



Алгоритмический подход
к решению задач

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ.
СТАТИКА И ГИДРОСТАТИКА.

к.т.н. Опаловский В.А.
учитель высшей квалификационной категории
методист корпорации «Российский учебник»

Серия вебинаров «Решение задач»

Кинематика

Динамика

Законы сохранения в механике

Молекулярно-кинетическая теория и термодинамика

Решение задач

- Невозможно понять физику, не научившись решать задачи.
- Решение задач – следствие правильного понимания физических законов (**от теории к практике**).
- Опыт, накапливаемый при решении задач, позволяет более глубоко осознавать физические теории (**от практики к теории**).

Основа успеха

Глубокое понимание сути физических явлений.

Правильная, выверенная последовательность действий при решении задач (т.е. **наличие** четко спланированного руководства к действию — **алгоритма**).

Место алгоритмов в УМК

Алгоритмы решения задач приводятся:

- ✓ В учебнике, при рассмотрении примеров решения задач
- ✓ В рабочей тетради в виде шагов с названиями этапов (в начале изучения темы) или только номерами шагов (в конце изучения темы)

Цели задания алгоритмов:

- ✓ Приучить учащихся к правильной последовательности действий при решении задач
- ✓ Помощь в самостоятельной работе учащихся

Процент выполнения ЕГЭ по видам деятельности

Вид деятельности	2016	2017	2018	2019
Применение законов и формул в типовых ситуациях	60	67	69	68
Анализ и объяснение явлений и процессов	59	63	61	60
Методологические умения	61	75	65	61
Решение задач	17	19	20	26

Решение задач

Решение задач повышенного и высокого уровней сложности остаётся наиболее сложным видом деятельности для учеников. Но только по этому виду деятельности наблюдается стабильный рост результатов – вдвое за последние пять лет.

Сформированные навыки решения задач являются обязательным условием получения высоких результатов ЕГЭ.

«Значительный прирост наблюдается для решения задач. Особенно заметен прирост для заданий с развёрнутым ответом, к решению которых применимы типовые алгоритмы действий».

д.п.н. Демидова М.Ю., ФИПИ <http://fipi.ru/>



7 класс

Работа сил

§41 Работа силы трения

§41 Работа силы тяжести. Подъём тела.

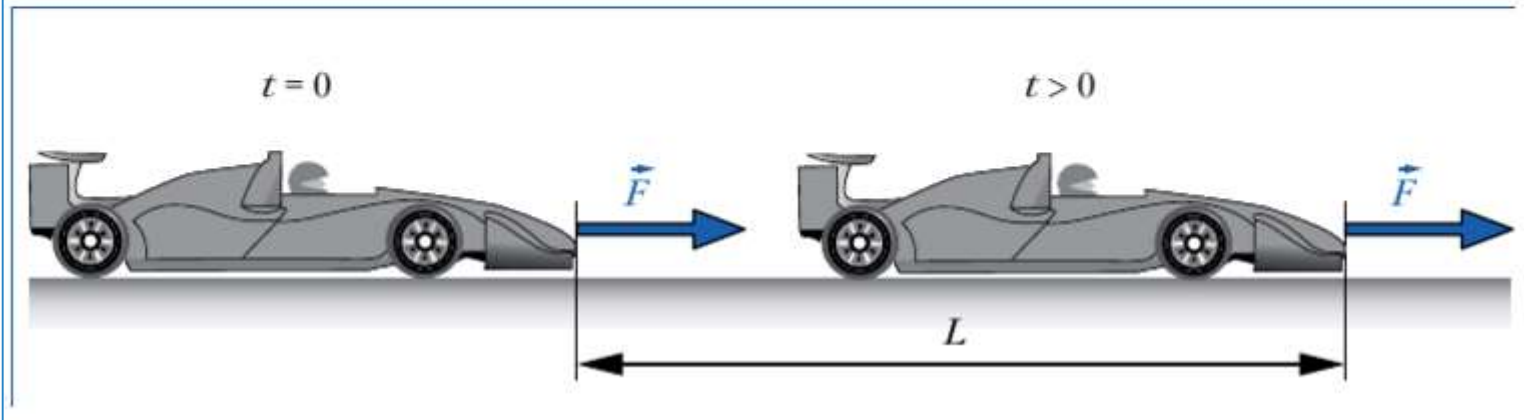
§41 Работа силы тяжести. Подъём и падение тела.

§41 Работа нескольких сил

§41 Работа силы трения

Задача 1

Гоночный автомобиль разгоняется на прямолинейной дороге под действием постоянной силы тяги, значение которой $F = 5 \text{ кН}$ (рис. 120). Определите работу этой силы при перемещении автомобиля на расстояние $L = 100 \text{ м}$.



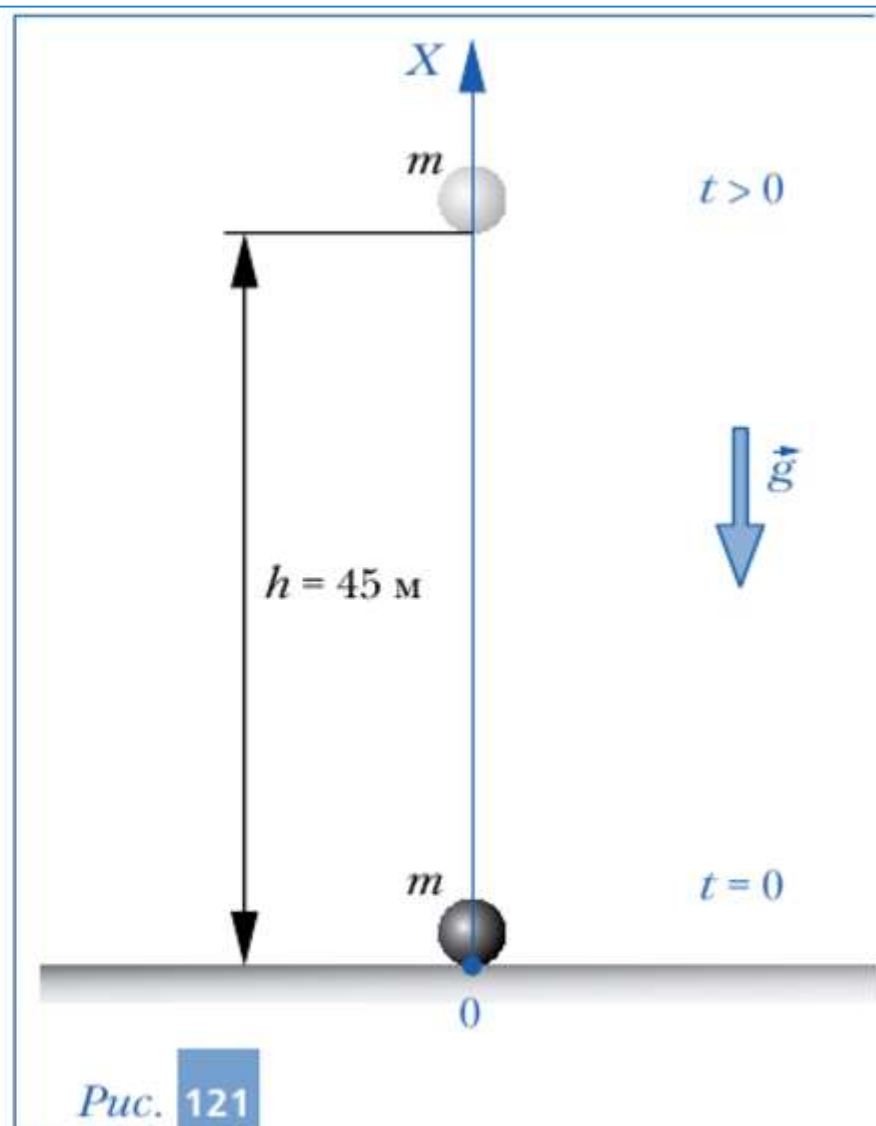
 Отметим, что сила тяги, действующая на автомобиль, создаётся в результате действия сил трения со стороны дороги на ведущие колёса в направлении движения автомобиля. У гоночных автомобилей с реактивным двигателем она создаётся непосредственно этим двигателем. 

§41 Работа силы тяжести

Подъём тела

Задача 2

С поверхности Земли вертикально вверх брошен камень, как показано на рис. 121. Какую работу совершит сила тяжести к тому моменту, когда камень поднимется на высоту $h = 45$ м? Масса камня равна $m = 1$ кг. Модуль ускорения свободного падения считайте равным $g = 10$ м/с².



