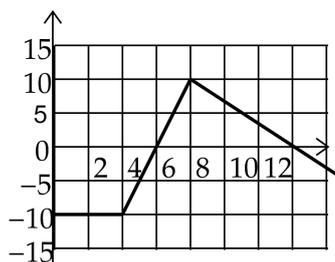


Задачи с ДВ

Составитель подборки – Кормашов Григорий Константинович

Составитель подборки – Кондрашкин Артем Витальевич

Задача 1 На рисунке приведен график зависимости координаты тела x от времени t при прямолинейном движении тела вдоль оси Ox . Определите проекцию скорости этого тела на ось Ox в момент времени 6 с.



Решение

Найдем изменение координаты тела в промежутке от 4 с до 6 с. Для этого из конечной координаты вычтем начальную:

$$\Delta x = x_{\text{к}} - x_{\text{н}}$$

Подставим исходные данные:

$$\Delta x = 0 \text{ м} - (-10) \text{ м} = 10 \text{ м}$$

Найдем изменение времени в промежутке от 4 с до 6 с:

$$\Delta t = t_{\text{к}} - t_{\text{н}}$$

Подставим исходные данные:

$$\Delta t = 6 \text{ с} - 4 \text{ с} = 2 \text{ с}$$

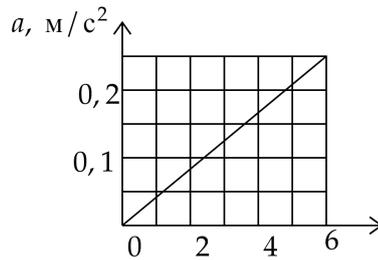
Найдем проекцию скорости тела:

$$v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Подставим исходные данные:

$$v_x = \frac{10 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 5 \text{ м/с}$$

Задача На графике приведена зависимость ускорения бруска, скользящего без трения по горизонтальной силе. Систему отсчета считать инерциальной. Чему равна масса бруска?



Решение

Из второго закона Ньютона

$$m = \frac{F}{a} = \frac{6 \text{ Н}}{0,3 \text{ м/с}^2} = 20 \text{ кг}$$

Задача №4

Прикрепленный к пружине груз колеблется вдоль горизонтальной оси Ox . На основании данных, предоставленных в таблице, выберите **все** верные утверждения и укажите их номера.

$t, \text{ с}$	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
$x, \text{ мм}$	0	2	5	10	13	15	13	10	5	2

$t, \text{ с}$	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2
$x, \text{ мм}$	0	-2	-5	-10	-13	-15	-13

- 1) Период колебаний шарика равен 2,0 с.
- 2) Потенциальная энергия пружины в момент времени 3,0 с максимальна.
- 3) Кинетическая энергия шарика в момент времени 1,0 с минимальна.
- 4) Амплитуда колебаний шарика равна 30 мм.
- 5) Полная механическая энергия маятника из шарика и пружины остаётся неизмен-

ной.

Ответ: 235.

Решение:

1) Неверно

Как видно из таблицы период колебаний равен 4,0 с.

2) Верно

Да, т.к. растяжение пружины максимально.

3) Верно

В момент времени $t = 1,0$ с потенциальная энергия пружины максимальна, следовательно, кинетическая энергия минимальна.

4) Неверно

Амплитуда равна 15 мм.

5) Верно

Полная механическая энергия не изменяется во время процесса.

Задача №5

В результате перехода межпланетного летательного аппарата с одной круговой орбиты вокруг Марса на другую центростремительное ускорение аппарата увеличивается. Как изменяются в результате этого перехода скорость движения аппарата по орбите и период обращения вокруг Марса?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины.

Цифры в ответе могут повторяться.

Скорость движения аппарата по орбите	Период обращения аппарата вокруг Марса
1	2

Решение:

На спутник действует только сила притяжения со стороны Земли. Второй закон Ньютона приобретает вид:

$$ma = G \frac{M_{\text{Марса}} m}{R^2}$$

где $M_{\text{Марса}}$ - масса Марса, m - масса летательного аппарата, R - расстояние между центрами тел.

Отсюда видно, что если центростремительное ускорение увеличивается, то радиус орбиты уменьшается.

Ускорение через скорость выражается формулой: $a = \frac{v^2}{R}$. Подставляя ускорение из второго закона Ньютона получаем: $v^2 = \frac{GM_{\text{Марса}}}{R}$. Следовательно, скорость увеличивается.

Период обращения выражается через формулу: $T = \frac{2\pi R}{v}$. Т.к. скорость увеличивается, а радиус орбиты уменьшается, то период уменьшается.

Задача №7 В результате изохорного перехода 1 моль идеального газа перевели из начальной точки в конечную уменьшив его давление в 3 раза, при этом конечная температура 630 К. Найдите начальную температуру газа.

Ответ: 1890 К.

Решение:

Процесс изохорный, выполняется закон Шарля:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Откуда начальная температура:

$$T_1 = \frac{P_1 T_2}{P_2} = \frac{3P_2 T_2}{P_2} = 3T_2 = 3 \cdot 630 = 1890 \text{ К}$$

Задача №8

Относительная влажность воздуха 56%. При постоянной температуре объём уменьшили в 3 раза. Чему будет равна влажность воздуха в сосуде?

