

Региональный семинар 30.01.2024г

**Трудные задания ЕГЭ
2022-2023г**

ведущий эксперт предметной комиссии по физике
Логинова Татьяна Алексеевна

Задания 1 части ЕГЭ 2022г. вызвавшие затруднения

5

Смещение груза пружинного маятника меняется с течением времени по закону $x = A \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$, где период $T = 1$ с. Через какое минимальное время, начиная с момента $t = 0$, потенциальная энергия маятника уменьшится вдвое?

Решение

Потенциальная энергия пружины равна

$$E(t) = \frac{kx^2(t)}{2},$$

где k – жёсткость пружины.

При этом при $t = 0$, $\cos(0) = 1$ и потенциальная энергия равна

$$E(0) = \frac{kA^2}{2}$$

Пусть в момент τ потенциальная энергия уменьшится в 2 раза, тогда

$$E(\tau) = \frac{kA^2}{2} \cos^2\left(\frac{2\pi\tau}{T}\right) = \frac{E(0)}{2} = \frac{kA^2}{4}$$

Следовательно

$$\cos^2\left(\frac{2\pi\tau}{T}\right) = \frac{1}{2} \Rightarrow \cos\left(\frac{2\pi\tau}{T}\right) = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Решая тригонометрическое уравнение, получим

$$\frac{2\pi\tau}{T} = \frac{\pi}{4} \Rightarrow \tau = \frac{T}{8} = \frac{1 \text{ с}}{8} = 0,125 \text{ с}$$

Ответ: 0,125с

12

В жёстком герметичном сосуде объёмом 1 м^3 при температуре 289 К длительное время находился влажный воздух и 10 г воды. Сосуд медленно нагрели до температуры 298 К . Пользуясь таблицей плотности насыщенных паров воды, выберите все верные утверждения о результатах этого опыта.

$t, ^\circ\text{C}$	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$\rho_{\text{нп}}, \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$	1,36	1,45	1,54	1,63	1,73	1,83	1,94	2,06	2,18	2,30

- 1) При температуре 23°C влажность воздуха в сосуде была равна $48,5\%$.
- 2) В течение всего опыта в сосуде находилась вода в жидком состоянии.
- 3) Так как объём сосуда не изменялся, давление влажного воздуха увеличивалось пропорционально его температуре.
- 4) В начальном состоянии при температуре 289 К пар в сосуде был насыщенный.
- 5) Парциальное давление сухого воздуха в сосуде не изменялось.

Решение

1) **Неверно**

Найдем, испарится ли вся вода в процессе. Пусть это не так, то масса водяного пара равна:

$$m = \rho_{\text{нп}} V,$$

где V – объём сосуда.

Тогда масса испаренной воды:

$$\Delta m = \Delta \rho V = (2,06 - 1,36) \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3 \cdot 1 \text{ м}^3 = 7 \text{ г},$$

так как первоначально в сосуде было 10 г воды, то вся вода не испарилась, значит, пар остался насыщенным и относительная влажность равна 100%

2) **Верно**

Так как вся вода не испарилась в течении опыта, то пар все время является насыщенным.

3) **Неверно**

Пар в сосуде был насыщенным, следовательно, шел процесс испарения, поэтому давление влажного воздуха не было прямо пропорционально его температуре.

4) **Верно**

Так как вначале опыта в сосуда длительное время находилась вода и пар, то установилось равновесие и пар стал насыщенным

5) **Неверно**

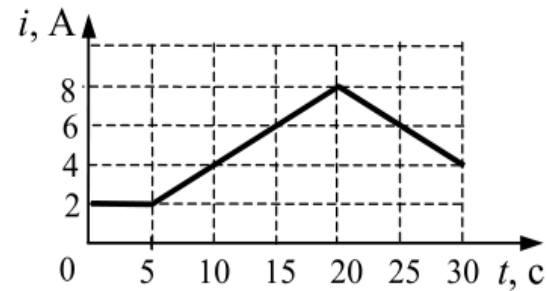
Давление сухого воздуха изохорически увеличивалось с ростом температуры по закону Шарля

$$\frac{p}{T} = \text{const}$$

Ответ: 24

14

На графике показана зависимость силы тока в проводнике от времени. Определите заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за $\Delta t = 30$ с.

**Решение**

Сила тока по определению равна:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t},$$

где Δq — заряд, прошедший за время Δt .

То есть заряд равен

$$\Delta q = I \Delta t,$$

Площадь под графиком равна

12 целых клеток и 5 половинок, 1 клетка = $2\text{А} \cdot 5\text{с} = 10\text{Кл}$

$12 \cdot 10 + 5 \cdot 5 = 145$ Кл

Ответ: 145 Кл

Задания 2 части ЕГЭ 2023г.

Основная волна.

Задание 24 вариант 310

Три параллельных длинных прямых проводника 1, 2 и 3 расположены на одинаковом расстоянии a друг от друга (см. рис. 1 и 2). В каждом проводнике протекает электрический ток силой I : в проводниках 1 и 3 - в одном направлении, а в проводнике 2 - в противоположном. Определите направление результирующей силы, действующей на проводник 1 со стороны проводников 2 и 3. Сделайте рисунок на бланке ответов на основе рис. 2, указав в области проводника 1 векторы магнитной индукции полей, созданных проводниками 2 и 3, вектор магнитной индукции результирующего магнитного поля и вектор результирующей силы. Ответ поясните, опираясь па законы электродинамики.

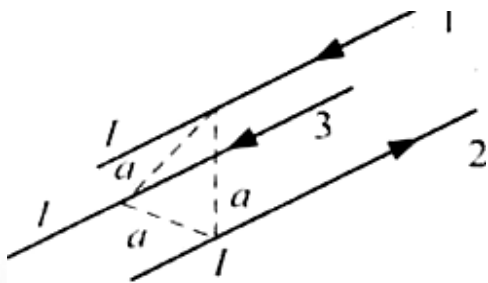


Рис. 1

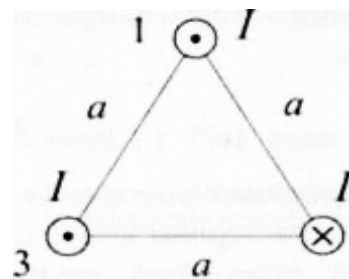
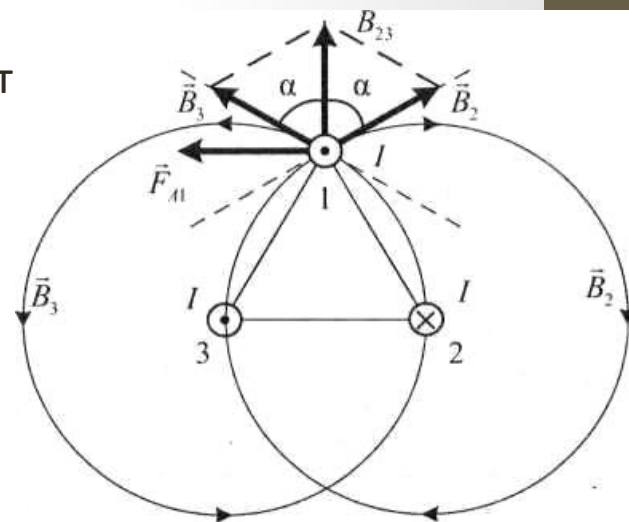


Рис. 2

Решение

На проводник 1 со стороны проводников 2 и 3 действует результирующая сила, направленная горизонтально влево (см. рисунок). Вокруг проводников с током 2 и 3 возникают магнитные поля, линии индукции которых являются окружностями.