§41 Работа силы тяжести

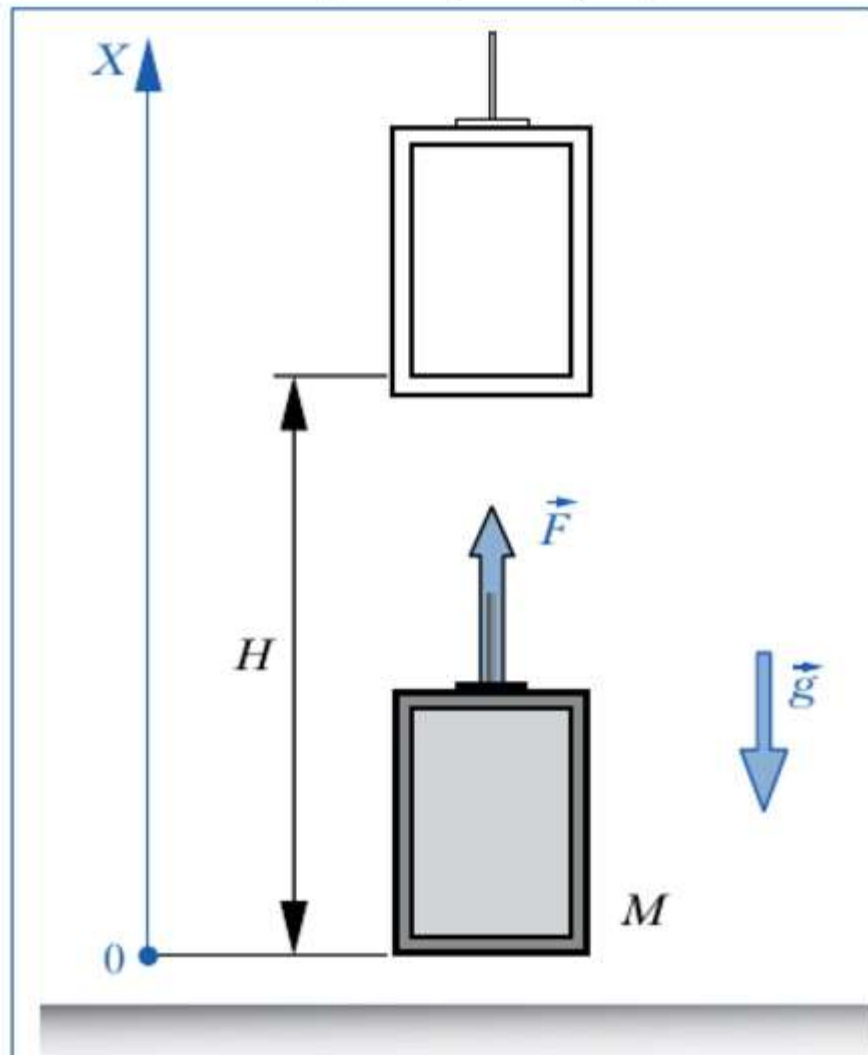
Подъём и падение тела

Задача 3

Вычислите работу силы тяжести над камнем, брошенным вертикально вверх с поверхности Земли, за промежутки времени: а) от момента броска до момента подъёма на максимальную высоту $H = 60$ м; б) от момента достижения максимальной высоты до момента, когда камень окажется на высоте $h = 45$ м; *в) от момента начала движения с поверхности Земли до момента, когда, опускаясь, камень второй раз за время полёта окажется на высоте $h = 45$ м. Масса камня равна $M = 1$ кг. Модуль ускорения свободного падения считайте равным $g = 10$ м/с².

§41 Работа нескольких сил

На движущуюся кабину лифта массой M в течение некоторого промежутка времени трос действовал с постоянной силой $\vec{F}$. Найдите работу: а) силы $\vec{F}$; б) силы тяжести; в) суммы этих сил над кабиной лифта, если за указанный промежуток времени она поднялась вертикально вверх на высоту H .



Механическая энергия. Мощность.

§44 Задача «Падение»

§44 Задача «Подъём»

§44 Задача «Сжатие пружины»

§45 Задача «Мощность»

§44 Задача «Падение»

Задача 1. «Падение»

Определите модуль v_k скорости, с которой подлетит к поверхности Земли камень, начавший свободно падать без начальной скорости ($v_0 = 0$) с высоты $h_0 = 20$ м. Модуль ускорения свободного падения считайте равным $g = 10$ м/с².

§44 Задача «Подъём»

Задача 2. «Подъём»

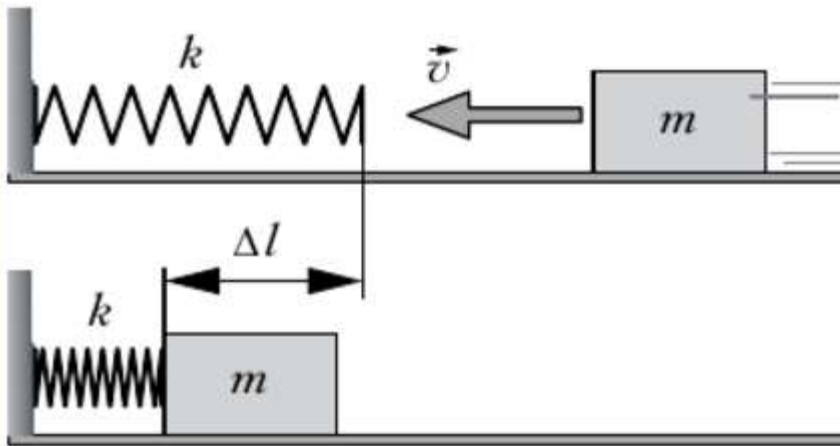
Определите максимальную высоту h_k , на которую поднимется камень, если его скорость у поверхности Земли направлена вертикально вверх, а её модуль $v_0 = 30$ м/с. Модуль ускорения свободного падения считайте равным 10 м/с².

§44 Задача «Сжатие пружины»



Задача 3. «Сжатие пружины»

На лёгкую упругую пружину жёсткостью $k = 1$ МН/м, прикрепленную к стене, налетает скользящий по гладкой горизонтальной плоскости брусок массой $m = 25$ кг (рис. 134). Модуль скорости бруска $v = 10$ м/с. Определите максимальное сжатие Δl пружины под действием этого бруска.



§45 Задача «Мощность»

Задача 1

Спортсмен поднялся по вертикальному канату за время $\Delta t = 16$ с на высоту $h = 10$ м. Какую среднюю мощность развивал этот спортсмен? Масса спортсмена $M = 80$ кг. Модуль ускорения свободного падения считайте равным 10 м/с^2 .



Задача 2

Определите массу груза, который может поднимать кран с постоянной скоростью $v = 90$ м/мин. Мощность двигателя крана $N = 15$ кВт. Модуль ускорения свободного падения считайте равным 10 м/с^2 .

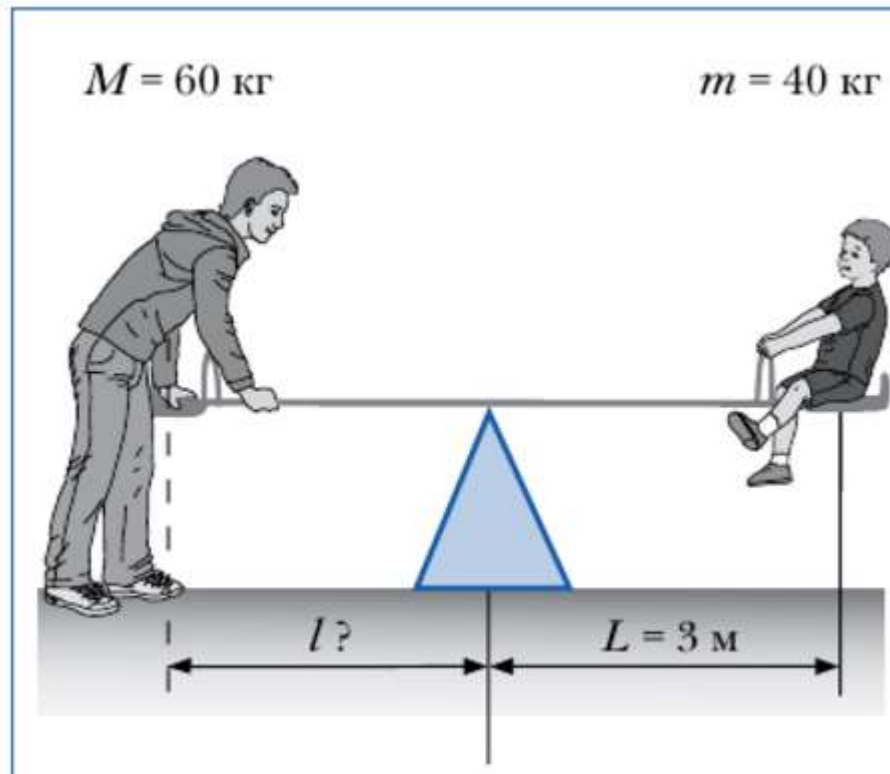
§47 Задача «Качели»

§47 Задача «Рычаг 2 рода»

§47 Задача «Качели»

Задача 1. «Качели»

