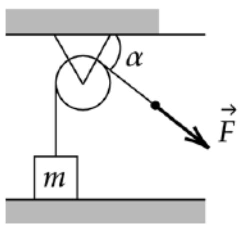
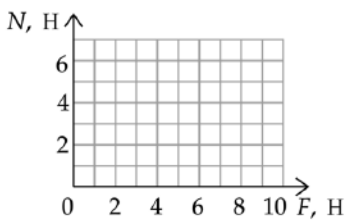
ЕГЭ 2023 - Задачи второй части с основной волны

Составитель подборки – Кормашов Григорий Константинович
Составитель подборки – Кондрашкин Артем Витальевич

Задача №24.1

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.





Решение

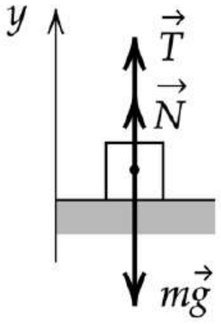


Рис. 1

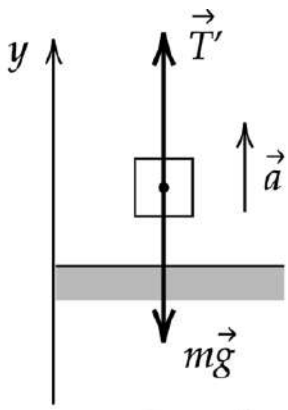
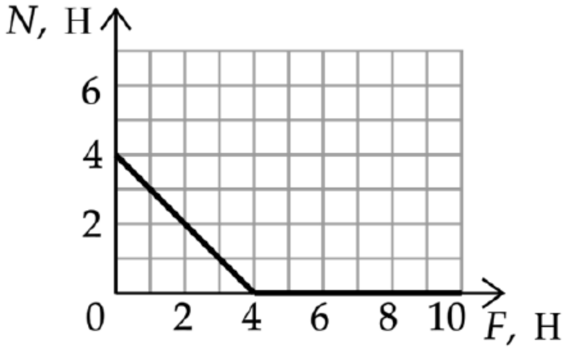


Рис. 2

1. Если сила $\vec{F}$ достаточно мала, груз покоится 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:

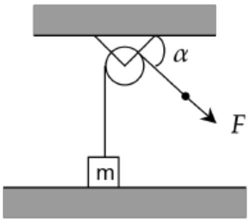
$$N + T - mg = 0$$

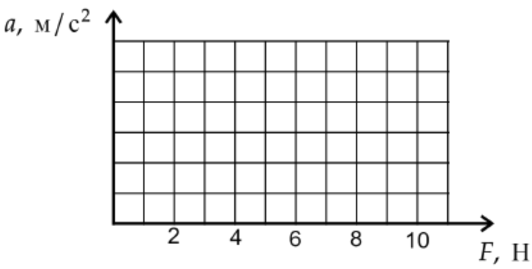
Поскольку нить лёгкая, а блок идеальный, модуль силы натяжения нити во всех точках одинаков, поэтому $T = F$.
Отсюда получаем: $N = mg - F \geq 0$ при $F \leq mg = 4$ Н.
2. При $F > mg = 4$ Н груз отрывается от стола и движется вдоль оси y с ускорением. На груз при этом действуют только сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения нити $\vec{T}$, показанные на рис. 2, а модуль силы реакции стола $N = 0$.
Таким образом: а) при $F \leq mg = 4$ Н $N = mg - F$;
б) при $F > mg = 4$ Н $N = 0$
3. График этой зависимости представляет собой ломаную линию.



Задача №24.2

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 $\alpha = 30°$ к горизонту (см. рисунок). Постройте график зависимости модуля ускорения груза 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.





Решение

1. Если сила $\vec{F}$ достаточно мала, груз покоится относительно стола (эту систему

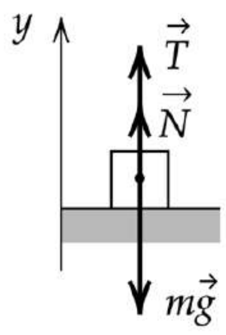


Рис. 1

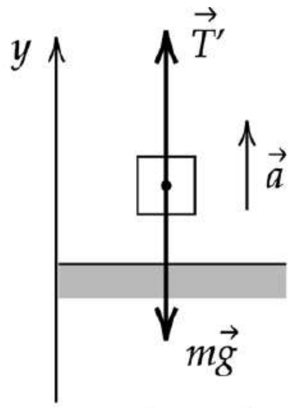


Рис. 2

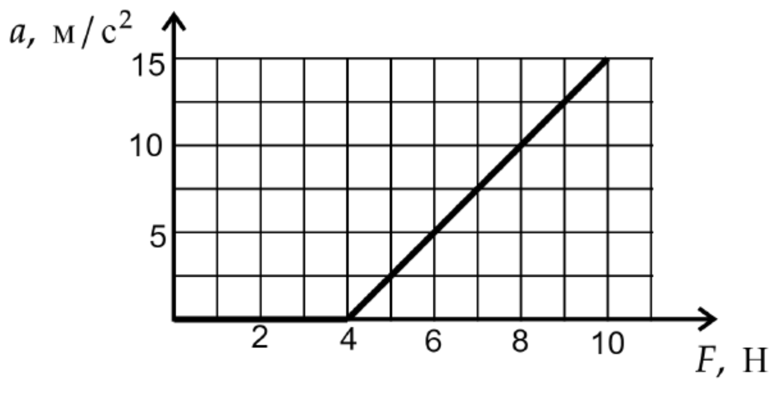
отсчёта будем считать инерциальной). На груз при этом действуют сила тяжести $m\vec{g}$, сила реакции со стороны стола $\vec{N}$ и сила натяжения нити $\vec{T}$, показанные на рис. 1. Запишем второй закон Ньютона для груза в проекциях на ось y введённой системы отсчёта:

$$N + T - mg = 0$$

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 $F \leq mg = 4$ Н, то есть груз покоится относительно стола, а его ускорение равно нулю
2. При $F > mg = 4$ 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, тогда ускорение равно

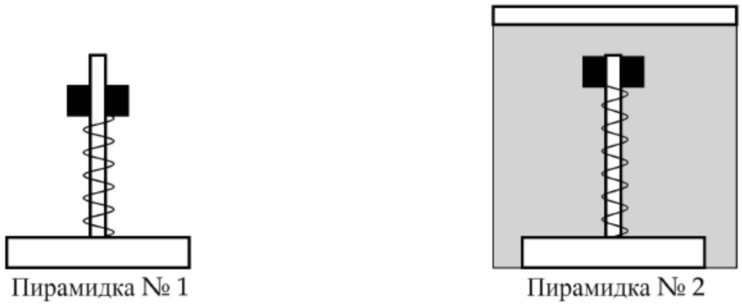
$$a = \frac{F}{m} - mg = \frac{F}{0,4 \text{ кг}} - 10 \text{ м/с}^2$$

3. График этой зависимости представляет собой ломаную линию.



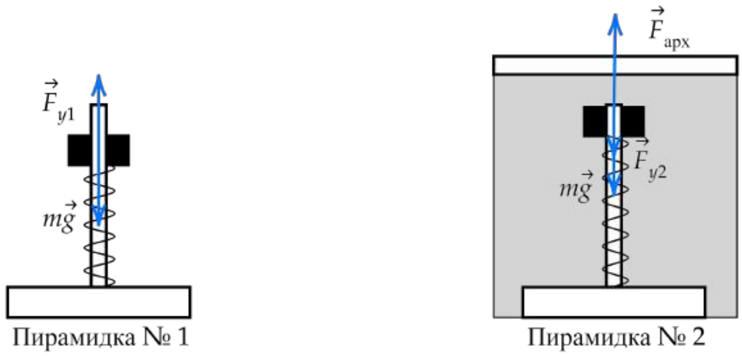
Задача 24.3

Два деревянных кольца детских пирамидок № 1 и № 2, способных без трения скользить по оси, соединили с основаниями двумя одинаковыми лёгкими пружинками (см. рисунок). Пирамидку № 2 поместили в прочный сосуд с водой, прикрепив основание к его дну. Обе пирамидки покоятся относительно Земли. Как изменится по сравнению с этим случаем (увеличится, уменьшится или останется прежней) длина пружин пирамидок 1 и № 2 во время свободного падения с балкона высокого дома? Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали



Решение

На кольцо в первом случае действует сила упругости пружины F_{y1}, сила тяжести кольца mg. Во втором случае на тело действует сила Архимеда $F_{\text{арх}}$, сила упругости F_{y2} и сила тяжести mg. Пусть плотность дерева ρ, объём кольца V, а плотность воды ρ_0. Тогда сила тяжести равна $\rho g V$, а сила Архимеда $\rho_0 g V$. Так как $\rho_0 > \rho$, то сила Архимеда по модулю больше, чем сила тяжести. Сделаем рисунок с расстановкой сил.



В первом случае пружина сжата, а во втором растянута (из-за того, что сила Архимеда больше силы тяжести кольца). Запишем второй закон Ньютона для двух пирамидок во время покоя относительно Земли:

$$\vec{F_{y1}} + m\vec{g} = m\vec{a},$$

$$\vec{F_{y2}} + m\vec{g} + \vec{F_{\text{арх}}} = m\vec{a},$$

так как ускорение a равно нулю, то спроецировав на вертикальную ось получим:

$$F_{y1} = mg$$

$$F_{y2} = F_{\text{арх}} - mg.$$

Модули сил упругости равны:

$$F_{y1} = k|l_1 - l_0| \quad F_{y2} = k|l_2 - l_0|,$$

где k – жёсткость пружины, l_0 – длина недеформированной пружины.
При свободном падении тело испытывает состояние невесомости: невесомы стали и кольцо, и вода. Сила Архимеда равна весу вытесненной жидкости, когда пирамидка находится в состоянии невесомости, то вес вытесненной жидкости также равен нулю, следовательно, сила Архимеда стала равна нулю. Вес всех предметов стал равен нулю и перестал действовать на пружины и они вернулись в недеформированное состояние: пружина 1 растянулась, пружина 2 – сжалась

Задача 24.4

Три параллельных длинных прямых проводника 1, 2 и 3 расположены на одинаковом расстоянии a друг от друга (см. рисунки а и б). 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 векторы магнитной индукции полей, созданных проводниками 2 и 3, вектор магнитной индукции результирующего магнитного поля и вектор результирующей силы. Ответ поясните, опираясь на законы электродинамики.

