Государственное автономное учреждение
дополнительного профессионального образования
«Смоленский областной институт развития образования»
(ГАУ ДПО СОИРО)

Центр непрерывного повышения профессионального мастерства
педагогических работников

ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ МАРАФОН МАСТЕР-КЛАССОВ ПО РЕШЕНИЮ ТРУДНЫХ ЗАДАНИЙ ГИА

Решение трудных заданий ЕГЭ по физике

ПОДГОТОВИЛА:

***ГАЙЖУТЕНЕ Елена Ионасовна*,**

региональный методист,

учитель физики МБОУ «СШ № 33»

города Смоленска

24 марта 2025

Изменения в КИМ ЕГЭ 2024 по физике

Изменения в структуре КИМ ЕГЭ по физике:

1. *Число заданий сокращено с **30** до **26**.*
2. Из первой части работы было удалено интегрированное задание на распознавание графических зависимостей.
3. *Из первой части удалены два задания на определение соответствия формул и физических величин по механике и электродинамике.*
4. Из второй части работы удалено одно из заданий высокого уровня сложности (расчётная задача).

Изменения в структуре работы привели и к изменению первичного балла с **54** до **45** баллов в 2024 г.

Изменения в объеме проверяемого материала:

1. *В механике криволинейного движения появилось понятие полного ускорения.*
2. В механике из кодификатора исключены: движение небесных тел, а также понятия и формулы для 1 и 2 космической скорости.
3. *В механике введен термин реактивного движения.*
4. Из кодификатора исключен раздел «Специальная теория относительности».
5. *Из раздела «Квантовая физика» исключены: волновые свойства частиц в квантах, длина волны Де-Бройля, дифракция электронов на кристаллах, корпускулярно волновой дуализм природы.*
6. В разделе «Квантовая физика» появился пункт с упоминанием лазера.
7. *Из раздела «Квантовая физика» исключены: энергия связи нуклонов в ядре. Ядерные силы*.
8. Из раздела «Квантовая физика» исключен: дефект массы ядра

Типичные ошибки на ЕГЭ по физике

Математическая часть

- *Забывание единиц измерения*
- *Неправильное округление*
- *Проблемы с тригонометрией*
- *Путаница в формулировках*
- *Неправильное использование приставок*
- *Проблемы с решением систем уравнений*
- *Неправильное чтение графиков*

Физическая часть

- *Неправильный анализ физического процесса*
- *Неправильный выбор формулы*
- *Невнимательность при чтении задания*

Вторая часть экзамена

- *Неполнота ответа*
- *Отсутствие переноса ответа на бланк*
- *Отсутствие системы координат и обозначений в рисунке*
- *Отсутствие рисунка*

Изменения в КИМ ЕГЭ 2025 по физике

Структура КИМ ЕГЭ по физике в 2025 г. осталась без изменений.

Расширен спектр проверяемых элементов содержания в заданиях линий **2**, **4**, **8**, **16**, **21**, **22** и **26**.

Задание № 2

(применять при описании физических процессов и явлений величины и законы, *базовый уровень сложности*, **1 первичный балл**):

- 1.2.4. Второй закон Ньютона.
- 1.2.6. Закон всемирного тяготения. Сила тяжести, центр тяжести тела.
- 1.2.7. Сила упругости. Закон Гука.
- 1.2.8. Сила трения (сухое, скольжение, покоя). Коэффициент трения.

2 У поверхности Луны на космонавта действует сила тяготения 120 Н. Какая сила тяготения действует со стороны Луны на того же космонавта в космическом корабле, движущемся по круговой орбите вокруг Луны на расстоянии двух лунных радиусов от её центра?

Ответ: _____ Н.

2 Модуль сил гравитационного притяжения между двумя шарами, находящимися на расстоянии 4 м друг от друга, равен 16 нН. Каков будет модуль сил притяжения между ними, если расстояние уменьшить до 2 м?

Ответ: _____ нН.

2 Два маленьких шарика массой m каждый находятся на расстоянии r друг от друга и притягиваются друг к другу с силой 8 нН. Каков модуль сил гравитационного притяжения друг к другу двух других шариков, если масса каждого из них равна $2m$, а расстояние между ними равно $\frac{r}{2}$?

Ответ: _____ нН.

2 Две планеты с одинаковыми массами обращаются по круговым орбитам вокруг звезды. Для первой из них сила притяжения к звезде в 36 раз меньше, чем для второй. Каково отношение $\frac{R_1}{R_2}$ радиусов орбит первой и второй планет?

Ответ: _____.

Задание № 4

(применять при описании физических процессов и явлений величины и законы, *базовый уровень сложности*, **1 первичный балл**):

- 1.3.1. Момент силы относительно оси вращения.
- 1.3.3. Условия равновесия твёрдого тела в ИСО
- 1.3.6. Закон Архимеда. Условия плавания тел.
- 1.5.2. Период и частота колебаний. Математический маятник. Пружинный маятник.
- 1.5.4. Поперечные и продольные волны. Интерференция и дифракция волн.
- 1.5.5. Звук. Скорость звука.

4 Какова скорость звуковых волн в среде, если при частоте 400 Гц длина волны $\lambda = 4$ м?

Ответ: _____ м/с.

4 Какова частота звуковых волн, если в среде длина волны составляет 3 м, а скорость распространения 1800 м/с?

Ответ: _____ Гц.

4 У входа в вертикальную шахту произведён выстрел. Через какое время после выстрела звук выстрела вернётся к стрелку, отразившись от дна шахты, если её глубина 85 м? Скорость звука в воздухе принять равной 340 м/с.

Ответ: _____ с.

Задание № 8

(применять при описании физических процессов и явлений величины и законы, *базовый уровень сложности*, **1 первичный балл**):

- 2.2.4. Количество теплоты. Удельная теплоемкость веществ.
- 2.2.5. Удельная теплота парообразования, плавления, сгорания топлива.
- 2.2.6. Элементарная работа в термодинамике. Вычисление работы по графику процесса на pV-диаграмме.
- 2.2.7. Первый закон термодинамики. Адиабата.
- 2.2.8. Второй закон термодинамики. Необратимые процессы.

В калориметр, в котором находилась вода массой 2 кг при температуре 0 °C, бросили 300 г льда при температуре −55 °C. Какая масса льда в граммах окажется в калориметре после установления теплового равновесия? (Удельная теплоемкость льда — 2100 Дж/(кг · °C), удельная теплота плавления льда — 330 кДж/кг.)

Задание № 16

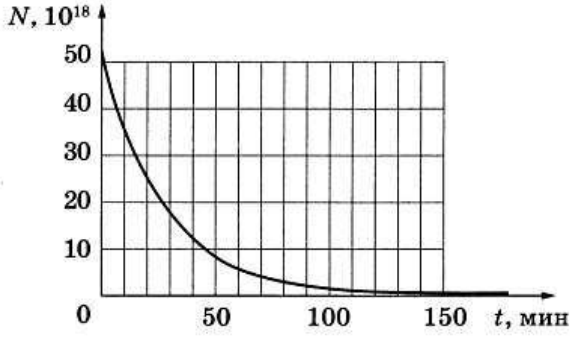
(применять при описании физических процессов и явлений величины и законы, *базовый уровень сложности*, **1 первичный балл**):

- 4.2.1. Планетарная модель атома.
- 4.3.1. Нуклонная модель ядра Гейзенберга – Иваненко. Заряд ядра. Массовое число ядра. Изотопы.
- 4.3.2. Радиоактивность. Альфа- и бета-распад. Электронный β-распад. Позитронный β-распад. Гамма-излучение.
- 4.3.3. Закон радиоактивного распада.
- 4.3.4. Ядерные реакции. Деление и синтез ядер.

16 Чему равен период полураспада изотопа магния $^{28}_{12}Mg$, если за 42 часа первоначальное большое число атомов этого изотопа уменьшается в 4 раза?

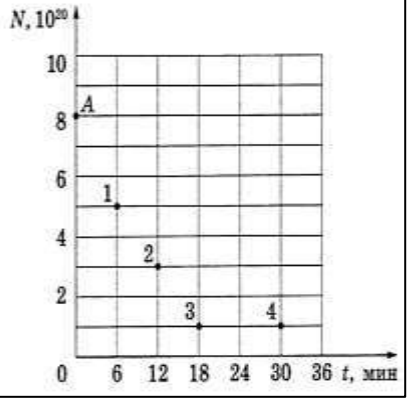
Ответ: _____ ч.

16 Дан график зависимости числа нераспавшихся ядер ртути $^{190}_{80}Hg$ от времени. Чему равен период полураспада этого изотопа ртути?



Ответ: _____ минут.

16 Ядра хрома $^{56}_{24}Cr$ испытывают β^--распад с периодом полураспада 6 мин. В момент начала наблюдения в образце содержится $8 \cdot 10^{20}$ ядер этого изотопа хрома. Через какую из точек (1, 2, 3 или 4), кроме точки *A*, пройдёт график зависимости от времени числа ещё не распавшихся ядер хрома?



Ответ: через точку _____.

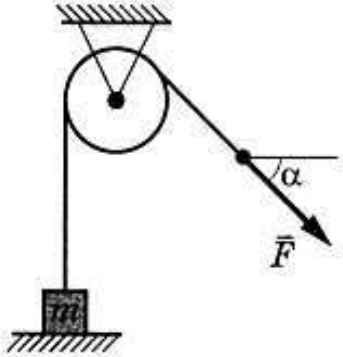
Задание № 21

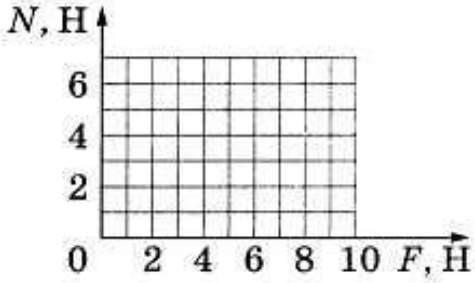
(решать качественные задачи, использующие типовые учебные ситуации с явно заданными физическими моделями, *продвинутый уровень сложности*, **3 первичных балла**):

- Механика.
- Молекулярная физика. Термодинамика.
- Электродинамика.

21 Лёгкая нить, привязанная к грузу массой $m = 0{,}6$ кг, перекинута через идеальный неподвижный блок. К правому концу нити приложена постоянная сила $\vec{F}$. Левая часть нити вертикальна, а правая наклонена под углом $\alpha = 45°$ к горизонту (см. рисунок).

Постройте график зависимости модуля силы реакции стола N от F на отрезке $0 \le F \le 10$ Н. Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности Вы использовали для объяснения.





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 рисунке *а*.

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 $F \leq mg = 6$ Н.

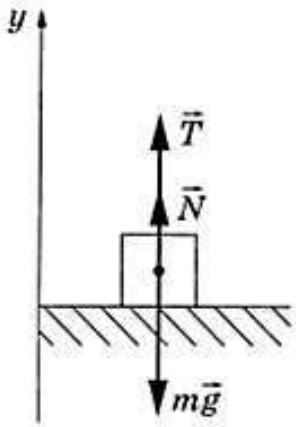


Рис. *а*

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 рисунке *а*.

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 $F \leq mg = 6$ Н.

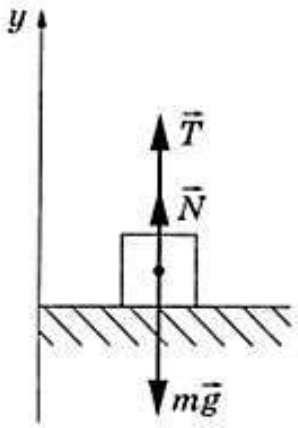


Рис. *а*

2. При $F > mg = 6$ 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 рисунке *б*, а модуль силы реакции стола $N = 0$.

Таким образом: а) при $F \leq mg = 6$ Н $N = mg - F$;
б) при $F > mg = 6$ Н $N = 0$.

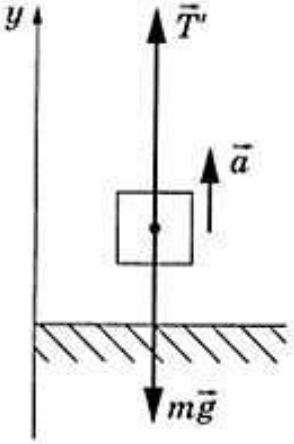


Рис. *б*

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 рисунке *а*.

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 $F \leq mg = 6$ Н.

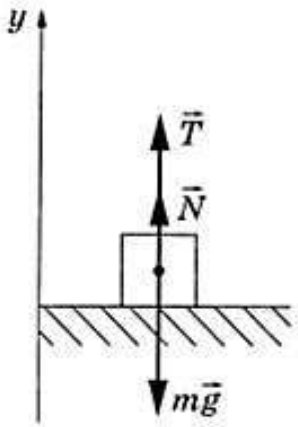


Рис. *а*

2. При $F > mg = 6$ 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 рисунке *б*, а модуль силы реакции стола $N = 0$.