Направление линий индукции магнитных полей определяется правилом буравчика (см. рис). Вектор магнитной индукции результирующего магнитного поля в области проводника 1 определяется принципом суперпозиции: $B_{23} = B_2 + B_3$ где B_2 и 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 $|B_2| = |B_3| = B$. Из геометрических построений видно, что угол между векторами B_2 и B_3 составляет 120° , а значит, $\alpha = 60^\circ$. Следовательно, вектор индукции результирующего магнитного поля B_{23} , созданного проводниками 2 и 3, направлен вертикально вверх (см. рис). Со стороны результирующего магнитного поля B_{23} на проводник 1 с током действует сила Ампера F_{A1} , направление которой определяется правилом левой руки. Таким образом, результирующая сила, действующая на проводник 1 со стороны проводников 2 и 3, направлена горизонтально влево



Задание 24 вариант 401

24. В вертикальном цилиндре с гладкими стенками под массивным металлическим поршнем находится идеальный газ. В первоначальном состоянии 1 поршень опирается на жёсткие выступы на внутренней стороне стенок цилиндра (рис. 1),

а газ занимает объём V_0 и находится под давлением p_0 , равным внешнему атмосферному. Газ медленно нагревают, и он переходит из состояния 1 в состояние 2, в котором давление газа равно $3p_0$, а его объём равен $2V_0$ (рис. 2). Количество вещества газа при этом не меняется. Постройте график зависимости объёма газа от его давления при переходе из состояния 1 в состояние 2. Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности Вы использовали для объяснения

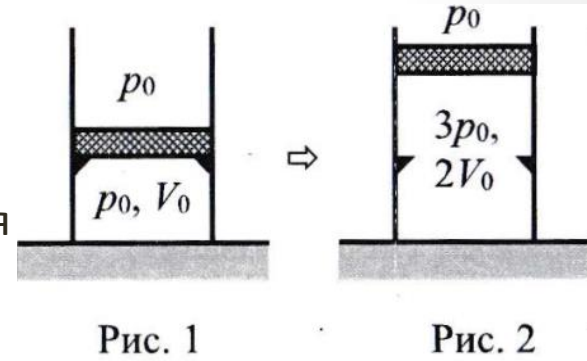
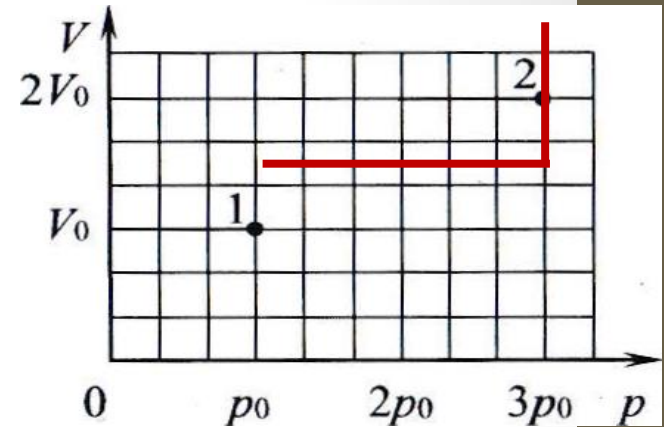
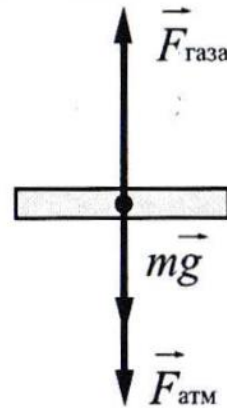


Рис. 1

Рис. 2

Решение

1. Покажем силы, приложенные к поршню, когда он уже не опирается на выступы на стенках цилиндра. Сила тяжести mg и сила давления на поршень со стороны атмосферы $F_{\text{атм}}$ постоянны. Поскольку поршень перемещается медленно, сумму приложенных к нему сил считаем равной нулю.



Отсюда следует, что сила давления на поршень со стороны газа $F_{\text{газа}}$ тоже постоянна. Значит, её модуль $F_{\text{газа}} = 3p_0S = \text{const}$ (S - площадь горизонтального сечения поршня) при любом положении поршня выше первоначального. Таким образом, $p = 3p_0 = \text{const}$ при $V_0 < V \leq 2V_0$, процесс нагревания газа изобарный.

2. При $V = V_0$ (поршень опирается на выступы) давление газа с ростом его температуры при нагревании увеличивается от p_0 до $3p_0$, процесс нагревания газа изохорный.

3. Ответ: а) при $p_0 < p \leq 3p_0$ объём газа постоянен: $V = V_0$;

б) при $p = 3p_0$ объём газа изменяется в пределах $V_0 < V \leq 2V_0$. График, изображающий зависимости из п. а) и б), представляет собой ломаную линию

Задание 25 вариант 401

Пробирка, на дно которой насыпали свинцовой дроби, плавает в жидкости практически вертикально. Минимальная плотность жидкости, в которой пробирка ещё не тонет, равна 800 кг/м^3 . В воде пробирка плавает так, что её верхняя часть выступает над поверхностью на 5 см. Определите длину пробирки, считая, что пробирка имеет форму цилиндра.

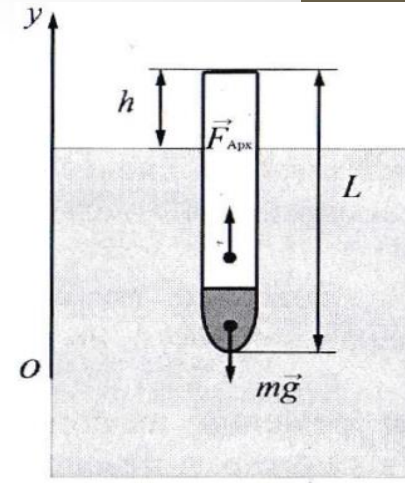
Решение

1. Выберем инерциальную систему отсчёта «лаборатория», направив вертикальную ось Oy вверх и расставив силы, действующие на пробирку, как показано на рисунке.

2. Запишем II закон Ньютона исходя из того, что, плавающая, пробирка находится в равновесии: $Oy: mg - F_{\text{Арх}} = 0$, или $mg = F_{\text{Арх}}$, где m - масса пробирки с дробью.

3. Выталкивающая сила по закону Архимеда с учётом геометрии, показанной на рисунке, равна: $F_{\text{Арх}} = \rho g S(L - h)$, где ρ - плотность жидкости, L - искомая длина, S - площадь поперечного сечения пробирки, h - высота выступающей над жидкостью части пробирки.

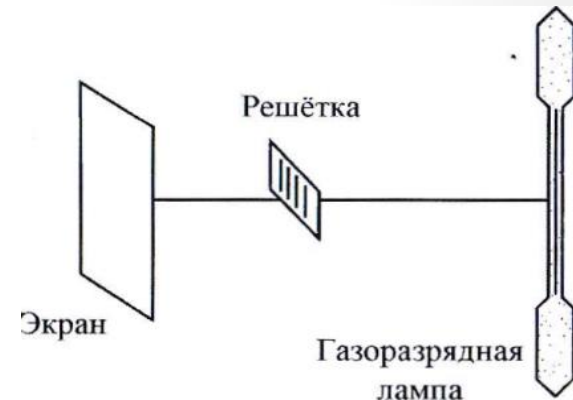
4. Запишем выражение (2) с учётом (3) для случаев полного погружения пробирки в жидкость минимальной плотности и для воды: $mg = \rho_{\text{min}} g S L$ и $mg = \rho_{\text{вв}} g S(L - h_{\text{в}})$, где ρ_{min} - минимальная плотность жидкости, в которой пробирка ещё плавает, $\rho_{\text{в}}$ - плотность воды, $h_{\text{в}}$ - высота части пробирки, выступающей над водой.



Ответ: 25см

Задание 26 вариант 401

В лабораторной работе по определению длины световой волны с помощью дифракционной решётки в качестве источника света была взята газоразрядная трубка, наполненная атомарным газом (см. рисунок).



При этом на экране, удалённом на расстояние 50 см от решётки, был виден линейчатый спектр; длина волны красной линии первого максимума, удалённого от центра экрана на 5 см, оказалась равной 700 нм. Каков период решётки, использовавшейся в работе? Угол отклонения лучей света считать $\sin\varphi = \operatorname{tg}\varphi = \varphi$.

Решение

В соответствии с формулой для дифракционной решётки $d \cdot \sin \varphi = k\lambda$ главный максимум k -го порядка будет наблюдаться под углом φ к направлению падающего света, который определяется по формуле $\sin \varphi = k\lambda/d$. Так как по условию $\sin \varphi = \operatorname{tg} \varphi$, то $x/L = k\lambda/d$, где x - расстояние от центра экрана до максимума k -го порядка, L - расстояние от линзы до экрана.

Следовательно, период решетки $d = Lk\lambda/x = 7 \cdot 10^{-6}$ м.

Ответ: $d = 7 \cdot 10^{-6}$ м.

Задание 27 вариант 310

В горизонтальном цилиндрическом сосуде, закрытом поршнем, находится одноатомный идеальный газ. Первоначальное давление газа $p_1 = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Расстояние от дна сосуда до поршня $L = 30 \text{ см}$. Площадь поперечного сечения поршня $S = 25 \text{ см}^2$. В результате медленного нагревания газа поршень некоторое время покоился, а затем медленно сдвинулся на расстояние $x = 10 \text{ см}$. При движении поршня на него со стороны стенок сосуда действует сила трения величиной $F_{\text{тр}} = 3 \cdot 10^3 \text{ Н}$. Какое количество теплоты получил газ в этом процессе? Считать, что сосуд находится в вакууме.