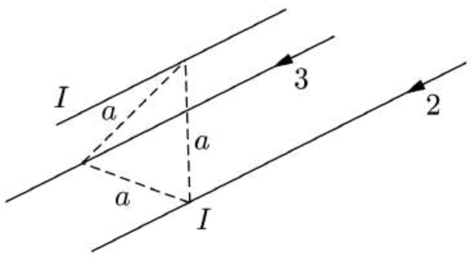


Рис. а

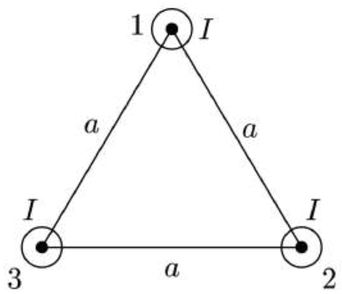
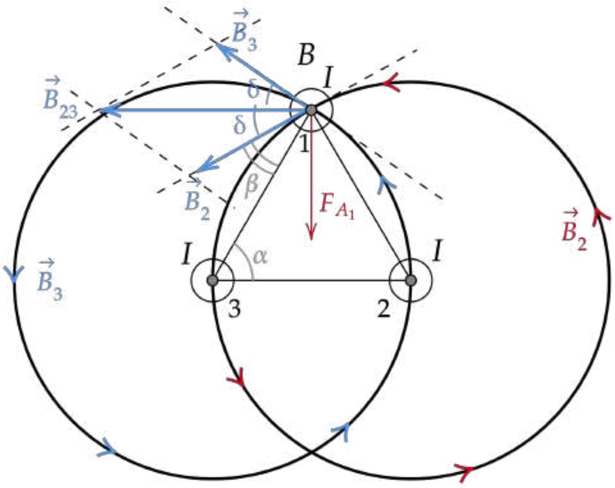


Рис. б

Решение

1. На проводник 1 со стороны проводников 2 и 3 действует результирующая сила, направленная вертикально вниз (см. рисунок).

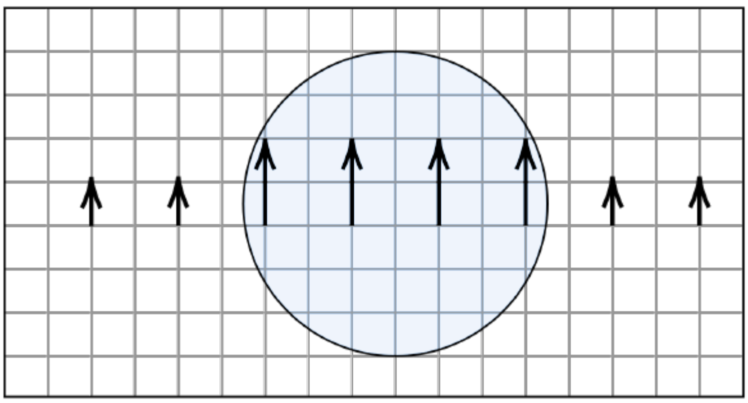
2. Вокруг проводников 2 и 3 возникает магнитное поле, линии индукции которого являются окружностями. Направление линий индукции магнитного поля определяется правилом буравчика (см. рисунок). Вектор магнитной индукции результирующего магнитного поля в области проводника 1 определяется принципом суперпозиции: $\vec{B}_{23} = \vec{B}_2 + \vec{B}_3$, где $\vec{B}_2$ и $\vec{B}_3$ – векторы индукции магнитных полей, созданных проводниками 2 и 3. Поскольку проводник 1 находится на одинаковом расстоянии а 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, $\alpha = 30°$. 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 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

Задача 24.5

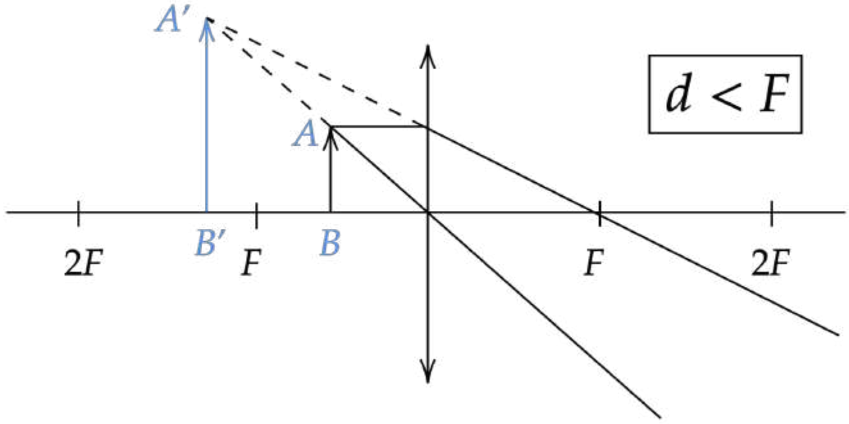
Перед листом бумаги стоит линза. На листе нарисованы стрелочки. Оптическая сила линзы $D = 12,5$ дптр, увеличение линзы равно 2. Вне линзы показано, как наблюдатель видит стрелочки. В линзе показаны изображения этих стрелочек. Определите тип линзы и расстояние от линзы до листа.



Решение

Так как предметы находится за линзой, а их изображения увеличенное и мнимое. То это собирающая линза.

Изобразим схематически условие задачи:



$F = \dfrac{1}{D}$ - фокусное расстояние линзы.

Запишем формулу тонкой линзы для мнимого изображения:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$$

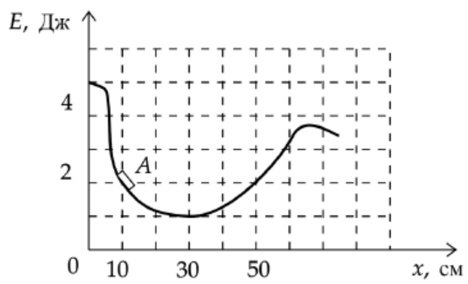
где d - расстояние от линзы до тетради, f - расстояние от линзы до изображения. $\Gamma = \dfrac{f}{d} \Rightarrow f = \Gamma \cdot d$

Тогда расстояние до листа будет выражается формулой:

$$d = \frac{F(\Gamma - 1)}{\Gamma} = \frac{\frac{1}{12,5}}{2} = 0,04 \text{ м}$$

Задача 24.6

Льдинку толкнули в яму с гладкими стенами, в которой она движется без трения. На рисунке приведен график зависимости энергии взаимодействия льдинки с Землей от её координаты в яме. В некоторый момент времени льдинка находилась в точке A



и двигалась влево, имея кинетическую энергию, равную 2 Дж. Сможет ли льдинка выскользнуть из ямы? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.

Решение

1) Посмотрим по рисунку, какой энергией должна обладать льдинка, чтобы выскочить с левого или с правого краев. Слева надо иметь запас механической энергии 5 Дж, а справа запас должен быть меньше 4 Дж.
2) В самом начале движения льдинка обладала кинетической и потенциальной энергиями, равными 2 Дж, а значит ее запас механической энергии равен сумме этих энергий и равен $E = 4$ Дж.
3) По пункту 1 и 2 мы можем сделать вывод, что льдинка не выскочит слева, но выскочит справа, так как ее запас механической энергии равен 4 Дж, чтобы выскочить справа нужно иметь чуть меньше, чем 4 Дж.

Задача 24.7

В опыте по изучению фотоэффекта катод освещается жёлтым светом, в результате чего в цепи возникает ток (рисунок 1). Зависимость показаний амперметра I от напряжения U между анодом и катодом приведена на рисунке 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.

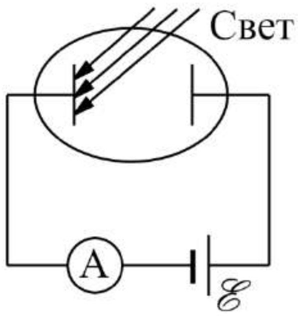


Рис. 1

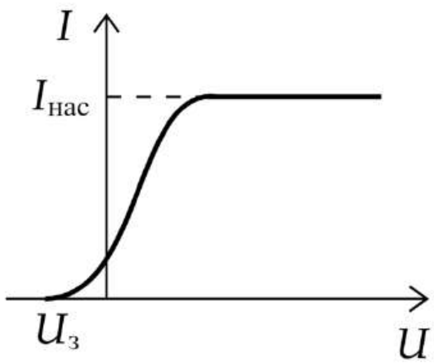


Рис. 2

Решение

1.При изменении света с жёлтого на зелёный его длина волны уменьшится, частота увеличится($\nu_з > \nu_ж$.
2. Работа выхода электронов из материала не зависит от частоты падающего света, поэтому в соответствии с уравнением Эйнштейна для фотоэффекта: $h\nu = A_{\text{вых}} + E_{\max}$ - увеличится максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов $E_{\max}$. Так как $E_{\max} = e|U_з|$, то увеличится и модуль запирающего напряжения $U_з$.
3. Мощность поглощённого света связана с частотой волны ν соотношением $P = N_ф E_ф = N_ф h\nu$, где $N_ф$ - число фотонов, падающих на катод за 1 с, $E_ф = h\nu$ - энер-

гия одного фотона (соотношение Планка). Так как мощность света не изменилась, а энергия фотонов $E_{ф}$ увеличилась, то уменьшится число фотонов, падающих на катод за 1 с

4. Сила тока насыщения $I_{нас}$ 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 $I_{нас}$ сдвинется вниз.

Задача 25.1

Конная повозка двигается прямолинейно равномерно со скоростью 7,2 км ч. Когда она приезжает мимо человека тот с постоянным ускорение бежит за ней. Найдите скорость человека когда он догнал повозку

Решение

Пусть ускорение человека a. Тогда в момент когда он догонит повозку его скорость будет равна $v = at$. Расстояние, которое он пройдет за время t : $S = \dfrac{at^2}{2}$. А повозка пройдёт такое же расстояние и оно будет выражаться так: $S = v_0 t$, где v_0 - скорость повозки. Тогда получим, что скорость человека будет равна $v = 2 \cdot v_0 = 4$ м/с

Задача №25.2

В калориметр с водой температуры $t_o = 15°C$ и массой 400 г бросают лед массой 50 г при температуре $t = 0°C$. Определите будет ли плавать в воде лёд при наступлении теплового равновесия. (Ответ дайте в граммах.)