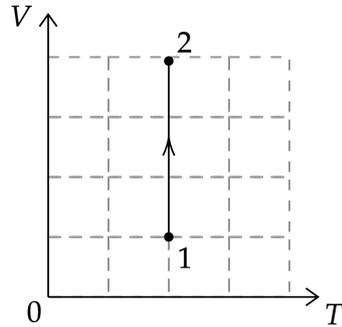
Ответ: 100 %.

Решение:

Поскольку температура не изменяется, то процесс должен быть изотермическим, в таком случае, при уменьшении объёма в 3 раза, парциальное давление водяного пара увеличится в 3 раза, а следовательно и влажность увеличится в 3 раза, то есть станет равна 168%. Такого быть не может, так как максимальная влажность 100%. Значит, сначала влажность будет увеличиваться, пока не станет 100%, затем в сосуде будет появляться вода и влажность не будет меняться.

Задача №9

На V -диаграмме показан процесс изменения состояния 1 моль одноатомного идеального газа. Газ в этом процессе совершил работу, равную 6 кДж. Какое количество теплоты получил газ?

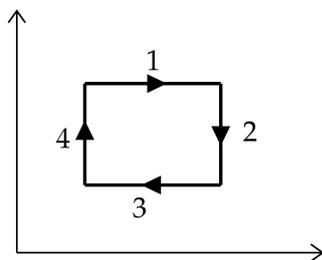


Ответ: 6 кДж.

Решение:

Т.к. изменение внутренней энергии (температура в процессе не меняется) равно нулю, то из первого закона термодинамики $A = \Delta U + A$ получаем, что количество теплоты, которое получил газ, равно работе, которую совершил газ.

Задача №9 На рисунке показан циклический процесс изменения состояния постоянного количества идеального одноатомного газа в координатах $T - V$. На каком из участков процесса работа газа положительна и равна полученному газом количеству теплоты?

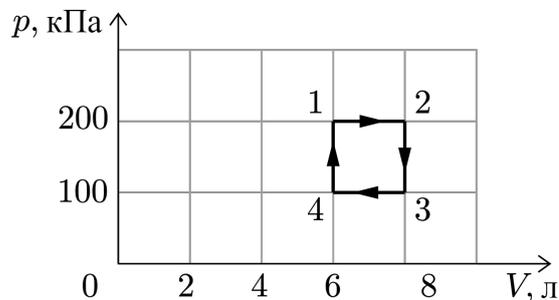


Решение

Работа газа положительна только на участке 4, так как только там изменение объёма положительно.

Задача №10.1

С идеальным газом происходит циклический процесс 1-2-3-4-1, pV -диаграмма которого представлена на рисунке. Максимальная температура, достигаемая газом в этом процессе, составляет 400 К. На основании анализа этого циклического процесса выберите все верные утверждения.



- 1) Количество вещества газа, участвующего в циклическом процессе, превышает 0,5 моля.
- 2) Работа газа при его изобарном расширении равна 400 Дж.
- 3) Работа, совершённая над газом при его изобарном сжатии, равна 100 Дж.
- 4) На участке 2-3 газ отдаёт положительное количество теплоты.
- 5) Минимальная температура газа в циклическом процессе равна 100 К.

Ответ: 24.

Решение:

Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \nu RT,$$

где ν – количество вещества, T – температура.

Отсюда температура:

$$T = \frac{pV}{\nu R},$$

То есть максимум достигается в точке 2, так как там и давление и объём максимальны.

1) Неверно

Из уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$\nu = \frac{p_2 V_2}{RT_2} = \frac{200 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 400} \approx 0,48 \text{ моль}$$

2) Верно

Изобарное расширение 1-2, работу можно найти как площадь под графиком:

$$A_{12} = 200 \cdot 10^3 \cdot (8 - 6) \cdot 10^{-3} = 400 \text{ Дж}$$

3) Неверно

Изобарное сжатие 3-4, работу можно найти как площадь под графиком:

$$A_{12} = 100 \cdot 10^3 \cdot (8 - 6) \cdot 10^{-3} = 200 \text{ Дж}$$

4) Верно

Запишем первое начало термодинамики:

$$Q = \Delta U + A,$$

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

В процессе 2-3 объём постоянен, значит, работа газа равна нулю.

При этом $\Delta U \sim T$, а по закону Шарля:

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

тогда при уменьшении давления температура также уменьшается и $\Delta U < 0$, $Q < 0$.

5) Неверно

Из уравнения Менделеева-Клапейрона минимальная температура будет в точке 4, при

ЭТОМ

$$T_4 = \frac{p_4 V_4}{\nu R}$$

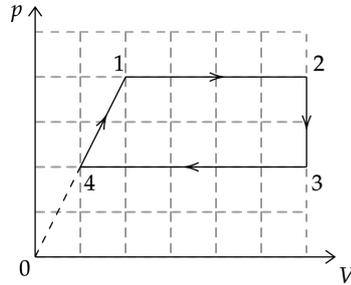
$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{\nu R},$$

Тогда

$$T_4 = \frac{p_4 V_4}{p_2 V_2} T_2 = \frac{100 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{200 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 10^{-3}} 400 = 150 \text{ K}$$

Задача 10.2

Один моль идеального одноатомного газа совершает циклический процесс 1-2-3-4-1, график которого показан на рисунке в координатах $p - V$. Из предложенного перечня выберите **все** верные утверждения.