Ответ: 1,65 кДж

Решение

Поршень будет медленно двигаться, если сила давления газа на поршень и сила трения со стороны стенок сосуда уравновесят друг друга: $p_2 S = F_{\text{тр}}$, откуда

$$p_2 = F_{\text{тр}}/S = 12 \cdot 10^5 \text{ Па} > p_1$$

Поэтому при нагревании газа поршень будет неподвижен, пока давление газа не достигнет значения p_2 . В этом процессе согласно первому началу термодинамики газ получает количество теплоты

$$Q_{12} = U_2 - U_1$$

Затем поршень будет сдвигаться, увеличивая объём газа, при постоянном давлении. В этом процессе газ согласно первому началу термодинамики получает количество теплоты

$$Q_{23} = (U_3 - U_2) + A_{23}.$$

В процессе нагревания газ получит количество теплоты

$$Q = Q_{12} + Q_{23} = (U_3 - U_1) + p_2 S x = (U_3 - U_1) + F_{\text{тр}} x.$$

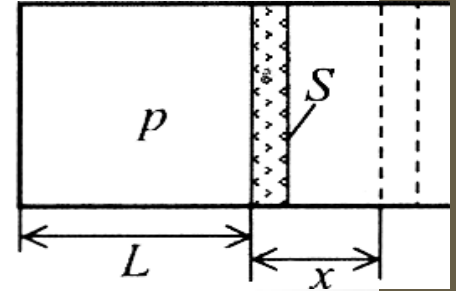
Внутренняя энергия одноатомного идеального газа (с учётом уравнения Клапейрона - Менделеева $p_t V = p_1 L S = \nu R T_t$

$$U_1 = 3/2 \nu R T_1 = 3/2 p_1 L S \text{ в начальном состоянии;}$$

$$U_3 = 3/2 \nu R T_3 = 3/2 p_2 S (L + x) = 3/2 F_{\text{тр}} (L + x) \text{ - в конечном состоянии.}$$

$$5. \text{ Из п. 3, 4 получаем: } Q = 5/2 F_{\text{тр}} x + 3/2 (F_{\text{тр}} - p_1 S) L = 1,65 \text{ кДж.}$$

Ответ: $Q = 1,65 \text{ кДж}$



Задание 27 вариант 401

В закрытом сосуде объёмом $V = 16$ л находится влажный воздух массой $m = 35$ г при температуре $t = 90^\circ\text{C}$ и давлении $p = 2,5 \cdot 10^5$ Па. Определите парциальное давление сухого воздуха в сосуде.

Решение

Влажный воздух представляет собой смесь паров воды и сухого воздуха, следовательно,

$m = m_{\text{в}} + m_{\text{п}}$, где m , $m_{\text{в}}$, $m_{\text{п}}$ - масса влажного воздуха, сухого воздуха и водяного пара соответственно, а также согласно закону Дальтона $p = p_{\text{в}} + p_{\text{п}}$, где p , $p_{\text{в}}$, $p_{\text{п}}$ - давление влажного воздуха, парциальное давление сухого воздуха и парциальное давление водяного пара соответственно. Выразим из уравнения состояния идеального газа $pV = m/M \cdot RT$

массы сухого воздуха $m_{\text{в}} = p_{\text{в}}VM_{\text{в}}/RT$ и пара $m_{\text{п}} = (p - p_{\text{в}})VM_{\text{п}}/RT$, где $M_{\text{в}}$ - молярная масса воздуха, $M_{\text{п}}$ - молярная масса водяного пара. Получаем $m = (pM_{\text{п}} + p_{\text{в}}(M_{\text{в}} - M_{\text{п}}))V/RT$, отсюда $p_{\text{в}} = (mRT/V - pM_{\text{п}})/(M_{\text{в}} - M_{\text{п}}) = 1,9 \cdot 10^5$ Па

Ответ: $p_{\text{в}} = 1,9 \cdot 10^5$ Па

Задание 28 Вариант 310

Две большие параллельные вертикальные пластины из диэлектрика расположены на расстоянии $d = 5$ см друг от друга. Пластины равномерно заряжены разноимёнными зарядами. Модуль напряжённости поля между пластинами $E = 6 \cdot 10^5$ В/м. Между пластинами, на равном расстоянии от них, помещен маленький шарик с зарядом $Q = 5 \cdot 10^{-11}$ Кл и массой $M = 3 \cdot 10^{-3}$ г. После того как шарик отпускают, он начинает падать. Какую скорость будет иметь шарик, когда коснётся одной из пластин? Трением о воздух и размерами шарика пренебречь.

Решение

1. Модуль скорости шарика в момент касания пластины равен

$$u = \sqrt{u_{\Gamma}^2 + u_B^2} \quad (1)$$

где u_{Γ} и u_B - проекции скорости шарика на горизонтальную и вертикальную оси.

2. Запишем выражения для проекций скорости шарика с учётом

условия задачи: $u_{\Gamma} = a_{\text{эл}} t \quad (2)$

и $u_B = gt \quad (3)$

где t - время движения шарика, $a_{\text{эл}}$ - проекция ускорения шарика на горизонтальную ось. Время движения шарика находим из соотношения $d/2 = a_{\text{эл}} t^2/2$; $t = \sqrt{d/a_{\text{эл}}} \quad (4)$

3. Используя второй закон Ньютона и формулу расчёта модуля силы, действующей на заряд в электрическом поле $F = QE$, выражаем проекцию ускорения заряда в электрическом поле:

$$a_{\text{эл}} = EQ/M \quad (5)$$

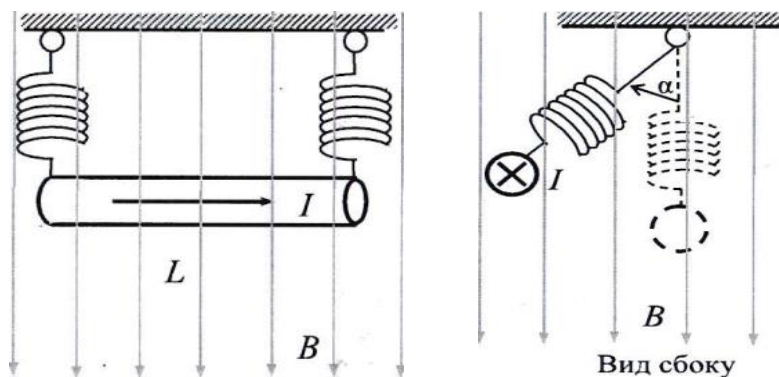
4. С учётом уравнений (2)-(5) получаем

$$u = \sqrt{EQd/M + g^2Md/EQ} = 1 \text{ м/с}$$

Ответ: 1 м/с

Задание 28 Вариант 401

По прямому горизонтальному проводнику длиной L с площадью поперечного сечения $S = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$, подвешенному с помощью двух одинаковых невесомых пружинок жёсткостью $k = 100 \text{ Н/м}$, течёт электрический ток $I = 10 \text{ А}$. При включении вертикального магнитного поля, модуль вектора индукции которого $B = 0,1 \text{ Тл}$, проводник отклоняется от исходного положения так, что оси пружинок составляют с вертикалью угол α (см. рисунок). При этом абсолютное удлинение каждой пружины составило $\Delta \ell = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Определите длину L проводника. Плотность материала проводника $\rho = 8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на проводник.



Решение

Условие механического равновесия проводника $F_A + mg + 2F_{\text{упр}} = 0$ приводит к системе уравнений:

$$2k\Delta\ell \cos\alpha = mg;$$

$$2k\Delta\ell \sin\alpha = IBL.$$

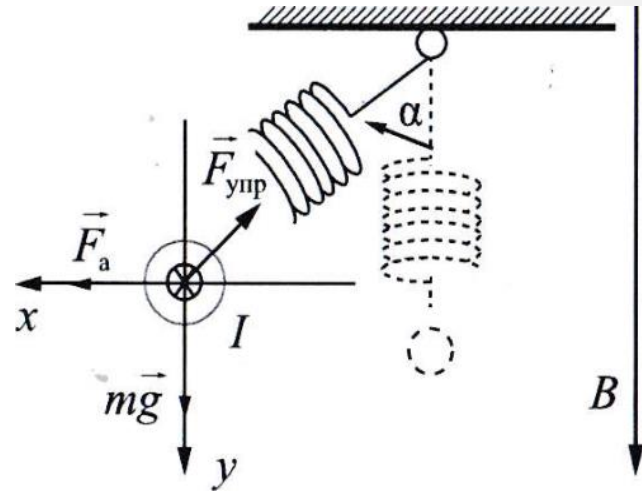
Возведём оба уравнения в квадрат и сложим их: $(2k\Delta\ell)^2 = (mg)^2 + (IBL)^2$.