Решение

Вода охлаждается за счет того, что отдает теплоту льду, при этом, кусок льда плавится. Запишем уравнение теплового баланса:

$Q_1 = cm\Delta t$ - количество теплоты, отданное водой
$Q_2 = \lambda m_{\text{л}}$

$$Q_1 = 4200 \cdot 0,4 \cdot 15 - 0 = 25200 \text{ Дж}$$

$$Q_2 = 330 \cdot 10^3 \cdot 0,05 = 16500 \text{ Дж}$$

Поскольку количество теплоты, которое может отдать вода при охлаждении до 0 больше, чем необходимая теплота для плавления льда, то лед полностью растает.

Задача 25.3

К потолку лифта прикреплена пружина жесткостью 100 Н/м, к пружине прикрепили груз некоторой массы. Лифт начинает движение вниз с ускорением 2,5 м/с^2. Найдите массу груза, если удлинение пружин в состоянии покоя относительно движущегося лифта равно 1,5 см?

Решение

При покоящемся лифте сила растяжения пружины создавалась бы силой тяжести груза

$$kx = mg$$

При движении лифта вниз, груз будет покоится относительно лифта, тогда по второму закону Ньютона на вертикальную ось:

$$ma = mg - kx$$

Тогда масса груза:

$$m = \frac{kx}{g - a} = \frac{100 \text{ Н/м} \cdot 0,015 \text{ м}}{10 \text{ Н/кг} - 2,5 \text{ Н/кг}} = 0,2 \text{ кг}$$

Задача 25.4

Поезд тронулся с места и двигался равноускоренно. За первый километр поезд разогнался до 10 м/с. Найдите, какое расстояние прошёл поезд, если время движения составило 400 с.

Решение

$S_1 = 1000 \text{ м} = \dfrac{at_1^2}{2}$ 25 Также $v_{=at_1=10 \text{ м/с}}$.

Тогда $t_1 = 200$ с

Тогда ускорение равно $a = \dfrac{10}{200} = 0,05\dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$

Тогда путь, который прошёл поезд за 400 с равен:

$$S = \frac{0,05 \cdot 400^2}{2} = 4000 \text{ м}$$

Задача №26.1

На дифракционную решётку с периодом 1,2 мкм, перпендикулярно её поверхности падает узкий луч монохроматического света с длиной волны 380 нм. Сколько всего максимумов можно получить на экране рядом с решеткой?

Решение

Формула дифракционной решетки:

$$d \sin \varphi = m\lambda$$

d – период дифракционной решетки, m – порядок дифракционного максимума, λ – длина волны, φ – угол наблюдения данного максимума.

Поскольку нам необходимо найти наибольшее число максимумов, то максимальный синус равен 1, следовательно:

$$m_{max} = \frac{d}{\lambda} = \frac{1,2 \cdot 10^{-6}}{380 \cdot 10^{-9}} = 3,2$$

То есть наибольший максимум, который мы можем увидеть это 3. Поскольку относительно центра картина симметричная и с учетом главного максимум, общее число максимум будет равно:

$$N = 2 \cdot 3 + 1 = 7$$

Задача 26.2 Предмет расположен перпендикулярно главной оптической оси тонкой собирающей линзы с оптической силой 20 дптр. Расстояние от предмета до линзы равно 7,5 см. Во сколько раз размер изображения предмета превышает размеры одного предмета?

Решение

Формула тонкой линзы:

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

где d – расстояние от предмета до линзы

f – расстояние от изображения до линзы.

Отсюда выразим f

$$f = \frac{d}{dD - 1}.$$

Увеличение :

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d},$$

где H – высота изображения, h – высота предмета.

Тогда

$$\Gamma = \frac{1}{Dd - 1} = \frac{1}{20 \text{ дптр} \cdot 0,075 \text{ см} - 1} = 2.$$

Задача 26.3 Предмет находится на расстоянии 25 см от тонкой собирающей линзы с оптической силой 5 дптр. На каком расстоянии от линзы находится изображение предмета? Постройте изображение предмета в линзе

Решение

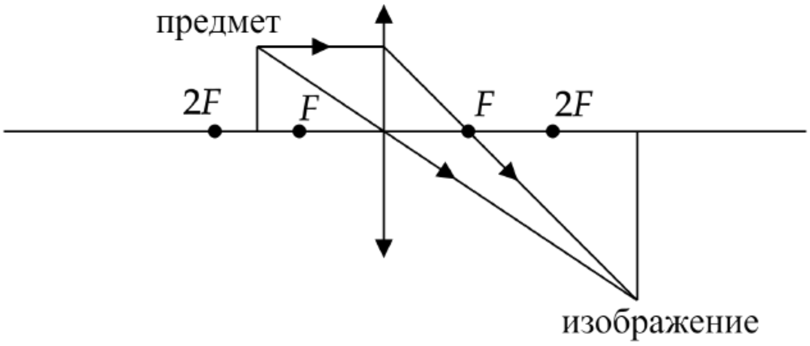
Определим фокусное расстояние линзы

$$F = \frac{1}{D} = \frac{1}{5 \text{ дптр}} = 20 \text{ см},$$

то есть предмет находится между фокусом и двойным фокусом линзы. Построим изображение предмета. Для этого один луч пускаем через центр линзы, где он не преломляется, а второй луч – параллельно главной оптической оси, после преломление в линзе он пройдет через фокус. Пересечение лучей даст изображение (см. рис.)

Формула тонкой линзы:

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$



где d – расстояние от предмета до линзы

f – расстояние от изображения до линзы.

Отсюда выразим f

$$f = \frac{d}{dD - 1} = \frac{0,25\ \text{м}}{0,25\ \text{м} \cdot 5\ \text{дптр} - 1} = 1\ \text{м}.$$

Задача 26.4 Фокусное расстояние тонкой собирающей линзы равно 30 см. Предмет малых размеров расположен на её главной оптической оси на расстоянии 75 см от неё. На каком расстояние от линзы находится изображение предмета.

Решение

Формула тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f},$$

где F – фокусное расстояние линзы, d – расстояние от предмета до линзы

f – расстояние от изображения до линзы.

Отсюда выразим f

$$f = \frac{dF}{d - F} = \frac{0,75 \text{ м} \cdot 0,3 \text{ м}}{0,75 \text{ м} - 0,3 \text{ м}} = 0,5 \text{ м}.$$

Задача 26.5 Предмет расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы. Оптическая сила линзы $D = 5$ дптр. Изображение предмета действительное, увеличение (отношение высоты изображения предмета к высоте самого предмета) $k = 2$. Найдите расстояние между предметом и его изображением

Решение

Формула тонкой линзы:

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

где F – фокусное расстояние,

d – расстояние от предмета до линзы

f – расстояние от изображения до линзы Увеличение :

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d} = k = 2,$$

где H – высота изображения, h – высота предмета.

Тогда

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{kd} \Rightarrow d = \frac{1 + k}{kD} = \frac{1 + 2}{2 \cdot 5 \text{ дптр}} = 30 \text{ см}$$

Тогда

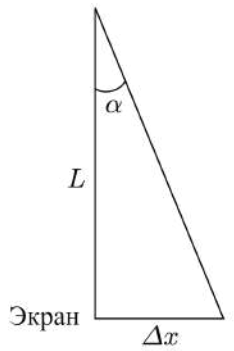
$$f = kd = 2 \cdot 30 \text{ см} = 60 \text{ см}$$

Отсюда искомая величина:

$$x = f + d = 60 \text{ см} + 30 \text{ см} = 90 \text{ см}$$

Задача 26.6 Дифракционная решётка с периодом 10^{-5} м расположена параллельно экрану на расстоянии 0,75 м от него. На решётку по нормали к ней падает пучок света с длиной волны).4 мкм. Какого порядка максимум в спектре будет наблюдаться на экране на расстоянии 3 см от центра дифракционной картины?

Решение



Из рисунка тангенс α равен:

$$tg\alpha = \frac{\Delta x}{L}$$

Так как $\sin\alpha \approx tg\alpha$, то

$$\sin\alpha = \frac{\Delta x}{L}.$$

Введем величины: d — период дифракционной решетки, λ — длина волны лучей, k – порядок спектра. Запишем уравнение дифракционной решётки:

$$d\sin\alpha = k\lambda.$$

Отсюда:

$$k = \frac{d\Delta x}{\lambda L} = \frac{10^{-5}\text{ м} \cdot 0,03\text{ м}}{0,4 \cdot 10^{-6}\text{ м} \cdot 0,75\text{ м}} = 1$$

Задача 26.7 На дифракционную решётку, имеющую 500 штрихов на 1 мм, перпендикулярно её поверхности падает узкий луч монохроматического света частотой $5 \cdot 10^{14}$ Гц. Каков максимальный порядок дифракционного максимума, доступного для наблюдения?

Решение

Формула дифракционной решетки:

$$d\sin\varphi = m\lambda$$

d – период дифракционной решетки, m – порядок дифракционного максимума, λ –

длина волны, φ – угол наблюдения данного максимума.
Длина волны равна:

$$\lambda = \frac{c}{\nu},$$

где ν – частота.
Максимальный синус равен 1, следовательно:

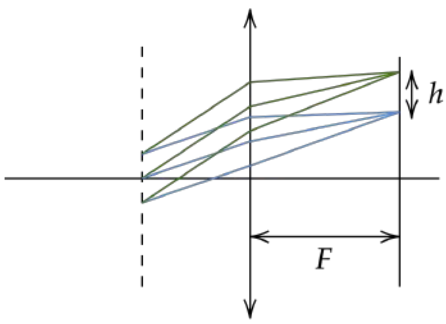
$$m_{max} = \frac{d \cdot \nu}{c} = \frac{1 \text{ мм} \cdot 5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}}{500 \cdot 3 \cdot 10^{8} \text{ м/с}} = 3,3$$

То есть максимум 3.

Задача 26.8 Плоская монохроматическая световая волна падает по нормали на дифракционную решетку с периодом 5 мкм. Параллельно решетке позади нее размещена собирающая линза с фокусным расстоянием 20 см. Дифракционная картина наблюдается на экране в задней фокальной плоскости линзы. Расстояние между ее главными максимумами 1-го и 2-го порядков равно 18 мм. Найдите длину падающей волны. Ответ в нанометрах округлите до целых. Считать для малых углом ($\varphi << 1$ в радианах)

Решение

Поскольку в условии сказано, что линза фокусирует свет на экран, а после прохождения дифракционной решетки на нее по-прежнему падают параллельные пучки света, то на экране мы будем наблюдать максимумы соответствующие разным порядкам дифракционной картины.