- 1) В процессе 1-2 газ совершает отрицательную работу;
- 2) В процессе 2-3 газу сообщают положительное количество теплоты;
- 3) В процессе 3-4 газ отдаёт положительное количество теплоты в окружающую среду;
- 4) В процессе 4-1 внутренняя энергия газа остаётся неизменной;
- 5) Работа, совершённая газом в процессе 1-2, в 1,6 раза больше работы, совершённой над газом в процессе 3-4.

Ответ: 35.

Решение:

1) **Неверно**

Нет, т.к. объём увеличился в процессе.

2) **Неверно**

Т.к. процесс 2-3 изохорный, то работа равна нулю. Также мы видим, что у нас уменьшается давление. Следовательно, по закону Шарля у нас уменьшается температура. Значит, газ отдаёт положительное количество теплоты.

3) **Верно**

Да, т.к. в этом процессе уменьшается и объём, и температура. Следовательно, работа и изменение внутренней энергии будет отрицательно.

4) **Неверно**

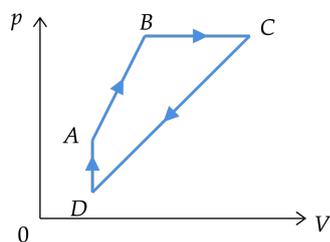
Нет, т.к. чтобы внутренняя энергия была постоянно нужно, чтобы температура не изменялась. Но это осуществляется только при изотермическом процессе, его же график в $p - V$ это гипербола.

5) **Верно**

Работа газа в процессе 1-2: $A_{12} = 4p_0 \cdot 4V_0$, работа в процессе 3-4: $A_{34} = 2p_0 \cdot 5V_0$.

$$\frac{A_{12}}{A_{34}} = 1,6.$$

Задача 10.3 На рисунке дан график циклического процесса, проведенного с ν молей одноатомного идеального газа, в координатах $p - V$. Из предложенного перечня выберите **все** верные утверждения.



- 1) В процессе CD концентрация газа не меняется.
- 2) В процессе DA газ получает положительное количество теплоты.
- 3) В состоянии D плотность газа больше, чем в состоянии B .
- 4) В процессе AB внутренняя энергия газа увеличивается.
- 5) В процессе CD работа газа положительна

Решение:

1) **Неверно**

Концентрация газа равна

$$n = \frac{N}{V},$$

где N – количество молекул газа.

Так как количество молекул газа постоянно, а объём уменьшается, то концентрация увеличивается.

2) **Верно**

Запишем первое начало термодинамики

$$Q = \Delta U + A,$$

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

Так как $V = const$, то работа газа равна нулю. Изменение внутренней энергии равно:

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

где ν – количество вещества, ΔT – изменение температуры.

Запишем также уравнение Менделеева-Клапейрона

$$pV = \nu RT,$$

так как $V = const$, p увеличивается, то температура газа увеличивается, следовательно, изменение внутренней энергии положительно и газ получает положительное количество теплоты.

3) Верно

Плотность газа равна

$$\rho = \frac{m}{V},$$

где $m = const$ – масса газа.

Так как в состоянии B объём газа больше, чем в состоянии D , то плотность газа в состоянии D больше.

4) Верно

Из уравнения Менделеева-Клапейрона

$$T = \frac{pV}{\nu R},$$

так как и давление и объём газа увеличивается, то увеличивается и температура газа. Изменение внутренней энергии равно:

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

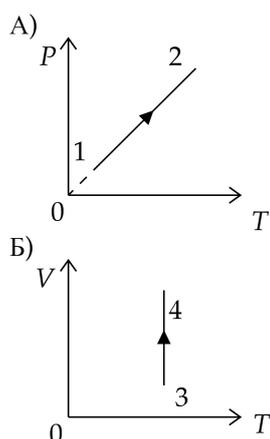
значит, внутренняя энергия увеличивается.

5) Неверно Так как в процессе CD объём газа уменьшается, то и работа газа отрицательна.

Задача №11 На рисунках А и Б приведены графики двух процессов: 1–2 и 3–4, в каждом из которых участвует 1 моль гелия. Графики построены в координатах Т–Р и Т–V, где V – объём, Т – абсолютная температура газа, Р – давление газа.

Установите соответствие между графиками и утверждениями, характеризующими изображённые на графиках процессы.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами



- 1) газ получает положительное количество теплоты и совершает положительную работу
- 2) газ получает положительное количество теплоты при этом его внутренняя энергия увеличивается
- 3) над газом совершается положительная работа при этом газ отдает положительное количество теплоты
- 4) над газом совершается положительная работа при этом его внутренняя энергия увеличивается

Решение

А) По первому началу термодинамики:

$$Q = \Delta U + A,$$

где Q – количество теплоты, полученное газом, ΔU – изменение внутренней энергии, A – работа газа.

Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона

$$pV = \nu RT,$$

так как $p = \alpha T$ (линейная зависимость), где α – некоторый коэффициент, то

$$\alpha TV = \nu RT \Rightarrow V = \frac{\nu R}{\alpha} = const,$$

следовательно, объём газа постоянен.

Так как объём постоянен, то работа газа равна нулю.

Изменение внутренней энергии равно:

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

где ν – количество вещества.

То есть $A = 0, \Delta U > 0, Q > 0$ (2).