Подставляя массу проводника

$m = \rho LS$, получим:

$$L = 2k\Delta\ell / \sqrt{(\rho Sg)^2 + (IB)^2} = 1\text{ м}$$

Ответ: 1 м



Задание 29 Вариант 310

Лазер излучает световые импульсы с энергией 0,1 Дж и частотой повторения 10 Гц. КПД лазера, определяемый отношением излучаемой энергии к потребляемой, составляет 1%. Какую массу воды необходимо прокачать за 1 ч через охлаждающую систему лазера, чтобы вода нагрелась на 10°C ?

Решение

КПД лазера определяется формулой: $\eta = E_{\text{изл}}/E_{\text{потр}}$.

Излучаемая лазером энергия $E_{\text{изл}} = Wvt$, где W - энергия одного импульса, v - частота повторения, t - время работы лазера.

Потребляемая энергия расходуется на энергию лазерного излучения и на нагревание воды в охлаждающей системе: $E_{\text{потр}} = E_{\text{изл}} + Q$, где $Q = cm\Delta T$, c - удельная теплоёмкость воды, m - масса воды, ΔT - изменение температуры воды.

Тогда КПД лазера будет равен: $\eta = Wvt/(Wvt+cm\Delta T)$

Отсюда получим: $m = (1-\eta)Wvt/\eta c\Delta T = 8,5$ кг.

Ответ: $m \approx 8,5$ кг

Задание 29 Вариант 401

π^0 -мезон распадается на два γ -кванта. Длина волны одного из образовавшихся γ -квантов в системе отсчёта, где первичный π^0 -мезон покоится, $\lambda = 1,83 \cdot 10^{-14}$ м. Найдите массу π^0 -мезона.

Решение

Согласно закону сохранения импульса фотоны от распада покоящегося π^0 -мезона разлетаются в противоположные стороны с равными по величине импульсами: $|p_1| = |p_2| = p$

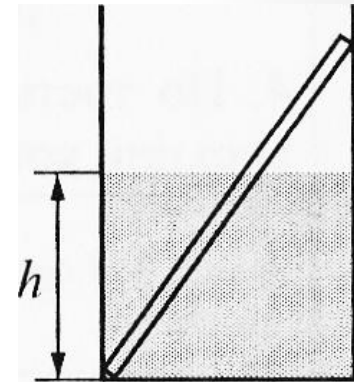
Энергия каждого фотона связана с величиной его импульса соотношением $E = pc = hc/\lambda$. Значит, фотоны имеют одинаковую энергию. Поэтому согласно релятивистскому закону сохранения энергии энергия покоя мезона: $E = 2pc = 2hc/\lambda = mc^2$, где m - его масса.

Следовательно, $m = 2h/c\lambda = 2,4 \cdot 10^{-28}$ кг.

Ответ: $2,4 \cdot 10^{-28}$ кг

Задание 30 Вариант 310

В гладкий высокий стакан радиусом 4 см поставили тонкую однородную палочку длиной 10 см и массой 1,8 г. До какой высоты h надо налить в стакан жидкость, плотность которой составляет 0,75 плотности материала палочки, чтобы модуль силы, с которой верхний конец палочки давит на стенку стакана, равнялся 0,008 Н?

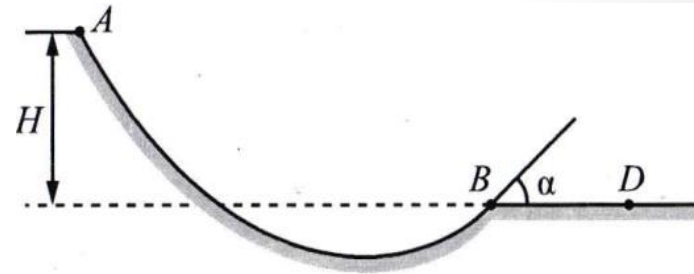


Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на палочку. Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи

Ответ: 4 см

Задание 30 Вариант 401

Шайба массой $m = 100$ г начинает скользить по жёлобу AB из точки A из состояния покоя. Точка A расположена выше точки B на высоте $H = 6$ м.



В процессе движения по жёлобу механическая энергия шайбы из-за трения уменьшается на $\Delta E = 2$ Дж.

В точке B шайба вылетает из жёлоба под углом $\alpha = 15^\circ$ к горизонту и падает на Землю в точке D , находящейся на одной горизонтали с точкой B (см. рисунок).

Найдите BD . Сопротивлением воздуха пренебречь. Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

Обоснование

Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. Шайбу можно считать материальной точкой, так как её размеры малы по сравнению с размерами жёлоба.

При движении шайбы по жёлобу на шайбу действуют потенциальная сила тяжести mg и непотенциальная сила реакции R со стороны жёлоба. Силу R представим в виде $R = N + F_{\text{тр}}$, где N - нормальная составляющая силы реакции опоры, а $F_{\text{тр}}$ - касательная составляющая силы реакции опоры (сила трения). Работа силы N при движении шайбы по жёлобу равна нулю, так как в каждой точке жёлоба N перпендикулярна u , где u - скорость шайбы. Работа силы трения $A_{\text{тр}} = -|\Delta E|$. Поэтому для шайбы выполняется закон изменения механической энергии:

$$mu^2/2 - mgH = A_{\text{тр}}.$$

После вылета из жёлоба шайба пребывает в свободном падении, на неё действует лишь сила тяжести. Поскольку сопротивлением воздуха по условию задачи можно пренебречь, то дальнейшее движение шайбы описывается кинематическими выражениями равномерного (вдоль горизонтального направления) и равноускоренного (вдоль вертикального направления) движения.

Решение

1. Скорость шайбы u в точке B найдём из баланса энергии шайбы в точках A и B с учётом потерь на трение:

$$mu^2/2 = mgH - \Delta E$$

Отсюда: $u^2 = 2gH - 2\Delta E/m$

2. Время t полёта шайбы из точки B в точку D определим из зависимости $y = u \sin\alpha \cdot t - gt^2/2 = 0$,

где y - вертикальная координата шайбы в системе отсчёта с началом координат в точке B . Отсюда: $t = 2u \sin\alpha/g$.

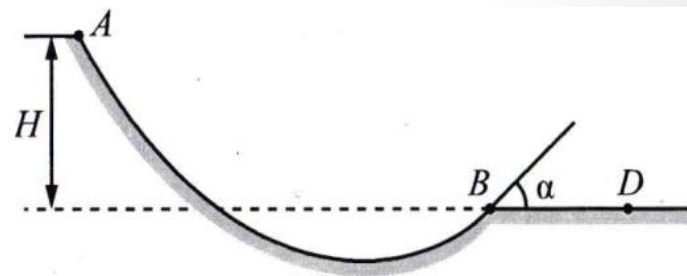
3. Дальность полёта BD определяется из выражения для горизонтальной координаты x шайбы в той же системе отсчёта:

$$BD = u \cos\alpha \cdot t = u^2 \sin 2\alpha/g.$$

Подставляя в выражение для BD значение u^2 , получаем:

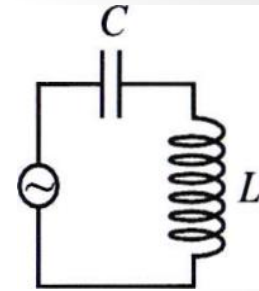
$$BD = 2(H - \Delta E/mg) \sin 2\alpha = 4\text{м}.$$

Ответ: $BD = 4\text{м}$



Резерв 29.06.2023 вариант 501

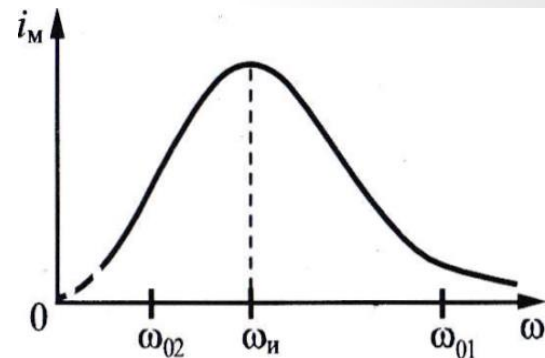
24. К колебательному контуру подсоединили источник тока, на клеммах которого напряжение гармонически меняется с циклической частотой $\omega = 4 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$ (см. рис.).



Индуктивность L катушки колебательного контура можно плавно менять в пределах от 0,15 до 3 мГн, а ёмкость его конденсатора $C = 5$ нФ. Ученик постепенно увеличивал от минимального значения до максимального индуктивность катушки и обнаружил, что амплитуда силы тока в контуре сначала возрастала, достигла максимального значения и затем уменьшалась. Какое явление наблюдал ученик? Опираясь на свои знания по электродинамике, объясните наблюдения ученика.