Таким образом: а) при $F \leq mg = 6$ Н $N = mg - F$;
б) при $F > mg = 6$ Н $N = 0$.

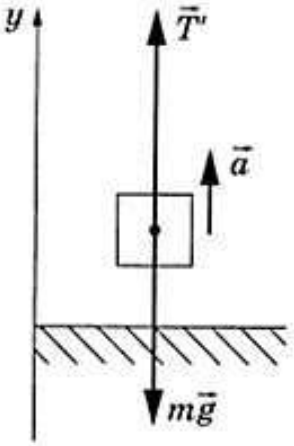
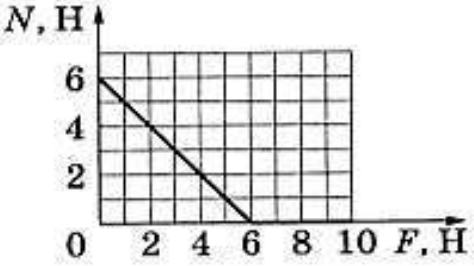


Рис. *б*

3. График этой зависимости представляет собой ломаную линию.



Задание № 22

(решать расчетные задачи с явно заданной физической моделью с использованием законов и формул из одного раздела курса физики, *продвинутый уровень сложности*, **2 первичных балла**):

- Механика.
- Молекулярная физика. Термодинамика.

22 Кусок льда опустили в термос с водой. Начальная температура льда равна 0 °C, начальная температура воды равна 15 °C. Исходная масса воды 1100 г. Теплоёмкостью термоса можно пренебречь. При достижении теплового равновесия в воде остаётся плавать кусочек льда. Какая масса льда растаяла в процессе перехода к тепловому равновесию?

В кастрюлю положили кусок льда массой m = 1,5 кг с температурой t_0 = 0 °C и поставили ее на газовую горелку плиты. Когда лед полностью расплавился, оказалось, что по счетчику был израсходован объем газа (метана CH_4 с молярной массой 16 г/моль) V = 35 л. Найдите, сколько процентов составляли потери количества теплоты, полученного от сгорания газа. Давление газа считайте близким к нормальному атмосферному, температура газа T = 295 К, удельная теплота сгорания метана равна q = 50,1 МДж/кг.

22 Кусок льда опустили в термос с водой. Начальная температура льда равна 0 °C, начальная температура воды равна 15 °C. Исходная масса воды 1100 г. Теплоёмкостью термоса можно пренебречь. При достижении теплового равновесия в воде остаётся плавать кусочек льда. Какая масса льда растаяла в процессе перехода к тепловому равновесию?

1. Так как после достижения теплового равновесия в воде всё ещё плавает лёд, то это означает, что конечная температура, установившаяся в калориметре, 0 °C.

22 Кусок льда опустили в термос с водой. Начальная температура льда равна 0 °C, начальная температура воды равна 15 °C. Исходная масса воды 1100 г. Теплоёмкостью термоса можно пренебречь. При достижении теплового равновесия в воде остаётся плавать кусочек льда. Какая масса льда растаяла в процессе перехода к тепловому равновесию?

1. Так как после достижения теплового равновесия в воде всё ещё плавает лёд, то это означает, что конечная температура, установившаяся в калориметре, 0 °C.

2. Так как потери по условию отсутствуют, то всё количество теплоты, отданное водой при охлаждении от 15 до 0 °C, пошло на плавление льда, имевшего температуру плавления. Запишем уравнение теплового баланса:

$$|Q_{отд}| = |Q_{пол}|, \text{ или } cm_{вод}(t_{гор} - t_{хол}) = \lambda m_{лёд}, \text{ откуда } m_{лёд} = \frac{cm_{вод}(t_{гор} - t_{хол})}{\lambda}, \qquad (1)$$

где c и $m_{вод}$ — удельная теплоёмкость и масса воды соответственно, λ и $m_{лёд}$ — удельная теплота плавления и масса растаявшего льда, $t_{гор}$ и $t_{хол}$ — начальная и конечная температура воды.

22 Кусок льда опустили в термос с водой. Начальная температура льда равна 0 °С, начальная температура воды равна 15 °С. Исходная масса воды 1100 г. Теплоёмкостью термоса можно пренебречь. При достижении теплового равновесия в воде остаётся плавать кусочек льда. Какая масса льда растаяла в процессе перехода к тепловому равновесию?

1. Так как после достижения теплового равновесия в воде всё ещё плавает лёд, то это означает, что конечная температура, установившаяся в калориметре, 0 °С.

2. Так как потери по условию отсутствуют, то всё количество теплоты, отданное водой при охлаждении от 15 до 0 °С, пошло на плавление льда, имевшего температуру плавления. Запишем уравнение теплового баланса:

$$|Q_{отд}| = |Q_{пол}|, \text{ или } cm_{вод}(t_{гор} - t_{хол}) = \lambda m_{лёд}, \text{ откуда } m_{лёд} = \frac{cm_{вод}(t_{гор} - t_{хол})}{\lambda}, \qquad (1)$$

где c и $m_{вод}$ — удельная теплоёмкость и масса воды соответственно, λ и $m_{лёд}$ — удельная теплота плавления и масса растаявшего льда, $t_{гор}$ и $t_{хол}$ — начальная и конечная температура воды.

3. Подставив числовые значения в (1), получим искомую величину:

$$m_{лёд} = \frac{4{,}2 \cdot 10^3 \cdot 1{,}1 \cdot (15 - 0)}{330 \cdot 10^3} = 0{,}21 \text{ кг} = 210 \text{ г}.$$

Ответ: $m_{лёд} = 210$ г.

В кастрюлю положили кусок льда массой m = 1,5 кг с температурой t_0 = 0 °C и поставили ее на газовую горелку плиты. Когда лед полностью расплавился, оказалось, что по счетчику был израсходован объем газа (метана CH_4 с молярной массой 16 г/моль) V = 35 л. Найдите, сколько процентов составляли потери количества теплоты, полученного от сгорания газа. Давление газа считайте близким к нормальному атмосферному, температура газа T = 295 К, удельная теплота сгорания метана равна q = 50,1 МДж/кг.

Решение.

1. Для плавления льда необходимо количество теплоты, равное $m\lambda = 1,5 \cdot 3,3 \cdot 10^5$ Дж $= 495$ кДж.

В кастрюлю положили кусок льда массой m = 1,5 кг с температурой t_0 = 0 °C и поставили ее на газовую горелку плиты. Когда лед полностью расплавился, оказалось, что по счетчику был израсходован объем газа (метана CH_4 с молярной массой 16 г/моль) V = 35 л. Найдите, сколько процентов составляли потери количества теплоты, полученного от сгорания газа. Давление газа считайте близким к нормальному атмосферному, температура газа T = 295 К, удельная теплота сгорания метана равна q = 50,1 МДж/кг.

Решение.

1. Для плавления льда необходимо количество теплоты, равное $m\lambda = 1,5 \cdot 3,3 \cdot 10^5$ Дж $= 495$ кДж.
2. Согласно уравнению Клапейрона-Менделеева, масса сгоревшего газа равна

$$M = \frac{\mu p V}{RT} = \frac{16 \cdot 35 \cdot 10^{-3+5-3}}{8,31 \cdot 295} \approx 0,022844 \text{ кг},$$

а выделившееся при этом количество теплоты

$$Q = Mq \approx 50,1 \cdot 10^6 \cdot 0,022844 \approx 1144 \text{ кДж}.$$

В кастрюлю положили кусок льда массой m = 1,5 кг с температурой t_0 = 0 °C и поставили ее на газовую горелку плиты. Когда лед полностью расплавился, оказалось, что по счетчику был израсходован объем газа (метана CH_4 с молярной массой 16 г/моль) V = 35 л. Найдите, сколько процентов составляли потери количества теплоты, полученного от сгорания газа. Давление газа считайте близким к нормальному атмосферному, температура газа T = 295 К, удельная теплота сгорания метана равна q = 50,1 МДж/кг.

Решение.

1. Для плавления льда необходимо количество теплоты, равное $m\lambda = 1,5 \cdot 3,3 \cdot 10^5$ Дж $= 495$ кДж.
2. Согласно уравнению Клапейрона-Менделеева, масса сгоревшего газа равна

$$M = \frac{\mu p V}{RT} = \frac{16 \cdot 35 \cdot 10^{-3+5-3}}{8,31 \cdot 295} \approx 0,022844 \text{ кг},$$

а выделившееся при этом количество теплоты

$$Q = Mq \approx 50,1 \cdot 10^6 \cdot 0,022844 \approx 1144 \text{ кДж}.$$

3. Уравнение теплового баланса имеет вид: $Q = m\lambda + Q_{\text{потерь}}$, откуда

$$Q_{\text{потерь}} = Q - m\lambda \approx 1144 - 495 \approx 649 \text{ кДж},$$

что составляет примерно $\dfrac{Q_{\text{потерь}}}{Q} \approx \dfrac{649}{1144} \approx 0,5675 \approx 57\%$.

Ответ: $\dfrac{Q_{\text{потерь}}}{Q} \approx 57\%$.

Задание № 26

(решать расчетные задачи с использованием законов и формул из одного-двух разделов курса физики, обосновывая выбор физической модели для решения задачи,

высокий уровень сложности, **4 первичных балла**):

- Кинематика.
- Динамика.
- Статика.
- Законы сохранения в механике.

1. Система отсчета.

Снаряд массой 4 кг, летящий со скоростью 400 м/с, разрывается на две равные части, одна из которых летит в направлении движения снаряда, а другая – в противоположную сторону. В момент разрыва суммарная кинетическая энергия осколков увеличивается на 0,5 МДж. Найдите скорость осколка, летящего по направлению движения снаряда. Сопротивлением воздуха пренебречь. ***Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.***

Возможное решение

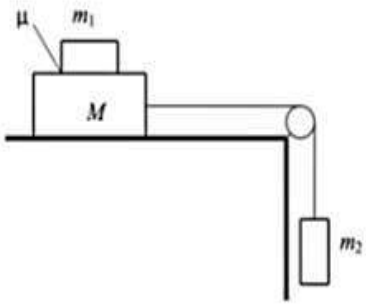
Обоснование

1. Введём инерциальную систему отсчёта, связанную с Землёй, и направим ось Ox системы координат в направлении начальной скорости движения снаряда.
2. При описании движения снаряда и осколков используем модель материальной точки.
3. Для описания разрыва снаряда использован закон сохранения импульса системы тел. Он выполняется в инерциальной системе отсчёта, если сумма внешних сил, приложенных к телам системы, равна нулю. В данном случае из-за отсутствия сопротивления воздуха внешней силой является только сила тяжести $m\vec{g}$, которая не равна нулю. Но этим можно пренебречь, считая время разрыва снаряда малым. За малое время разрыва импульс каждого из осколков меняется на конечную величину за счёт больших внутренних сил, разрывающих снаряд при взрыве. По сравнению с этими большими силами конечная сила тяжести пренебрежимо мала.
4. Так как время разрыва снаряда считаем малым, то можно пренебречь и изменением потенциальной энергии снаряда и его осколков в поле тяжести в процессе разрыва.

Решение

Важно, чтобы СО оказалась инерциальной!

Система грузов M, m_1 и m_2, показанная на рисунке, движется из состояния покоя. Поверхность стола горизонтальная гладкая. Коэффициент трения между грузами M и m_1 $\mu = 0{,}2$. Грузы M и m_2 связаны лёгкой нерастяжимой нитью, которая скользит по блоку без трения. Пусть $M = 1{,}2$ кг, $m_1 = m_2 = m$. При каких значениях m грузы M и m_1 движутся как одно целое?

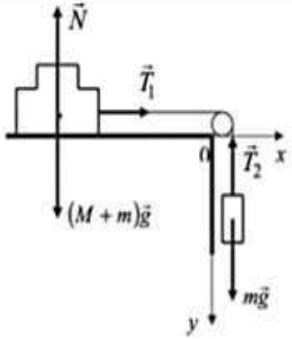


Какие законы Вы использовали для описания движения системы грузов? Обоснуйте их применимость к данному случаю. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на тела.

Возможное решение

Обоснование

Будем считать систему отсчёта, связанную со столом, инерциальной. Пока грузы M и m_1 движутся как одно целое, их можно считать одним твёрдым телом $M + m$ сложной формы. Это тело движется поступательно, как и груз m_2, поэтому можно использовать второй закон Ньютона для модели материальной точки.



На рисунке показаны внешние силы, действующие на это тело и на груз m_2.

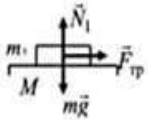
Так как нить лёгкая и скользит по блоку без трения, то можно считать

$$T_1 = T_2 = T. \qquad (1)$$

Так как нить нерастяжима, то ускорения тел

$$a_1 = a_2 = a. \qquad (2)$$

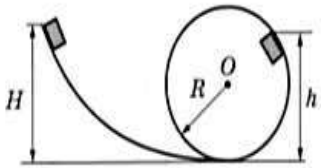
Груз m_1 покоится относительно груза M. Силы, действующие на этот груз, показаны на рисунке.