Б) Процессе 3-4 изотермический $\Delta U = 0, Q = A$. Объем газа увеличивается, значит, $A > 0, Q > 0$. Газ получает положительное количество теплоты ($Q > 0$), при этом его внутренняя энергия не изменяется ($\Delta U = 0$). (1)

Задача №12

Сила тока, текущего по проводнику равна 6 А. Какой заряд пройдет по проводнику за 24 с.

Ответ: 144 Кл.

Решение:

Сила тока и заряд связаны формулой:

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

Откуда заряд:

$$\Delta q = I\Delta t = 6 \cdot 24 = 144 \text{ Кл}$$

Задача 13

Проволочная рамка площадью 10^{-3} м^2 вращается в однородном магнитном поле вокруг оси, перпендикулярной вектору магнитной индукции. Магнитный поток, пронизывающий площадь рамки, изменяется по закону $\Phi = 2 \cdot 10^{-7} \cos 2\pi t$, где все величины выражены в СИ. Чему равен модуль магнитной индукции? Ответ дайте в мТл.

Ответ: 0,2 мТл .

Решение:

Поток равен:

$$\Phi = BS,$$

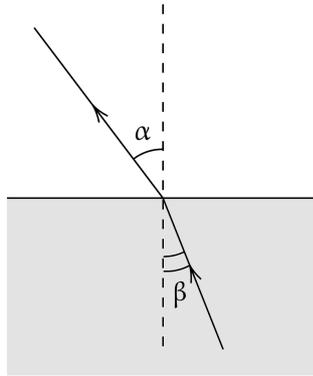
где S – площадь рамки.

Откуда модуль магнитной индукции

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{2 \cdot 10^{-7} \text{ Вб}}{10^{-3} \text{ м}^2} = 0,2 \text{ мТл}$$

Задача №16

Плоская световая волна переходит из глицерина в воздух (см. рисунок).



Что происходит при этом переходе со скоростью распространения световой волны и с длиной волны?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины.

Цифры в ответе могут повторяться.

Скорость распространения волны	Длина волны
1	1

Решение:

При переходе из одной среды в другую частота света остается неизменной, при этом изменяется скорость и длина волны.

При этом длина волны определяется формулой:

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

где ν – частота, v – скорость распространения волны.

Задача №17 Даны следующие величины: W – мощность тока на резисторе, I – сила тока через резистор, U – напряжение на резисторе. Определите формулы, которые можно использовать для расчётов физических величин и физические величины, по которым можно их рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры.

ФОРМУЛЫ ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) $\frac{W}{I}$	1)напряжение на резисторе
Б) UIR_1	2)сопротивление резистора
	3)мощность тока в резисторе
	4)сила тока через резистор

Решение

Мощность тока равна

$$W = UI$$

Напряжение на резисторе

$$U = \frac{W}{I}$$

Задача №19 Закон радиоактивного распада ядер некоторого изотопа имеет вид: $N = N_0 \cdot 2^{-\lambda t}$, где $\lambda = 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. Каков период полураспада ядер? Ответ дайте в с.

Решение

По закону Радиоактивного распада:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}},$$

где N – количество оставшихся ядер, N_0 – начальное количество ядер, t – время распада, T – период полураспада.

Так как $1/T = \lambda$, то

$$T = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{10^{-3} \text{ с}^{-1}} = 1000 \text{ с}$$

Задача 19

Ядро претерпевает электронный β -распад. Как изменятся следующие физические величины: массовое число и ядра и число протонов в ядре?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

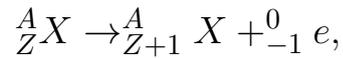
Запишите в ответ выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Массовое число	Число протонов
3	1

Ответ: 22.

Решение:

При электронном β -распаде испускается электрон с зарядом -1 и массой 0 . Электронный β -распад



значит массовое число не изменяется, а зарядовое увеличивается на 1 . Зарядовое число это число протонов.

Задача №23

Необходимо собрать экспериментальную установку, с помощью которой можно определить коэффициент трения скольжения алюминия по дереву. Для этого школьник взял деревянную рейку и прикрепил к столу. Какие два предмета из приведённого ниже перечня оборудования необходимо дополнительно использовать для проведения этого эксперимента?

- 1) Линейка
- 2) Мензурка
- 3) Динамометр
- 4) Алюминиевый брусок
- 5) Пластмассовая рейка

В ответ запишите номера выбранных предметов.

Ответ: 34.

Решение:

Для определения коэффициента трения скольжения алюминия по дереву кроме деревянной рейки необходимы алюминиевый брусок (4) и динамометр (3). Рейка нужна, чтобы была деревянная поверхность. С помощью динамометра, прикладывая горизонтальное усилие, брусок равномерно перемещается по рейке. В этом процессе динамометр показывает силу трения скольжения. Затем брусок подвешивается вертикально на динамометре, тот показывает вес бруска. Отношение силы трения к весу равно коэффициенту трения скольжения.

Задача 23.1 Необходимо собрать экспериментальную установку, с помощью которой можно определить жёсткость пружины. Для этого школьник взял штатив с лапкой и пружину. Какие два предмета из приведённого ниже перечня оборудования необходимо дополнительно использовать для проведения этого эксперимента?