Решение

По мере увеличения индуктивности колебательного контура менялась его собственная частота, и ученик наблюдал явление резонанса. В описанном опыте колебания в контуре являются вынужденными, они совершаются с циклической частотой $\omega_{и}$, задаваемой источником тока.



Но колебательный контур имеет собственную частоту колебаний ω_0 и амплитуда колебаний тока в нём зависит от того, насколько сильно ω_0 отличается от $\omega_{и}$: при $\omega_{и} - \omega_0 = 0$ амплитуда колебаний тока максимальна (явление резонанса). Оценим значение L при резонансе: $\omega_{0p} = 1/\sqrt{L_p C} = \omega_{и} = 4 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$ откуда индуктивность катушки $L = L_p = 1/C \omega_{и}^2 = 1,25 \text{ мГн}$.

В начале опыта индуктивность катушки равнялась $0,15 \text{ мГн}$, собственная частота контура ω_{01} была заметно выше $\omega_{и}$. Поэтому амплитуда колебаний тока в контуре была невелика. По мере увеличения индуктивности собственная частота контура уменьшалась, достигая резонансного значения $\omega_{и}$. Согласно приведённому на рисунке графику в этом интервале изменения индуктивности катушки амплитуда силы тока в контуре растёт. По мере дальнейшего увеличения индуктивности катушки собственная частота колебаний в контуре проходит резонансное значение $\omega_{0p} = \omega_{и}$ и, уменьшаясь, всё более удаляется от этого значения (при $L = 3 \text{ мГн}$ $\omega_0 = \omega_{02} < \omega_{и}$). Соответственно, уменьшается амплитуда колебаний силы тока в контуре

25. При скорости поезда 72 км/ч машинист применил торможение, при этом на последнем километре пути перед остановкой скорость поезда уменьшилась на 10 м/с. Найдите длину всего тормозного пути, считая, что поезд тормозил с постоянным ускорением.

Решение

1. Выберем инерциальную систему отсчёта «железная дорога», направив ось Ox вдоль дороги по скорости движения поезда.

2. Длину всего тормозного пути S найдём, используя формулу для равноускоренного движения, приняв во внимание, что в начале пути поезд имел скорость $u_0 = 72 \text{ км/ч} = 20 \text{ м/с}$, а в конце – $u_k = 0$:
$$S = (u_k^2 - u_0^2)/2a = -u_0^2/2a$$

3. Так как на последнем километре пути S_1 поезд тормозил с тем же ускорением a , что и на всём пути, то найдём его, зная, что за километр до остановки поезд имел скорость $u_1 = 10 \text{ м/с}$:

$$S_1 = (0 - u_1^2)/2a, \text{ откуда } a = -u_1^2/2S_1.$$

4. Подставив (2) в (3), получим: $S = S_1 u_0^2/u_1^2 = 4 \text{ км}$

Ответ: $S = 4 \text{ км}$

26. Мнимое изображение предмета в тонкой собирающей линзе с фокусным расстоянием $F = 12$ см получено с увеличением $\Gamma = 3$. На каком расстоянии от линзы находится предмет? Постройте изображение предмета в линзе.

Решение

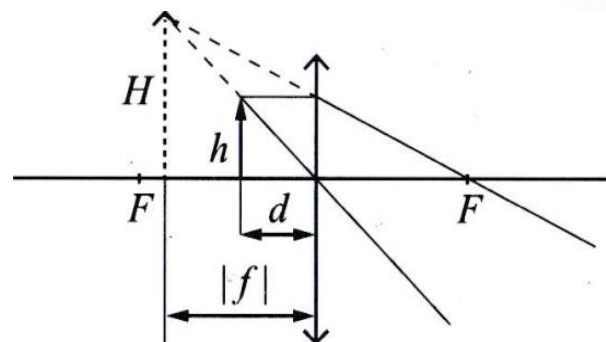
Построим изображение предмета в линзе, используя свойства луча, проходящего через оптический центр линзы, и луча, параллельного главной оптической оси. По формуле тонкой линзы

$$1/F = 1/d - 1/|f|$$

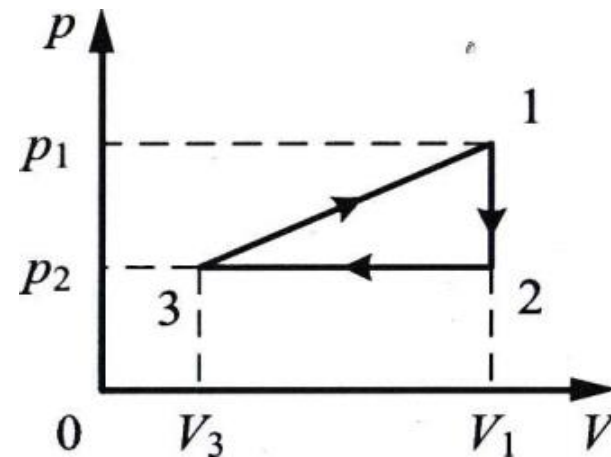
(знак «минус» перед $1/|f|$ вызван тем, что изображение - мнимое).

Увеличение линзы $\Gamma = H/h = |f|/d$. Следовательно, $|f| = \Gamma d$. Найдем расстояние от линзы до предмета: $1/F = (\Gamma - 1)/d\Gamma$; $d = F(\Gamma - 1)/\Gamma = 8$ см

Ответ: $d = 8$ см



27. Идеальный одноатомный газ совершает замкнутый цикл 1-2-3-1. В процессе 1—2 газ изохорно охлаждается, при этом абсолютная температура газа уменьшается в 2 раза. В процессе 2-3 газ изобарно охлаждается, при этом абсолютная температура газа уменьшается в 4 раза. В процессе 3-1 газ возвращается в исходное состояние, и в ходе этого процесса давление газа линейно зависит от объёма. Определите коэффициент полезного действия теплового двигателя, работающего по такому циклу.

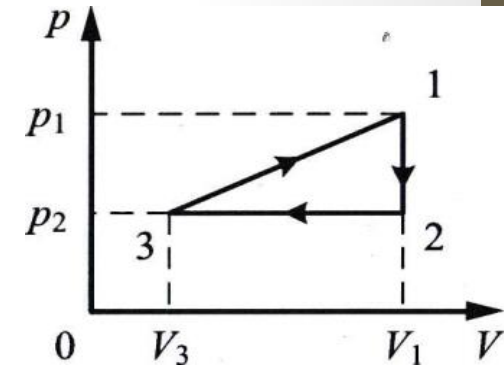


Решение

1. Построим график описанного цикла в координатах p - V .
2. Используя законы изохорного и изобарного процессов, получим выражения для связи давления и объёма газа в каждом состоянии:

$$p_1/p_2 = T_1/T_2 = 2 \Rightarrow p_2 = p_1/2 \text{ и}$$

$$V_2/V_1 = T_2/T_1 = 4 \Rightarrow V_3 = V_2/4 = V_1/4$$



Работа газа за цикл численно равна площади треугольника, ограниченного фигурой цикла: $A = 1/2 \cdot (p_1 - p_2)(V_1 - V_3) = 1/2 \cdot (p_1 - p_1/2)(V_1 - V_1/4) = 3 p_1 V_1 / 16$

Газ получает от нагревателя положительное количество теплоты Q_1 в процессе 3-1.

Работа в этом процессе численно равна площади трапеции, образованной под линией 3—1:

$$A_{31} = 1/2 \cdot (p_1 + p_2)(V_1 - V_3) = 1/2 \cdot (p_1 + p_1/2)(V_1 - V_1/4) = 9 p_1 V_1 / 16$$

Изменение внутренней энергии газа в этом процессе равно:

$$\Delta U_{31} = 3/2 \cdot (p_1 V_1 + p_2 V_2) = 3/2 \cdot (p_1 V_1 + p_1 V_1 / 8) = 21 p_1 V_1 / 16$$

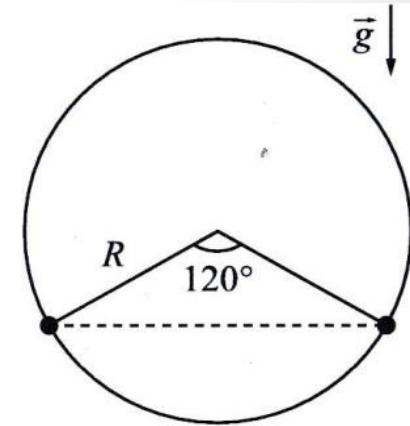
Согласно первому закону термодинамики получим:

$$Q_1 = Q_{3-1} = \Delta U_{3-1} + A_{31} = 21 p_1 V_1 / 16 + 9 p_1 V_1 / 16 = 15 p_1 V_1 / 8$$

В итоге коэффициент полезного действия теплового двигателя, работающего по такому циклу, равен: $\eta = A/Q_1 = 3 p_1 V_1 / 16 \cdot 8 / 15 p_1 V_1 = 0,1 = 10\%$

Ответ: $\eta = 10\%$

28. По кольцу радиусом R , расположенному в вертикальной плоскости в поле силы тяжести Земли, могут скользить без трения одинаковые шарики массой m с одинаковыми зарядами.