Так как на груз действует сила трения покоя, то она удовлетворяет условию $F < \mu N_1$.

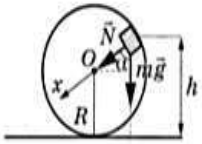
2. Модель движущегося тела. Материальная точка (1/4)

Небольшой кубик массой $m = 1{,}5$ кг начинает скользить с нулевой начальной скоростью по гладкой горке, переходящей в «мёртвую петлю» радиусом $R = 1{,}5$ м (см. рисунок). С какой высоты H был отпущен кубик, если на высоте $h = 2$ м от нижней точки петли сила давления кубика на стенку петли $F = 4$ Н? Сделайте рисунок с указанием сил, поясняющий решение. Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.



Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Кубик m имеет малые размеры по сравнению с радиусом «мёртвой петли», поэтому описываем кубик моделью материальной точки.



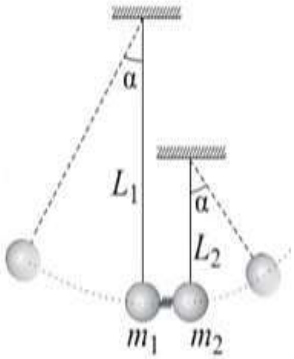
3. В ИСО изменение механической энергии тела равно работе всех приложенных к телу непотенциальных сил. При движении кубика по горке и «мёртвой петле» на кубик действуют потенциальная сила тяжести и сила реакции опоры $\vec{N}$, перпендикулярная траектории кубика в каждой её точке (трения нет, так как поверхность гладкая). Поэтому работа силы $\vec{N}$ при движении кубика по горке и «мёртвой петле» равна нулю. Следовательно, механическая энергия кубика при его движении сохраняется.
4. Из пп. 1 и 2 следует, что расчёт силы давления $\vec{N}$ стенки «мёртвой петли» на кубик опирается на второй закон Ньютона.
5. Искомая сила давления $\vec{F}$ кубика на стенку «мёртвой петли» связана с силой $\vec{N}$ третьим законом Ньютона: $\vec{F} = -\vec{N}$.

Нужно обосновать выбор!

В представленных случаях размеры тела малы по сравнению с размерами других тел в задаче.

Два шарика подвешены на вертикальных тонких нитях так, что они находятся на одной высоте. Между шариками находится сжатая и связанная нитью пружина. При пережигании связывающей нити пружина распрямляется, расталкивает шарики и падает вниз.

В результате нити отклоняются в разные стороны на одинаковые углы. Во сколько раз одна нить длиннее другой, если отношение масс $\frac{m_2}{m_1} = 1{,}5$? Считать величину сжатия пружины во много раз меньше длин нитей.



Обоснуйте применимость законов, используемых при решении задачи.

Возможное решение

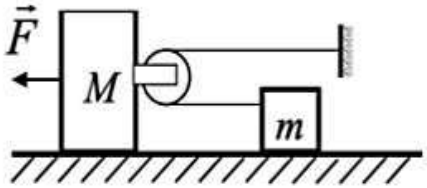
Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Шарики имеют малые размеры по сравнению с длиной нити, поэтому описываем их моделью материальной точки.
3. При пережигании нити пружина толкает оба шарика, действуя на шарики внутренней силой – силой упругости, все внешние силы, действующие на систему двух шариков, направлены вертикально (силы тяжести и натяжения нитей). Масса пружины во много раз меньше массы шариков, поэтому изменением импульса пружины можно пренебречь. Все вышеперечисленные причины не влияют на изменение горизонтальной проекции импульса системы шариков, следовательно, систему шариков в горизонтальном направлении можно считать замкнутой и возможно применение закона сохранения импульса.
4. В процессе движения каждого шарика на нити к верхней точке своей траектории на каждый из них действуют сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения нити $\vec{T}$.

Изменение механической энергии шариков в ИСО равно работе всех непотенциальных сил, приложенных к телу. В данной случае единственной такой силой является сила натяжения нити $\vec{T}$. В каждой точке траектории $\vec{T} \perp \vec{\upsilon}$, где $\vec{\upsilon}$ – скорость шарика, поэтому работа силы $\vec{T}$ равна нулю, а механическая энергия каждого шарика на этом участке его движения сохраняется.

2. Модель движущегося тела. Материальная точка (2/4)

К бруску массой $M = 2$ кг прикреплён лёгкий блок (см. рисунок), через него переброшена лёгкая нерастяжимая нить, один конец которой привязан к стене, а к другому прикреплено тело массой $m = 0{,}75$ кг. На брусок действует сила $F = 10$ Н. Определите ускорение бруска. Свободные куски нити горизонтальны и лежат в одной вертикальной плоскости, тела двигаются вдоль одной прямой. Массой блока и нити, а также трением пренебречь.



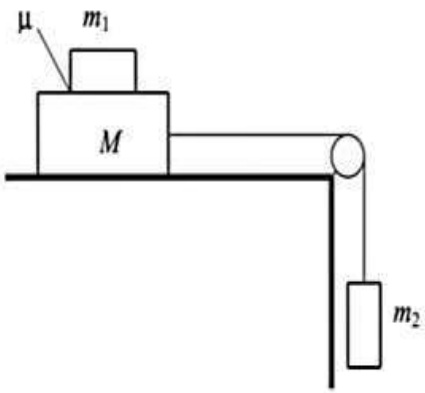
Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на тела. Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

Возможное решение
Обоснование 1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО). 2. Брусок и тело движутся поступательно, поэтому описываем их моделью материальной точки независимо от их размеров. 3. Из пп. 1 и 2 следует, что движение бруска и тела в ИСО описывается вторым законом Ньютона. 4. Нить невесома, блок идеален (масса блока ничтожна, трения нет), поэтому модуль силы натяжения нити в любой её точке один и тот же. 5. Нить нерастяжима, поэтому модули ускорений подвижного блока и тела m при их прямолинейном поступательном движении отличаются в 2 раза.

Тело движется поступательно.

2. Модель движущегося тела. Материальная точка (3/4)

Система грузов M, m_1 и m_2, показанная на рисунке, движется из состояния покоя. Поверхность стола горизонтальная гладкая. Коэффициент трения между грузами M и m_1 $\mu = 0{,}2$. Грузы M и m_2 связаны лёгкой нерастяжимой нитью, которая скользит по блоку без трения. Пусть $M = 1{,}2$ кг, $m_1 = m_2 = m$. При каких значениях m грузы M и m_1 движутся как одно целое?

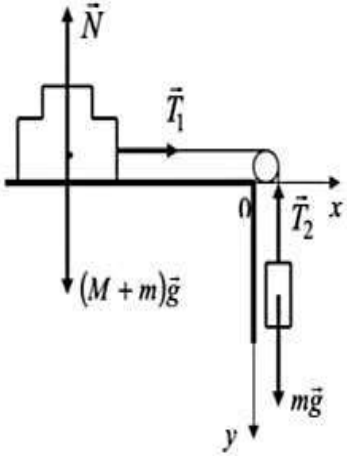


Какие законы Вы использовали для описания движения системы грузов? Обоснуйте их применимость к данному случаю. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на тела.

Возможное решение

Обоснование

Будем считать систему отсчёта, связанную со столом, инерциальной. Пока грузы M и m_1 движутся как одно целое, их можно считать одним твёрдым телом $M + m$ сложной формы. Это тело движется поступательно, как и груз m_2, поэтому можно использовать второй закон Ньютона для модели материальной точки.



На рисунке показаны внешние силы, действующие на это тело и на груз m_2.

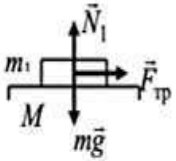
Так как нить лёгкая и скользит по блоку без трения, то можно считать

$$T_1 = T_2 = T. \qquad (1)$$

Так как нить нерастяжима, то ускорения тел

$$a_1 = a_2 = a. \qquad (2)$$

Груз m_1 покоится относительно груза M. Силы, действующие на этот груз, показаны на рисунке.



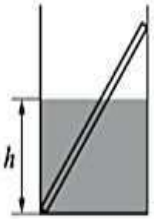
Так как на груз действует сила трения покоя, то она удовлетворяет условию $F < \mu N_1$.

Твердое тело, которое движется поступательно.

2. Модель движущегося тела. Твердое тело. (4/4)

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

Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.



Возможное решение
Обоснование

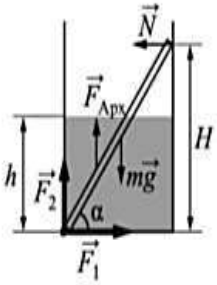
1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Описываем палочку моделью твёрдого тела (форма и размеры тела неизменны).
3. Поскольку палочка находится в покое относительно вращательного движения, сумма моментов внешних сил, действующих на неё, равна нулю относительно любой оси. Для удобства выберем ось, проходящую перпендикулярно плоскости рисунка через левый нижний конец палочки. Относительно этой оси сумма моментов внешних сил, действующих на палочку, равна нулю в равновесии.
4. Согласно третьему закону Ньютона силы, с которыми палочка и стакан взаимодействуют друг с другом, равны по модулю и направлены в противоположные стороны.

Решение

1. Высота конца палочки относительно дна стакана $H=\sqrt{l^2-4R^2}=\sqrt{0{,}1^2-4\cdot 0{,}04^2}=0{,}06$ м, где l – длина палочки, R – радиус стакана.
2. Модуль силы Архимеда

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

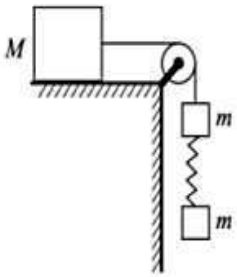
где V – объём палочки, ρ – её плотность, $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, m – масса палочки.



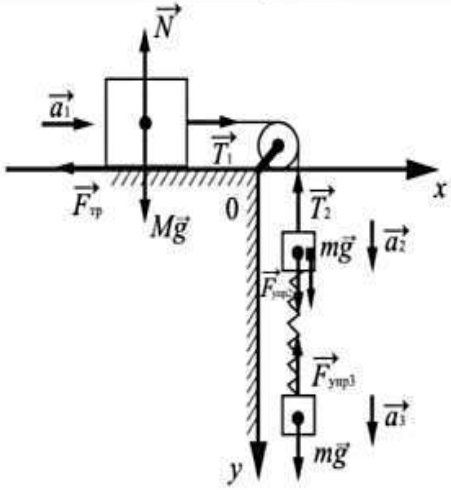
Отметить, что форма и размеры тела остаются неизменными.

3. Динамика (1/5).

Груз массой $M = 800$ г соединён невесомой и нерастяжимой нитью, перекинутой через гладкий невесомый блок, с бруском массой $m = 400$ г. К этому бруску на лёгкой пружине жёсткостью $k = 80$ Н/м подвешен второй такой же брусок. Длина нерастянутой пружины $l = 10$ см, коэффициент трения груза о поверхность стола $\mu = 0{,}2$. Определите длину пружины при движении брусков, считая, что при этом движении она постоянна. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на тела. ***Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.***



Возможное решение



Обоснование

Задачу будем решать в инерциальной системе отсчёта, связанной с поверхностью стола. Будем применять для грузов и бруска законы Ньютона, справедливые для материальных точек, поскольку тела движутся поступательно. Трением в оси блока и трением о воздух, а также массой блока пренебрежём.

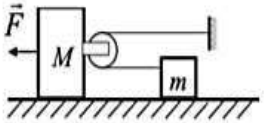
Так как нить нерастяжима и длина пружины постоянна, ускорения обоих брусков и груза равны по модулю:

$$|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = |\vec{a}_3| = a. \qquad (1)$$

Подчеркнуть, что движение тела в выбранной системе отсчета и для выбранной модели описывается законами Ньютона.

3. Динамика (2/5).

30 К бруску массой $M = 2$ кг прикреплён лёгкий блок (см. рисунок), через него переброшена лёгкая нерастяжимая нить, один конец которой привязан к стене, а к другому прикреплено тело массой $m = 0{,}75$ кг. На брусок действует сила $F = 10$ Н. Определите ускорение бруска. Свободные куски нити горизонтальны и лежат в одной вертикальной плоскости, тела двигаются вдоль одной прямой. Массой блока и нити, а также трением пренебречь.



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

Возможное решение

Обоснование

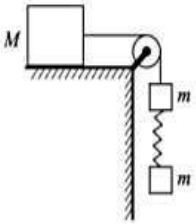
1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Брусок и тело движутся поступательно, поэтому описываем их моделью материальной точки независимо от их размеров.
3. Из пп. 1 и 2 следует, что движение бруска и тела в ИСО описывается вторым законом Ньютона.
4. Нить невесома, блок идеален (масса блока ничтожна, трения нет), поэтому модуль силы натяжения нити в любой её точке один и тот же.
5. Нить нерастяжима, поэтому модули ускорений подвижного блока и тела m при их прямолинейном поступательном движении отличаются в 2 раза.