- 1) секундомер
- 2) линейка
- 3) мензурка
- 4) динамометр
- 5) стакан с водой

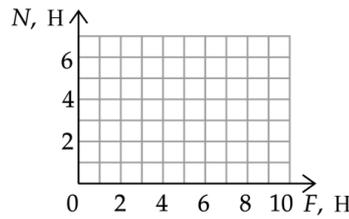
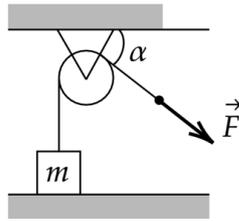
В ответе запишите номера выбранных предметов.

Решение

Для определения жёсткости необходимо знать силу растяжения (динамометр) и длину растяжения (линейка), то есть 2 и 4.

Задача №24

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

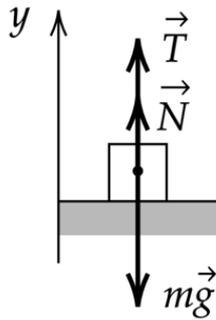


Рис. 1

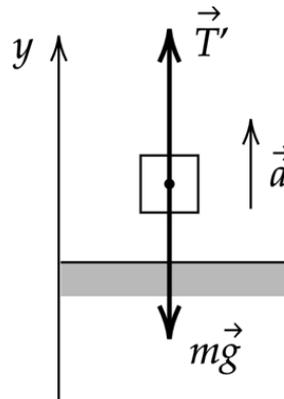


Рис. 2

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.

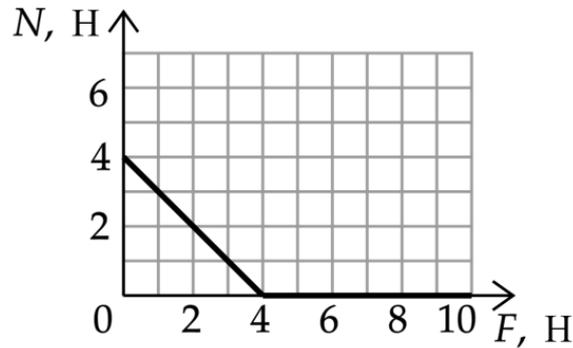
2. При $F > mg = 4$ Н груз отрывается от стола и движется вдоль оси y с ускорением.

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 $F \leq mg = 4 \text{ Н}$ $N = mg - F$;

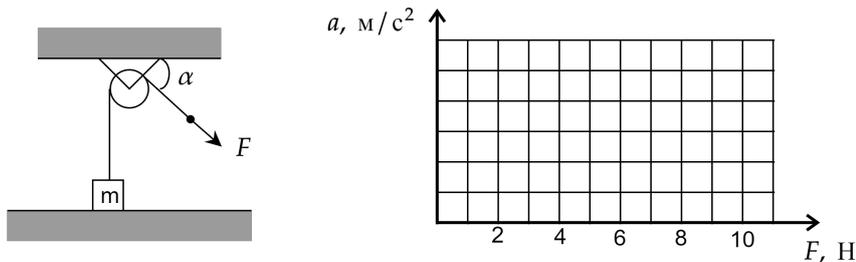
б) при $F > mg = 4 \text{ Н}$ $N = 0$

3. График этой зависимости представляет собой ломаную линию.



Задача №24

Лёгкая нить, привязанная к грузу массой $m = 0,4 \text{ кг}$, 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 ускорения груза от F на отрезке $0 \leq F \leq 10 \text{ Н}$. 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 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:

$$N + T - mg = 0$$

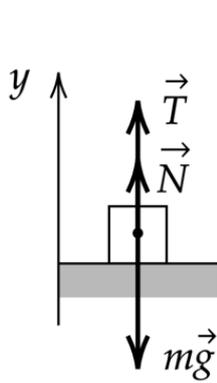


Рис. 1

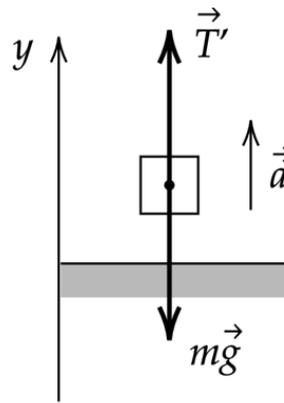


Рис. 2

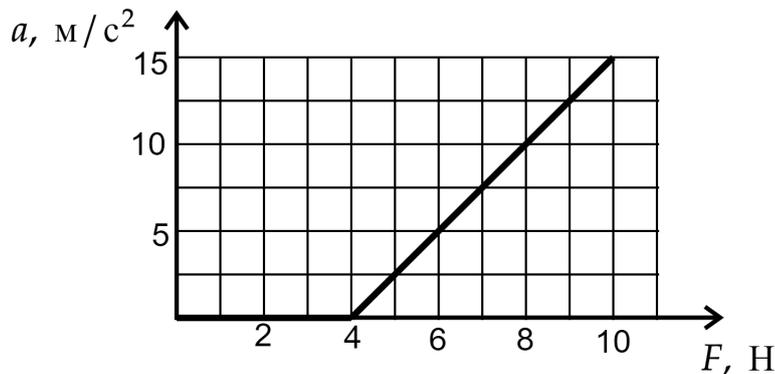
Поскольку нить лёгкая, а блок идеальный, модуль силы натяжения нити во всех точках одинаков, поэтому $T = F$.

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

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

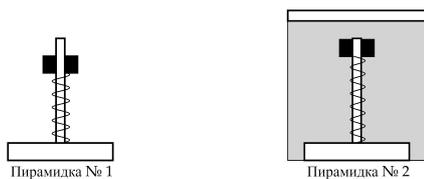
3. График этой зависимости представляет собой ломаную линию.



