыкают. Какое количество теплоты выделится после этого на лампе?





ФИПИ

Возможное решение

До размыкания ключа электрический ток протекает через параллельно соединённые лампу и резистор. Общее сопротивление внешней цепи равно

$$R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \cdot 15}{10 + 15} = 6 \text{ Ом, где } R_1 - \text{сопротивление лампы, } R_2 -$$

сопротивление резистора. Согласно закону Ома для полной цепи

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_0 + r} = \frac{50}{6 + 4} = 5 \text{ А. При этом напряжение на конденсаторе равно}$$

$$U = IR_0 = 5 \cdot 6 = 30 \text{ В. Таким образом, до размыкания ключа в конденсаторе}$$

$$\text{была накоплена энергия } W = \frac{CU^2}{2} = \frac{10^{-4} \cdot 900}{2} = 45 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} = 45 \text{ мДж.}$$

После размыкания ключа вся энергия, накопленная в конденсаторе, будет выделяться на параллельно включенных лампе и резисторе. Согласно закону Джоуля – Ленца, количество теплоты, выделяющееся в промежуток времени Δt , обратно пропорционально сопротивлению, поскольку напряжение u на

$$\text{лампе и резисторе в любой момент времени одно и то же: } Q_1 = \frac{u^2}{R_1} \Delta t,$$

$$Q_2 = \frac{u^2}{R_2} \Delta t \Rightarrow \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{R_1}{R_2} \text{ и } W = Q_1 + Q_2.$$

Окончательно получим для количества теплоты, выделившегося на лампе:

$$Q_1 = \frac{WR_2}{R_1 + R_2} = \frac{45 \cdot 10^{-3} \cdot 15}{10 + 15} = 27 \cdot 10^{-3} = 27 \text{ мДж}$$

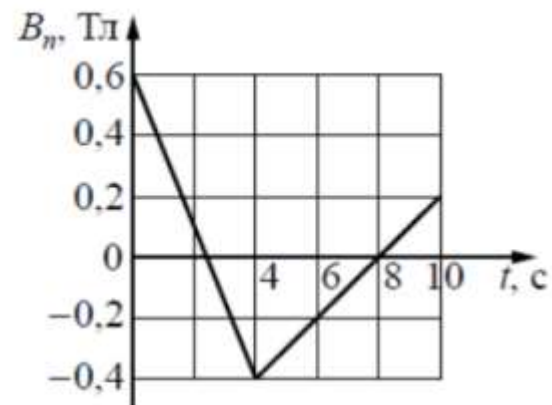
Ответ: $Q_1 = 27 \text{ мДж}$



ФИПИ

Задача №28 Пример - 2

Квадратная проволочная рамка со стороной $l = 10$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией $\vec{B}$. На рисунке изображена зависимость проекции вектора $\vec{B}$ на перпендикуляр к плоскости рамки от времени. Какое количество теплоты выделится в рамке за время $t = 10$ с, если сопротивление рамки $R = 0,2$ Ом?





ФГИП

Возможное решение

При изменении магнитного поля поток вектора магнитной индукции $\Phi(t) = B(t)S$ через рамку площадью $S = l^2$ изменяется, что создаёт в ней ЭДС индукции $\mathcal{E}$. В соответствии с законом индукции Фарадея

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta B_n}{\Delta t} S.$$

Эта ЭДС вызывает в рамке ток, сила которого определяется законом Ома для замкнутой цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = -\frac{\Delta B_n}{\Delta t} \frac{S}{R}.$$

Согласно закону Джоуля – Ленца за время Δt в рамке выделится количество теплоты:

$$Q = I^2 R \Delta t = \frac{S^2 (\Delta B_n)^2}{R \Delta t} = \frac{l^4 (\Delta B_n)^2}{R \Delta t}.$$

За время $\Delta t_1 = t_1 = 4$ с на первом участке графика $\Delta B_1 = B_1 - B_0 = -1$ Тл, а на втором участке $\Delta t_2 = t_2 - t_1 = 6$ с и $\Delta B_2 = B_2 - B_1 = 0,6$ Тл, поэтому суммарное количество выделившейся теплоты

$$Q = Q_1 + Q_2 = \frac{l^4}{R} \left[\frac{(\Delta B_1)^2}{\Delta t_1} + \frac{(\Delta B_2)^2}{\Delta t_2} \right].$$