В задачах с телами, связанными нитью, обосновать, почему модуль силы натяжения нити в любой ее точке одинаков (также и в задачах по статике): указать, что нить невесома.

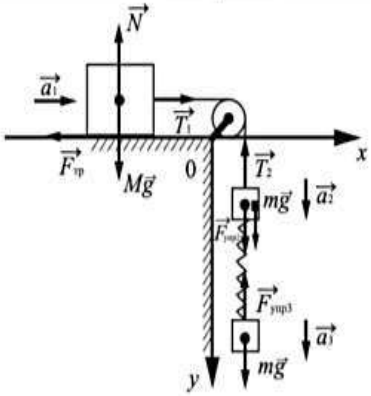
Если присутствует блок, отметить, что он идеален (масса блока пренебрежимо мала, трения нет).

Для пружины, обосновать, почему силы упругости на её концах одинаковы: пружина легкая

Груз массой $M = 800$ г соединён невесомой и нерастяжимой нитью, перекинутой через гладкий невесомый блок, с бруском массой $m = 400$ г. К этому бруску на лёгкой пружине жёсткостью $k = 80$ Н/м подвешен второй такой же брусок. Длина нерастянутой пружины $l = 10$ см, коэффициент трения груза о поверхность стола $\mu = 0{,}2$. Определите длину пружины при движении брусков, считая, что при этом движении она постоянна. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на тела. ***Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.***



Возможное решение



Обоснование

Задачу будем решать в инерциальной системе отсчёта, связанной с поверхностью стола. Будем применять для грузов и бруска законы Ньютона, справедливые для материальных точек, поскольку тела движутся поступательно. Трением в оси блока и трением о воздух, а также массой блока пренебрежём.

Так как нить нерастяжима и длина пружины постоянна, ускорения обоих брусков и груза равны по модулю:

$$|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = |\vec{a}_3| = a. \quad (1)$$

На рисунке показаны силы, действующие на бруски и груз.

Так как блок и нити невесомы, а трение отсутствует, то модули сил натяжения нити, действующих на груз и верхний брусок, одинаковы:

$$|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T. \quad (2)$$

Равны по модулю и силы $|\vec{F}_{упр2}| = |\vec{F}_{упр3}|$, (3)

так как пружина лёгкая.

Решение

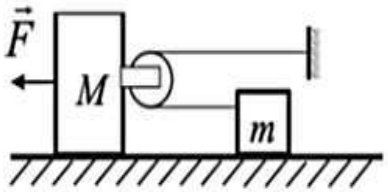
1. Запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси Ox и Oy выбранной системы координат. С учётом (1)–(3) получим:

$0x$: $Ma = T - F_{тр}$

$0y$: $N = Mg$, $ma = mg - T + F_{упр}$, $ma = mg - F_{упр}$.

3. Динамика (3/5).

К бруску массой $M = 2$ кг прикреплён лёгкий блок (см. рисунок), через него переброшена лёгкая нерастяжимая нить, один конец которой привязан к стене, а к другому прикреплено тело массой $m = 0{,}75$ кг. На брусок действует сила $F = 10$ Н. Определите ускорение бруска. Свободные куски нити горизонтальны и лежат в одной вертикальной плоскости, тела двигаются вдоль одной прямой. Массой блока и нити, а также трением пренебречь.



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

Возможное решение

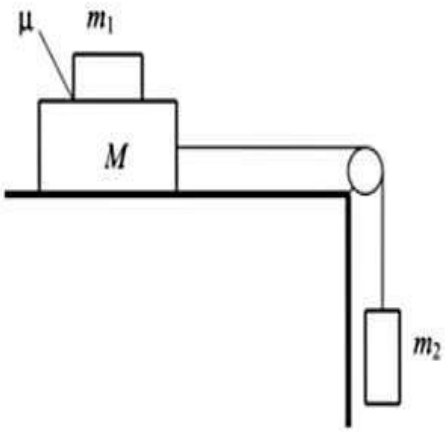
Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Брусок и тело движутся поступательно, поэтому описываем их моделью материальной точки независимо от их размеров.
3. Из пп. 1 и 2 следует, что движение бруска и тела в ИСО описывается вторым законом Ньютона.
4. Нить невесома, блок идеален (масса блока ничтожна, трения нет), поэтому модуль силы натяжения нити в любой её точке один и тот же.
5. Нить нерастяжима, поэтому модули ускорений подвижного блока и тела m при их прямолинейном поступательном движении отличаются в 2 раза.

Обосновать и найти связь между ускорениями движущихся тел: отметить нерастяжимость нити.

3. Динамика (4/5).

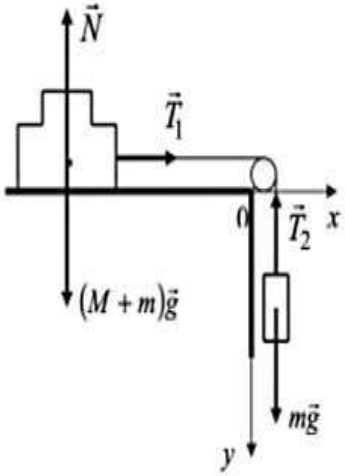
Система грузов M, m_1 и m_2, показанная на рисунке, движется из состояния покоя. Поверхность стола горизонтальная гладкая. Коэффициент трения между грузами M и m_1 $\mu = 0{,}2$. Грузы M и m_2 связаны лёгкой нерастяжимой нитью, которая скользит по блоку без трения. Пусть $M = 1{,}2$ кг, $m_1 = m_2 = m$. При каких значениях m грузы M и m_1 движутся как одно целое?



Какие законы Вы использовали для описания движения системы грузов? Обоснуйте их применимость к данному случаю. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на тела.

Обоснование

Будем считать систему отсчёта, связанную со столом, инерциальной. Пока грузы M и m_1 движутся как одно целое, их можно считать одним твёрдым телом $M + m$ сложной формы. Это тело движется поступательно, как и груз m_2, поэтому можно использовать второй закон Ньютона для модели материальной точки.



На рисунке показаны внешние силы, действующие на это тело и на груз m_2.

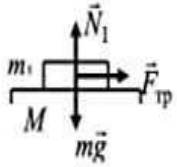
Так как нить лёгкая и скользит по блоку без трения, то можно считать

$$T_1 = T_2 = T. \qquad (1)$$

Так как нить нерастяжима, то ускорения тел

$$a_1 = a_2 = a. \qquad (2)$$

Груз m_1 покоится относительно груза M. Силы, действующие на этот груз, показаны на рисунке.

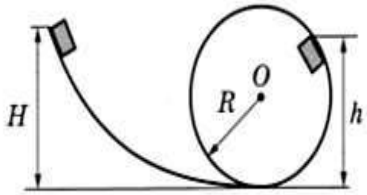


Так как на груз действует сила трения покоя, то она удовлетворяет условию $F < \mu N_1$.

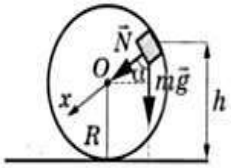
Если действует сила трения, нужно уточнить о какой силе идет речь: силе трения покоя или скольжения.

3. Динамика (5/5).

Небольшой кубик массой $m = 1{,}5$ кг начинает скользить с нулевой начальной скоростью по гладкой горке, переходящей в «мёртвую петлю» радиусом $R = 1{,}5$ м (см. рисунок). С какой высоты H был отпущен кубик, если на высоте $h = 2$ м от нижней точки петли сила давления кубика на стенку петли $F = 4$ Н? Сделайте рисунок с указанием сил, поясняющий решение. Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.



Обоснование



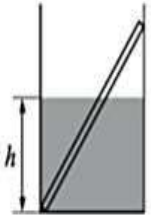
1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Кубик m имеет малые размеры по сравнению с радиусом «мёртвой петли», поэтому описываем кубик моделью материальной точки.
3. В ИСО изменение механической энергии тела равно работе всех приложенных к телу непотенциальных сил. При движении кубика по горке и «мёртвой петле» на кубик действуют потенциальная сила тяжести и сила реакции опоры $\vec{N}$, перпендикулярная траектории кубика в каждой её точке (трения нет, так как поверхность гладкая). Поэтому работа силы $\vec{N}$ при движении кубика по горке и «мёртвой петле» равна нулю. Следовательно, механическая энергия кубика при его движении сохраняется.
4. Из пп. 1 и 2 следует, что расчёт силы давления $\vec{N}$ стенки «мёртвой петли» на кубик опирается на второй закон Ньютона.
5. Искомая сила давления $\vec{F}$ кубика на стенку «мёртвой петли» связана с силой $\vec{N}$ третьим законом Ньютона: $\vec{F} = -\vec{N}$.

Искомая сила не действует на тело, движение которого рассматривается, но связана с действующими на это тело силами.

4. Статика (1/3).

Указать условия равновесия, используемые для решения задачи.

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



Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

Возможное решение
Обоснование

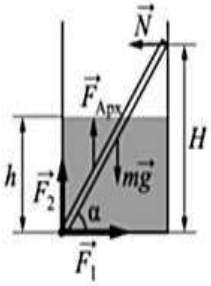
1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Описываем палочку моделью твёрдого тела (форма и размеры тела неизменны).
3. Поскольку палочка находится в покое относительно вращательного движения, сумма моментов внешних сил, действующих на неё, равна нулю относительно любой оси. Для удобства выберем ось, проходящую перпендикулярно плоскости рисунка через левый нижний конец палочки. Относительно этой оси сумма моментов внешних сил, действующих на палочку, равна нулю в равновесии.
4. Согласно третьему закону Ньютона силы, с которыми палочка и стакан взаимодействуют друг с другом, равны по модулю и направлены в противоположные стороны.

Решение

1. Высота конца палочки относительно дна стакана $H=\sqrt{l^2-4R^2}=\sqrt{0{,}1^2-4\cdot 0{,}04^2}=0{,}06$ м, где l – длина палочки, R – радиус стакана.
2. Модуль силы Архимеда

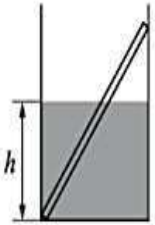
$$F_{\text{Арх}}=\rho_{ж}\left(\frac{h}{H}V\right)g=\frac{\rho_{ж}}{\rho}\frac{h}{H}mg,$$

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



4. Статика (2/3).

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



Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

Выбрать оси, относительно которых рассчитываются моменты сил.

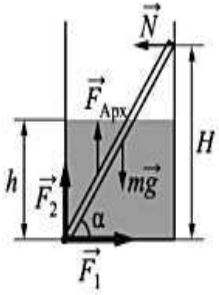
1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Описываем палочку моделью твёрдого тела (форма и размеры тела неизменны).
3. Поскольку палочка находится в покое относительно вращательного движения, сумма моментов внешних сил, действующих на неё, равна нулю относительно любой оси. Для удобства выберем ось, проходящую перпендикулярно плоскости рисунка через левый нижний конец палочки. Относительно этой оси сумма моментов внешних сил, действующих на палочку, равна нулю в равновесии.
4. Согласно третьему закону Ньютона силы, с которыми палочка и стакан взаимодействуют друг с другом, равны по модулю и направлены в противоположные стороны.

Решение

1. Высота конца палочки относительно дна стакана $H=\sqrt{l^2-4R^2}=\sqrt{0{,}1^2-4\cdot 0{,}04^2}=0{,}06$ м, где l – длина палочки, R – радиус стакана.
2. Модуль силы Архимеда

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

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



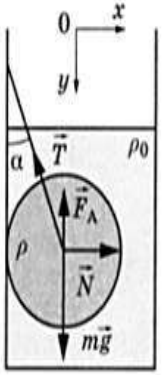
4. Статика (3/3).

Свинцовый шар массой 4 кг подвешен на нити и полностью погружен в воду (см. рисунок). Нить образует с вертикалью угол $\alpha = 30°$. Определите силу, с которой нить действует на шар. Плотность свинца $\rho = 11300$ кг/м^3. Трением шара о стенку пренебречь. Сделайте схематический рисунок с указанием сил, действующих на шар. Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.

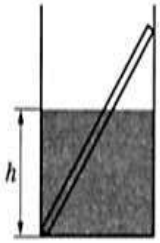
Возможное решение

Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Описываем шар 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 (сумма внешних сил равна нулю), другое — для вращательного движения (сумма моментов внешних сил равна нулю).
4. В данной задаче шар целиком погружён в жидкость. Кроме того, отсутствует трение между шаром и стенкой сосуда. Поэтому все внешние силы, действующие на шар, кроме силы натяжения нити, заведомо действуют по прямым, проходящим через центр шара. Значит, сумма моментов этих сил относительно оси, проходящей через центр шара, равна нулю. Но при равновесии шара в ИСО сумма моментов всех внешних сил равна нулю. Следовательно, и момент силы натяжения нити относительно оси, проходящей через центр шара, тоже равен нулю, поэтому сама эта сила действует по прямой, проходящей через центр шара.