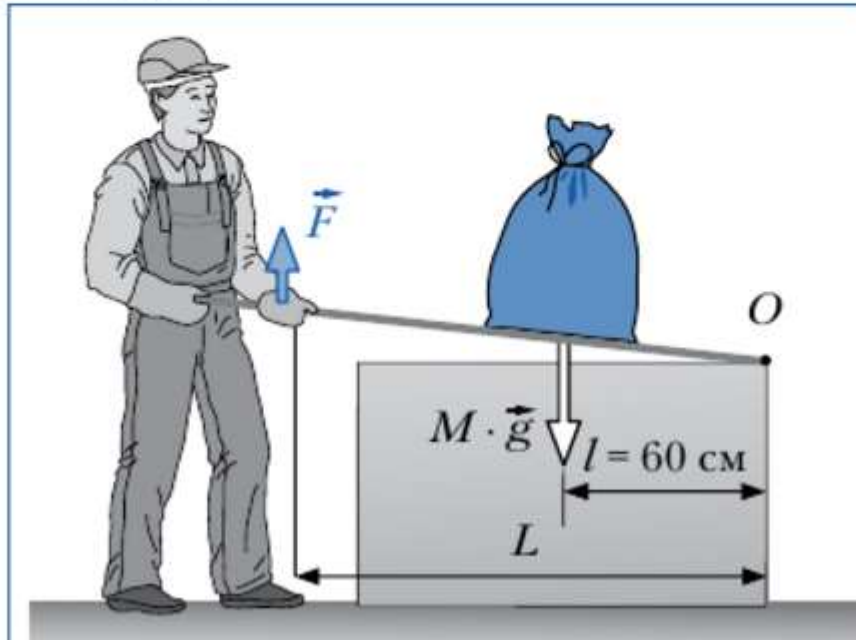
Старший брат массой $M = 60$ кг посадил младшего брата массой $m = 40$ кг на лёгкую доску качелей на расстоянии $L = 3$ м от оси её вращения (рис. 139). Куда должен сесть старший брат, чтобы доска находилась в равновесии?



§47 Задача «Рычаг 2 рода»

Задача 2. «Рычаг второго рода»

На каком расстоянии L от точки опоры O (см. рис. 140) должен взяться за лёгкий рычаг рабочий, чтобы приподнять груз массой $M = 200$ кг? Линия действия веса этого груза проходит на расстоянии $l = 60$ см от точки опоры. Рабочий прикладывает к рычагу силу, направленную вертикально вверх, её модуль $F = 600$ Н.



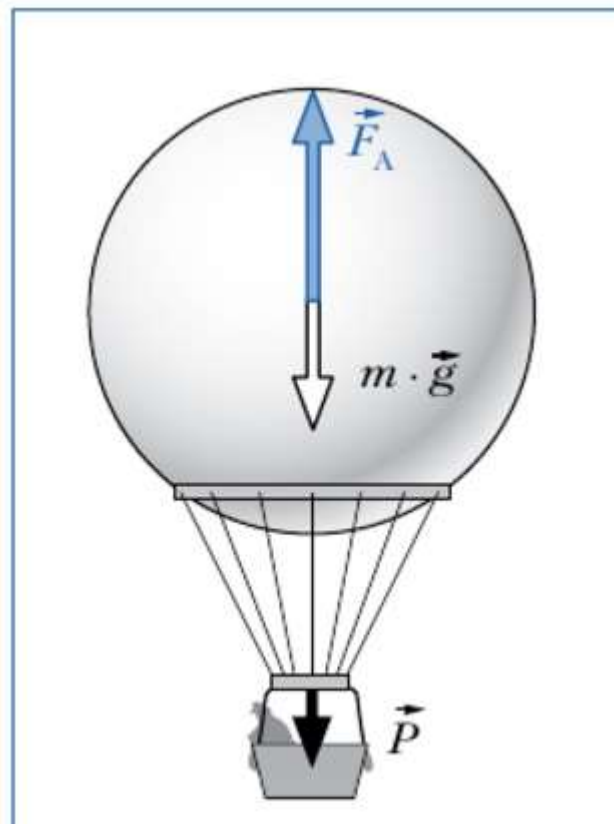
§54 Задача «Подъёмная сила
воздушного шара»

§54 Задача «Водоизмещение и
грузоподъёмность судна»

§54 Задача «Подъём воздушного шара»

Задача 1. Определение подъёмной силы воздушного шара

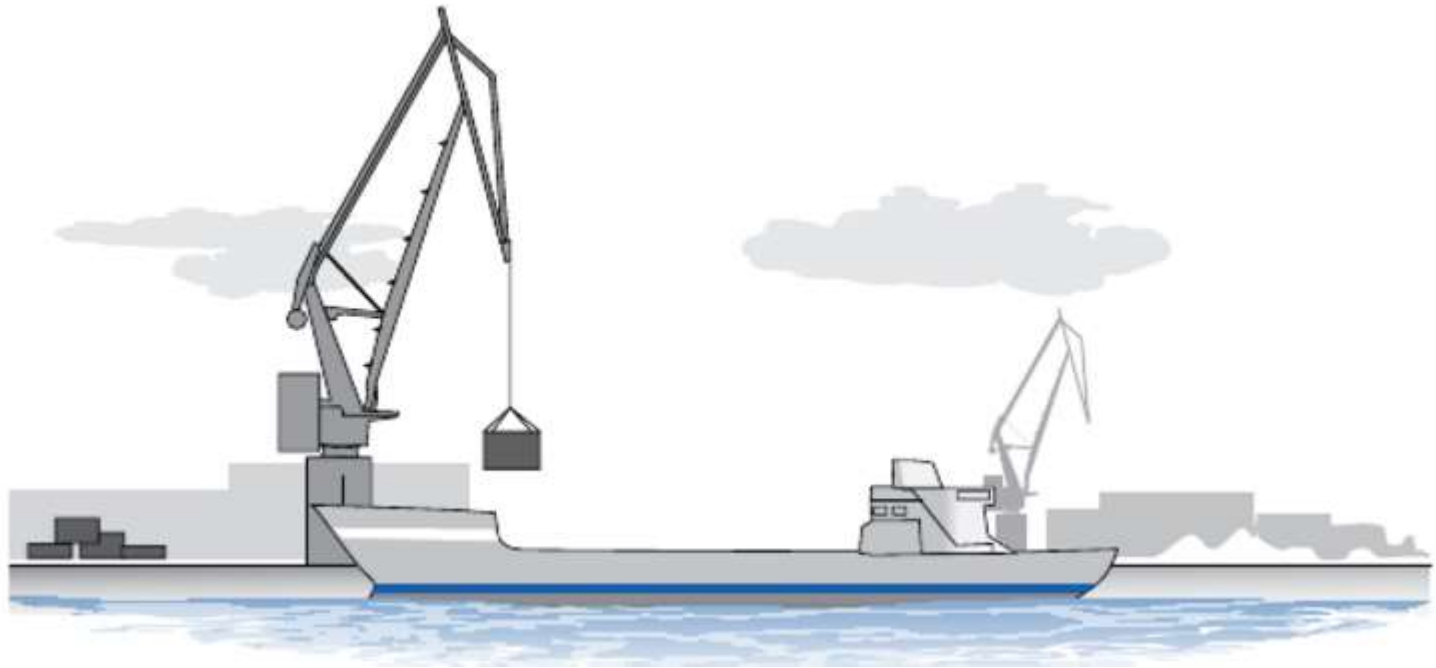
Подъёмной силой шара называют силу, равную по модулю весу груза, с которым шар может подниматься равномерно: $F_{\text{пол}} = P$. Определите эту силу.



§54 Задача «Водоизмещение и грузоподъёмность судна»

Задача 2. Определение водоизмещения и грузоподъёмности судна

Пусть судно массой M стоит у причала под погрузкой (рис. 170). На судно помещён груз массой m , и судно находится в равновесии. Определите объём той части судна, которая находится ниже уровня воды.





9 класс

§24 Выстрел

§24 Стыковка

§24 Абсолютно неупругий удар

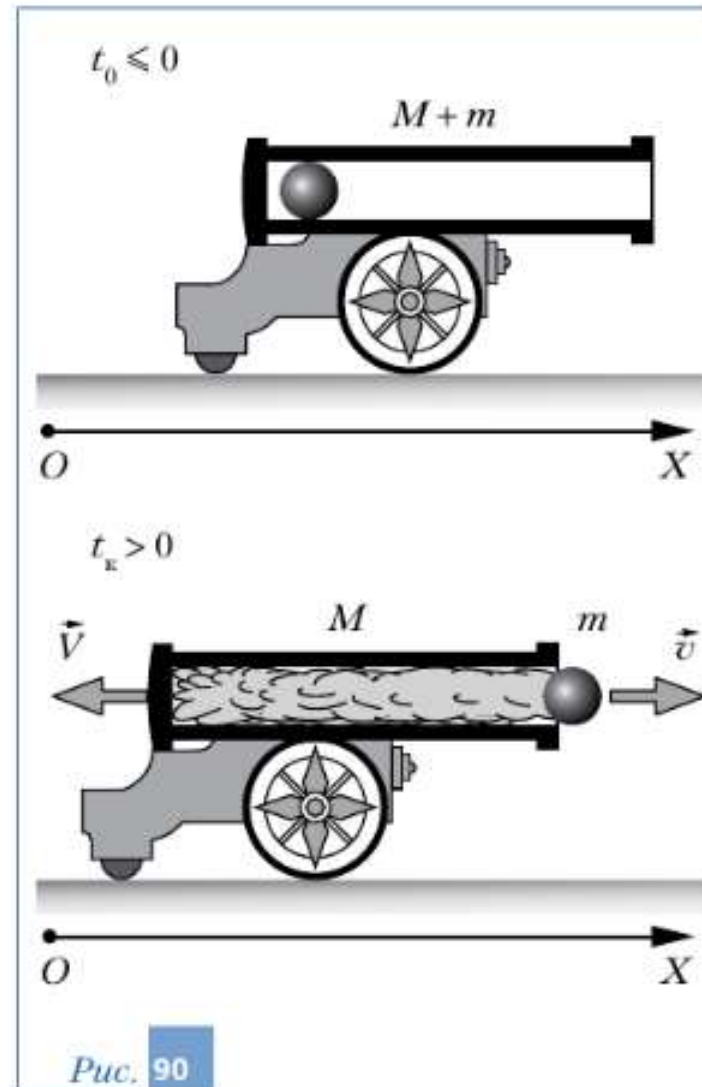
§24 Выстрел под углом к горизонту

§24 Задача «Выстрел»

Задача 1. «Выстрел»

Представим себе, что стоящая на гладкой горизонтальной поверхности пушка производит выстрел таким образом, что вылетающий из неё в горизонтальном направлении снаряд массой $m = 10 \text{ кг}$ сразу после выстрела имеет относительно Земли скорость, модуль которой $|\vec{v}| = 500 \text{ м/с}$ (рис. 90). Масса пушки $M = 1000 \text{ кг}$.