Подставляя сюда значения физических величин, получим:

$$Q = \frac{(0,1)^4}{0,2} \left[\frac{1}{4} + \frac{0,36}{6} \right] = \frac{10^{-3}}{2} (0,25 + 0,06) = 0,155 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}.$$

Ответ: $Q = 0,155$ мДж



ФПИ

Задача №28 Пример - 3

По горизонтально расположенным шероховатым рельсам с пренебрежимо малым сопротивлением могут скользить два одинаковых стержня массой $m = 100$ г и сопротивлением $R = 0,1$ Ом каждый. Расстояние между рельсами $l = 10$ см, а коэффициент трения между стержнями и рельсами $\mu = 0,1$. Рельсы со стержнями находятся в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией $B = 1$ Тл (см. рисунок). Под действием горизонтальной силы, действующей на первый стержень вдоль рельс, оба стержня движутся поступательно равномерно с разными скоростями. Какова скорость движения первого стержня относительно второго? Самоиндукцией контура пренебречь.





ФИПИ

При движении стержней с разными скоростями изменение потока вектора магнитной индукции, пронизывающего контур, за промежуток времени Δt определяется по формуле $\Delta\Phi = Bl(\nu_1 - \nu_2)\Delta t = Bl\nu_{\text{отн}}\Delta t$, что приводит к возникновению в контуре ЭДС индукции. Согласно закону Фарадея $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -Bl\nu_{\text{отн}}$. Здесь мы

пренебрегли самоиндукцией контура.

В соответствии с законом Ома для замкнутой цепи в контуре появился ток

$$I = \frac{|\mathcal{E}|}{2R} = \frac{Bl\nu_{\text{отн}}}{2R}.$$

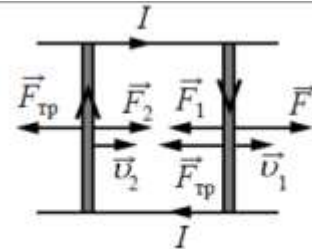
На проводники с током в магнитном поле действуют силы Ампера F_1 и F_2 , $F_1 = F_2 = IBl$, как показано на рисунке. Кроме этих сил, на каждый стержень действует тормозящая сила трения, $F_{\text{тр}} = \mu mg$.

Так как стержни движутся равномерно, сумма сил, приложенных к каждому стержню, равна нулю. На второй стержень действуют только сила Ампера F_2

и сила трения, поэтому $\frac{(Bl)^2 \nu_{\text{отн}}}{2R} = \mu mg$. Отсюда: относительная скорость

$$\nu_{\text{отн}} = \frac{2\mu mgR}{(Bl)^2} = \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 10 \cdot 0,1}{(1 \cdot 0,1)^2} = 2 \text{ м/с}.$$

Ответ: $\nu_{\text{отн}} = 2 \text{ м/с}$





ФИПИ

Задача №29 Пример - 1

Ион с зарядом $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл и массой $m = 1,5 \cdot 10^{-25}$ кг проходит ускоряющую разность потенциалов $U = 10^3$ В и после этого попадает в однородное магнитное поле, в котором движется по окружности радиусом $R = 0,3$ м. Определите модуль индукции B магнитного поля. Считать, что установка находится в вакууме. Силой тяжести и скоростью иона до прохождения ускоряющей разности потенциалов пренебречь.



ФИПИ

Возможное решение

1. При прохождении ускоряющей разности потенциалов U заряженная частица массой m с зарядом q приобретает кинетическую энергию

$$\frac{mv^2}{2} = qU. \quad (1)$$

Здесь учтено, что начальная скорость частицы равна нулю.