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

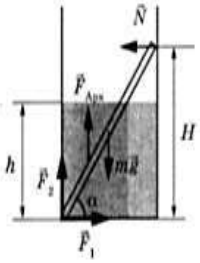


Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.

Возможное решение

Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Описываем палочку 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. Сумма приложенных к твёрдому телу внешних сил равна нулю (условие равновесия твёрдого тела относительно поступательного движения). Поэтому сумма моментов этих сил относительно любых двух параллельных осей одна и та же. Для удобства выберем ось, проходящую перпендикулярно плоскости рисунка через нижний конец палочки (точку A).
5. Стенки сосуда гладкие (трения нет), поэтому в точке B на палочку со стороны сосуда действует сила $\vec{N}$, перпендикулярная стенке.



В некоторых задачах нужно обосновать направление действующих сил.

5. Закон сохранения импульса (1/3).

Снаряд массой 4 кг, летящий со скоростью 400 м/с, разрывается на две равные части, одна из которых летит в направлении движения снаряда, а другая – в противоположную сторону. В момент разрыва суммарная кинетическая энергия осколков увеличивается на 0,5 МДж. Найдите скорость осколка, летящего по направлению движения снаряда. Сопротивлением воздуха пренебречь. ***Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.***

Возможное решение
Обоснование 1. Введём инерциальную систему отсчёта, связанную с Землёй, и направим ось *Ox* системы координат в направлении начальной скорости движения снаряда. 2. При описании движения снаряда и осколков используем модель материальной точки. 3. Для описания разрыва снаряда использован закон сохранения импульса системы тел. Он выполняется в инерциальной системе отсчёта, если сумма внешних сил, приложенных к телам системы, равна нулю. В данном случае из-за отсутствия сопротивления воздуха внешней силой является только сила тяжести $m\vec{g}$, которая не равна нулю. Но этим можно пренебречь, считая время разрыва снаряда малым. За малое время разрыва импульс каждого из осколков меняется на конечную величину за счёт больших внутренних сил, разрывающих снаряд при взрыве. По сравнению с этими большими силами конечная сила тяжести пренебрежимо мала. 4. Так как время разрыва снаряда считаем малым, то можно пренебречь и изменением потенциальной энергии снаряда и его осколков в поле тяжести в процессе разрыва. **Решение**

Определить систему тел и сформулировать условие выполнения закона сохранения импульса для этой системы.

5. Закон сохранения импульса (2/3).

Указать внешние силы и обосновать, почему можно пренебречь их влиянием.

Снаряд массой 4 кг, летящий со скоростью 400 м/с, разрывается на две равные части, одна из которых летит в направлении движения снаряда, а другая – в противоположную сторону. В момент разрыва суммарная кинетическая энергия осколков увеличивается на 0,5 МДж. Найдите скорость осколка, летящего по направлению движения снаряда. Сопротивлением воздуха пренебречь. ***Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.***

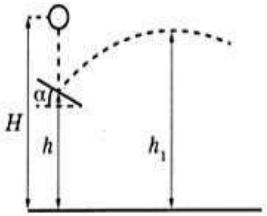
Возможное решение

Обоснование

1. Введём инерциальную систему отсчёта, связанную с Землёй, и направим ось Ox системы координат в направлении начальной скорости движения снаряда.
2. При описании движения снаряда и осколков используем модель материальной точки.
3. Для описания разрыва снаряда использован закон сохранения импульса системы тел. Он выполняется в инерциальной системе отсчёта, если сумма внешних сил, приложенных к телам системы, равна нулю. В данном случае из-за отсутствия сопротивления воздуха внешней силой является только сила тяжести mg, которая не равна нулю. Но этим можно пренебречь, считая время разрыва снаряда малым. За малое время разрыва импульс каждого из осколков меняется на конечную величину за счёт больших внутренних сил, разрывающих снаряд при взрыве. По сравнению с этими большими силами конечная сила тяжести пренебрежимо мала.
4. Так как время разрыва снаряда считаем малым, то можно пренебречь и изменением потенциальной энергии снаряда и его осколков в поле тяжести в процессе разрыва.

Решение

Шарик падает с высоты $H = 3$ м над поверхностью Земли из состояния покоя. На высоте $h = 2$ м он абсолютно упруго ударяется о доску, расположенную под углом $\alpha = 30°$ к горизонту (см. рисунок). На какую максимальную высоту h_1 после этого удара поднимется шарик от поверхности Земли? Сопротивлением воздуха пренебречь.



Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.

Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. При свободном падении шарика из начального положения на наклонную доску и после удара о доску до падения на землю на шарик действует только потенциальная сила тяжести. Поэтому во введённой нами ИСО при этом движении сохраняется механическая энергия шарика:

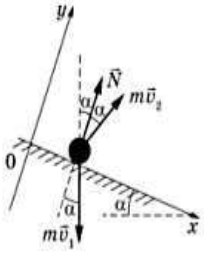
$$\frac{mv^2}{2} + mgh = const.$$

При абсолютно упругом ударе шарика о доску механическая энергия шарика сохраняется. Следовательно, сила трения равна нулю, а направление силы реакции опоры $\vec{N}$, действующей на шарик при ударе, перпендикулярно плоскости доски. Отметим, что $N \gg mg$, так как время удара коротко, а изменение импульса шарика за время удара конечно. Поэтому при описании удара пренебрегаем величиной mg и записываем второй закон Ньютона для шарика в виде:

$$m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \vec{N}\Delta t.$$

Из того, что $\vec{N} \parallel Oy$ (см. рисунок), следует, что $v_{2x} = v_{1x}$.

Из закона сохранения механической энергии при абсолютно упругом ударе $\left(\frac{mv_2^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2}\right)$ следует, что $v_2 = v_1 = v$, то есть модуль скорости шарика при таком ударе не меняется. Но тогда $|v_{2y}| = |v_{1y}|$, и, следовательно, угол падения шарика на доску равен углу отражения.

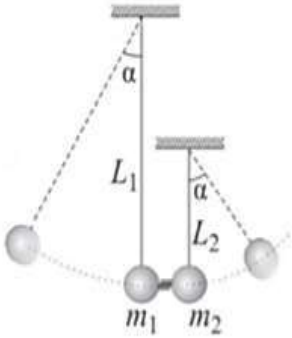


В представленных случаях силы конечны, а время их действия мало

5. Закон сохранения импульса (3/3).

Два шарика подвешены на вертикальных тонких нитях так, что они находятся на одной высоте. Между шариками находится сжатая и связанная нитью пружина. При пережигании связывающей нити пружина распрямляется, расталкивает шарики и падает вниз.

В результате нити отклоняются в разные стороны на одинаковые углы. Во сколько раз одна нить длиннее другой, если отношение масс $\frac{m_2}{m_1} = 1{,}5$? Считать величину сжатия пружины во много раз меньше длин нитей.



Обоснуйте применимость законов, используемых при решении задачи.

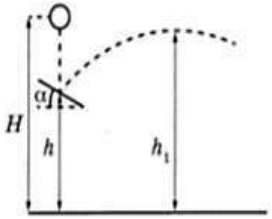
Возможное решение

Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Шарики имеют малые размеры по сравнению с длиной нити, поэтому описываем их моделью материальной точки.
3. При пережигании нити пружина толкает оба шарика, действуя на шарики внутренней силой – силой упругости, все внешние силы, действующие на систему двух шариков, направлены вертикально (силы тяжести и натяжения нитей). Масса пружины во много раз меньше массы шариков, поэтому изменением импульса пружины можно пренебречь. Все вышеперечисленные причины не влияют на изменение горизонтальной проекции импульса системы шариков, следовательно, систему шариков в горизонтальном направлении можно считать замкнутой и возможно применение закона сохранения импульса.
4. В процессе движения каждого шарика на нити к верхней точке своей траектории на каждый из них действуют сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения нити $\vec{T}$.

Изменение механической энергии шариков в ИСО равно работе всех непотенциальных сил, приложенных к телу. В данной случае единственной такой силой является сила натяжения нити $\vec{T}$. В каждой точке траектории $\vec{T} \perp \vec{\upsilon}$, где $\vec{\upsilon}$ – скорость шарика, поэтому работа силы $\vec{T}$ равна нулю, а механическая энергия каждого шарика на этом участке его движения сохраняется.

Шарик падает с высоты $H = 3$ м над поверхностью Земли из состояния покоя. На высоте $h = 2$ м он абсолютно упруго ударяется о доску, расположенную под углом $\alpha = 30°$ к горизонту (см. рисунок). На какую максимальную высоту h_1 после этого удара поднимется шарик от поверхности Земли? Сопротивлением воздуха пренебречь.



Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.

Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. При свободном падении шарика из начального положения на наклонную доску и после удара о доску до падения на землю на шарик действует только потенциальная сила тяжести. Поэтому во введённой нами ИСО при этом движении сохраняется механическая энергия шарика:

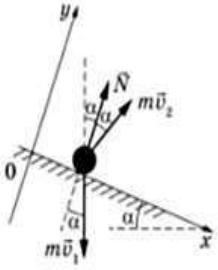
$$\frac{m\upsilon^2}{2} + mgh = const.$$

При абсолютно упругом ударе шарика о доску механическая энергия шарика сохраняется. Следовательно, сила трения равна нулю, а направление силы реакции опоры $\vec{N}$, действующей на шарик при ударе, перпендикулярно плоскости доски. Отметим, что $N \gg mg$, так как время удара коротко, а изменение импульса шарика за время удара конечно. Поэтому при описании удара пренебрегаем величиной mg и записываем второй закон Ньютона для шарика в виде:

$$m\vec{\upsilon}_2 - m\vec{\upsilon}_1 = \vec{N}\Delta t.$$

Из того, что $\vec{N} \parallel Oy$ (см. рисунок), следует, что $\upsilon_{2x} = \upsilon_{1x}$.

Из закона сохранения механической энергии при абсолютно упругом ударе $\left(\frac{m\upsilon_2^2}{2} = \frac{m\upsilon_1^2}{2}\right)$ следует, что $\upsilon_2 = \upsilon_1 = \upsilon$, то есть модуль скорости шарика при таком ударе не меняется. Но тогда $|\upsilon_{2y}| = |\upsilon_{1y}|$, и, следовательно, угол падения шарика на доску равен углу отражения.

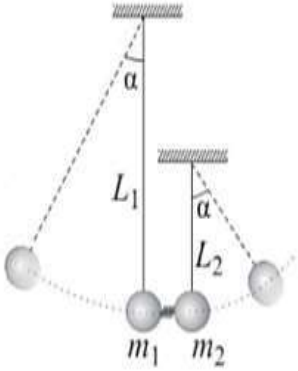


Сумма проекций внешних сил на заданное направление равна нулю. Сохраняется проекция импульса системы.

6. Закон сохранения (изменения) механической энергии (1/2).

Два шарика подвешены на вертикальных тонких нитях так, что они находятся на одной высоте. Между шариками находится сжатая и связанная нитью пружина. При пережигании связывающей нити пружина распрямляется, расталкивает шарики и падает вниз.

В результате нити отклоняются в разные стороны на одинаковые углы. Во сколько раз одна нить длиннее другой, если отношение масс $\frac{m_2}{m_1} = 1{,}5$? Считать величину сжатия пружины во много раз меньше длин нитей.



Обоснуйте применимость законов, используемых при решении задачи.

Возможное решение

Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. Шарики имеют малые размеры по сравнению с длиной нити, поэтому описываем их моделью материальной точки.
3. При пережигании нити пружина толкает оба шарика, действуя на шарики внутренней силой – силой упругости, все внешние силы, действующие на систему двух шариков, направлены вертикально (силы тяжести и натяжения нитей). Масса пружины во много раз меньше массы шариков, поэтому изменением импульса пружины можно пренебречь. Все вышеперечисленные причины не влияют на изменение горизонтальной проекции импульса системы шариков, следовательно, систему шариков в горизонтальном направлении можно считать замкнутой и возможно применение закона сохранения импульса.
4. В процессе движения каждого шарика на нити к верхней точке своей траектории на каждый из них действуют сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения нити $\vec{T}$.

Изменение механической энергии шариков в ИСО равно работе всех непотенциальных сил, приложенных к телу. В данной случае единственной такой силой является сила натяжения нити $\vec{T}$. В каждой точке траектории $\vec{T} \perp \vec{\upsilon}$, где $\vec{\upsilon}$ – скорость шарика, поэтому работа силы $\vec{T}$ равна нулю, а механическая энергия каждого шарика на этом участке его движения сохраняется.

По гладкой наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 30°$ с горизонтом, скользит из состояния покоя брусок массой $M = 250$ г. В тот момент, когда брусок прошёл по наклонной плоскости расстояние $x = 3{,}6$ м, в него попала и застряла в нём летящая навстречу ему вдоль наклонной плоскости пуля массой m. Скорость пули $\upsilon = 555$ м/с. После попадания пули брусок поднялся вверх вдоль наклонной плоскости на расстояние $S = 2{,}5$ м от места удара. Найдите массу пули m. Трение бруска о плоскость не учитывать.