Опыт подсказывает, что после такого выстрела пушка не останется стоять на месте неподвижно относительно Земли. Однако мы не можем ответить на вопрос, какие силы действовали на пушку во время выстрела и заставили её двигаться. Мы не знаем, каковы были эти силы и как они изменялись в течение того времени, пока происходил выстрел, т. е. во время движения снаряда в стволе.



1. Выбор ИСО



2. Выбор системы тел



3. Запись закона сохранения импульса



4. Начальный и конечный импульсы



5. Решение уравнения

Тем не менее если воспользоваться законом сохранения импульса, то можно найти скорость пушки после выстрела.

Решение.

Шаг 1. Введём инерциальную систему отсчёта, ось X которой показана на рис. 90.

Шаг 2. Выберем систему тел, состоящую из пушки и снаряда. *Во время выстрела* сумма внешних сил, действующих на тела выбранной системы вдоль оси X , была равна нулю. Действительно, на пушку и снаряд вдоль оси X не действовали никакие внешние силы (пушка стоит на гладкой горизонтальной поверхности, действием воздуха на вылетающий снаряд пренебрегаем). Таким образом, на снаряд и пушку вдоль оси X действовали только силы их взаимодействия.

Шаг 3. Так как сумма внешних сил по X равна нулю, начальный импульс $\vec{p}_0$ системы (импульс в момент времени $t_0 \leq 0$, до выстрела) по закону сохранения импульса должен быть равен конечному импульсу $\vec{p}_k$ системы (импульсу в момент времени t_k , сразу после вылета снаряда из пушки):

$$\vec{p}_0 = \vec{p}_k. \quad (1)$$

Шаг 4. Запишем выражения для начального $\vec{p}_0$ и конечного $\vec{p}_k$ импульсов системы тел. Так как пушка и снаряд до выстрела покоились, то начальное значение импульса системы тел

$$p_0 = (M + m) \cdot v_0 = (M + m) \cdot 0 = 0. \quad (2)$$

После выстрела скорость снаряда относительно Земли по условию задачи равна $\vec{v}$ и направлена в положительном направлении оси X . Поэтому значение импульса снаряда после выстрела будет положительным и равным $m \cdot v$. Значение неизвестной нам скорости пушки после выстрела обозначим как V . Отметим, что если в результате решения задачи значение скорости V окажется положительным, то это будет означать, что пушка покатится в положительном направлении оси X . Напротив, если V будет отрицательным, то пушка покатится в отрицательном направлении оси X .

Значение импульса пушки после выстрела равно $M \cdot V$. Тогда конечное значение импульса системы «пушка — снаряд»

$$p_k = m \cdot v + M \cdot V. \quad (3)$$

Шаг 5. Решение уравнений. Подставим в уравнение (1) значения начального и конечного импульсов системы тел из уравнений (2) и (3):

$$(M + m) \cdot 0 = m \cdot v + M \cdot V,$$

$$M \cdot V = -m \cdot v,$$

$$V = -\frac{m \cdot v}{M},$$

$$V = -\frac{10 \text{ кг} \cdot 500 \text{ м/с}}{1000 \text{ кг}} = -5 \text{ (м/с)}.$$

Шаг 6. Проведём анализ полученного результата.

1) Знак «минус» в выражении для V означает, что пушка покатится в отрицательном направлении оси X .

2) Увеличение массы снаряда m или значения его скорости v приведёт к увеличению числителя дроби. Следовательно, в этом случае (при неизменном значении массы пушки M) увеличится модуль скорости отката пушки. Если массу снаряда или его скорость, напротив, уменьшить, то модуль скорости пушки уменьшится.

3) Если увеличить только массу пушки M , то увеличится знаменатель дроби и модуль скорости отката уменьшится. То есть чем больше масса пушки, тем меньше модуль скорости её отката.

Всё это соответствует экспериментальным данным. Следовательно, полученный ответ имеет физический смысл.

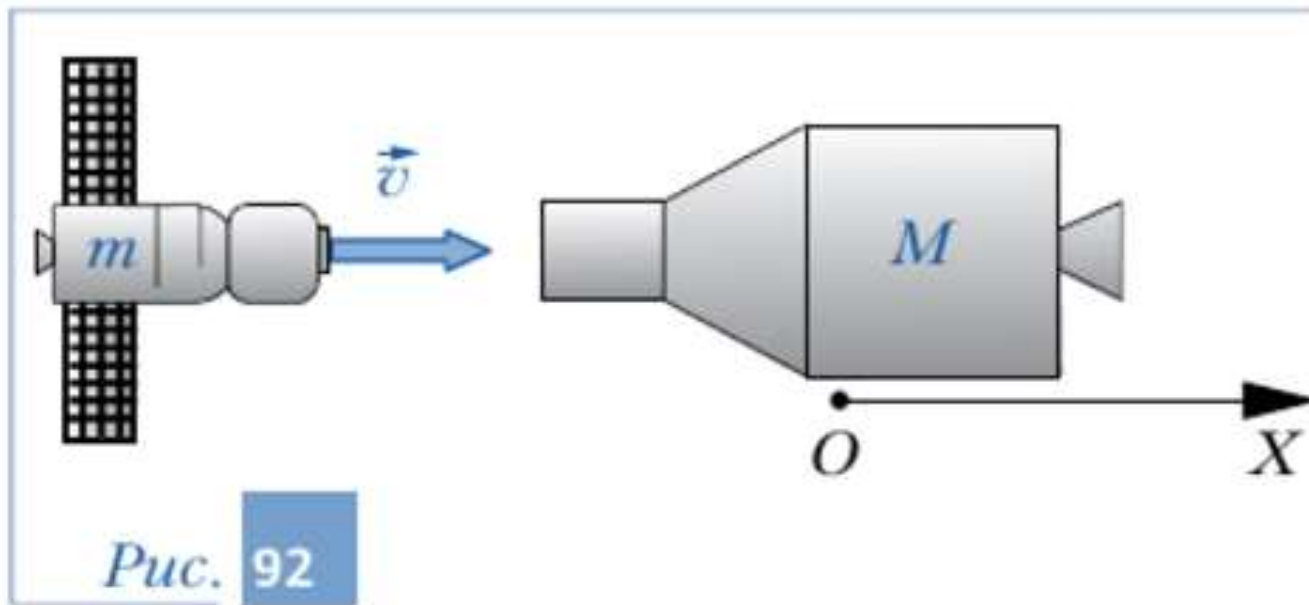
Ответ: модуль скорости пушки после выстрела равен 5 м/с.