Задача 24

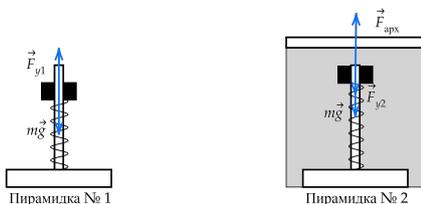
Два деревянных кольца детских пирамидок № 1 и № 2, способных без трения скользить по оси, соединили с основаниями двумя одинаковыми лёгкими пружинками (см. рисунок). Пирамидку № 2 поместили в прочный сосуд с водой, прикрепив основание к его дну. Обе пирамидки покоятся относительно Земли. Как изменится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

нием 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 ρgV , а сила Архимеда $\rho_0 gV$. 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 №25

В калориметр с водой температуры $t_o = 15^\circ C$ и массой 400 г бросают лед массой 50 г при температуре $t = 0^\circ C$. 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 25.1

К потолку лифта прикреплена пружина жесткостью 100 Н/м, к пружине прикрепили груз некоторой массы. Лифт начинает движение вниз с ускорением $2,5 \text{ м/с}^2$. 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 будет уменьшаться ускорение свободного падения на ускорение груза $g' = g - a$. Значит, масса груза равна

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

Задача №26 (пока не уверены)

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 решёткой?

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 26.1 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

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

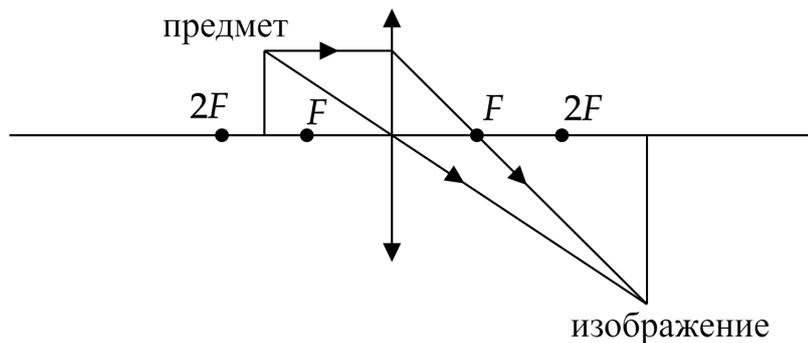
Задача 26.2 Предмет находится на расстоянии 25 см от тонкой собирающей линзы с оптической силой 5 дптр. На каком расстоянии от линзы находится изображение предмета? Постройте изображение предмета в линзе

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 26.3 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 расстоянии 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 26.4 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

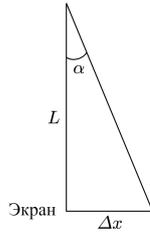
$$f = kd = 2 \cdot 30 \text{ см} = 60 \text{ см}$$

Отсюда искомая величина:

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

Задача 26.5 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 $\lambda = 0,4$ мкм. Какого порядка максимум в спектре будет наблюдаться на экране на расстоянии 3 см от центра дифракционной картины?

Решение



Из рисунка тангенс α равен:

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

Так как $\sin \alpha \approx \operatorname{tg}\alpha$, 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 26.6 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:

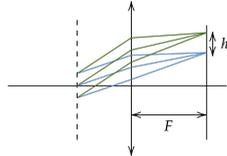
$$m_{max} = \frac{d \cdot \nu}{c} = \frac{1 \text{ мм} \cdot 5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}}{500 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}} = 3,3$$

То есть максимум 3.

Задача 26.7 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 углов ($\varphi \ll 1$ 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

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

Так как углы малы, то $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$. 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:

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

Задача №27

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 груза в проекции на вертикальную ось, с учетом того, что поршень покоится

$$\begin{cases} Mg + p_0 S - p_1 S = 0 & (1) \\ Mg + p_0 S - p_2 S + mg = 0. & (2) \end{cases}$$

Также запишем уравнение Менделеева-Клапейрона

$$p_1 V_1 = \nu RT, \quad (3)$$

$$p_2 V_2 = \nu RT, \quad (4)$$

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

$$p_1H = p_2h. \quad (6)$$

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

$$Mg + p_0S - p_1S = (M + m)g + p_0S - p_2S \Rightarrow (p_2 - p_1)S = mg.$$

С учётом (6)

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

Подставим в (2)

$$(M + m)g + p_0S = p_2S \Rightarrow (M + m)g + p_0S = \frac{mgH}{H - h} \Rightarrow$$
$$S = \frac{mgH - MgH - mgh + (M + m)gh}{(H - h)p_0} = \frac{(M + m)gh - MgH}{(H - h)p_0}$$

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 27.1

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

$$p_1 = \frac{m_1RT}{M_1V} \quad p_2 = \frac{m_2RT}{M_2V}, \quad (2)$$

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

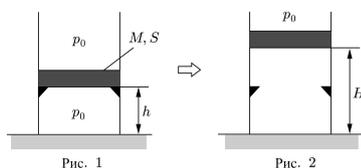
$$m_1 = m - m_2, \quad (3)$$

где m – масса влажного воздуха.