Возможное решение

Обоснование

1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).
2. В ИСО изменение механической энергии тела равно работе всех приложенных к телу непотенциальных сил. При движении бруска вниз и вверх по наклонной плоскости на него действуют потенциальная сила тяжести и сила реакции опоры N, перпендикулярная перемещению бруска (трения нет, так как поверхность гладкая). Поэтому работа силы N при движении бруска по наклонной плоскости равна нулю. Следовательно, механическая энергия бруска при его движении до удара сохраняется. Аналогично сохраняется механическая энергия бруска и при его движении после удара.
3. Закон сохранения импульса выполняется в ИСО в проекциях на выбранную ось, если сумма проекций внешних сил на эту ось равна нулю. В данном случае выбранную ось направим параллельно движению бруска. Проекции на эту наклонную ось сил тяжести, действующих на брусок и на пулю, не равны нулю. Но надо учесть, что при столкновении бруска и пули импульс каждого из двух тел меняется на конечную величину, тогда как время столкновения мало. Следовательно, на каждое из двух тел в это время действовала огромная сила (это силы взаимодействия бруска и пули), по сравнению с которой сила тяжести ничтожна. Поэтому при столкновении тел силы тяжести не учитываем. Вследствие этого при описании столкновения бруска с пулей соблюдается закон сохранения импульса для системы тел «брусок + пуля».

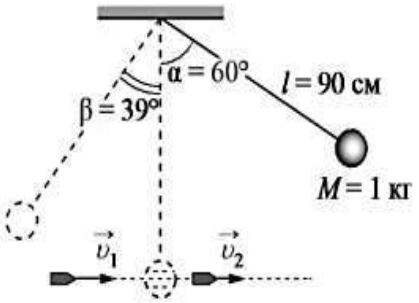
- Указать силы, действующие на каждое тело.
- Сформулировать закон сохранения (изменения) механической энергии.
- Указать непотенциальные силы.

6. Закон сохранения (изменения) механической энергии (2/2).

Задание 3

Шар массой 1 кг, подвешенный на нити длиной 90 см, отводят от положения равновесия на угол 60° и отпускают. В момент прохождения шара через положение равновесия в него попадает пуля, летящая навстречу шару, которая пробивает его и продолжает двигаться горизонтально (см. рисунок). Определите модуль изменения импульса 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; $\cos 39° = \frac{7}{9}$.)

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



Возможное решение

Обоснование

1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной.
2. Шар и пулю будем считать материальными точками, так как их размеры малы по сравнению с длиной нити.
3. При соударении для системы «пуля – шар» в ИСО выполняется закон сохранения импульса в проекциях на горизонтальную ось, так как внешние силы (силы тяжести и сила натяжения нити) вертикальны.
4. При движении шара на нити вниз и вверх выполняется закон сохранения механической энергии, так как сопротивлением воздуха по условию задачи можно пренебречь, и работа силы натяжения нити равна нулю (эта сила в любой точке траектории перпендикулярна скорости тела).

Снаряд массой 4 кг, летящий со скоростью 400 м/с, разрывается на две равные части, одна из которых летит в направлении движения снаряда, а другая – в противоположную сторону. В момент разрыва суммарная кинетическая энергия осколков увеличивается на 0,5 МДж. Найдите скорость осколка, летящего по направлению движения снаряда. Сопротивлением воздуха пренебречь. ***Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.***

Возможное решение

Обоснование

1. Введём инерциальную систему отсчёта, связанную с Землёй, и направим ось Ox системы координат в направлении начальной скорости движения снаряда.
2. При описании движения снаряда и осколков используем модель материальной точки.
3. Для описания разрыва снаряда использован закон сохранения импульса системы тел. Он выполняется в инерциальной системе отсчёта, если сумма внешних сил, приложенных к телам системы, равна нулю. В данном случае из-за отсутствия сопротивления воздуха внешней силой является только сила тяжести $m\vec{g}$, которая не равна нулю. Но этим можно пренебречь, считая время разрыва снаряда малым. За малое время разрыва импульс каждого из осколков меняется на конечную величину за счёт больших внутренних сил, разрывающих снаряд при взрыве. По сравнению с этими большими силами конечная сила тяжести пренебрежимо мала.
4. Так как время разрыва снаряда считаем малым, то можно пренебречь и изменением потенциальной энергии снаряда и его осколков в поле тяжести в процессе разрыва.

Решение

Обосновать, почему работа внешних сил не меняет механической энергии.

Рекомендации по оформлению обоснования к задаче 26

Динамика

1. Выбор *инерциальной системы отсчета*.
2. Выбор *модели материальной точки* (либо размерами тел можно пренебречь; либо тела движутся поступательно).
3. Для описания движения тел можно использовать *второй закон Ньютона*, сформулированный для материальных точек.
4. В задачах с телами, которые *связаны нитью*, отметить, что *нить невесома*, поэтому *модуль силы натяжения нити* в любой ее точке одинаков.
5. Если *тела, связанные нитью, движутся с ускорениями*, подчеркнуть, что *нить нерастяжима*, а также определить связь ускорений, с которыми движутся тела.
6. Если присутствует *блок*, отметить, что он *идеален* (масса блока пренебрежимо мала, трения нет).
7. Если присутствует *пружина*, отметить, почему *силы упругости на её концах одинаковы* (пружина лёгкая).
8. Если действует *сила трения*, уточнить идет речь *о силе трения покоя* или *скольжения*, указать на связь с коэффициентом трения и силой реакции опоры.
9. Если нужно найти *силу, с которой действует само тело*, движение которого рассматривается, нужно обосновать как искомая сила связана с силами, действующими на тело (*третий закон Ньютона*).

Рекомендации по оформлению обоснования к задаче 26

Законы сохранения в механике

1. Выбор *инерциальной системы отсчета*.
2. Выбор *модели материальной точки* (либо размерами тел можно пренебречь; либо тела движутся поступательно).
3. *Определить систему тел* и сформулировать условие выполнения *ЗСИ* для этой системы.
4. *Условие применимости закона сохранения импульса* (либо время действия внешних сил мало и изменением импульса можно пренебречь; либо ЗСИ выполняется в проекции на одну из осей, если внешние силы перпендикулярны этой оси).
5. *Определить систему тел* и сформулировать условие выполнения *закона сохранения (изменения) механической энергии*.
6. *Условие применимости закона сохранения энергии* (указание на потенциальность действующих сил или на равенство нулю работы непотенциальной силы, так как скорость тела в каждой точке траектории перпендикулярна этой силе) или *указание на изменение механической энергии* в рассматриваемом процессе.

Абсолютно упругий удар и **абсолютно неупругий удар**

При *абсолютно упругом ударе* выполняется и закон сохранения импульса, и закон сохранения энергии.

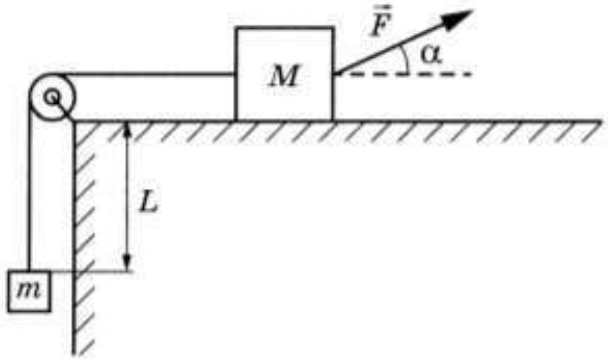
При *неупругом ударе* выполняется только закон сохранения импульса. Часть механической энергии при неупругом ударе выделяется в виде тепла.

Рекомендации по оформлению обоснования к задаче 26

Статика

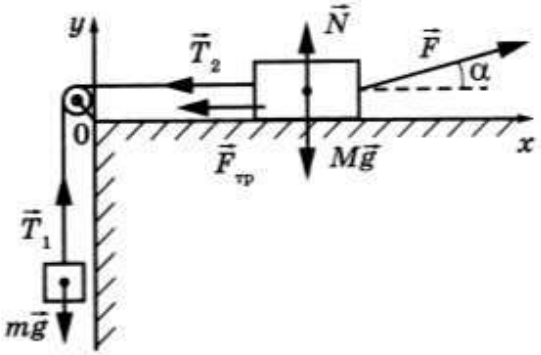
1. Выбор *инерциальной системы отсчета*.
2. Выбор *модели твердого тела* (форма и размеры тела неизменны, а также расстояние между любыми двумя точками одинаково).
3. Указать *как направлены действующие на тело силы*, и, если необходимо, – *обосновать*.
4. Любое движение твердого тела является суперпозицией поступательного и вращательного движений. Поэтому *условий равновесия твердого тела* в ИСО ровно два: одно – *для поступательного движения* (сумма приложенных к телу внешних сил равна нулю, так как оно находится в равновесии относительно поступательного движения), другое – *для вращательного движения* (сумма моментов этих сил относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости рисунка через точку …, равна нулю, так как тело не вращается).
5. *Выбрать оси*, относительно которых рассчитываются моменты сил.

26 На горизонтальном столе находится брусок массой $M = 1$ кг, соединённый невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через гладкий невесомый блок, с грузом массой $m = 500$ г. На брусок действует сила $\vec{F}$, направленная под углом $\alpha = 30°$ к горизонту (см. рисунок), $F = 9$ Н. В момент начала движения груз находился на расстоянии $L = 32$ см от края стола. За какое время груз поднимется до края стола, если коэффициент трения между бруском и столом $\mu = 0{,}3$? Сделайте схематичный рисунок с указанием сил, действующих на брусок и груз. Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.



Обоснование

1. Задачу будем решать в инерциальной системе отсчёта, связанной со столом. При нахождении ускорений тел будем применять второй закон Ньютона, сформулированный для материальных точек, поскольку тела движутся поступательно. Трением в оси блока и о воздух пренебрежём; блок будем считать невесомым.



На рисунке показаны силы, действующие на брусок и груз.

2. Так как нить нерастяжима, ускорения бруска и груза равны по модулю:

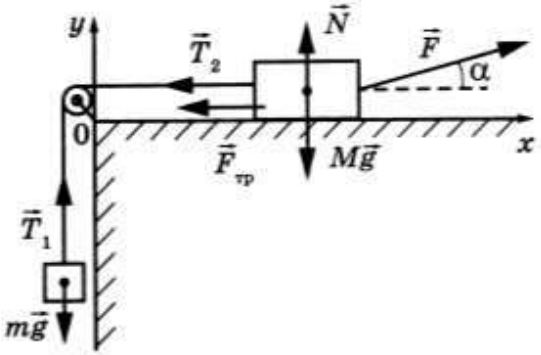
$$|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a. \qquad (1)$$

3. Так как блок и нить невесомы и трения в блоке нет, то силы натяжения нити, действующие на груз и брусок, одинаковы по модулю:

$$|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T. \qquad (2)$$

Обоснование

1. Задачу будем решать в инерциальной системе отсчёта, связанной со столом. При нахождении ускорений тел будем применять второй закон Ньютона, сформулированный для материальных точек, поскольку тела движутся поступательно. Трением в оси блока и о воздух пренебрежём; блок будем считать невесомым.



На рисунке показаны силы, действующие на брусок и груз.

2. Так как нить нерастяжима, ускорения бруска и груза равны по модулю:

$$|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a. \qquad (1)$$

3. Так как блок и нить невесомы и трения в блоке нет, то силы натяжения нити, действующие на груз и брусок, одинаковы по модулю:

$$|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T. \qquad (2)$$

Решение

1. Запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси Ox и Oy выбранной системы координат. Учитывая (1) и (2), получим: $F\cos\alpha - T - F_{тр} = Ma$, $N + F\sin\alpha = Mg$, $T - mg = ma$.

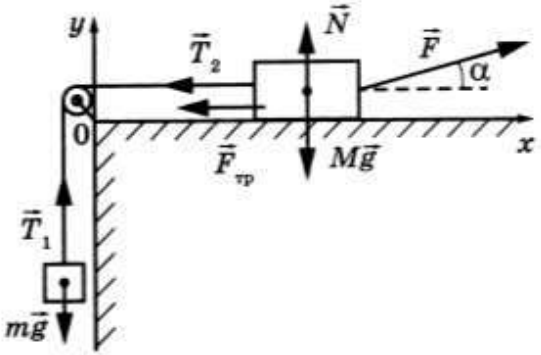
Сила трения, действующая на брусок, $F_{тр} = \mu N$.

Решая полученную систему уравнений, найдём ускорение тел:

$$a = \frac{F(\cos\alpha + \mu\sin\alpha) - mg - \mu Mg}{M + m}.$$

Обоснование

1. Задачу будем решать в инерциальной системе отсчёта, связанной со столом. При нахождении ускорений тел будем применять второй закон Ньютона, сформулированный для материальных точек, поскольку тела движутся поступательно. Трением в оси блока и о воздух пренебрежём; блок будем считать невесомым.