Какие заряды имеют шарики, если они расположились на концах горизонтальной хорды, проходящей ниже центра кольца и стягивающей дугу 120° ? Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на шарики.

Решение

На шарик действуют три силы: сила тяжести mg , сила реакции опоры N со стороны кольца и сила Кулона F (см. рисунок).

Запишем второй закон Ньютона в проекциях на горизонтальную и вертикальную оси инерциальной системы отсчёта, связанной с Землёй:

$$F_{\text{кул}} = N \cos 30^\circ; \quad (1)$$

$$mg = N \sin 30^\circ. \quad (2)$$

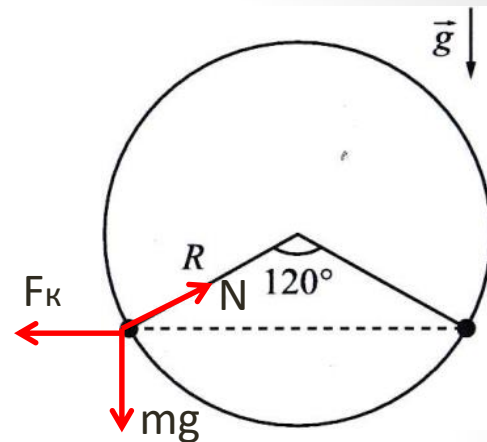
$$\text{Учтём, что } F_{\text{кул}} = kq^2/d^2 \quad (3)$$

где $d = 2R \cos 30^\circ$ - длина горизонтальной хорды, q - заряд шариков.

4. Решая уравнения (1), (2) и (3), получим:

$$q = 2R \cos 30^\circ \sqrt{(mg/k \tan 30^\circ)}$$

$$\text{Ответ: } q = 2R \cos 30^\circ \sqrt{(mg/k \tan 30^\circ)}$$



29. Кванты света с длиной волны 660 нм вырывают с поверхности металла фотоэлектроны, которые описывают в однородном магнитном поле с индукцией 1 мТл окружности максимальным радиусом 2 мм. Определите длину волны, которая соответствует «красной границе» фотоэффекта для этого металла.

Решение

1. Согласно закону фотоэффекта $h\nu = mu^2/2 + A_{\text{вых}}$, или $hc/\lambda = mu^2/2 + A_{\text{вых}}$. Сила Лоренца вызывает центростремительное ускорение: $mu^2/R = euB$, откуда скорость электрона $u = eRB/m$.

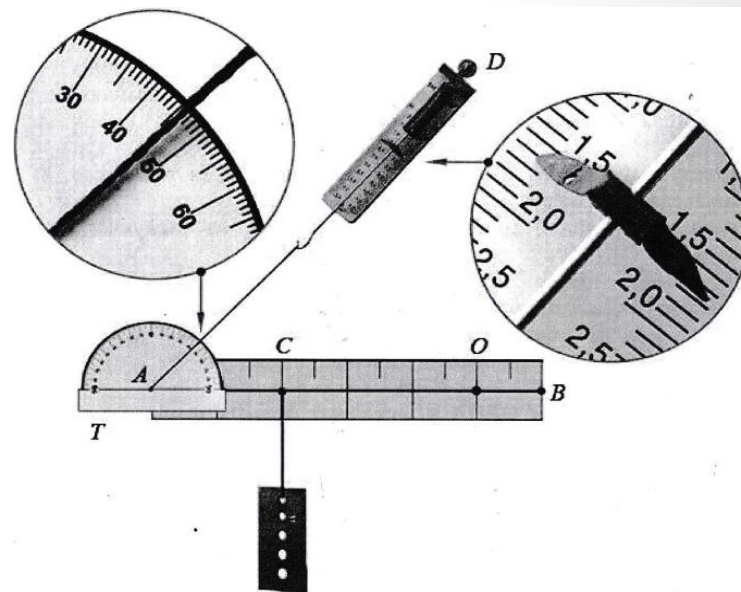
Тогда из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта:

$$hc/\lambda - e^2R^2B^2/2m = A_{\text{вых}} = hc/\lambda_{\text{кр}} \Rightarrow$$

$$\lambda_{\text{кр}} = hc/A_{\text{вых}} = hc/(hc/\lambda - e^2R^2B^2/2m) = 810 \text{ нм.}$$

Ответ: $\lambda_{\text{кр}} = 810 \text{ нм}$

30. Однородный рычаг AB может вращаться без трения вокруг неподвижной оси O . К левому концу рычага в точке A прикреплена нить, за которую с помощью динамометра D рычаг неподвижно удерживается в горизонтальном положении. Нить составляет некоторый угол с вертикалью, который можно измерить с помощью транспортира T .



Показания динамометра (в ньютонах) и транспортира (в градусах) видны на фотографии. К точке C подвешена стальная пластина (см. фотографию). Рычаг, пластина, нить и динамометр расположены в вертикальной плоскости. Массой транспортира пренебречь.

Определите массу стальной пластины, если рычаг имеет массу 40 г. Сделайте рисунок, на котором укажите все силы, действующие на рычаг. Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Описываем рычаг моделью твёрдого тела (форма и размеры тела неизменны, расстояние между любыми двумя точками тела остаётся неизменным).
3. Сумма приложенных к рычагу внешних сил равна нулю, так как тело находится в равновесии относительно поступательного движения.
4. Сумма моментов сил относительно оси, проходящей через точку O перпендикулярно плоскости рисунка, равна нулю, так как рычаг находится в равновесии относительно вращательного движения.

Решение

1. На рычаг действуют сила тяжести Mg , вес стальной пластины $P(P = mg)$,

сила натяжения нити F , а также сила реакции N в точке O (см. рисунок).

2. Условие равновесия рычага относительно оси вращения, проходящей через точку O и перпендикулярной плоскости чертежа, имеет вид:

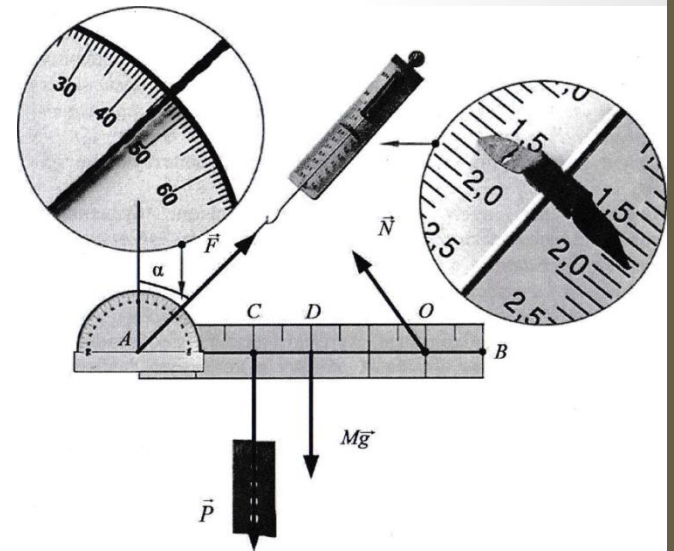
$F \cdot AO \cos \alpha - mg \cdot CO - Mg \cdot DO = 0$, где точка D - центр рычага.

По фотографии видно, что $F = 1,7$ Н, $\alpha = 45^\circ$, длина всего рычага составляет 6 условных единиц (у.е.), а расстояния $AO = 5$ у.е., $CO = 3$ у.е., $DO = 2$ у.е. соответственно.