2. При движении заряженной частицы в однородном магнитном поле $\vec{B}$ по окружности радиусом R сила Лоренца вызывает центростремительное ускорение частицы

$$ma_{\text{ц}} = \frac{mv^2}{R} = F_{\text{л}} = qvB.$$

Отсюда

$$R = \frac{mv}{qB}. \quad (2)$$

3. Из (1) следует, что

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}.$$

Подставляя этот результат в (2), получим:

$$R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}.$$

Отсюда

$$B = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{2mU}{q}}.$$

$$B = \frac{1}{0,3} \sqrt{\frac{2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-25} \cdot 10^3}{3,2 \cdot 10^{-19}}} \approx 0,1 \text{ Тл}.$$

Ответ: $B \approx 0,1 \text{ Тл}$

се права защищены



ФИПИ

Задача №29 Пример - 2

На плоскую цинковую пластинку падает электромагнитное излучение. Фотоэлектроны удаляются от поверхности пластинки на расстояние не более 8,75 см в задерживающем однородном электрическом поле, перпендикулярном пластинке. Напряжённость поля 100 В/м. Работа выхода электрона с поверхности цинка 3,74 эВ. Какова длина волны падающего излучения?

Возможное решение

1. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, вылетающих из пластины, $W_{\max}$ определяется уравнением Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h \frac{c}{\lambda} = A_{\text{вых}} + W_{\max}. \quad (1)$$

2. Максимальное удаление от пластины d для электрона с зарядом e в электрическом поле E определяется законом сохранения энергии:

$$W_{\max} = Eed. \quad (2)$$

3. Отсюда: $\lambda = \frac{hc}{A_{\text{вых}} + eEd}.$

4. Подставляя значения физических величин, получим:

$$\lambda = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3,74 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} + 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^2 \cdot 8,75 \cdot 10^{-2}} \approx 100 \text{ нм}.$$



Задача №29 Пример - 4

Электромагнитное излучение с длиной волны $3,3 \cdot 10^{-7}$ м используется для нагревания воды. Какую массу воды можно нагреть за 70 с на 10°C , если источник излучает 10^{20} фотонов за 1 с? Считать, что излучение полностью поглощается водой, а теплопотерь в окружающую среду нет.



Возможное решение

Энергия фотона связана с длиной волны электромагнитного излучения λ соотношением $E_{\phi} = \frac{hc}{\lambda}$.

Если за каждую секунду вода поглощает n фотонов, то за время τ она поглотит $n\tau$ фотонов с суммарной энергией $E = \frac{n\tau hc}{\lambda}$.

Количество теплоты, необходимое для нагревания воды на Δt : $Q = c_{уд} m \Delta t$, где m и $c_{уд}$ – соответственно масса воды и её удельная теплоёмкость.

Поскольку $E = Q$, то $\frac{n\tau hc}{\lambda} = c_{уд} m \Delta t$.

Отсюда получаем: $m = \frac{hc n \tau}{c_{уд} \lambda \Delta t} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 10^{20} \cdot 70}{4200 \cdot 3,3 \cdot 10^{-7} \cdot 10} = 0,1 \text{ кг}$.

Ответ: $m = 0,1 \text{ кг}$



ФИПИ

Задача №30, механика на 4 балла

расчетная задача + обоснование физической модели

Двухкритериальная система оценивания

Критерий 1:

*Верно обоснована возможность использования законов
(закономерностей)*

1 балл

Критерий 2: *Традиционные требования*

3 балла

Исходные формулы и законы (кодификатор);

Обозначения физических величин;

Математические преобразования и расчеты;

Правильный числовой ответ, размерность.

Итого 4 балла

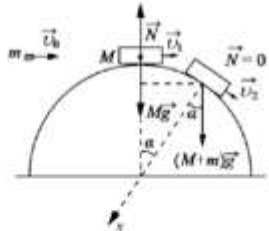


Линия 30

- Линия 30 – 4 балла (неупругое столкновение, закон сохранения энергии)

Небольшое тело массой $M = 0,99$ кг лежит на вершине гладкой полусферы радиусом $R = 1$ м. В тело попадает пуля массой $m = 0,01$ кг, летящая горизонтально со скоростью $v_0 = 200$ м/с, и застревает в нём. Пренебрегая смещением тела за время удара, определите высоту h , на которой это тело оторвётся от поверхности полусферы. Высота отсчитывается от основания полусферы. Сопротивлением воздуха пренебречь. Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