На рисунке показаны силы, действующие на брусок и груз.

2. Так как нить нерастяжима, ускорения бруска и груза равны по модулю:

$$|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a. \qquad (1)$$

3. Так как блок и нить невесомы и трения в блоке нет, то силы натяжения нити, действующие на груз и брусок, одинаковы по модулю:

$$|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T. \qquad (2)$$

Решение

1. Запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси Ox и Oy выбранной системы координат. Учитывая (1) и (2), получим: $F\cos\alpha - T - F_{тр} = Ma$, $N + F\sin\alpha = Mg$, $T - mg = ma$.

Сила трения, действующая на брусок, $F_{тр} = \mu N$.

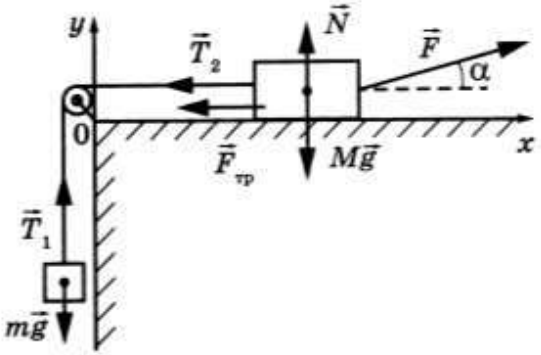
Решая полученную систему уравнений, найдём ускорение тел:

$$a = \frac{F(\cos\alpha + \mu\sin\alpha) - mg - \mu Mg}{M + m}.$$

2. Так как начальная скорость груза была равна нулю, $L = \frac{at^2}{2}$.

Обоснование

1. Задачу будем решать в инерциальной системе отсчёта, связанной со столом. При нахождении ускорений тел будем применять второй закон Ньютона, сформулированный для материальных точек, поскольку тела движутся поступательно. Трением в оси блока и о воздух пренебрежём; блок будем считать невесомым.



На рисунке показаны силы, действующие на брусок и груз.

2. Так как нить нерастяжима, ускорения бруска и груза равны по модулю:

$$|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a. \qquad (1)$$

3. Так как блок и нить невесомы и трения в блоке нет, то силы натяжения нити, действующие на груз и брусок, одинаковы по модулю:

$$|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T. \qquad (2)$$

Решение

1. Запишем второй закон Ньютона в проекциях на оси Ox и Oy выбранной системы координат. Учитывая (1) и (2), получим: $F\cos\alpha - T - F_{тр} = Ma$, $N + F\sin\alpha = Mg$, $T - mg = ma$.

Сила трения, действующая на брусок, $F_{тр} = \mu N$.

Решая полученную систему уравнений, найдём ускорение тел:

$$a = \frac{F(\cos\alpha + \mu\sin\alpha) - mg - \mu Mg}{M + m}.$$

2. Так как начальная скорость груза была равна нулю, $L = \frac{at^2}{2}$.

3. Окончательно получим:

$$t = \sqrt{\frac{2L}{a}} = \sqrt{2L\left(\frac{M + m}{F(\cos\alpha + \mu\sin\alpha) - mg - \mu Mg}\right)} =$$

$$= \sqrt{2 \cdot 0{,}32 \cdot \left(\frac{1 + 0{,}5}{9 \cdot (\sqrt{3}/2 + 0{,}3 \cdot 0{,}5) - 0{,}5 \cdot 10 - 0{,}3 \cdot 1 \cdot 10}\right)} \approx 0{,}92\,\text{с}.$$

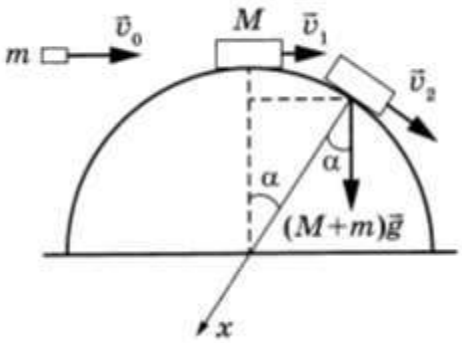
Ответ: $t \approx 0{,}92$ с.

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

Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

Возможное решение

Обоснование



1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. Тела можно считать материальными точками, так как их размеры пренебрежимо малы в условиях задачи.

2. При соударении для системы «пуля — тело» в ИСО выполняется закон сохранения импульса в проекциях на горизонтальную ось, так как внешние силы (сила тяжести и сила реакции опоры) вертикальны.

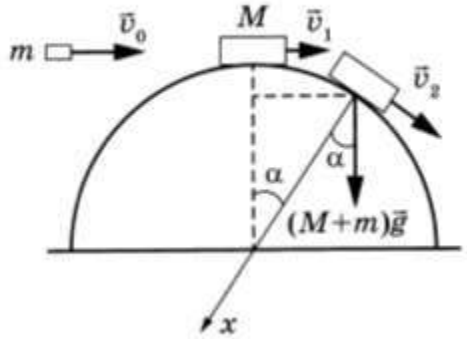
3. При движении составного тела от вершины полусферы выполняется закон сохранения механической энергии, так как полусфера гладкая и работа силы реакции опоры равна нулю (эта сила перпендикулярна скорости тела).

4. В момент отрыва сила реакции опоры $\vec{N}$ обращается в нуль.

5. Второй закон Ньютона выполняется в ИСО для модели материальной точки.

Возможное решение

Обоснование



1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. Тела можно считать материальными точками, так как их размеры пренебрежимо малы в условиях задачи.

2. При соударении для системы «пуля — тело» в ИСО выполняется закон сохранения импульса в проекциях на горизонтальную ось, так как внешние силы (сила тяжести и сила реакции опоры) вертикальны.

3. При движении составного тела от вершины полусферы выполняется закон сохранения механической энергии, так как полусфера гладкая и работа силы реакции опоры равна нулю (эта сила перпендикулярна скорости тела).

4. В момент отрыва сила реакции опоры $\vec{N}$ обращается в нуль.

5. Второй закон Ньютона выполняется в ИСО для модели материальной точки.

Решение

1. Закон сохранения импульса связывает скорость пули перед ударом со скоростью составного тела массой $m+M$ сразу после удара: $mv_0=(m+M)v_1$.

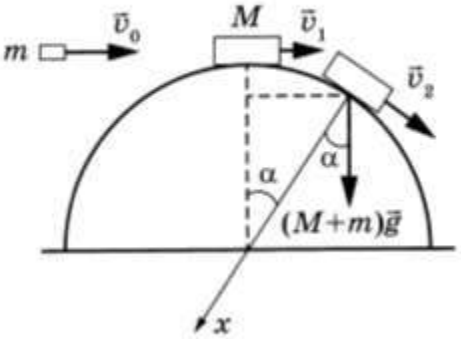
Закон сохранения механической энергии связывает скорость составного тела сразу после удара с его скоростью в момент отрыва от полусферы:

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

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

Возможное решение

Обоснование



1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. Тела можно считать материальными точками, так как их размеры пренебрежимо малы в условиях задачи.

2. При соударении для системы «пуля — тело» в ИСО выполняется закон сохранения импульса в проекциях на горизонтальную ось, так как внешние силы (сила тяжести и сила реакции опоры) вертикальны.

3. При движении составного тела от вершины полусферы выполняется закон сохранения механической энергии, так как полусфера гладкая и работа силы реакции опоры равна нулю (эта сила перпендикулярна скорости тела).

4. В момент отрыва сила реакции опоры $\vec{N}$ обращается в нуль.

5. Второй закон Ньютона выполняется в ИСО для модели материальной точки.

Решение

1. Закон сохранения импульса связывает скорость пули перед ударом со скоростью составного тела массой $m+M$ сразу после удара: $mv_0=(m+M)v_1$.

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

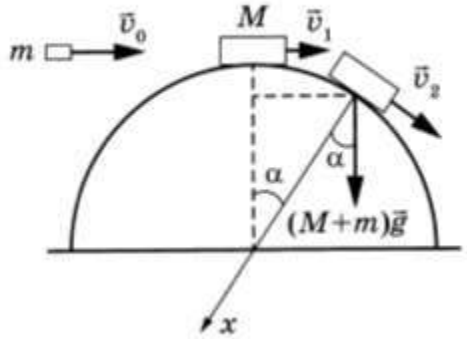
$$\frac{(m+M)v_1^2}{2}+(m+M)gR=\frac{(m+M)v_2^2}{2}+(m+M)gR\cos\alpha,$$

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

2. Второй закон Ньютона в проекциях на ось x (направленную в центр полусферы) в момент отрыва тела принимает вид: $(m+M)g\cos\alpha=\dfrac{(m+M)v_2^2}{R}$.

Возможное решение

Обоснование



1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной. Тела можно считать материальными точками, так как их размеры пренебрежимо малы в условиях задачи.

2. При соударении для системы «пуля — тело» в ИСО выполняется закон сохранения импульса в проекциях на горизонтальную ось, так как внешние силы (сила тяжести и сила реакции опоры) вертикальны.

3. При движении составного тела от вершины полусферы выполняется закон сохранения механической энергии, так как полусфера гладкая и работа силы реакции опоры равна нулю (эта сила перпендикулярна скорости тела).

4. В момент отрыва сила реакции опоры $\vec{N}$ обращается в нуль.

5. Второй закон Ньютона выполняется в ИСО для модели материальной точки.

Решение

1. Закон сохранения импульса связывает скорость пули перед ударом со скоростью составного тела массой $m+M$ сразу после удара: $mv_0=(m+M)v_1$.

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

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

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

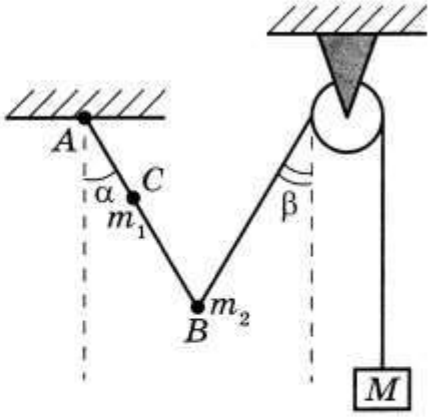
2. Второй закон Ньютона в проекциях на ось x (направленную в центр полусферы) в момент отрыва тела принимает вид: $(m+M)g\cos\alpha=\dfrac{(m+M)v_2^2}{R}$.

3. Объединяя уравнения, получим: $\dfrac{v_1^2}{2}+gR=\dfrac{3}{2}gh$.

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

Ответ: $R=1{,}3$ м.

26 Невесомый стержень AB длиной $l = 40$ см 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 подвешен к идеальному блоку за невесомую и нерастяжимую нить, другой конец которой соединён с нижним концом стержня, как показано на рисунке. Вся система находится в равновесии: стержень отклонён от вертикали на угол $\alpha = 30°$, а нить составляет угол с вертикалью, равный $\beta = 30°$. Расстояние $AC = b = 25$ см. Определите массу груза M. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на груз M и стержень.



Обоснуйте применимость законов, используемых при решении задачи.

Обоснование

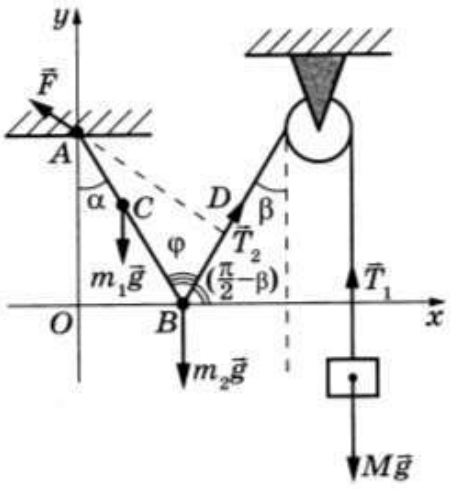
1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).

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.



Обоснование

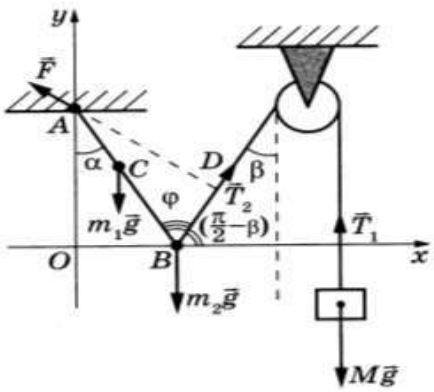
1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).

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

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

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

Обоснование

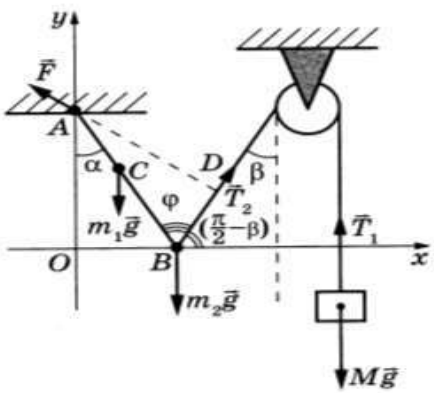
1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).