3. Таким образом, масса стальной пластины равна

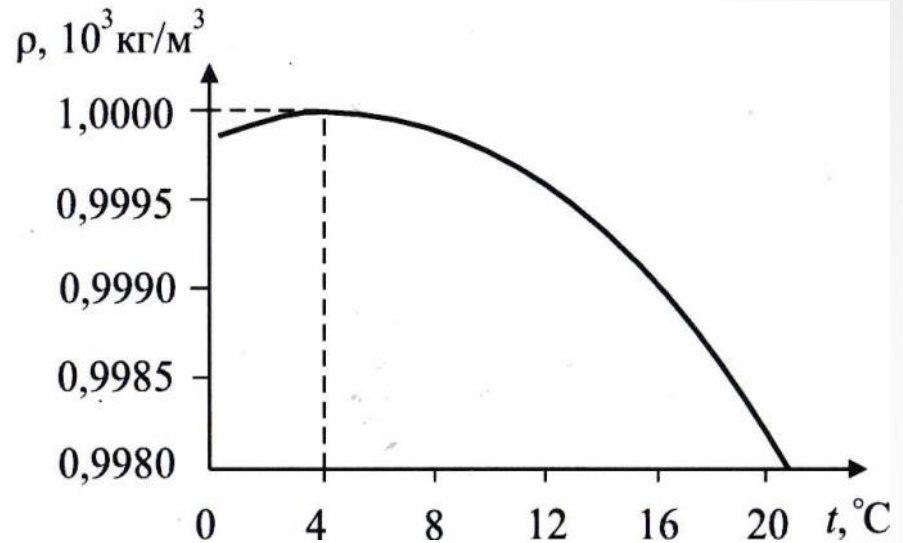
$$m = F \cdot AO \cos \alpha - Mg \cdot DO / g \cdot CO = 0,17 \text{ кг.}$$

Ответ: $m = 0,17$ кг



Резерв 29.06.2023 вариант 511

24. Две одинаковых высоких мензурки заполнены почти доверху водой при температуре $t = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Масса воды в мензурках одинакова. Вася и Петя охлаждают воду, используя одинаковые кубики тающего льда.



Вася удерживает свой кубик под водой в верхней части мензурки, используя тонкую пластмассовую спицу. Петя такой же спицей удерживает свой кубик льда вблизи дна мензурки. У кого вода остывает быстрее? График зависимости плотности воды от температуры приведён на рисунке. Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности Вы использовали для обоснования. Теплопередачей через стенки мензурки пренебречь.

Решение

1. Вода будет остывать быстрее у Пети.
2. Наиболее эффективная теплопередача в жидкости осуществляется путём конвекции. При охлаждении воды она возникает под действием силы тяжести и силы Архимеда вследствие различий в плотности холодной и тёплой воды. В соответствии с законом Архимеда более плотная вода перемещается вниз, а менее плотная - вверх. В указанном интервале температур холодная вода имеет меньшую плотность и движется от кусочка льда вверх. Чтобы правильно использовать механизм конвекции, лёд нужно разместить в воде так, чтобы обеспечить условия для её свободной циркуляции, т.е. снизу, как это сделал Петя.

Для экспертов: к упомянутому объяснению можно добавить следующее: лёд внизу тает быстрее, потому что от него холодная вода уходит вверх из-за своей меньшей плотности. Лёд сверху тает медленнее, потому что холодной воде от него некуда уходить.

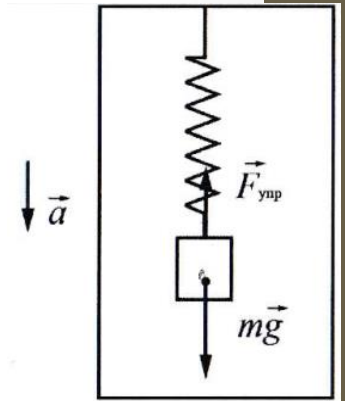
Отсутствие этого фрагмента не снижает оценку за объяснение

25. Груз массой 200 г подвешен на пружине к потолку лифта. Лифт, трогаясь с четвёртого этажа вниз, в течение 2 с равноускоренно опускается на расстояние 5 м. Какова жёсткость пружины, если её удлинение равно 1,5 см? Возможными колебаниями груза пренебречь.

Решение

1. Выберем инерциальную систему отсчёта O «шахта лифта», направив вертикальную ось Oy вниз по ускорению и расставив силы, действующие на груз, как показано на рисунке.
2. По закону Гука запишем для модуля силы упругости: $F_{\text{упр}} = k \Delta y$, откуда $k = F / \Delta y$, где k - искомая жёсткость, а Δy - заданное y абсолютное удлинение пружины.
3. Чтобы найти $F_{\text{упр}}$, запишем II закон Ньютона для груза в выбранной ИСО в проекциях на ось Oy : $mg - F_{\text{упр}} = ma$, или $F_{\text{упр}} = m(g - a)$, где m - масса груза, a - ускорение лифта.
4. Поскольку лифт начинает движение из состояния покоя для проекции перемещения при равноускоренном движении запишем: $S = at^2/2$, откуда $a = 2S/t^2$.
5. Подставив конечные выражения (3) и (4) в (2), с учётом размерности входящих в формулу физических величин получим искомую величину:
 $k = m(g - 2S/t^2) / \Delta y = 100 \text{ Н/м}$.

Ответ: $k = 100 \text{ Н/м}$



26. Действительное изображение предмета в тонкой собирающей линзе с фокусным расстоянием $F = 15$ см получено с увеличением $\Gamma = 5$. Постройте изображение предмета в линзе. Найдите расстояние от изображения до линзы.

Решение

1. Построим изображение предмета в линзе, используя свойства луча, проходящего через оптический центр линзы O , и луча, параллельного её главной оптической оси $O'O''$.

По формуле линзы $1/F = 1/f + 1/d$

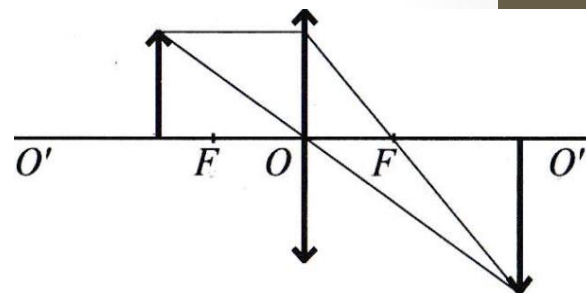
Увеличение линзы с учётом того, что изображение и предмет - действительные: $\Gamma = H/h = f/d$

Следовательно, $d = f/\Gamma$.

Найдём расстояние от изображения до линзы:

$$1/F = (\Gamma+1)/f; \quad f = F(\Gamma + 1) = 15(5 + 1) = 90\text{см.}$$

Ответ: $f = 90$ см



27. Постоянную массу гелия изобарно сжимают так, что его абсолютная температура уменьшается в k раз: $T_2 = T_1/k$. Затем газ адиабатически расширяется, при этом его температура изменяется до некоторого значения $T_3 = T_2/2$. Отношение модуля работы внешних сил по изобарному сжатию к работе газа при адиабатном расширении $n = 4$. Найдите величину k .

Решение

1. При изобарном сжатии над гелием совершается работа, модуль которой:

$$A = |p\Delta V|,$$

где p - давление гелия в этом процессе, ΔV - изменение объёма гелия.

2. В соответствии с уравнением Клапейрона - Менделеева для этого процесса

можно записать: $|p\Delta V| = \nu R(T_t - T_2)$, где ν - число молей гелия.

3. В адиабатном процессе (процессе без теплообмена) в соответствии с первым законом термодинамики сумма изменения внутренней энергии газа и его работы равна нулю: $3\nu R(T_3 - T_2)/2 + A/p = 0$.

При записи последнего соотношения учтено выражение для изменения внутренней энергии идеального одноатомного газа: $\Delta U = 3\nu R(T_3 - T_2)/2$.

Преобразуя записанные уравнения, получаем:

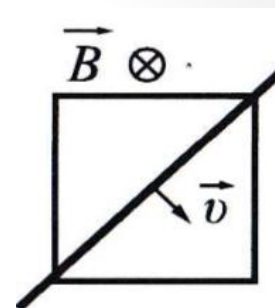
$$3(T_3 - T_2)/2 + (T_t - T_2)/n = 0$$

4. Подставляя соотношения температур, заданные в условии задачи:

$T_3 = T_2/2$ и $T_t = kT_2$, получаем выражение для искомого отношения температур k : $k = T_t/T_2 = 1 + 3n/4 = 4$

Ответ: $k = 4$

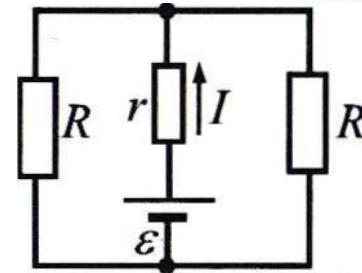
28. По проводящему контуру в виде квадрата, укрепленному на горизонтальной диэлектрической поверхности стола, скользит параллельно одной из диагоналей квадрата с постоянной скоростью $V = 4,3$ м/с перемычка (см. рисунок).



Контур и перемычка выполнены из одинакового провода с удельным сопротивлением $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ и площадью поперечного сечения S_0 . Контур находится в области однородного вертикального магнитного поля, у которого модуль вектора индукции $B = 1$ мТл. В момент, когда перемычка пересекает центр квадрата, как показано на рисунке, сила тока I в ней равна 1 А. Найдите площадь поперечного сечения провода S_0 .