6. Анализ полученного результата

§24 Задача «Стыковка»

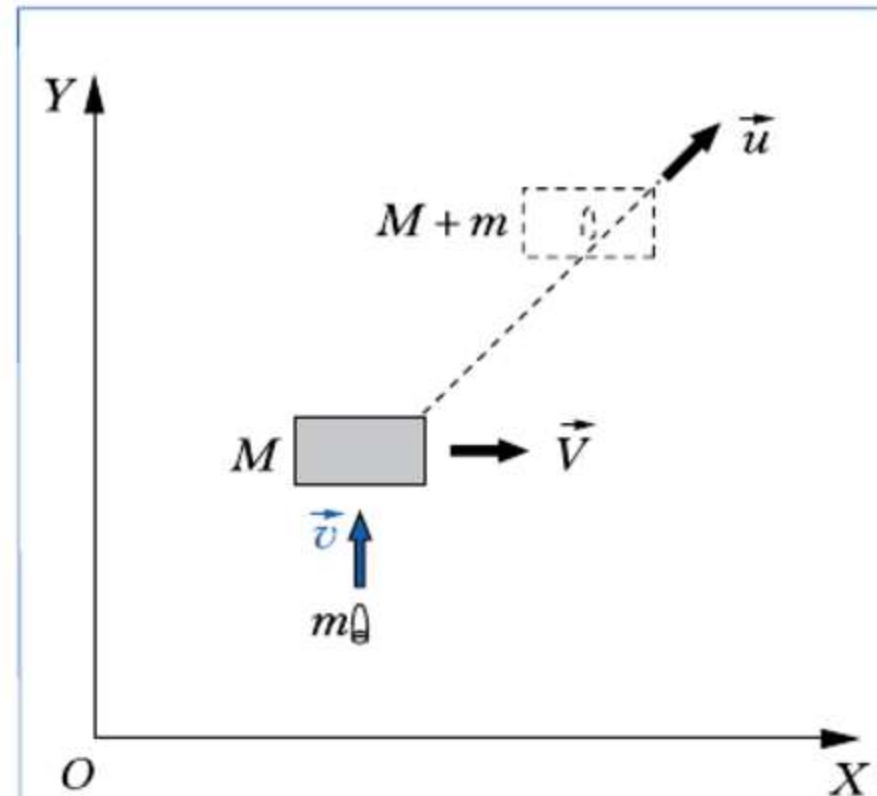
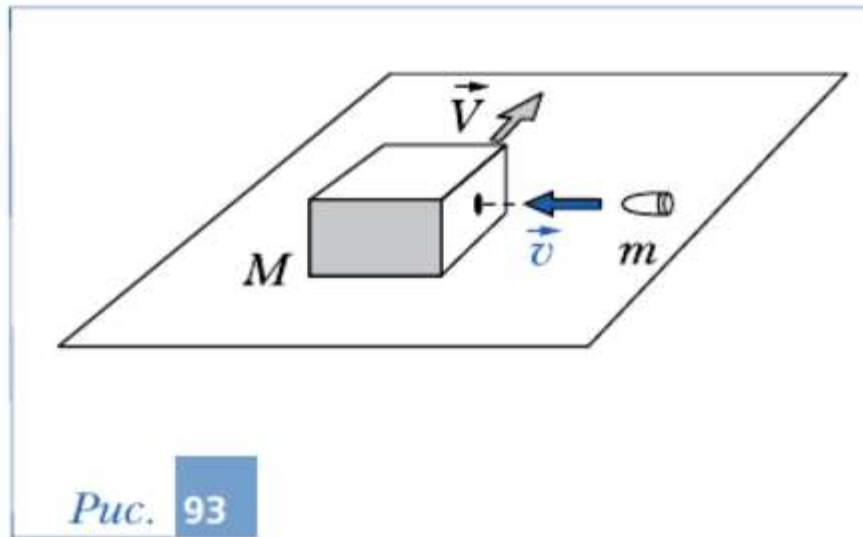
Задача 2. «Стыковка»

К межпланетной космической станции массой M , покоящейся относительно некоторой инерциальной системы отсчёта вдали от небесных тел, пристыковывается космический корабль массой m . Скорость корабля относительно станции достаточно мала по модулю и равна v . Найдите скорость $\vec{V}$ станции с пристыковавшимся к ней кораблём.



§24 Абсолютно неупругий удар

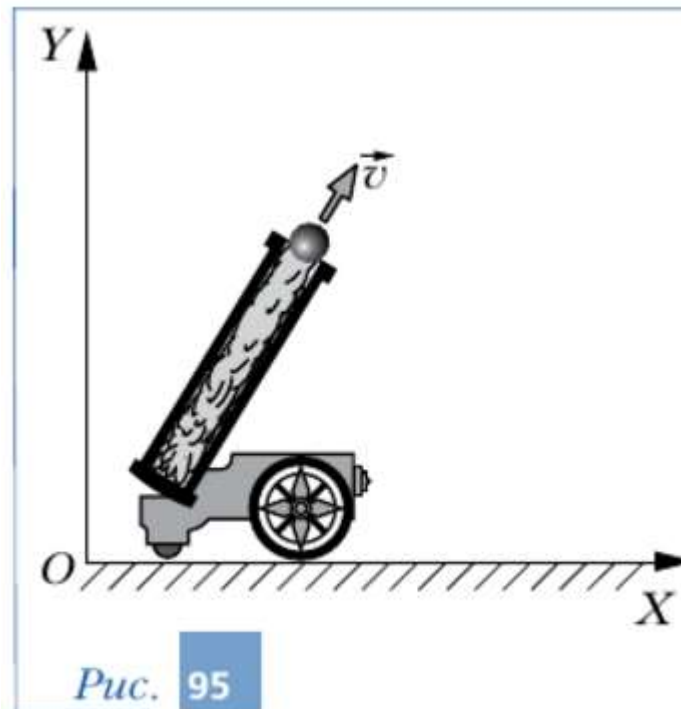
Брусок массой $M = 0,99$ кг скользит по гладкому горизонтальному полу со скоростью, модуль которой $V = 1$ м/с. Пуля массой $m = 10$ г подлетает к бруску со скоростью, модуль которой $v = 99$ м/с. Направление скорости пули горизонтально и перпендикулярно направлению скорости бруска (рис. 93). Определите модуль и направление скорости $\vec{u}$ бруска с застрявшей в нём пулей, если после попадания пули брусок движется поступательно.



§24 Выстрел под углом к горизонту

Задача 4

Стоящая на гладкой горизонтальной поверхности пушка производит выстрел так, что снаряд массой $m = 10$ кг вылетает из её ствола под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту. Модуль скорости снаряда относительно поверхности Земли сразу после выстрела равен $|\vec{v}| = 1000$ м/с. Масса пушки $M = 1$ т. Во время выстрела снаряд взаимодействует с пушкой. Поэтому и изменяются их скорости. Определите скорость пушки после выстрела.



Механическая энергия

§26 Кинетическая энергия

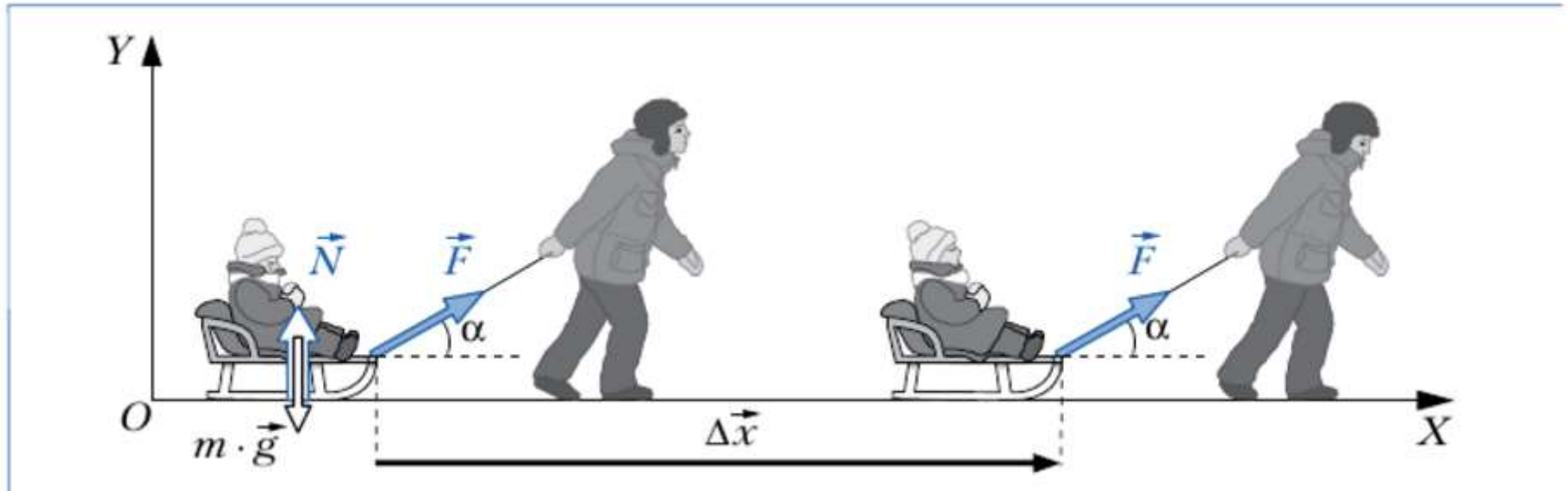
§28 Закон изменения механической энергии.
Движение по вертикали

§28 Закон изменения механической энергии.
Движение по наклонной плоскости

§26 Кинетическая энергия

Задача

Девятиклассник Алексей тянет по гладкому горизонтальному льду санки с младшей сестрой Катей (рис. 106). Угол между верёвкой и горизонтальной поверхностью $\alpha = 60^\circ$. Масса санок вместе с Катей равна $m = 25$ кг. Определите модуль F постоянной силы натяжения верёвки, если после перемещения санок на 4 м модуль их скорости увеличился от 1 до 3 м/с.





Решение.

Шаг 0. Будем считать санки с Катей материальной точкой.

Шаг 1. Систему отсчёта свяжем с Землёй так, как показано на рис. 106.

Шаг 2. Рассмотрим силы, действующие на санки с Катей: силу тяжести $m \cdot \vec{g}$, силу реакции опоры $\vec{N}$ и силу натяжения верёвки $\vec{F}$.