- Выбор ИСО
- Материальные точки
- Условие применимости закона сохранения энергии
- Условие применимости закона сохранения импульса

Обоснование	Возможное решение
	
	Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. Тела можно считать материальными точками, так как их размеры пренебрежимо малы в условиях задачи. 2. При соударении для системы «пуля – тело» в ИСО выполняется закон сохранения импульса в проекциях на горизонтальную ось, так как внешние силы (сила тяжести и сила реакции опоры) вертикальны. 3. При движении составного тела от вершины полусферы выполняется закон сохранения механической энергии, так как полусфера гладкая, и работа силы реакции опоры равна нулю (эта сила перпендикулярна скорости тела). 4. В момент отрыва обращается в нуль сила реакции опоры N. 5. Второй закон Ньютона выполняется в ИСО для модели материальной точки.



ФИПИ

Линия 30

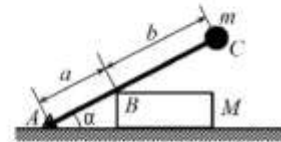
Обоснование - статика

- ☐ Выбор ИСО
- ☐ Модель абсолютно твердого тела
- ☐ Тело не движется поступательно – выполняется условие равенства нулю суммы сил
- ☐ Тело не вращается – выполняется условие равенства нулю суммы моментов сил

Рисунок с указанием сил, действующих на тело.

Рисунок оценивается по критерию 2

Лёгкий стержень AC прикреплен нижним концом к шарниру, относительно которого он может поворачиваться без трения. На верхнем конце стержня закреплен маленький шарик массой $m = 1$ кг. В точке B стержень опирается на середину ребра однородного бруска массой $M = 4$ кг, который имеет форму прямоугольного параллелепипеда и лежит на горизонтальной плоскости (см. рисунок). Стержень образует угол α ($\operatorname{tg} \alpha = 0,75$) с горизонтальной плоскостью и перпендикулярен ребру бруска, на которое он опирается. Трение между стержнем и ребром бруска отсутствует, коэффициент трения между бруском и горизонтальной плоскостью равен μ . $AB = a = 0,2$ м, $BC = b = 0,3$ м. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на брусок и на стержень с шариком. Найдите минимальное значение μ , при котором система тел остаётся неподвижной. Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.



Обоснование

1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной (ИСО).
2. Стержень с шариком будем считать твёрдым телом с осью вращения, проходящей перпендикулярно плоскости рисунка через точку A . Условие равновесия относительно вращения твёрдого тела на оси – равенство нулю суммы моментов сил, приложенных к телу, относительно этой оси. Стержень лёгкий, поэтому его массу считаем равной нулю.
3. В условиях данной задачи брусок может двигаться только поступательно вдоль горизонтальной оси Ox , лежащей в плоскости рисунка. В этом случае для бруска используем модель материальной точки и применяем второй закон Ньютона. Вследствие этого условие равновесия – сумма приложенных к бруску сил равна нулю.
4. Стержень и брусок в точке их соприкосновения друг с другом действуют друг на друга, по третьему закону Ньютона, силами, равными по модулю и направленными перпендикулярно как стержню, так и ребру бруска, так как трения между ними нет.



Задача №30 Пример - 1

Небольшое тело массой $M = 0,99$ кг лежит на вершине гладкой полусферы радиусом $R = 1$ м. В тело попадает пуля массой $m = 0,01$ кг, летящая горизонтально со скоростью $v_0 = 200$ м/с, и застревает в нём. Пренебрегая смещением тела за время удара, определите высоту h , на которой это тело оторвётся от поверхности полусферы. Высота отсчитывается от основания полусферы. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.



Обоснование

1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. Тела можно считать материальными точками, так как их размеры пренебрежимо малы в условиях задачи.
2. При соударении для системы «пуля – тело» в ИСО выполняется закон сохранения импульса в проекциях на горизонтальную ось, так как внешние силы (сила тяжести и сила реакции опоры) вертикальны.
3. При движении составного тела от вершины полусферы выполняется закон сохранения механической энергии, так как полусфера гладкая, и работа силы реакции опоры равна нулю (эта сила перпендикулярна скорости тела).
4. В момент отрыва обращается в нуль сила реакции опоры $\vec{N}$.
5. Второй закон Ньютона выполняется в ИСО для модели материальной точки.