Решение

Нарисуем эквивалентную схему электрической цепи для данного контура и перемычки. Здесь $\varepsilon = \sqrt{2}Bav$ - ЭДС индукции, возникающая в перемычке при её движении, r — сопротивление перемычки (диагонали квадрата), R - сопротивление двух сторон квадрата, a - длина стороны квадрата.



2. Сопротивления перемычки и двух сторон квадрата тогда будут равны:

$$r = \sqrt{2}\rho a/S_0 \text{ и } R = \rho a/S_0$$

3. Так как в данной электрической цепи сопротивления двух сторон квадрата соединены параллельно, то их общее сопротивление равно:

$$1/R_0 = 1/R + 1/R; \quad R_0 = R/2.$$

4. Тогда по закону Ома для полной цепи найдём силу тока через перемычку:

$$I = \varepsilon / (r + R/2) = \sqrt{2}Bu S_0 / \rho(1 + \sqrt{2})$$

$$\text{Отсюда получим: } S_0 = \rho I (1 + \sqrt{2}) / \sqrt{2}Bu = 6,8 \text{ мм}^2$$

$$\text{Ответ: } S_0 = 6,8 \text{ мм}^2$$

29. Значения энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = -13,6 \text{ эВ} / n^2$, $n = 1, 2, 3, \dots$. При переходах с верхних уровней энергии на нижние атом излучает фотон. Переходы с верхних уровней на уровень $n = 1$ образуют серию Лаймана, на уровень $n = 2$ — серию Бальмера. Найдите отношение α минимальной длины волны фотона в серии Лаймана к максимальной длине волны фотона в серии Бальмера.

Решение

1. Энергию электрона в атоме можно представить как

2. $E_n = -E_1 / n^2$, где $E_1 = -13,6 \text{ эВ}$.

Энергия фотона $E_\phi = hc/\lambda$, поэтому максимальной длине волны фотона отвечает минимальная энергия, а минимальной длине волны фотона — максимальная энергия.

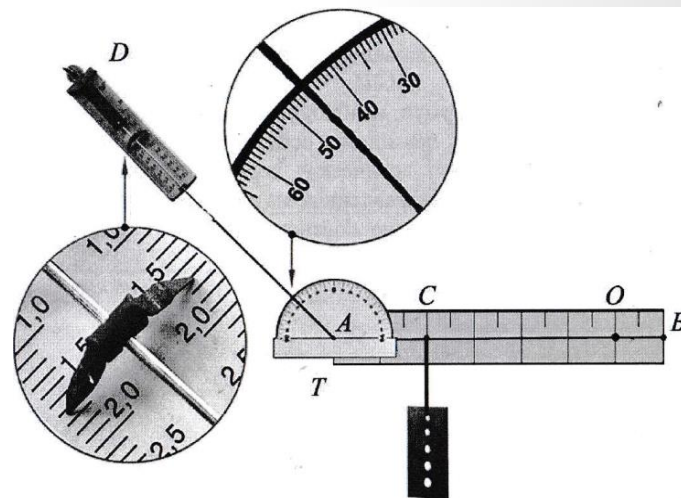
Согласно постулату Бора, в серии Лаймана энергия излучаемого фотона равна $E_n - E_1$, где $n = 2, 3, \dots$. Аналогично в серии Бальмера энергия излучаемого фотона равна $E_n - E_2$, где $n = 3, 4, \dots$, при этом предельно высокому уровню соответствует энергия $E_\infty = 0$.

Поэтому $\min \lambda_{\text{Лаймана}} = hc / (E_\infty - E_1)$, $\max \lambda_{\text{Бальмера}} = hc / (E_3 - E_2)$.

5. $\alpha = \min \lambda_{\text{Лаймана}} / \max \lambda_{\text{Бальмера}} = (E_3 - E_2) / (E_\infty - E_1) = 5/36$

Ответ: $\alpha = 5/36$

30. Однородный рычаг AB может вращаться без трения вокруг неподвижной оси O . К левому концу рычага в точке A прикреплена нить, за которую с помощью динамометра D рычаг неподвижно удерживается в горизонтальном положении.



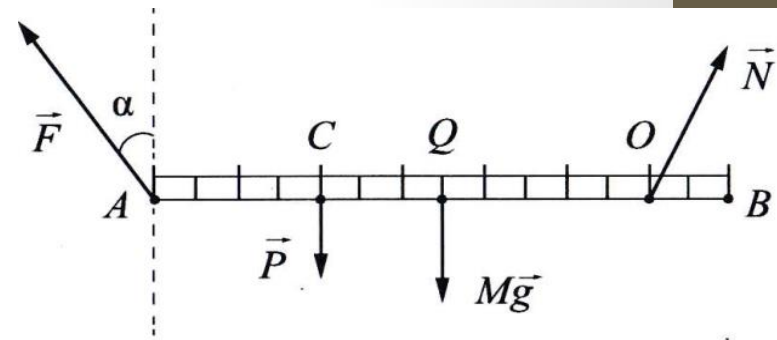
Нить составляет некоторый угол с вертикалью, который можно измерить с помощью транспортира T ; показания динамометра (в ньютонах) и транспортира (в градусах) видны на фотографии. К точке C подвешена стальная пластина (см. фото). Рычаг, пластина, нить и динамометр расположены в вертикальной плоскости. Массой транспортира пренебречь. Определите массу стальной пластины, если рычаг имеет массу 50 г. Сделайте рисунок, на котором укажите все силы, действующие на рычаг. Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Описываем рычаг моделью твёрдого тела (форма и размеры тела неизменны, расстояние между любыми двумя точками тела остаётся неизменным).
3. Рычаг не совершает поступательного движения, поэтому сумма приложенных к твёрдому телу внешних сил равна нулю.
4. Рычаг не совершает вращательного движения, поэтому сумма моментов этих сил относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости рисунка через ось вращения рычага (точку O), равна нулю

Решение

1. Сделаем схематичный чертёж, отражающий нашу модель. На рычаг действуют сила тяжести Mg , вес стальной пластины $P(P = mg)$, сила натяжения нити F , а также сила реакции N , приложенная в точке O (см. рисунок).



2. Условие равновесия рычага относительно оси вращения, проходящей через точку O и перпендикулярной плоскости чертежа, имеет вид:

$F \cdot AO \cos \alpha - mg \cdot CO - Mg \cdot QO = 0$, где точка Q - центр рычага; момент силы N , проходящий через ось вращения, равен нулю.

3. По фотографии видно, что длина всего рычага составляет 7 условных единиц (у.е.), а расстояния $AO = 6$ у.е., $CO = 4$ у.е., $QO = 2,5$ у.е. соответственно. По фотографии определим $\alpha = 45^\circ$, а $F = 1,6$ Н.

4. Таким образом, масса стальной пластины равна $m = (F \cdot AO \cos \alpha - Mg \cdot QO) / g \cdot CO = 0,14$ кг.

Ответ: $m = 0,14$ кг

Образцы обоснования

Динамика

1 Систему отсчета, связанную с Землей, будем считать инерциальной.

2. Тела можно считать материальными точками, так как их размеры пренебрежимо малы в условиях задачи.

Применимы законы Ньютона, справедливые для материальных точек, поскольку тела движутся поступательно.

3. Трением в оси блока и трением о воздух, а также массой блока пренебрежем. Нить невесома. Модули сил натяжения нити одинаковы: $|T_1| = |T_2| = T$

4. Так как нить нерастяжима и длина пружины постоянна, ускорения обоих брусков и груза равны по модулю: $|a_1| = |a_2| = a$

Законы сохранения

1. Систему отсчета, связанную с Землей, будем считать инерциальной.
2. Тела можно считать материальными точками, так как их размеры пренебрежимо малы в условиях задачи.
3. Второй закон Ньютона выполняется в ИСО для модели материальной точки.
4. При соударении для системы тел в ИСО выполняется закон сохранения импульса в проекциях на горизонтальную ось, так как внешние силы (сила тяжести и сила реакции опоры) вертикальны.
5. При движении тела выполняется закон сохранения механической энергии, так как поверхность гладкая, и работа силы реакции опоры равна нулю (эта сила перпендикулярна скорости тела); действуют силы потенциальные.

- Группа «Физика в техническом лицее»

<http://vk.com/club57958532>



- Логинова Татьяна Алексеевна
e-mail: tan-chek@mail.ru

- Канал на [youtube](https://www.youtube.com/@user-is5pw2cr8v):

<https://www.youtube.com/@user-is5pw2cr8v>