Введем величины: d — период дифракционной решетки, λ — длина волны лучей, φ — угол отклонения лучей, k – порядок спектра. Запишем уравнение дифракционной решётки:

$$d \sin \varphi = k\lambda.$$

После прохождения решётки лучи, относящиеся к одному максимуму параллельны друг другу (на рисунке обозначены одинаковым цветом). Ход лучей обозначен на рисунке. Пересечение этого луча с плоскостью экрана и определяет положение дифракционного максимума на экране. При этом нулевой максимум расположен на главной оптической оси. Отсюда

$$tg\alpha = \frac{h}{F}.$$

Так как углы малы, то $\sin\alpha \approx tg\alpha \approx \alpha$. Тогда

$$d\frac{h}{F} = k\lambda \Rightarrow h = \frac{k\lambda F}{d}.$$

При этом $h_2 - h_1 = 18$ мм по условию, тогда

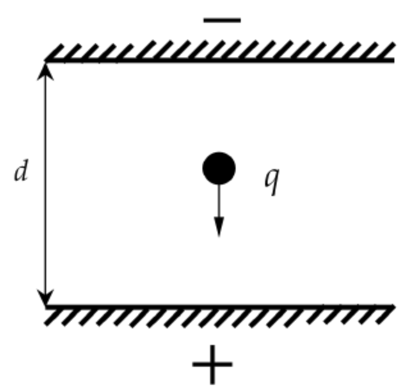
$$h_2 - h_1 = \frac{2 \cdot \lambda F}{d} - \frac{1 \cdot \lambda F}{d} = \frac{\lambda F}{d}.$$

Отсюда:

$$\lambda = \frac{d(h_2 - h_1)}{F} = \frac{5 \cdot 10^{-6}\ \text{м} 18 \cdot 10^{-3}\ \text{м}}{0,2\ \text{м}} = 450\ \text{нм}$$

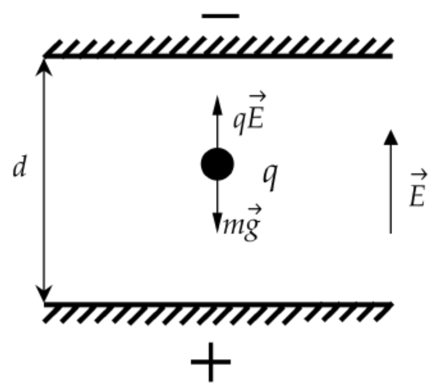
Задача 26.9

Пластины большого по размерам плоского заряженного воздушного конденсатора расположены горизонтально на расстоянии $d = 1$ см друг от друга. В пространстве между пластинами падает капля жидкости несущая на себе электрический заряд $q = 8 \cdot 10^{-11}$ Кл и обладающая массой $m = 4 \cdot 10^{-6}$ кг. При каком напряжении между пластинами скорость капли будет постоянной? Влиянием сопротивления воздуха пренебречь.



Решение

Напряженность внутри пластин направлена от от положительной пластины к отрицательной.



Запишем второй закон Ньютона

$$q\vec{E} + m\vec{g} = m\vec{a},$$

где E –вектор напряженности, a – ускорение капли.
Так как скорость капли постоянна, то ее ускорение равно нулю, значит, второй закон Ньютона в проекции на вертикальную ось запишется в виде:

$$qE - mg = 0 \Rightarrow qE = mg.$$

Напряжения U связано с напряженностью формулой:

$$U = Ed.$$

Тогда

$$U = \frac{mgd}{q} \approx 5 \text{ кВ}$$

Задача 26.9 На дифракционную решетку у которой на 10 см приходится 500 штрихов падает белый свет. Расстояние между максимумами третьего порядка от волн красного (длина волны 760 нм) и фиолетового (длина волны 380 нм) света составляет 12 см. Найдите расстояние от решетки до экрана. (Принять $\sin\phi = \operatorname{tg}\phi = \phi$

Решение

Для каждого света справедлива формула:

$$d\sin\phi = m\lambda$$

$$\sin\phi = \operatorname{tg}\phi = \frac{x}{L}$$

x - расстояние от центра решетки до максимума, по условию $0,12 = x_{\text{кр}} - x\text{ф}$ Получим:

$$0,12 = \frac{m\lambda_{\text{кр}}L}{d} - \frac{m\lambda_{\text{ф}}L}{d}$$

$$d = \frac{0,1}{500}$$

Тогда искомое расстояние L:

$$L = \frac{0,12d}{m(\lambda_{\text{кр}} - \lambda_{\text{ф}})}$$

$$L = \frac{0,12 \cdot 0,1}{500 \cdot 3(760 - 380) \cdot 10^{-9}} = 21 \text{ м}$$

Задача №27.1

В вертикальном цилиндрическом сосуде с площадью поперечного сечения S, ограниченном сверху подвижным поршнем массой $M = 1$ кг, находится воздух при комнатной температуре. Первоначально поршень находился на высоте $H = 13$ см от дна сосуда. Если на поршень положить груз массой $m = 0,5$ кг, то он окажется на высоте $h = 12$ см от дна сосуда. Определите площадь поперечного сечения поршня. Воздух считать идеальным газом, а его температуру – неизменной. Атмосферное давление принять равным 10^5 Па. Трение между стенками сосуда и поршнем не учитывать.

Решение

где p_1 – давление газа без груза, p_2 – давление газа при добавлении груза, p_0 – атмосферное давление.

Запишем второй закон Ньютона до и после добавления добавления груза в проекции на вертикальную ось, с учетом того, что поршень покоится

$$\begin{cases} Mg + p_0S - p_1S = 0 \quad (1) \\ Mg + p_0S - p_2S + mg = 0. \quad (2) \end{cases}$$

Также запишем уравнение Менделеева-Клапейрона

$$p_1V_1 = \nu RT, \quad (3)$$

$$p_2V_2 = \nu RT, \quad (4)$$

где V_1 – начальный объём газа, ν – количество вещества, T – температура газа, V_2 – конечный объём газа.

Объёмы газов равны:

$$V_1 = HS \quad V_2 = hS \quad (5)$$

Объединяя (3) – (5), получаем

$$p_1 H = p_2 h. \quad (6)$$

(Данный вывод также можно было получить из того, что процесс изотермический и воспользоваться законом Бойля-Мариотта). Приравняем (1) и (2)

$$Mg + p_0 S - p_1 S = (M+m)g + p_0 S - p_2 S \Rightarrow (p_2 - p_1)S = mg.$$

С учётом (6)

$$\left(p_2 - p_2 \frac{h}{H}\right) = mg \Rightarrow p_2 = \frac{mgH}{S(H-h)}.$$

Подставим в (2)

$$(M+m)g + p_0 S = p_2 S \Rightarrow (M+m)g + p_0 S = \frac{mgH}{H-h} \Rightarrow$$

$$S = \frac{mgH - MgH - mgh + (M+m)gh}{(H-h)p_0} = \frac{(M+m)gh - MgH}{(H-h)p_0}$$

Подставим числа из условия

$$S = \frac{(1\ \text{кг} + 0,5\ \text{кг}) \cdot 10\ \text{Н/кг} \cdot 0,12\ \text{м} - 1\ \text{кг} \cdot 10\ \text{Н/кг} \cdot 0,13\ \text{м}}{10^5\ \text{Па}(0,13\ \text{м} - 0,12\ \text{м})} = 5\ \text{см}^2$$

Задача 27.2

В закрытом сосуде находится влажный воздух массой 40 г при температуре 90° и давлении $p = 2 \cdot 10^5$ Па. Масса пара в сосуде равно 5 г. Определите объём сосуда

Решение

Давление влажного воздуха по закону Дальтона равно

$$p = p_1 + p_2, \quad (1)$$

где p_1 – давление сухого воздуха, p_2 – давление водяного пара.
Давление газа по уравнению Клапейрона-Менделеева равно

$$p_1 = \frac{m_1 RT}{M_1 V} \quad p_2 = \frac{m_2 RT}{M_2 V}, \quad (2)$$

где m_1 и m_2 – массы сухого воздуха и водяного пара, M_1 и M_2 – молярные массы воздуха и водяного пара , T – температура, V – объём сосуда.
Масса сухого воздуха равна

$$m_1 = m - m_2, \quad (3)$$

где m – масса влажного воздуха.
Объединим (1), (2), (3) и выразим V

$$V = \frac{RT(M_2(m - m_2) + M_1 m_2}{pM_1 M_2}$$

$$V = \frac{8,31 \cdot (90 + 273)(18 \cdot 10^{-3}(0,04 - 0,005) + 29 \cdot 10^{-3} \cdot 0,005)}{2 \cdot 10^5 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \cdot 29 \cdot 10^{-3}}$$

Задача 27.3 В вертикальном цилиндре с гладкими стенками под массивным металлическим поршнем находится идеальный газ. В начальном состоянии поршень массой M и площадью основания S покоится на высоте h, опираясь на выступы (см. рис. 1). Давление газа p_0 равно внешнему атмосферному. Какое количество теплоты Q нужно сообщить газу при медленном его нагревании, чтобы поршень оказался на высоте H (см. рис. 2)? Тепловыми потерями пренебречь

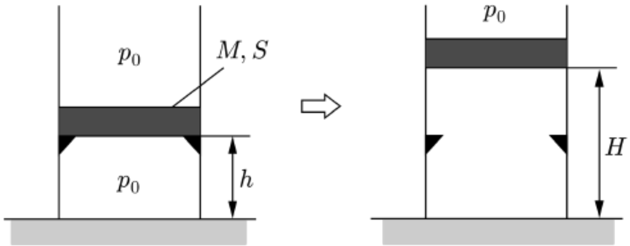
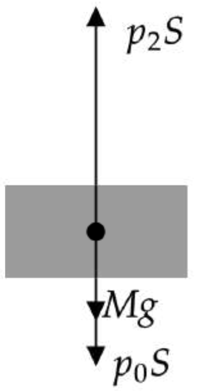


Рис. 1 Рис. 2

Решение

Расставим силы, действующие на поршень в процессе движения



Здесь p_2 – давление газа.
До момента, пока

$$p_2S < p_0S + Mg$$

поршень будет покоится, давление газа увеличиваться. При достижении равновесия

$$p_2S = p_0S + Mg$$

Поршень начнет двигаться вверх, а так как нагревание медленное, то процесс движения можно считать изобарным. Запишем первое начало термодинамики:

$$Q = A + \Delta U \quad (1)$$

где A — работа газа, ΔU — изменение внутренней энергии газа.

Изменение внутренней энергии равно:

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T.$$

где ν – количество вещества, ΔT – изменение температуры газа.