Шаг 3. Определим проекции сил на направление перемещения санок. Силы тяжести и реакции опоры перпендикулярны перемещению санок. Поэтому их проекции на направление перемещения равны нулю. Проекция силы $\vec{F}$ натяжения верёвки положительна и равна $F_x = F \cdot \cos \alpha$.

Шаг 4. Запишем выражение для работы суммы всех сил, действующих на санки: $A = F \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha$.

Запишем выражения для начальной и конечной кинетических энергий санок с Катей: $K_0 = \frac{m \cdot v_0^2}{2}$, $K_k = \frac{m \cdot v_k^2}{2}$.

Шаг 5. Используем теорему о кинетической энергии для санок с Катей. С учётом результатов шага 4 имеем:

$$K_0 + A = K_k, \text{ или } \frac{m \cdot v_0^2}{2} + F \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha = \frac{m \cdot v_k^2}{2}.$$

Шаг 6. Решим полученное уравнение:

$$F = \frac{m \cdot (v_k^2 - v_0^2)}{2 \Delta x \cdot \cos \alpha} = \frac{25 \cdot (3^2 - 1^2)}{2 \cdot 4 \cdot 0,5} = 50 \text{ (Н)}.$$

Ответ: модуль силы натяжения верёвки равен 50 Н.

§28 Закон изменения механической энергии

Движение по вертикали

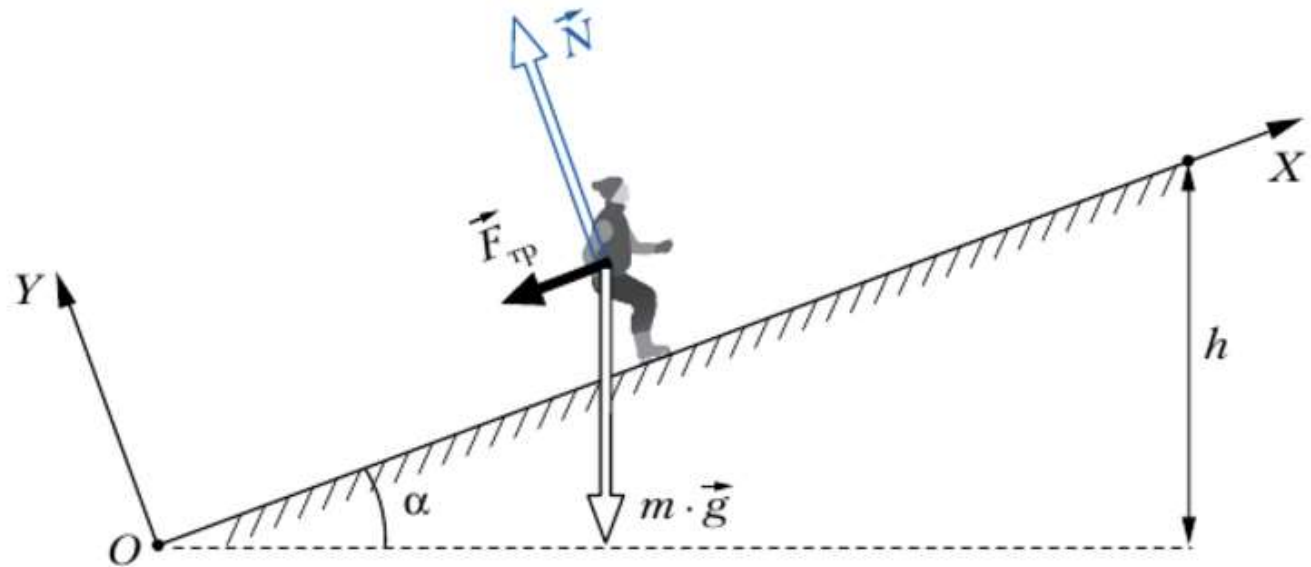
Задача 1

На тело массой $m = 5$ кг, лежащее на поверхности Земли, начинает действовать направленная вертикально вверх сила, модуль которой $F = 150$ Н. Каким будет модуль скорости этого тела, когда оно окажется на высоте $H = 10$ м?

§28 Закон изменения механической энергии

Движение по наклонной плоскости

Конькобежец массой m разогнался до скорости $\vec{v}_0$ и въехал на ледяную горку, наклон которой составляет угол α с горизонтом (рис. 112). Определите максимальную высоту h , на которую въедет конькобежец, если коэффициент трения коньков о лёд равен μ .



0. Выбираем модель

1. Выбираем ИСО

2. Определяем силы

3. Определяем работы сил

4. Начальные и конечные значения энергий

5. Закон изменения полной механической энергии

Шаг 0. Рассмотрим систему тел «конькобежец — Земля». Будем считать конькобежца материальной точкой.

Шаг 1. Выберем систему отсчёта, связанную с горкой так, как показано на рис. 112.

Шаг 2. Изобразим силы, которые действуют на въезжающего вверх на горку конькобежца: силу тяжести $m \cdot \vec{g}$, силу реакции опоры горки $\vec{N}$ и силу трения скольжения $\vec{F}_{\text{тр}}$.

Шаг 3. Внешних сил нет. Для расчёта работы силы трения определим её проекцию на направление перемещения конькобежца, т. е. на координатную ось X . Для этого определим модуль силы реакции опоры $\vec{N}$. Сумма проекций на ось Y сил, действующих на конькобежца, равна нулю. Следовательно, модуль силы реакции опоры $N = m \cdot g \cdot \cos \alpha$. Проекция на ось X силы трения скольжения отрицательна: $F_{\text{тр}x} = -\mu \cdot N = -\mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$.

Шаг 4. Запишем выражение для начальных и конечных кинетических и потенциальных энергий:

$$П_0 = m \cdot g \cdot 0 = 0, \quad K_0 = \frac{m \cdot v_0^2}{2};$$

$$П_k = m \cdot g \cdot h, \quad K_k = \frac{m \cdot 0^2}{2} = 0.$$

Модуль перемещения Δx конькобежца равен отношению высоты h к $\sin \alpha$. Поэтому работа силы трения за время подъёма конькобежца:

$$A_{\text{тр}} = F_{\text{тр}x} \cdot \Delta x = -\mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \frac{h}{\sin \alpha}.$$

Шаг 5. Воспользуемся законом изменения механической энергии:

$$K_0 + П_0 + A_{\text{тр}} + A_{\text{ex}} = K_k + П_k.$$

Работа внешних сил равна нулю, поэтому с учётом результата шага 4 получаем:

$$\frac{m \cdot v_0^2}{2} + 0 - \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \frac{h}{\sin \alpha} + 0 = 0 + m \cdot g \cdot h.$$

Следовательно,
$$h = \frac{v_0^2}{2g \cdot (\mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha + 1)}.$$

Ответ: максимальная высота
$$h = \frac{v_0^2}{2g \cdot (\mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha + 1)}.$$

5. Закон изменения полной механической энергии



§30 Тело подвешено на тросах

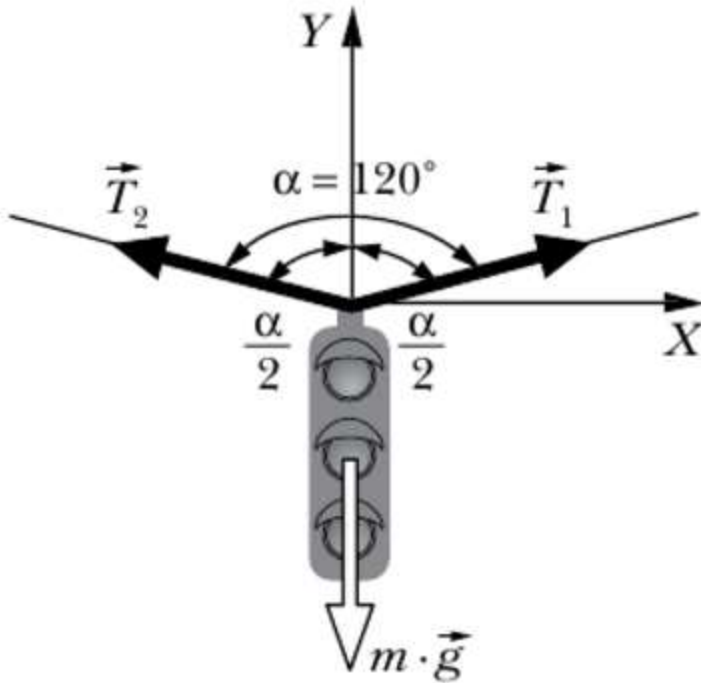
§30 Лестница прислонена к стене

§30 Система блоков

§30 Тело подвешено на тросах

Задача 1

Определите модуль силы $\vec{T}$ натяжения лёгкого троса, на котором висит светофор массой $m = 10$ кг. Угол между вертикалью и каждой частью троса равен $\frac{\alpha}{2} = 60^\circ$.



§30 Лестница прислонена к стене

Задача 2

К гладкой стене прислонена лестница массой m и длиной L , составляющая угол α с горизонтом (рис. 121). Определите, каким должен быть коэффициент трения μ лестницы о пол, чтобы она находилась в равновесии.

Решение.

Шаг 0. Будем считать лестницу телом, центр масс которого находится в её середине.