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

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

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

2. На стержень с грузами m_1 и m_2 действуют силы $m_1\vec{g}$ и $m_2\vec{g}$, а также сила натяжения нити $\vec{T}_2$. Поскольку нить невесома, 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:

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

Обоснование

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

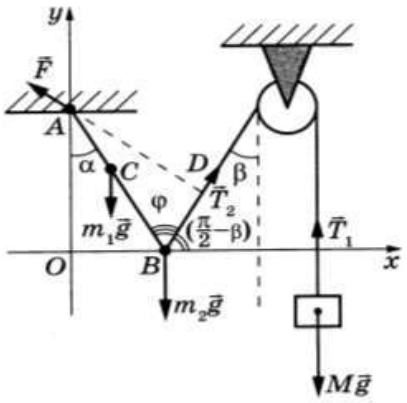
2. Описываем стержень моделью твёрдого тела (форма и размеры тела неизменны, расстояние между любыми двумя точками тела остаётся неизменным).

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



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

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

2. На стержень с грузами m_1 и m_2 действуют силы $m_1\vec{g}$ и $m_2\vec{g}$, а также сила натяжения нити $\vec{T}_2$. Поскольку нить невесома, 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:

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

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

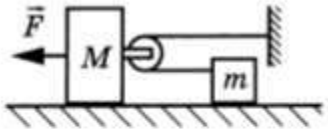
$$AD = l\sin\varphi = l\sin(\alpha+\beta)$$

получим:

$$M = \frac{(m_1 \cdot b + m_2 \cdot l)\sin\alpha}{l\sin(\alpha+\beta)} = \frac{(200 \cdot 0{,}25 + 100 \cdot 0{,}4) \cdot 0{,}5}{0{,}4 \cdot 0{,}866} \approx 130 \text{ г.}$$

Ответ: $M \approx 130$ г.

26 К бруску массой $M = 2$ кг прикреплён лёгкий блок (см. рисунок), через него переброшена лёгкая нерастяжимая нить, один конец которой привязан к стене, а к другому прикреплено тело массой $m = 0{,}75$ кг. На брусок действует сила $F = 10$ Н. Определите ускорение тела. Свободные куски нити горизонтальны и лежат в одной вертикальной плоскости, тела двигаются вдоль одной прямой. Массой блока и нити, а также трением пренебречь.



Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

26 **Возможное решение**

Обоснование

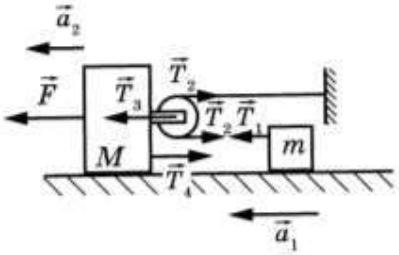
1. Рассмотрим задачу в системе отсчёта, связанной с Землёй. Будем считать эту систему отсчёта инерциальной (ИСО).

2. Брусок и тело движутся поступательно, поэтому описываем их моделью материальной точки независимо от их размеров.

3. Нить невесома, блок идеален (масса блока ничтожна, трения нет), поэтому модуль силы натяжения нити в любой её точке один и тот же: $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$.

4. Нить нерастяжима, поэтому модули ускорений подвижного блока и тела m при их прямолинейном поступательном движении отличаются в 2 раза.

Решение



Запишем второй закон Ньютона в проекциях на горизонтальную ось для тела и бруска:

$ma_1 = T_1$; $Ma_2 = F - T_4$, где a_1 и a_2 — ускорения тела и бруска, $T_1 = T$ — сила натяжения нити, T_4 — сила, с которой блок действует на брусок.

Запишем второй закон Ньютона для невесомого блока:

$0 = T_3 - 2T_2$, где T_3 — сила, с которой брусок действует на блок, T_2 — сила натяжения нити, действующая на блок. Следовательно, $T_3 = 2T_2 = 2T$.

По третьему закону Ньютона $|\vec{T}_3| = |\vec{T}_4|$, следовательно, $T_4 = 2T$.

Ускорение подвижного блока, а значит, и бруска массой M, в 2 раза меньше ускорения тела массой m, так как за одно и то же время перемещение тела в 2 раза больше перемещения бруска: $a_1 = 2a_2$.

Приходим к системе уравнений: $\begin{cases} F - 2T = Ma_2, \\ T = m \cdot 2a_2, \end{cases}$ откуда

$$a_2 = \frac{F}{M + 4m}; \; a_1 = 2a_2 = \frac{2F}{M + 4m} = \frac{2 \cdot 10}{2 + 4 \cdot 0{,}75} = 4 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $a_2 = 4$ м/с^2.

26 Снаряд разорвался в полёте на две равные части, одна из которых продолжила движение в направлении движения снаряда, а другая — в противоположную сторону. В момент разрыва суммарная кинетическая энергия осколков увеличилась за счёт энергии взрыва на величину $\Delta E = 600$ кДж. Модуль скорости осколка, летящего по направлению движения снаряда, равен 900 м/с, а модуль скорости второго осколка — 100 м/с. Найдите массу снаряда. Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

26 **Возможное решение**

Обоснование

Задачу будем решать в инерциальной системе отсчёта, связанной с поверхностью Земли. Будем считать все тела материальными точками. Трением снаряда и осколков о воздух пренебрежём.

Поскольку время разрыва снаряда мало, импульсом внешних сил (сил тяжести) можно пренебречь, а значит, для решения задачи можно воспользоваться законом сохранения импульса.

Так как при решении задачи мы пренебрегаем силой трения, то можно использовать закон сохранения энергии для снаряда с учётом энергии разрыва.

Решение

1. Запишем законы сохранения импульса и сохранения энергии для снаряда:

$$mv_0 = \frac{m}{2}v_1 - \frac{m}{2}v_2; \quad m \cdot \frac{v_0^2}{2} + \Delta E = \frac{mv_1^2}{4} + \frac{mv_2^2}{4},$$

где m — масса снаряда до взрыва; v_0 — модуль скорости снаряда до взрыва; v_1 — модуль скорости осколка, летящего вперёд; v_2 — модуль скорости осколка, летящего назад.

2. Выразим v_0 из первого уравнения: $v_0 = \frac{1}{2}(v_1 - v_2)$ — и подставим во второе уравнение.

3. Получим: $m = \frac{8\Delta E}{(v_1 + v_2)^2} = \frac{8 \cdot 600 \cdot 10^3}{(900 + 100)^2} = 4{,}8$ кг.

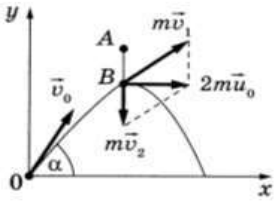
Ответ: $m = 4{,}8$ кг.

26 Пластилиновый шарик в момент $t = 0$ бросают с горизонтальной поверхности Земли под углом α к горизонту. Одновременно с некоторой высоты над поверхностью Земли начинает падать из состояния покоя другой такой же шарик. Шарики абсолютно неупруго сталкиваются в воздухе. Сразу после столкновения скорость шариков направлена горизонтально. Время от столкновения шариков до их падения на Землю равно τ. С какой начальной скоростью v_0 был брошен первый шарик? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

26 **Возможное решение**

Обоснование



1. Выберем инерциальную систему отсчёта, связанную с Землёй. За начало отсчёта координат примем первоначальное положение первого шарика.

2. Шарики будем считать материальными точками.

3. Так как сопротивлением воздуха можно пренебречь, то движение шариков можно считать свободным падением.

4. Считаем время взаимодействия шариков при неупругом столкновении малым. Следовательно, импульсом внешней силы (силы тяжести) за это время можно пренебречь. Значит, импульс системы двух шариков при столкновении сохраняется.

Решение

1. Первый шарик начинает движение из начала координат, а второй — из точки A. До и после столкновения (происходящего в точке B) шарики свободно падают. Поэтому до столкновения для первого шарика

$$y_1(t) = v_{0y}t - \frac{gt^2}{2} = v_0 \sin\alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2},$$
$$v_{1y}(t) = v_0 \sin\alpha - gt,$$

а для второго шарика

$$v_{2y}(t) = -gt.$$

2. Шарики сталкиваются в момент t_1, при этом импульс системы двух шариков сохраняется: $m\vec{v}_1 + m\vec{v}_2 = 2m\vec{u}_0$, а скорость $\vec{u}_0$ шариков после удара согласно условию горизонтальна. Поэтому $v_{1y}(t_1) + v_{2y}(t_1) = 0$, или $(v_0 \sin\alpha - gt_1) + (-gt_1) = 0$, откуда $t_1 = \dfrac{v_0 \sin\alpha}{2g}$.

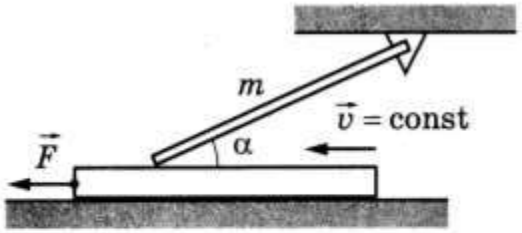
3. Столкновение шариков происходит на высоте

$$h = y_1(t_1) = v_0 \sin\alpha \cdot t_1 - \frac{gt_1^2}{2} = \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g} - \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{8g} = \frac{3}{8} \cdot \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{g}.$$

4. Поскольку скорость $\vec{u}_0$ шариков после удара горизонтальна, интервал времени τ от столкновения шариков до их падения на Землю находится из условия $h = \dfrac{g\tau^2}{2}$, откуда $\tau = \sqrt{\dfrac{2h}{g}} = \sqrt{3} \cdot \dfrac{v_0 \sin\alpha}{2g}$. Отсюда: $v_0 = \dfrac{2g\tau}{\sqrt{3} \cdot \sin\alpha}$.

Ответ: $v_0 = \dfrac{2g\tau}{\sqrt{3} \cdot \sin\alpha}$.

26 Однородный тонкий стержень массой $m = 1{,}6$ 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 F, если коэффициент трения стержня по доске $\mu = 0{,}3$. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на стержень и доску. Трением доски по опоре и трением в шарнире пренебречь.

Обоснуйте применимость законов, используемых для решения задачи.

26 **Возможное решение**

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. Сумма приложенных к стержню внешних сил равна нулю, так как он находится в равновесии относительно поступательного движения. Сумма моментов этих сил относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости рисунка через точку шарнирного крепления (точку O), равна нулю, так как стержень не вращается.

4. Доска движется поступательно. Движение доски в ИСО можно описать с помощью законов Ньютона, сформулированных для материальных точек.

5. Согласно третьему закону Ньютона силы, с которыми доска и стержень взаимодействуют друг с другом, равны по модулю и направлены в противоположные стороны: на рисунках *а* и *б* в решении $\vec{N}=-\vec{P}$, $\vec{F}_{тр1}=-\vec{F}_{тр2}$.

Решение

1. В инерциальной системе отсчёта, связанной с Землёй, доска по условию движется поступательно с постоянной скоростью. Поэтому, в частности, сумма горизонтальных сил $\vec{F}$ и $\vec{F}_{тр1}$, приложенных к доске, равна нулю (рисунок *а*). Отсюда получаем: $F=F_{тр1}$.

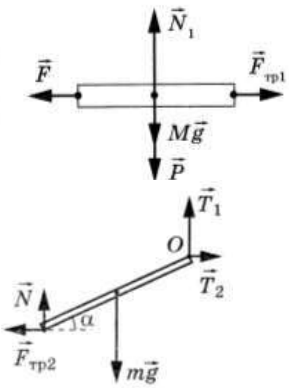


Рис. *б*

2. На рисунке *б* показаны силы, приложенные к стержню. По третьему закону Ньютона $\vec{F}_{тр1}=-\vec{F}_{тр2}$. Поэтому:

$$F_{тр2}=F_{тр1}=F. \qquad (1)$$

3. По условию задачи стержень не вращается, поэтому выполнено условие равновесия стержня на оси шарнира O (правило моментов). Обозначив длину стержня L, запишем это условие:

$$mg\frac{L}{2}\cos\alpha-F_{тр2}L\sin\alpha-NL\cos\alpha=0. \qquad (2)$$

4. Доска движется относительно стержня, поэтому:

$$F_{тр2}=\mu N. \qquad (3)$$

5. Подставив (1) в (3), а (3) в (2), получим уравнение:

$$mg\cos\alpha-2F\sin\alpha-2\frac{F}{\mu}\cos\alpha=0$$

с решением: $F=\dfrac{mg}{2\left(\dfrac{1}{\mu}+\mathrm{tg}\alpha\right)}=\dfrac{1{,}6\cdot 10}{2\left(\dfrac{1}{0{,}3}+\dfrac{\sqrt{3}}{3}\right)}\approx 2$ Н.

Ответ: $F\approx 2$ Н.

Спасибо за внимание!

gaizhutene@yandex.ru
Гайжутене Елена Ионасовна