Работа газа во всем процессе равна работе газа при изобарном расширении, так как до этого момента объём газа не изменялся:

$$A = p_2\Delta V = \left(p_0 + \frac{Mg}{S}\right) S(H-h) = (p_0S + Mg)(H-h). \quad (2)$$

Здесь ΔV – изменение объёма газа.

Пусть $V_0 = Sh$ – начальный объём, $V = SH$ – конечный объём. Уравнение Клапейрона–Менделеева в начале и в конце дает:

$$\begin{cases} p_0V_0 = \nu RT_2 \\ p_2V = \nu RT_0, \end{cases}$$

где T_0 – начальная температура газа, T_2 – конечная температура газа.

Вычтем и получим:

$$p_2SH - p_0Sh = \nu R\Delta T \Leftrightarrow (p_0S + Mg)H - p_0Sh = \nu R\Delta T.$$

Тогда изменение внутренней энергии газа равно:

$$\Delta U = \frac{3}{2}(p_0SH + MgH - p_0Sh). \quad (3)$$

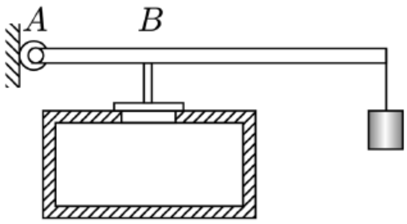
Тогда искомая величина Q равна:

$$Q = \frac{3}{2}p_0SH + \frac{3}{2}MgH - \frac{3}{2}p_0Sh + p_0SH - p_0sh + MgH - Mgh$$

$$Q = \frac{5}{2}p_0sH + \frac{5}{2}MgH - \frac{5}{2}p_0hS - Mgh$$

Задача 27.4

В цилиндр объемом $0,5$ м^3 насосом закачивается воздух со скоростью 0,002 кг/с. В верхнем торце цилиндра есть отверстие, закрытое предохранительным клапаном. Клапан удерживается в закрытом состоянии стержнем, который может свободно поворачиваться вокруг оси в точке А (см. рис.). К свободному концу стержня подвешен груз массой 2 кг. Клапан открывается через 580 с работы насоса, если в начальный момент времени давление воздуха в цилиндре было равно атмосферному. Площадь закрытого клапаном отверстия $5 \cdot 10^{-4}$м^2, расстояние АВ равно 0,1 м. Температура воздуха в цилиндре и снаружи не меняется и равна 300 К. Определите длину стержня, если его считать невесомым.



Решение

Клапан откроется, когда избыточная сила F давления воздуха на клапан изнутри цилиндра сравняется с силой давления стержня на этот клапан. Если превышение давления воздуха в цилиндре над атмосферным Δp, а площадь клапана S, то $F = \Delta pS$ Сила действия стержня на клапан равна $\dfrac{L}{l}mg$, где m, L, l – соответственно масса груза, длина стержня и длина его участка AB. Итак, должно выполняться условие . $\Delta pS \geq \dfrac{L}{l}mg$.

Дополнительное давление воздуха определяется увеличением массы воздуха в цилиндре. Согласно уравнению Клапейрона-Менделеева $\Delta p = \dfrac{\Delta m_{\text{в}}}{\mu V}RT$, где μ – молярная масса воздуха. Поэтому условие открытия клапана имеет вид:

$$\frac{S\Delta m_{\text{в}}}{\mu V}RT \geq \frac{L}{l}mg,$$

или в виде

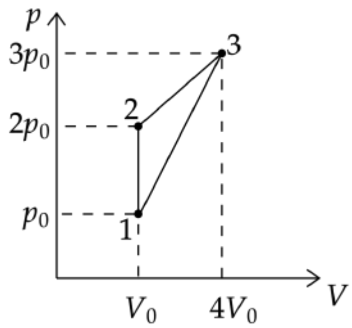
$$L \leq \frac{lSRT\Delta m_{\text{в}}}{mg\mu V}$$

Если насос закачивает каждую секунду ω кг воздуха, то массу $\Delta m_{\text{в}}$ он закачает в цилиндр за время $t = \dfrac{\Delta m_{\text{в}}}{\omega}$. Следовательно, клапан откроется в момент, когда выполнится равенство

$$L = \frac{tlSRT\omega}{mg\mu V} \approx 0,5 \text{ м.}$$

Задача 27.5

Дан график зависимости $p - V$ некоторого процесса гелия. $Q_{\text{нагр}} = 50$ кДж - количество теплоты, полученное в процессе. Количество молей 3. Найдите температуру в точке 3.



Решение

Запишем УМК для состояний 1:

$p_0V_0 = \nu RT_1$

Запишем УМК для состояний 1, 2 и поделим их друг на друга. Получим:

$$T_2 = 2T_1$$

Запишем УМК для состояний 2, 3 и поделим их друг на друга. Получим:

$$T_3 = 6T_2$$

.

В процессах 1-2 и 2-3 гелий получает количество теплоты.

$$Q_{12} = \frac{3}{2}\nu RT_1$$

Работу процесса 2-3 вычислим как площадь:$A_{23} = \dfrac{15p_0V_0}{2}$

Тогда $Q_{23} = \dfrac{15p_0V_0}{2} + \dfrac{15}{2}\nu R \cdot \cdot T_2$

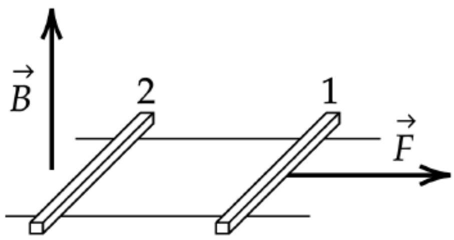
$Q_{\text{нагр}} = Q_{12} + Q_{23} = \dfrac{3}{2}\nu RT_1 + \dfrac{45}{2} \cdot \nu RT_1 = \dfrac{38}{2}\nu RT_1$

Тогда $T_1 = \dfrac{Q_{\text{нагр}} \cdot 2}{48 \cdot \nu \cdot R}$

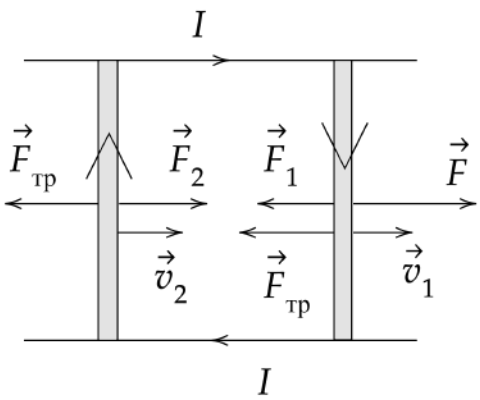
Из написанного выше $T_3 = 12T_1 = \dfrac{24 \cdot Q_{\text{нагр}}}{48 \cdot \nu \cdot R} =\approx 1003$ K

Задача №28.1

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.



Решение



При движении стержней с разными скоростями изменение потока вектора магнитной индукции, пронизывающего контур, за промежуток времени Δt определяется по формуле $\Delta\Phi = Bl(v_1 - v_2)\Delta t = Blv_{\text{отн}}\Delta t$, что приводит к возникновению в контуре ЭДС индукции. Согласно закону Фарадея $E = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -Blv_{\text{отн}}$.

Здесь мы пренебрегли самоиндукцией контура. В соответствии с законом Ома для замкнутой цепи в контуре появился ток

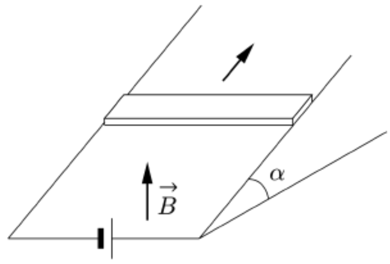
$$I = \frac{|E|}{2R} = \frac{Blv_{\text{отн}}}{2R}$$

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 $\dfrac{(Bl)^2 v_{\text{отн}}}{2R} = \mu mg$. Отсюда: относительная скорость

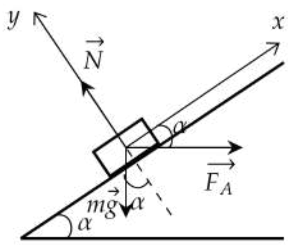
$$v_{\text{отн}} = \frac{2\mu mgR}{(Bl)^2} = \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 10 \cdot 0,1}{(1 \cdot 0,1)^2} = 2 \text{ м/с}$$

Задача 28.2 Стержень с током силой $I = 4$ А, находящийся в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,2$ Тл, движется с ускорением $a = 1,9$ м/с^2 вверх по наклонной плоскости, образующей угол $\alpha = 30°$ с горизонтом (см. рисунок). Найдите отношение массы стержня к его длине. Трением пренебречь.



Решение

На стержень действуют сила тяжести mg, сила Ампера F_A и сила реакция опоры N. Изобразим эти силы на рисунке



По второму закону Ньютона:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F_A} = m\vec{a}.$$

Спроецируем на ось x

$$ma = -mg\sin\alpha + F_A\cos\alpha.$$

Сила Ампера находится по формуле:

$$F_A = IBL\sin\beta,$$

где $\beta = 90°$ – угол между направлением движения тока и вектором магнитной индукции.

Тогда

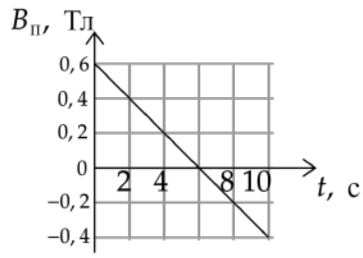
$$ma + mg\sin\alpha = IBL\cos\alpha.$$

Отсюда искомая величина

$$\frac{m}{L} = \frac{IB\cos\alpha}{a + g\sin\alpha} = \frac{4\cdot 0,2\cdot\cos 30^\circ}{1,9 + 10\cdot\sin 30^\circ \approx 0,1 \text{ кг/м}}$$

Задача 28.3

Квадратная рамка из медного провода, помещенная в однородное поле электромагнита. На рисунке приведён график зависимости от времени t для проекции B_n вектора индукции рамки. Удельное сопротивление меди $\rho = 1,7\cdot 10^{-8}$ Ом $\cdot$ м. Длина стороны рамки $l = 10$ см; площадь поперечного сечения провода $S_0 = 2$ мм^2. За какое время τ в рамке выделится количество теплоты $Q = 3\cdot 10^4$ Дж?