ФИПИ

Решение

1. Закон сохранения импульса связывает скорость пули перед ударом со скоростью составного тела массой $m + M$ сразу после удара:

$$mv_0 = (m + M)v_1.$$

Закон сохранения механической энергии связывает скорость составного тела сразу после удара с его скоростью в момент отрыва от полусферы:

$$\frac{(m + M)v_1^2}{2} + (m + M)gR = \frac{(m + M)v_2^2}{2} + (m + M)gR\cos\alpha,$$

где v_2 – скорость составного тела в момент отрыва; $h = R\cos\alpha$ – высота точки отрыва (см. рисунок).

2. Второй закон Ньютона в проекциях на ось x (направленную в центр полусферы), в момент отрыва тела принимает вид:

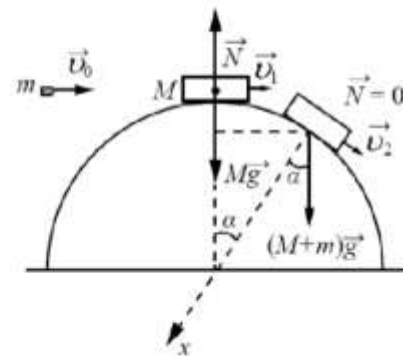
$$(m + M)g\cos\alpha = \frac{(m + M)v_2^2}{R}.$$

3. Объединяя уравнения, получим:

$$\frac{v_1^2}{2} + gR = \frac{3}{2}gh.$$

$$\text{Отсюда } h = \frac{1}{3g} \cdot \left(\frac{mv_0}{M + m} \right)^2 + \frac{2}{3}R = \frac{1}{3 \cdot 10} \cdot \left(\frac{0,01 \cdot 200}{0,99 + 0,01} \right)^2 + \frac{2}{3} \cdot 1 = 0,8 \text{ м.}$$

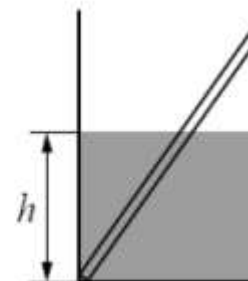
Ответ: $h = 0,8 \text{ м}$





Задача №30 Пример - 2

В гладкий высокий стакан радиусом 4 см поставили однородную тонкую палочку длиной 10 см и массой 0,9 г, после чего в стакан налили до высоты $h = 4$ см жидкость, плотность которой составляет 0,75 плотности материала палочки. Найдите силу F , с которой верхний конец палочки давит на стенку стакана. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на палочку.





ФИПИ

Возможное решение

1. Высота конца палочки относительно дна стакана

$$H = \sqrt{l^2 - 4R^2} = \sqrt{0,1^2 - 4 \cdot 0,04^2} = 0,06 \text{ м,}$$
 где l – длина палочки, R – радиус стакана.

2. Сила Архимеда

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{ж}} \left(\frac{h}{H} V \right) g = \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho} \frac{h}{H} mg,$$

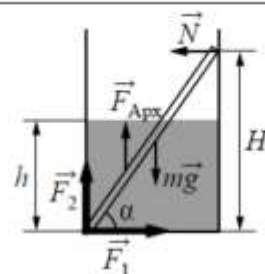
где V – объём палочки, ρ – её плотность, $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости.