Объединим (1), (2), (3) и выразим V

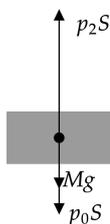
$$V = \frac{RT(M_2(m - m_2) + M_1m_2)}{pM_1M_2} = \frac{8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль}) \cdot (90 + 273) \text{ К} (18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} (0,04 \text{ кг} - m_2) + M_1m_2)}{2 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} \cdot 28,97 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}}$$

Задача 27.2 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



Решение

Расставим силы, действующие на поршень в процессе движения



Здесь p_2 – давление газа.

До момента, пока

$$p_2 S < p_0 S + Mg$$

поршень будет покоится, давление газа увеличиваться. При достижении равновесия

$$p_2 S = p_0 S + Mg$$

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:

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

Здесь ΔV – изменение объёма газа.

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

$$\begin{cases} p_0 V_0 = \nu RT_2 \\ p_2 V = \nu RT_0, \end{cases}$$

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

Вычтем и получим:

$$p_2 SH - p_0 Sh = \nu R \Delta T \Leftrightarrow (p_0 S + Mg)H - p_0 Sh = \nu R \Delta T.$$

Тогда изменение внутренней энергии газа равно:

$$\Delta U = \frac{3}{2}(p_0 SH + MgH - p_0 Sh). \quad (3)$$

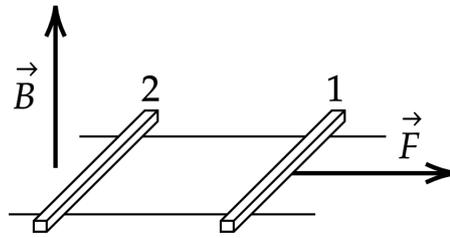
Тогда искомая величина Q равна:

$$Q = \frac{3}{2}p_0 SH + \frac{3}{2}MgH - \frac{3}{2}p_0 Sh + p_0 SH - p_0 sh + MgH - Mgh$$

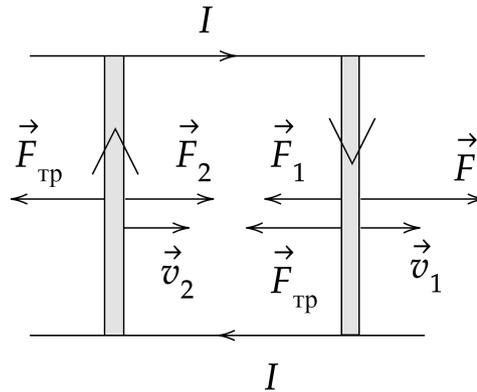
$$Q = \frac{5}{2}p_0 sH + \frac{5}{2}MgH - \frac{5}{2}p_0 hS - Mgh$$

Задача №28

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 $E = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -Blv_{\text{отн}}$.

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

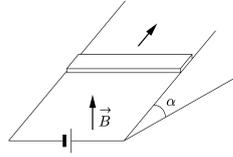
$$I = \frac{|E|}{2R} = \frac{Blv_{\text{отн}}}{2R}$$

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 $\frac{(Bl)^2 v_{\text{отн}}}{2R} = \mu mg$. 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 28.1 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/с² вверх по наклонной плоскости, образующей угол $\alpha = 30^\circ$ 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 $\beta = 90^\circ$ – угол между направлением движения тока и вектором магнитной индукции.

Тогда

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

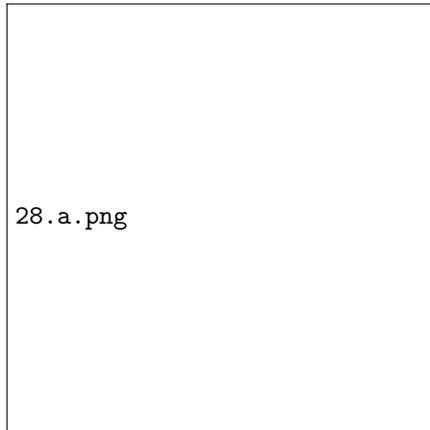
Отсюда искомая величина

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

Задача 28.2

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 · м. Длина стороны

рамки $l = 10$ см; площадь поперечного сечения провода $S_0 = 2$ мм². 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 \mathcal{E} в соответствии с законом индукции Фарадея:

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

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

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

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

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 №29

На идеальное зеркало перпендикулярно ему падают лучи монохроматического све-

та. 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 29.1

Лазер испускает световой импульс с энергией $W = 12$ Дж. Свет от лазера падает перпендикулярно на плоское зеркало площадью $S = 10$ см². Определите длительность импульса τ , если среднее давление света на зеркало равно $p = 1$ кПа.

Решение

При зеркальном отражении света, происходит изменение направления светового пуч-

ка, 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 29.2

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

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

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

Задача 29.3

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

Решение

Пусть $t = 1,5 \text{ ч} = 5400 \text{ с}$. 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, $\Delta t = 16\text{К}$ – изменение температуры контейнера.