Решение

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

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta B_n}{\Delta t}\cdot S$$

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

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = -\frac{1}{R}\cdot\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{S}{R}\cdot\frac{\Delta B_n}{\Delta t}$$

Сопротивление выражается формулой: $R = \rho\dfrac{4l}{S_0}$

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

$$Q = I^2 R\Delta t = \frac{S^2}{R}\cdot\frac{(\Delta B_n)^2}{\tau} = \frac{l^3\cdot S_0}{\rho\cdot 4}\cdot\frac{(\Delta B_n)^2}{\tau}$$

На нашем участке $B_n = 0,6 - 0,1\tau$(записали уравнение прямой)

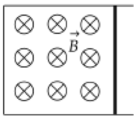
Тогда $\Delta B_n = B_n - 0,6 = -0,1\tau$

$$Q = \frac{l^3\cdot S_0\cdot 0,1^2\cdot\tau}{4\cdot\rho}$$

$$\tau = \frac{Q \cdot 4 \cdot \rho}{l^3 \cdot S_0 \cdot 0,1^2} = 1,02 \cdot 10^8 \text{ с}$$

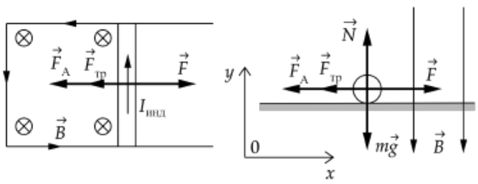
Задача 28.4

Металлический стержень, согнутый в виде буквы П, закреплен в горизонтальной плоскости. На параллельные стороны стержня опирается концами перпендикулярная перемычка массой 92 г и длиной 1 м. Сопротивление перемычки равно 0,1 Ом. Вся система находится в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией 0,15 Тл. С какой установившейся скоростью будет двигаться перемычка, если к ней приложить постоянную горизонтальную силу 1,13 Н? Коэффициент трения между стержнем и перемычкой равен 0,25. Сопротивлением стержня пренебречь, Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на перемычку.



Решение

При движении перемычки в однородном магнитном поле на её концах возникает ЭДС



индукции:

$$|\mathscr{E}_i| = \left|\frac{\Delta\ \Phi}{\Delta t}\right|,$$

где $\Delta\ \Phi$ – изменение магнитного потока за время Δt.

Изменение потока равно:

$$\Delta\ \Phi = B \cdot \Delta S \cos\alpha,$$

где B – модуль магнитной индукции, ΔS – изменение площади в заштрихованной области, $\cos\alpha = \cos 0^\circ$ – косинус угла между линиями магнитной индукции и нормалью к плоскости контура.

Изменение площади равно:

$$\Delta S = vl \cdot \Delta t,$$

где v и l – соответственно скорость и длина перемычки.

Следовательно,

$$\mathscr{E}_i = Bvl \sin\alpha = Bvl.$$

Согласно закону Ома для полной цепи в замкнутом контуре возникает индукционный ток:

$$I_{\text{инд}} = \frac{E}{R} = \frac{Bvl}{R},$$

где R – сопротивление перемычки.
Поскольку скорость перемычки постоянна, то ЭДС и индукционный ток также будут постоянными. Согласно правилу Ленца индукционный ток, возникающий в контуре, будет направлен так, чтобы своим магнитным полем препятствовать увеличению магнитного потока при движении перемычки, т.е. против часовой стрелки (см. рисунок).
Благодаря появлению индукционного тока на перемычку со стороны магнитного поля начнёт действовать сила Ампера, направленная согласно правилу левой руки в противоположную движению сторону:

$$F_A = I_{\text{инд}} Bl \sin\beta = \frac{B^2 v l^2}{R}.$$

Здесь $\beta = 90^\circ$ – угол между направлением тока и вектором магнитной индукции.
На перемычку действуют пять сил: сила тяжести mg, нормальная составляющая силы реакции опоры N, сила трения $F_{\text{тр}}$, сила Ампера F_A и сила F, приложенная к перемычке (см. рисунок). Перемычка движется с постоянной скоростью, поэтому ее ускорение равно нулю.
Запишем второй закон Ньютона:

$$\vec{F} + \vec{F_{\text{тр}}} + \vec{F_A} + m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a},$$

где $a = 0$ – ускорение перемычки.
Второй закон Ньютона в проекциях на оси системы координат, показанной на рисунке, имеет вид:

$$\begin{cases} Ox: \quad F - F_{\text{тр}} - F_A = 0 \quad (1) \\ Oy: \quad N - mg = 0 \quad (2) \end{cases}$$

Сила трения скольжения

$$F_{\text{тр}} = \mu N.$$

Тогда сила трения с учетом (2)

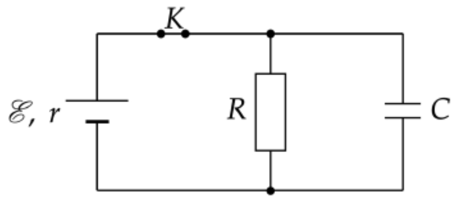
$$F_{\text{тр}} = \mu mg.$$

В итоге получаем:

$$v = \frac{(F - \mu mg)R}{(Bl)^2} = 4 \text{ м/с}$$

Задача 28.5

В электрической схеме, показанной на рисунке, ключ K замкнут. Заряд конденсатора $q = 2$ мкКл, ЭДС батарейки $\xi = 24$ В, её внутреннее сопротивление $r = 5$ Ом, сопротивление резистора $R = 25$ Ом. Найдите количество теплоты, которое выделяется на резисторе после размыкания ключа K в результате разряда конденсатора. Потерями на излучение пренебречь.



Решение

Количество теплоты, выделяющееся на резисторе после размыкания ключа:

$$Q = W_C = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2}$$

Напряжение на конденсаторе равно падению напряжения на резисторе. С учетом закона Ома для полной цепи:

$$U = IR\frac{\xi R}{R + r}$$

Комбинируя эти формулы, находим:

$$Q = \frac{q\xi R}{2(R + r)} = 20 \text{ мкДж}$$

Задача 28.6

Две большие пластины заряжены разноимённо, между ними находится диэлектрик. Расстояние между пластинами равно d. Маленький шарик, имеющий заряд $Q = 5 \cdot 10^{-11}$ Кл. Масса шара $M = 6 \cdot 10^{-3}$ г. Напряжённость поля $E = 5 \cdot 10^6$ В/м. В момент, когда шар коснулся одну из пластин, его скорость равна была $v = 1$ м/с . Найдите расстояние между пластинами

Решение

Задача №29.1

На идеальное зеркало перпендикулярно ему падают лучи монохроматического света. При их отражении возникает сила давления F, действующая на зеркало. Найти F, если мощность падающего света P = 300 кВт.

Решение

При зеркальном отражении света, происходит изменение направления светового пучка, при этом изменение импульса будет равно Δp Это изменение можно найти по следующей формуле:

$$\Delta p = F\Delta t$$

Мощность падающего света, это энергия падающих фотонов в единицу времени:

$$P = \frac{Nh\nu}{\Delta t}$$

Поскольку импульс светового пучка изменился на противоположный, то изменение импульса равно:

$$\Delta\vec{p} = \vec{p_1} - (\vec{p_2})$$

При зеркальном отражении $\vec{p_1} = -\vec{p_2}$, тогда

$$\Delta\vec{p} = -2\vec{p_1}$$

$$\Delta p = 2p_1$$

Сила будет равна:

$$F = \frac{\Delta p N}{\Delta t} = \frac{2p_1 N}{\Delta t}$$

Импульс фотона:

$$p_1 = \frac{h\nu}{c}$$

$$F = \frac{2h\nu N}{\Delta t c}$$

С учетом формулы мощности, получим:

$$F = \frac{2P}{c}$$

Задача 29.2

Лазер испускает световой импульс с энергией $W = 12$ Дж. Свет от лазера падает перпендикулярно на плоское зеркало площадью $S = 10$ см^2. Определите длительность импульса τ, если среднее давление света на зеркало равно $p = 1$ кПа.

Решение

При зеркальном отражении света, происходит изменение направления светового пучка, при этом изменение импульса будет равно Δp Это изменение можно найти по следующей формуле:

$$\Delta p = F\tau$$

Энергия всех падающих фотонов равна

$$W = Nh\nu$$

Поскольку импульс светового пучка изменился на противоположный, то изменение импульса равно:

$$\Delta\vec{p} = \vec{p_1} - (\vec{p_2})$$

При зеркальном отражении $\vec{p_1} = -\vec{p_2}$, тогда

$$\Delta\vec{p} = -2\vec{p_1}$$

$$\Delta p = 2p_1$$

Давление равно

$$P = \frac{F}{S} = \frac{2p_1}{S\tau} = \frac{2Nh\nu}{cS\tau} = \frac{2W}{cS\tau}.$$

Отсюда находим длительность импульса

$$\tau = \frac{2W}{cSP} = \frac{2 \cdot 12 \text{ Дж}}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot 10^3 \text{ Па}} = 80 \text{ нс}$$

Задача 29.3

На плоскую цинковую пластинку ($A_{\text{вых}} = 3,75$ эВ) падает электромагнитное излучение с длиной волны 0,3 мкм. Какова напряженность задерживающего однородного электрического поля, вектор напряженности которого перпендикулярен пластине, если фотоэлектрон может удалиться от поверхности пластинки на максимальное расстояние $d = 2,5$ мм?

Решение

Запишем уравнение Эйнштейна

$$E = A_{\text{вых}} + E_k,$$

где E – энергия фотона, E_k – кинетическая энергия фотоэлектронов.
Энергия фотона равна

$$E = h\frac{c}{\lambda},$$

где λ – длина волны.
Фотоэлектроны будут останавливаться, если

$$E_k = eU,$$

где e – заряд электрона, U – задерживающая разность потенциалов.
При этом разность потенциалов равна:

$$U = Ed,$$

где E – напряженность.
Значит

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + eEd \Rightarrow E = \frac{\frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}}}{ed}.$$

Подставим числа из условия

$$E = \frac{\dfrac{6,6 \cdot 10^{-34}\ \text{Дж}\cdot\text{с} \cdot 3 \cdot 10^{8}\ \text{м/с}}{0,3 \cdot 10^{-6}\ \text{м}} - 3,75 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}\ \text{Дж}}{1,6 \cdot 10^{-19}\ \text{Кл} \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}\ \text{м}} = 150\ \text{В/м}$$

Задача 29.4

Препарат активностью $2,4 \cdot 10^{11}$ частиц в секунду помещён в железный контейнер. За 1,5 часа температура контейнера повысилась на 16°С. Известно, что данный препарат испускает α-частицы энергией 5,3 МэВ, причём энергия всех α-частиц полностью переходит во внутреннюю энергию контейнера. Найдите массу контейнера. Теплоёмкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

Решение

Пусть $t = 1,5$ ч $= 5400$ с. Тогда за это время препарат выделит теплоту, равную $Q = AEt$, где A- активность препарата, E - энергия α-частицы. Тогда вся теплота, по условию, перейдёт в внутреннюю энергию по увеличению температуры контейнера. $Q' = cm\Delta t$, где c - удельная теплоемкость железа, m - масса контейнера, $\Delta t = 16K$ - изменение температуры контейнера.

$$Q = Q'$$

$$AEt = cm\Delta t$$

$$\Rightarrow m = \frac{AEt}{c\Delta t} = \frac{2,4 \cdot 10^{11} \cdot 5,3 \cdot 10^{6} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5400}{460 \cdot 16} \approx 0,15 \text{ кг}$$

Задача 29.5

Лазер испускает импульсы с энергией 0,1 Дж с частотой повторения 10 Гц. Этот луч проходит через воду массой 8,5 кг, которая в течении часа нагрелась на 10°С. Найдите КПД лазера, если он определяется так энергия испускаемая/ энергия подведенная.