Шаг 1. Выберем инерциальную систему отсчёта так, как показано на рис. 121.

Шаг 2. Изобразим действующие на лестницу силы: силу тяжести $m \cdot \vec{g}$, приложенную к её центру масс (центру тяжести), силу $\vec{N}$ реакции пола, силу $\vec{F}_{\text{тр}}$ трения о пол и силу $\vec{F}$ реакции стены.

Шаг 3. Определим проекции сил на координатные оси. Проекция силы $\vec{F}$ на ось X положительна и равна её модулю: $F_x = F$. Проекция силы $\vec{F}_{\text{тр}}$ на эту ось отрицательна и равна её модулю со знаком «-»: $F_{\text{тр}x} = -F_{\text{тр}}$. Проекции остальных сил на ось X равны нулю. Поэтому сумма проекций всех сил на ось X равна $F - F_{\text{тр}}$.

Проекция силы $m \cdot \vec{g}$ на ось Y отрицательна и равна её модулю со знаком «-»: $m \cdot g_y = -m \cdot g$. Проекция силы $\vec{N}$ на эту ось положительна и равна её модулю: $N_y = N$. Про-

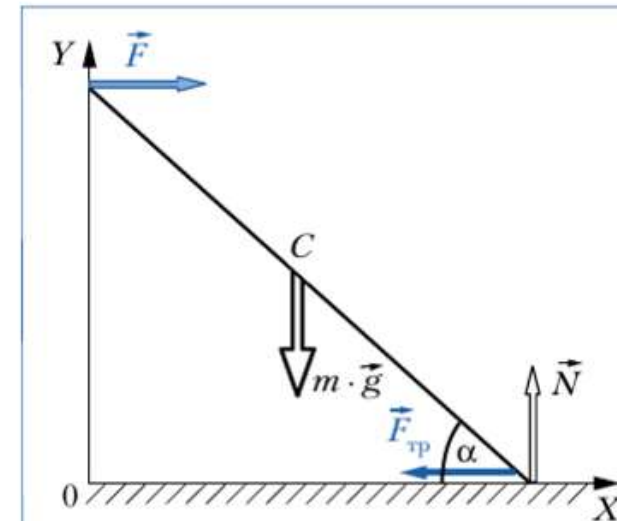


Рис. 121

0. Выбор модели

1. Выбор ИСО

2. Изображение сил

3. Определение проекций сил

4. Первое условие равновесия



4. Второе условие равновесия



5. Использование индивидуальных свойств сил



6. –



7. Составление системы уравнений



8. Решение системы уравнений

кции остальных сил на ось Y равны нулю. Поэтому сумма проекций всех сил на ось Y равна $N - m \cdot g$.

Шаг 4. С учётом шага 3 запись первого условия равновесия (равенства нулю суммы всех сил) представляет собой два уравнения:

$$F - F_{\text{тр}} = 0,$$

$$N - m \cdot g = 0.$$

Шаг 4*. Запишем второе условие равновесия лестницы — равенство нулю суммы моментов сил относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости рисунка через центр масс C этой лестницы.

Такой выбор оси вращения имеет две причины. Во-первых, при выполнении первого условия равновесия центр масс неподвижен, а, следовательно, вращение лестницы может происходить только вокруг точки C . Во-вторых, под действием изображённых на рисунке сил лестница может начать раскручиваться только вокруг оси, перпендикулярной плоскости рисунка.

Определим моменты всех действующих на лестницу сил относительно выбранной оси. Момент силы $m \cdot \vec{g}$ равен нулю, так как линия действия этой силы проходит через ось вращения и, следовательно, плечо силы тяжести равно нулю. Плечо силы N равно $0,5L \cdot \cos \alpha$. Сила N стремится раскручивать лестницу против часовой стрелки. Поэтому момент этой силы положителен и равен $0,5N \cdot L \cdot \cos \alpha$.

Плечи сил $\vec{F}$ и $\vec{F}_{\text{тр}}$ одинаковы и равны $0,5L \cdot \sin \alpha$. Эти силы стремятся раскручивать лестницу по часовой стрелке. Поэтому моменты этих сил отрицательны, а их сумма равна $-0,5F \cdot L \cdot \sin \alpha - 0,5F_{\text{тр}} \cdot L \cdot \sin \alpha$.

В результате второе условие равновесия лестницы имеет вид:

$$0,5N \cdot L \cdot \cos \alpha - 0,5(F + F_{\text{тр}}) \cdot L \cdot \sin \alpha = 0.$$

Шаг 5. По условию задачи лестница не должна скользить. Следовательно, $\vec{F}_{\text{тр}}$ является силой трения покоя. Поэтому для её модуля должно выполняться условие: $F_{\text{тр}} \leq \mu \cdot N$.

Шаг 6. В статике не используется, так как ускорения всех точек тела равны нулю по условию.

Шаг 7. Объединим полученные уравнения в систему и присвоим им названия:

$$F - F_{\text{тр}} = 0; N - m \cdot g = 0, \quad (3) \text{ (первое условие равновесия)}$$

$$N \cdot L \cdot \cos \alpha - (F + F_{\text{тр}}) \cdot L \cdot \sin \alpha = 0, \quad (4) \text{ (второе условие равновесия)}$$

$$F_{\text{тр}} \leq \mu \cdot N. \quad (5) \text{ (условие отсутствия скольжения)}$$

Шаг 8. Из условия (3) следует, что $F = F_{\text{тр}}$. Подставим F в уравнение (4): $N \cdot L \cdot \cos \alpha = 2F_{\text{тр}} \cdot L \cdot \sin \alpha$, и после сокращения на L получаем:

$$F_{\text{тр}} = \frac{N \cdot \cos \alpha}{2 \sin \alpha}.$$

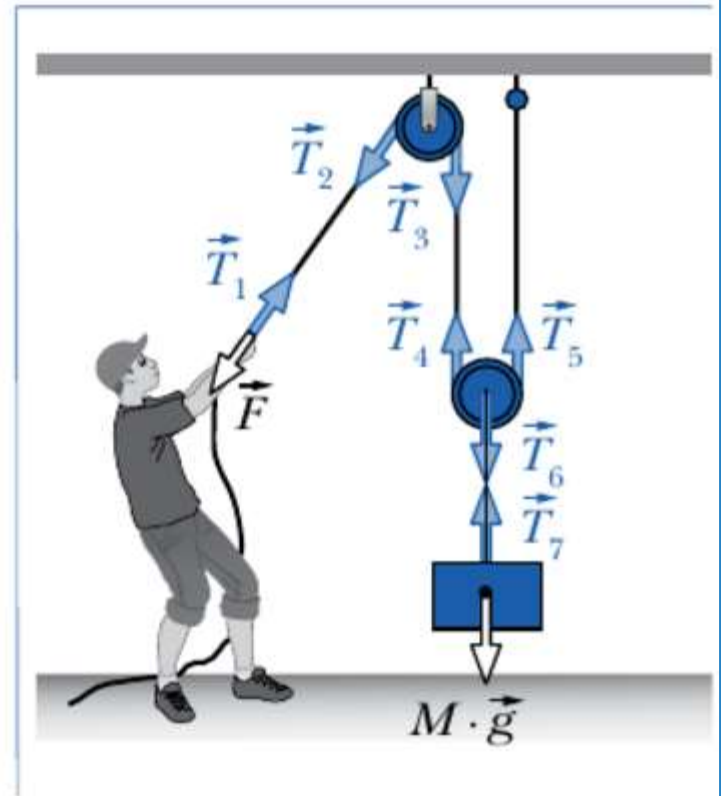
Подставим полученный результат в условие отсутствия скольжения (5).
После сокращения на N получим ответ.

Ответ: коэффициент трения $\mu \geq 0,5 \operatorname{ctg} \alpha$.

§30 Система блоков

Задача 3

Воспользуемся условиями равновесия твёрдого тела для определения выигрыша в силе, который даёт система блоков, показанная на рис. 122.



Законы сохранения. Статика.

Алгоритм решения задач.

№	Импульс	Энергия	Статика
0		Выбор модели	Выбор модели
1	Выбор ИСО	Выбор ИСО	Выбор ИСО
2	Выбор системы тел	Запись действующих сил	Изображение действующих сил
3	Запись закона сохранения импульса	Определение работы сил	Определение проекций действующих сил
4	Начальный и конечный импульс	Определение начальных и конечных значений кинетической и потенциальной энергий	Первое условие равновесия (*) Второе условие равновесия
5	Решение уравнения	Подставляем полученные значения в формулу изменения полной механической энергии	Использование индивидуальных свойств тел
6	Анализ результата		—
7			Составление системы уравнений
8			Решение системы уравнений
9			Анализ результата



10 класс

Законы сохранения в механике

§29 Закон сохранения момента импульса.

- Ядро под некоторым углом падает в тележку

§30 Теорема о движении центра масс.

- Человек переходит с кормы на нос лодки

§32 Кинетическая энергия.

- Задача о свободном падении тела

§34 Закон изменения механической энергии.