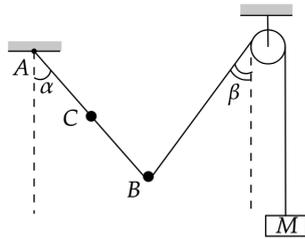
$$Q = Q'$$

$$AEt = cm\Delta t$$

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

Задача №30

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

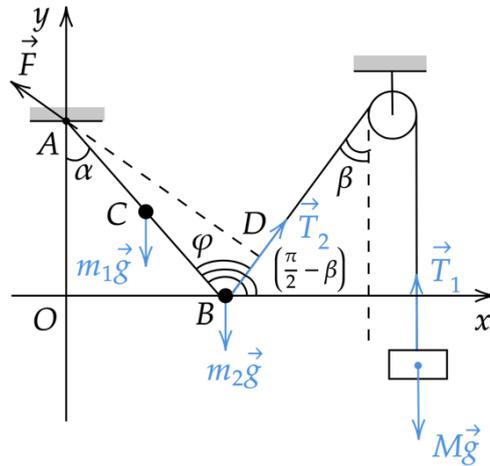


Обоснование

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: (см. следующий лист)



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 $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$. Кроме того, на стержень действует сила \vec{F} со стороны шарнира. Запишем условие равенства нулю суммы моментов этих сил относительно оси вращения, проходящей через точку A - точку шарнирного закрепления стержня:

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

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

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

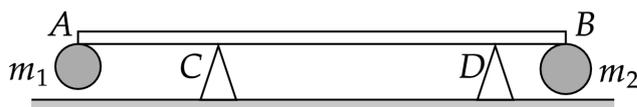
получим:

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

Ответ: $l \approx 68,3$ см.

Задача 30.1 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 C и 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».

Источник: Демонстрационная версия ЕГЭ – 2020 по физике.



Ответ

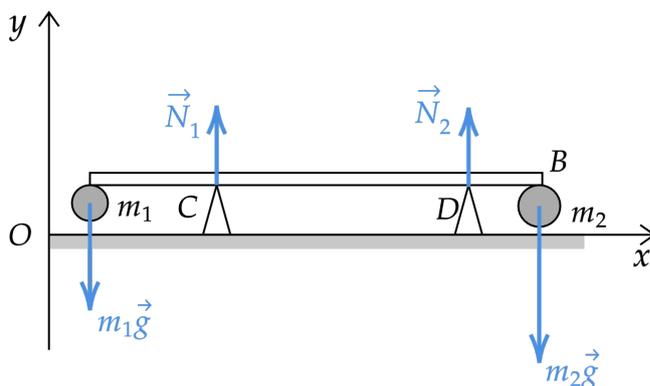
1

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 твёрдого тела - его форма и размеры неизменны, расстояние между любыми двумя точками остаются неизменным. 3. Движение твёрдого тела можно описать совокупностью движений - поступательного и вращательного. Поэтому для равновесия твёрдого 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 твёрдое тело, образованное двумя шарами и стержнем действуют силы тяжести



первого и второго шаров m_1g и 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

А.

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

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

$$\begin{cases} 3N_1 = g(m_1 + m_2) \\ N_1x + 2N_1(l + x) = m_2gL \end{cases}$$

Поделим второе уравнение на первое

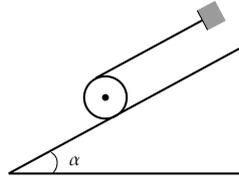
$$x + \frac{2l}{3} = L \frac{m_2}{m_1 + m_2}$$

Отсюда длина стержня

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

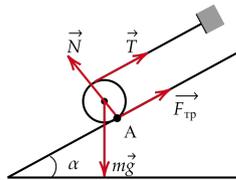
Задача 30.2

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.



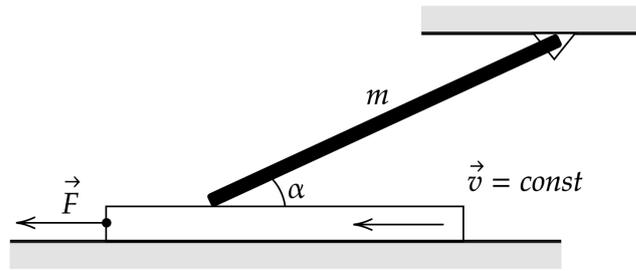
Здесь mg – сила тяжести, N – сила реакции опоры, T – сила натяжения нити, $F_{\text{тр}}$ – сила трения.

Запишем правило моментов относительно точки A :

$$mg \sin(90 - \alpha) \cdot R - T \cdot 2R = 0 \Rightarrow T = \frac{mg \sin(90 - \alpha)}{2} = \frac{3 \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг} \cdot \sqrt{3}/2}{2}$$

Задача 30.3

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 $\alpha = 30^\circ$. 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 пренебrecь. 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 стержнем.

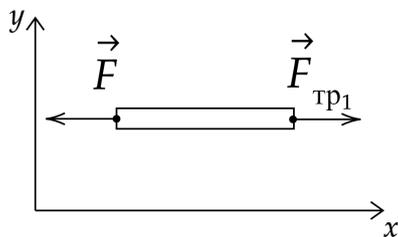


Рис. а

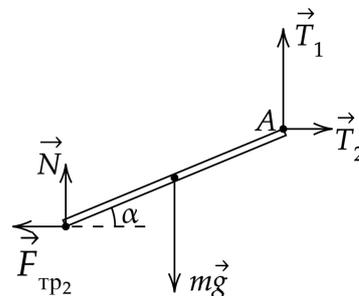


Рис. б

1. В инерциальной системе отсчёта, связанной с Землёй, доска движется поступательно с постоянной скоростью. Поэтому сумма проекций на ось x 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: $F = F_{\text{тр}2} = \mu N = \frac{\mu mg}{2(1 + \mu \operatorname{tg} \alpha)}$

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