Решение

$\eta = \dfrac{Q_1}{Q_2}$, где Q_2 - кол-во теплоты, которое подводится лазеру, Q_1 - кол-во теплоты, испускаемой лазером за час.

$Q_1 = \nu t E$, где $\nu = 10$ Гц, $t = 3600$ с, $E = 0,1$ Дж

$Q_2 = cm\Delta t + Q_1$, c - удельная теплоемкость воды, $\Delta t = 10$ К.

$\eta = \dfrac{\nu t E}{\nu t E + cm\Delta t} =\approx 1\%$

Задача 29.6

В результате синтеза ${}_1^2H +_2^3 He =_2^4 He + p$ образуется гелий и про тон и выделяется 18,3 МэВ энергии. Масса ядра гелия равна 4 массам протона. Какую кинетическую энергию уносит протон, если суммарный импульс исходных частиц равен нулю, а их кинетическая энергия пренебрежимо мала по сравнению с выделившейся?

Решение

Запишем ЗСЭ:

При реакции выполняется закон сохранения импульса: $M\vec{v} + m\vec{u} = 0$, где M и m -

массы гелия и протона соответственно, v и u - их скорости.

Отсюда видно, что скорости частиц направлены в разные стороны и по модулю имеем: $v = \dfrac{mu}{M}$. Выделившаяся при реакции энергия — это суммарная кинетическая энергия продуктов реакции: $E = E_{\text{He}} + E_{\text{p}} = \dfrac{Mv^2}{2} + \dfrac{mu^2}{2}$

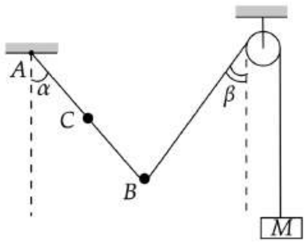
Подставляем сюда скорость гелия и выделяем кинетическую энергию протона: $E = \dfrac{mu^2}{2} \cdot \left(1 + \dfrac{m}{M}\right) = E_p \cdot \left(1 + \dfrac{m}{M}\right)$

Учитывая, что масса гелия $M \approx 4$ а.е.м., а масса протона $m \approx 1$ а.е.м., получаем:

$$E_p = \frac{E}{1,25} \approx 14,6 \text{ МэВ}$$

Задача №30.1

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 $\alpha = 30°$, а нить составляет угол с вертикалью, равный $\beta = 30°$. Расстояние $AC = b = 25$ см. Определите длину l стержня AB. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на груз M и стержень. Какие законы Вы используете для решения задачи? Обоснуйте их применение.



Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).

2. Описываем стержень моделью твёрдого тела (форма и размеры тела неизменны, расстояние между любыми двумя точками тела остаётся неизменным).

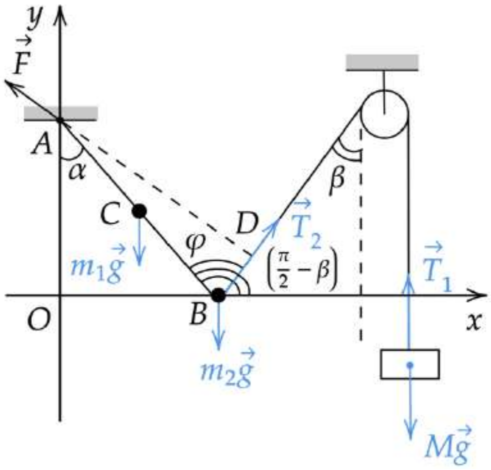
3. Любое движение твёрдого тела является суперпозицией поступательного и вращательного движений. Поэтому условий равновесия твёрдого тела в ИСО ровно два; одно - для поступательного движения, другое - для вращательного движения.

4. В качестве оси, относительно которой будем считать сумму моментов сил, действующих на стержень, выберем ось, проходящую перпендикулярно плоскости рисунка через точку шарнирного крепления (точку A).

5. Нить невесома, блок идеален (масса блока ничтожна, трения нет), поэтому модуль силы натяжения нити в любой её точке один и тот же.

Решение

Сделаем рисунок с указанием всех сил:



1. Введём декартову систему координат xOy, как показано на рисунке. Поскольку груз M находится в равновесии, согласно второму закону Ньютона

$$T_1 - Mg = 0.$$

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, а блок идеален, то $\left|\vec{T}_1\right| = \left|\vec{T}_2\right| = T$. 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:

$$m_1g \cdot b\sin\alpha + m_2g \cdot l\sin\alpha - T \cdot AD = 0$$

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

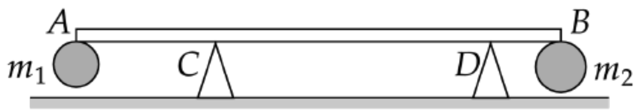
$$AD = l\sin\varphi = l\sin(\alpha+\beta)$$

получим:

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

Ответ: $l \approx 68,3$ см.

Задача 30.2 Два небольших шара массами $m_1 = 0,2$ кг и $m_2 = 0,3$ кг закреплены на концах невесомого стержня AB, расположенного горизонтально на опорах Cи D (см. рисунок). Расстояние между опорами $l = 0,6$ м, а расстояние AC равно 0,2 м. Чему равна длина стержня L, если сила давления стержня на опору D в 2 раза больше, чем на опору C? Сделайте рисунок с указанием внешних сил, действующих на систему тел «стержень — шары».



Ответ

1

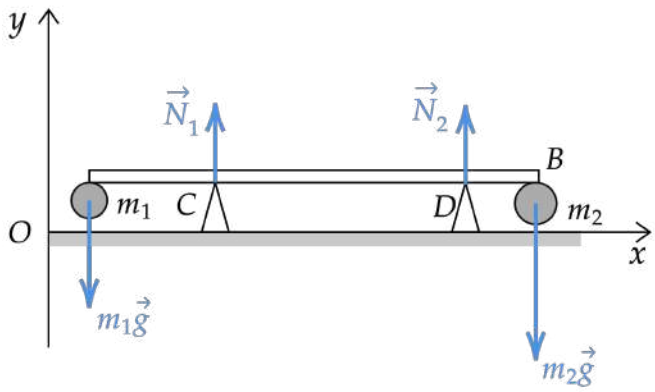
Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землей. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО). Применим третий закон Ньютона, для обоснования равенства сил давления на опоры и равенства сил реакции опоры в этих точках. 2. Стержень будем описывать моделью твердого тела - его форма и размеры неизменны, расстояние между любыми двумя точками остаются неизменным. 3. Движение твердого тела можно описать совокупностью движений - поступательного и вращательного. Поэтому для равновесия твердого тела в ИСО необходимо два условия. Одно для поступательного движения, другое - для вращательного движения. 4. Сумма всех приложенных к твёрдому телу внешних сил равна нулю (условие равновесия твёрдого тела относительно поступательного движения). Также применимо правило моментов (условие равновесия твёрдого тела относительно вращательного движения) 5. Размеры шариков малы по сравнению с стержня, поэтому будем описывать шарики моделью материальной точки

Решение

На твердое тело, образованное двумя шарами и стержнем действует силы тяжести первого и второго шаров m_1gи m_2g, а также силы реакции опоры N_1 и N_2. По условию $2N_1 = N_2$ Запишем второй закон Ньютона и правило моментов относительно точки A.

$$\begin{cases} N_1 + N_2 - m_1g - m_2g = 0 \\ N_1x + N_2(l + x) - m_2gL = 0 \end{cases}$$



где x – AC и плечо силы N_1. Так как $N_2 = 2N_1$, то систему уравнений можно переписать в виде

$$\begin{cases} 3N_1 = g(m_1 + m_2) \\ N_1 x + 2N_1(l + x) = m_2 g L \end{cases}$$

Поделим второе уравнение на первое

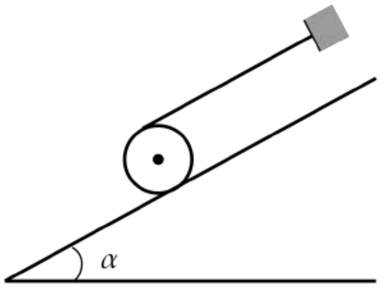
$$x + \frac{2l}{3} = L\frac{m_2}{m_1 + m_2}$$

Отсюда длина стержня

$$L = \frac{m_2 + m_1}{m_2}\left(x + \frac{2l}{3}\right) = \frac{0,3\ \text{кг} + 0,2\ \text{кг}}{0,3\ \text{кг}}\left(0,2\ \text{м} + \frac{2 \cdot 0,6\ \text{м}}{3}\right) = 1\ \text{м}$$

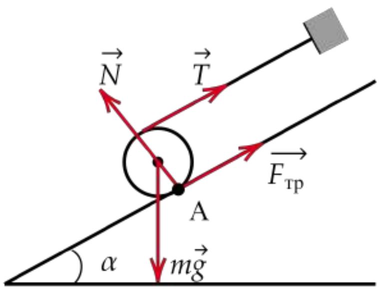
Задача 30.3

На наклонной шероховатой плоскости покоится цилиндр с радиусом 30 см и массой 3 кг, обмотанный лёгкой неведомой нитью, угол наклона плоскости к горизонту равен 30°, между цилиндром и плоскостью сильная сила трения, поэтому он покоится , найдите силу натяжения нити



Решение

Расставим силы, действующие на цилиндр.