3. Поскольку палочка покоится, сумма приложенных к ней сил равна нулю. Поэтому можно записать правило моментов так, чтобы исключить из него упоминание неизвестных сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, т.е. записать это правило относительно оси, проходящей перпендикулярно рисунку через нижний конец палочки:

$$mgR - F_{\text{арх}} \left(\frac{h}{2} \operatorname{ctg} \alpha \right) - NH = 0, \text{ где } \operatorname{ctg} \alpha = \frac{2R}{H}.$$

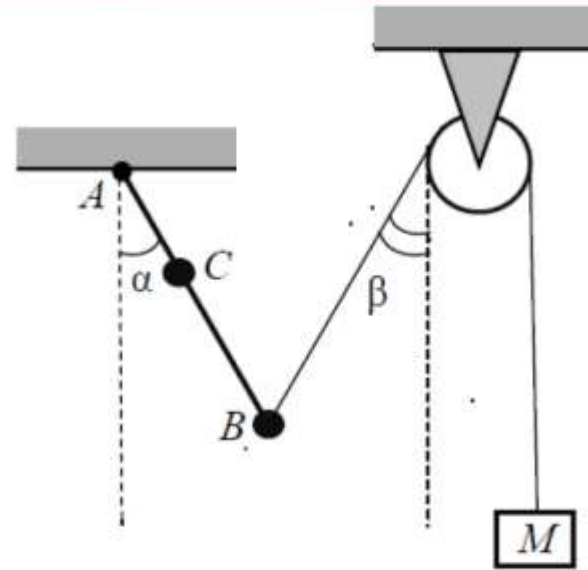
4. Отсюда:

$$\begin{aligned} N &= mg \frac{R}{H} - F_{\text{арх}} \left(\frac{h}{2H} \operatorname{ctg} \alpha \right) = mg \frac{R}{H} \left(1 - \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho} \left(\frac{h}{H} \right)^2 \right) = \\ &= 9 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot \frac{0,04}{0,06} \left(1 - 0,75 \cdot \frac{0,04^2}{0,06^2} \right) = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Н.} \end{aligned}$$

По третьему закону Ньютона, $N = F$, поэтому $F = 4 \cdot 10^{-3}$ Н.Ответ: $F = 4 \cdot 10^{-3}$ Н

Задача №30 Пример - 3

Невесомый стержень AB с двумя малыми грузиками массами $m_1 = 200$ г и $m_2 = 100$ г, расположенными в точках C и B соответственно, шарнирно закреплён в точке A . Груз массой $M = 100$ г подвешен к невесомому блоку за невесомую и нерастяжимую нить, другой конец которой соединён с нижним концом стержня, как показано на рисунке. Вся система находится в равновесии: если стержень отклонён от вертикали на угол $\alpha = 30^\circ$, а нить составляет угол с вертикалью, равный $\beta = 30^\circ$. Расстояние $AC = b = 25$ см. Определите длину l стержня AB . Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на груз M и стержень.



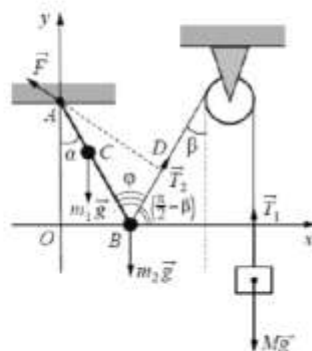


ФИПИ

Возможное решение

1. Систему отсчета, связанную с Землей, считаем инерциальной. Введем декартову систему координат xOy , как показано на рисунке. Поскольку груз находится в равновесии, согласно второму закону Ньютона

$$T_1 - Mg = 0. \quad (1)$$



2. На стержень с грузами m_1 и m_2 действуют силы $m_1 \vec{g}$ и $m_2 \vec{g}$, а также сила натяжения нити $\vec{T}_2$. Поскольку нить невесома, то $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$. Кроме того, на стержень действует сила $\vec{F}$ со стороны шарнира. Запишем условие равенства нулю суммы моментов этих сил относительно оси вращения, проходящей через точку A – точку шарнирного закрепления стержня:

$$m_1 g \cdot b \sin \alpha + m_2 g \cdot l \sin \alpha - T \cdot AD = 0. \quad (2)$$

3. Решая систему уравнений (1) и (2), с учётом

$$AD = l \sin \varphi = l \sin(\alpha + \beta)$$

получим:

$$l = \frac{m_1 \cdot b \sin \alpha}{M \sin(\alpha + \beta) - m_2 \sin \alpha} = \frac{200 \cdot 25 \cdot \frac{1}{2}}{100 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - 100 \cdot \frac{1}{2}} = 68,3 \text{ см.}$$

Ответ: $l = 68,3 \text{ см}$.