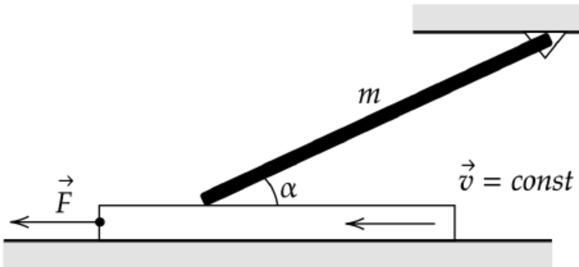
Здесь mg – сила тяжести, N – сила реакции опоры, T – сила натяжения нити, $F_{\text{тр}}$ – сила трения.

Запишем правило моментов относительно точки A:

$$mg\sin(\alpha)\cdot R - T\cdot 2R = 0 \Rightarrow T = \frac{mg\sin(\alpha)}{2} = \frac{3\text{ кг}\cdot 10\text{ Н/кг}\cdot 1/2}{2}$$

Задача 30.4

Однородный тонкий стержень массой $m = 4$ кг одним концом шарнирно прикреплён к потолку, а другим концом опирается на массивную горизонтальную доску, образуя с ней угол $\alpha = 30°$. Под действием горизонтальной силы $\vec{F}$ доска движется поступательно влево с постоянной скоростью (см. рисунок). Стержень при этом неподвижен. Найдите коэффициент трения стержня по доске μ, если $F = 5$ Н. Трением доски по опоре и трением в шарнире пренебречь. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на тела. Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.



Обоснование

1. Выберем систему отсчёта, неподвижно связанную с Землёй, и будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Стержень будем считать твёрдым телом с осью вращения, проходящей перпендикулярно плоскости рисунка через точку А.
3. Сумма сил, приложенных к стержню, равна нулю, так как он не движется поступательно.
4. Условие равновесия относительно вращательного движения – равенство нулю суммы моментов сил, приложенных к телу, относительно оси, проходящей через шарнир.
3. Доска движется с постоянной скоростью, следовательно сила, с которой действуют на доску равна по модулю силе трения между доской и стрежнем.

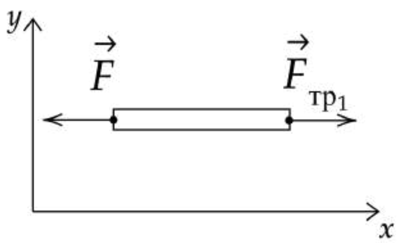


Рис. а

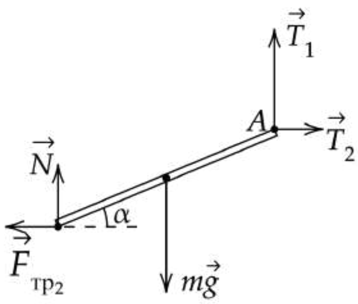


Рис. б

1. В инерциальной системе отсчёта , связанной с Землёй, доска движется поступательно с постоянной скоростью. Поэтому сумма проекций на ось всех сил, приложенных

к доске, равна нулю (рис. а):

$$F_{\text{тр}1} = F$$

2. На рис. б показаны все силы, приложенные к стержню. Силы реакции шарнира и доски представлены горизонтальными и вертикальными составляющими: $\vec{T} = \vec{T_1} + \vec{T_2}$ и $\vec{R} = \vec{N} + \vec{F_{\text{тр}2}}$ соответственно. По третьему закону Ньютона $\vec{F_{\text{тр}2}} = -\vec{F_{\text{тр}1}}$, поэтому

$$F_{\text{тр}2} = F_{\text{тр}1} = F \quad (1)$$

3. По условию задачи стержень покоится, поэтому сумма моментов сил относительно оси шарнира А равна нулю. Обозначив длину стержня через L, запишем это условие:

$$mg\frac{L}{2}\cos\alpha - F_{\text{тр}2}L\sin\alpha - NL\cos\alpha = 0 \quad (2)$$

4. Доска движется относительно стержня, поэтому сила трения является силой трения скольжения

$$F_{\text{тр}2} = \mu N \quad (3)$$

5. Подставив (3) в (2), получим уравнение

$$mg\cos\alpha - 2\mu N\sin\alpha - 2N\cos\alpha = 0$$

позволяющее найти нормальную составляющую силы реакции доски

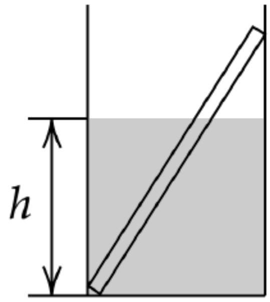
$$N = \frac{mg}{2(1+\mu\operatorname{tg}\alpha)}$$

Отсюда: $F = F_{\text{тр}2} = \mu N = \dfrac{\mu mg}{2(1+\mu\operatorname{tg}\alpha)}$

Следовательно, $\mu = \dfrac{2F}{mg - 2F\operatorname{tg}\alpha} \approx 0,1$

Задача 30.5

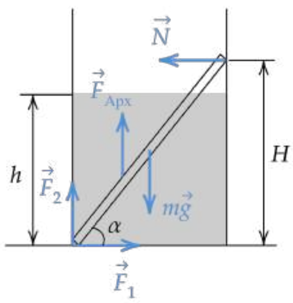
В гладкий высокий стакан радиусом 4 см поставили однородную тонкую палочку длиной 10 см и массой 0,9 г, после чего в стакан налили до высоты см жидкость, плотность которой составляет 0,75 плотности материала палочки. Найдите модуль силы $\vec{F}$, с которой верхний конец палочки давит на стенку стакана.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



Обоснование

1. Выберем систему отсчёта, неподвижно связанную с Землёй, и будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. палочку будем считать абсолютно твёрдым телом. 3. Сумма сил, приложенных к палочке, равна нулю, так как она не движется поступательно.
4. Условие равновесия относительно вращательного движения – равенство нулю суммы моментов сил, приложенных к телу, относительно оси, проходящей через нижний конец палочки.
5. По третьему закону Ньютона сила, с которой верхний конец палочки давит на стенку стакана равна $F = N$.

Решение



1. Высота конца палочки относительно дна стакана

$$H = \sqrt{l^2 - 4R^2} = \sqrt{0,01 \text{ м}^2 - 4 \cdot 0,0016 \text{ м}^2} = 0,06 \text{ м}$$

где l – длина палочки, R – радиус стакана.

2. Сила Архимеда

$$F_{\text{Арх}} = \rho_{\text{ж}} g \left(\frac{h}{H} V \right) = \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho} \frac{mgh}{H}$$

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:

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

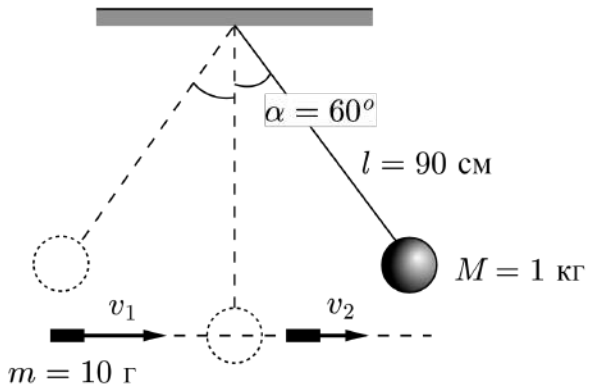
4. Отсюда:

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

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

Задача 30.6

Шар массой 1 кг, подвешенный на нити длиной 90 см, отводят от положения равновесия на угол 60° и отпускают. В момент прохождения шаром положения равновесия в него попадает пуля массой 10 г, летящая навстречу шару. Она пробивает его и продолжает двигаться горизонтально. Определите изменение скорости пули в результате попадания в шар, если он, продолжая движение в прежнем направлении, отклоняется на угол 39°. (Массу шара считать неизменной, диаметр шара – пренебрежимо малым по сравнению с длиной нити, $\cos 39^\circ = 7/9$.) Какие законы Вы используете для решения задачи? Обоснуйте их применение.



Обоснование

1. Введем инерциальную систему отсчёта (ИСО) связанную с землей.

2. Тела движутся поступательно, размеры шарика малы по сравнению с размерами нити, а пуля еще меньше, поэтому будем описывать шарик и пулю моделью материальной точки.

3. Будем считать, что время соударения шарика и пули мало, а значит нить за это время не успевает заметно отклониться, поэтому в момент столкновения все силы направлены вертикально. Следовательно, в ИСО при попадании пули в шарик сохраняется горизонтальная составляющая импульса системы тел "шарик M + пуля m".

4. После попадания пули в шарик при движении тел по вертикальной окружности механическая энергия равна сумме кинетической и потенциальной энергии тел. То есть

$$E_{\text{мех}} = E_{\text{кин}} + E_{\text{пот}}$$

Так как изменения механической энергии тела в ИСО равно работе всех непотенциальных сил, приложенных к телу, а в данном случае такой силой является только сила натяжения нити $\vec{T}$ (сопротивлением воздуха пренебрегаем), при этом в любой точке траектории сила натяжения нити перпендикулярна скорости, поэтому работа силы натяжения нити $\vec{T}$ равняется нулю.

5. За нулевой уровень потенциальной энергии примем уровень положения равновесия шара.

Решение

Потенциальная энергия на высоте h равна

$$E_n = Mgh = Mgl(1-\cos\alpha),$$

где h – высота подъема, M – масса тела, l – длина нити, α – угол отклонения нити. Кинетическая энергия в нижней точке

$$E_k = \frac{Mv_0^2}{2},$$

где v_0 – скорость шара в нижней точке.
Запишем закон сохранения энергия для движения шарика вниз

$$Mgl(1-\cos\alpha) = \frac{Mv_0^2}{2} \Rightarrow v_0 = \sqrt{2gl(1-\cos\alpha)}.$$

Запишем закон сохранения импульс в момент удара и закон сохранения энергии после удара и до подъема на максимальную высоту

$$\begin{cases} Mv_0 - mv_1 = Mu - mv_2 \\ \dfrac{Mu^2}{2} = Mgl(1-\cos\beta) \end{cases}$$

где h – высота подъема, m – масса пули, u – скорости шара после столкновения. Тогда

$$u = \sqrt{2gl(1-\cos\beta)}$$

Искомая величина равна:

$$\Delta v = v_1 - v_2 =$$

$$\frac{M}{m}(v_0 - u) = \frac{1000\ \text{г}}{10\ \text{г}}\left(\sqrt{2\cdot 10\ \text{м/с}^2\cdot 0,9\ \text{м}\cdot 0,5} - \sqrt{2\cdot 10\ \text{м/с}^2\cdot 0,9\ \text{м}\cdot 7/9}\right) = 100\ \text{м/с}$$