- Задача о падении груза на пружину

§35 Совместное использование законов сохранения импульса и механической энергии:

- Движение двух тел, соединённых пружиной
- Абсолютно упругий удар
- Абсолютно неупругий удар

Закон сохранения момента импульса

0. Выбор модели

1. Выбор ИСО

2. Выбор системы тел

3. Закон сохранения момента импульса

4. Начальные и конечные значения момента импульса

Ядро массой $m = 10$ кг летит вниз под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонтали, попадает в стоящую на гладких горизонтальных рельсах платформу с песком и застревает в песке (рис. 147). После этого платформа скользит поступательно. Модуль скорости ядра в момент падения $v = 400$ м/с. Масса платформы с песком $M = 9,99$ т. Определите модуль скорости скольжения платформы с застрявшим в песке ядром.

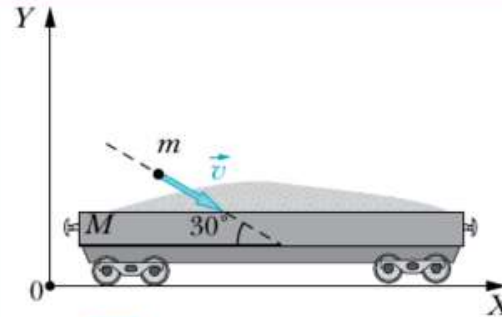


Рис. 147

Решение.

Шаг 0. Будем считать платформу с песком и ядро материальными точками.

Шаг 1. Инерциальную систему отсчёта свяжем с поверхностью Земли.

Шаг 2. Будем рассматривать платформу с песком и ядро как систему тел. Поскольку поверхность рельсов гладкая, то в течение интересующего нас промежутка времени торможения ядра в песке на тела системы вдоль горизонтальной оси X действуют только силы их взаимодействия. Поэтому проекция суммы всех внешних сил на эту ось равна нулю.

Шаг 3. Из шага 2 по закону сохранения проекции импульса следует, что проекция на ось X начального импульса $\vec{p}_0$ системы (в момент времени перед касанием ядром песка) равна проекции на ту же ось конечного импульса $\vec{p}_k$ системы (в момент времени сразу после застревания ядра в песке):

$$p_{0x} = p_{kx}. \quad (7)$$

Шаг 4. В начальный момент времени, когда ядро движется со скоростью $\vec{v}$, платформа покоится. Поэтому проекция начального импульса системы тел на ось X равна:

$$p_{0x} = m \cdot v \cdot \cos \alpha + M \cdot 0 = m \cdot v \cdot \cos \alpha. \quad (8)$$

5. Решение уравнения



6. Анализ результата

После застревания ядра в песке ядро и платформа движутся как одно тело массой $M + m$. Поэтому проекция конечного импульса системы тел на ось X равна:

$$p_{\text{кx}} = (M + m) \cdot v_{\text{к}}. \quad (9)$$

Шаг 5. Подставив уравнения (8) и (9) в уравнение (7), получим:

$$m \cdot v \cdot \cos \alpha = (M + m) \cdot v_{\text{к}}, \text{ откуда}$$

$$v_{\text{к}} = \frac{m \cdot v \cdot \cos \alpha}{M + m}. \quad (10)$$

Шаг 6. Проведём анализ полученного результата.

1) Выражение имеет размерность скорости. Поэтому с точки зрения размерности полученный результат верен.

2) Увеличение массы ядра или модуля его скорости приведёт к увеличению числителя дроби. Так как при этом масса платформы с песком много больше массы ядра, то знаменатель практически не изменится. В результате модуль скорости платформы с песком и ядром увеличится.

3) Если увеличить только массу платформы с песком, то знаменатель дроби увеличится при неизменном числителе. В результате модуль скорости платформы с песком и ядром уменьшится.

4) Увеличение угла между вектором скорости ядра и горизонтом приведёт к уменьшению косинуса этого угла. Косинус угла стоит в числителе. Поэтому модуль конечной скорости системы уменьшится.

Полученный ответ имеет физический смысл.

Подставив в полученное выражение (10) числовые данные, находим:

$$v_{\text{к}} \approx 0,35 \text{ м/с.}$$

Ответ: модуль скорости платформы с песком и ядром примерно равен 0,35 м/с.

В рассмотренной задаче тела после соударения движутся как одно целое. В таких случаях говорят, что произошёл *абсолютно неупругий удар*.

Абсолютно неупругим ударом называют соударение тел, после которого они движутся как одно целое.

Теорема о движении центра масс

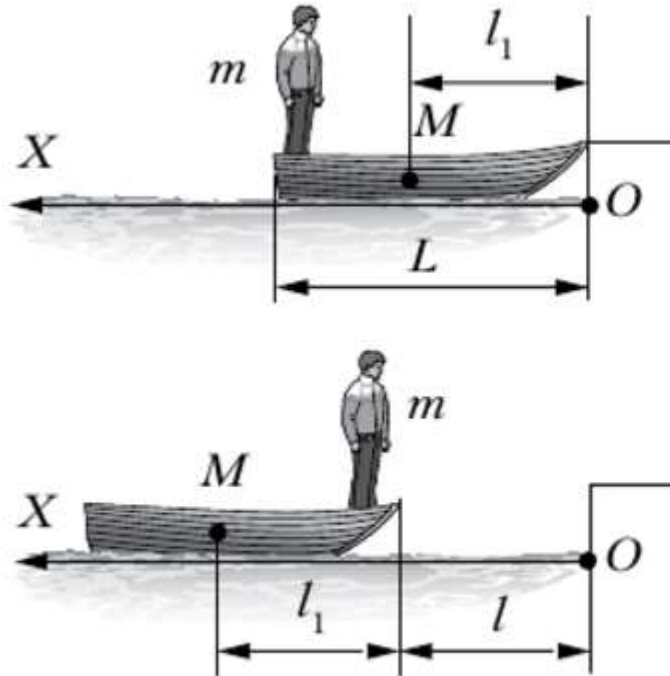


Рис. 151

Задача

Человек массой m стоит на корме лодки массой M и длиной L , которая причалила к пристани (точка O). Расстояние от носа лодки до её центра масс по горизонтали равно l_1 . Человек переходит на нос лодки. Определите расстояние l , на которое сместится лодка (рис. 151).

Теорема о движении центра масс

0. Выбор модели



1. Выбор ИСО

Решение.

Шаг 0. Будем пренебрегать силами сопротивления движению лодки.

Шаг 1. Инерциальную систему отсчёта свяжем с пристанью, направив ось X горизонтально.

2. Выбор системы тел



3. Сохранение координаты центра масс



4. Начальные и конечные значения координаты центра масс



5. Решение уравнения



6. Анализ результата

Шаг 2. Будем считать человека и лодку системой материальных точек.

Шаг 3. Поскольку сил сопротивления движению нет, то проекция суммы всех внешних сил на ось X равна нулю. Следовательно, ускорение центра масс системы равно нулю. Поскольку изначально лодка и человек покоились, то положение центра масс системы не изменяется:

$$x_{\text{цм } 0} = x_{\text{цм } \kappa}. \quad (16)$$

Шаг 4. Так как начальная координата человека по оси X равна L , а начальная координата центра масс лодки — l_1 , в начальный момент времени в соответствии с формулой (5) координата центра масс системы равна:

$$x_{\text{цм } 0} = \frac{m \cdot L + M \cdot l_1}{m + M}. \quad (17)$$

Конечная координата человека по оси X равна l , а центра масс лодки — $(l + l_1)$. Поэтому в конечный момент времени в соответствии с формулой (5) координата центра масс системы равна:

$$x_{\text{цм } \kappa} = \frac{m \cdot l + M \cdot (l + l_1)}{m + M}. \quad (18)$$

Шаг 5. Подставив уравнения (17) и (18) в (16), получаем:

$$l = \frac{m \cdot L}{m + M}. \quad (19)$$

Шаг 6. Проведём анализ полученного результата.

Выражение имеет размерность длины, поэтому с точки зрения размерности полученный результат верен. Из формулы (19) следует, что чем больше длина лодки и меньше её масса, тем на большее расстояние сместится лодка. Напротив, чем меньше масса человека, тем меньшим будет смещение лодки.

Кинетическая энергия

Задача

Пусть с высоты h над поверхностью Земли вертикально вниз с начальной скоростью $\vec{v}_0$ бросают камень. Определите скорость $\vec{v}_n$ его падения на Землю.

Закон изменения механической энергии

0. Выбор модели

1. Выбор ИСО

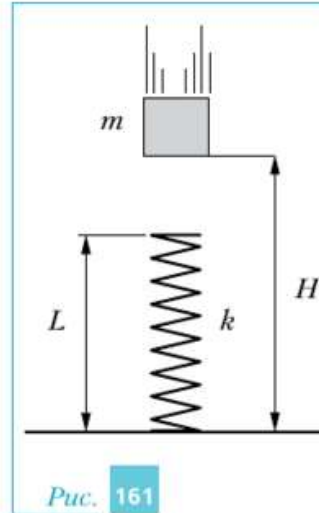
2. Рассмотрение сил

3. Установление сил, совершающих работу

4. Запись начальных и конечных энергий

Задача

Лёгкая пружина длиной L жёсткостью k стоит на горизонтальной площадке вертикально. С высоты H на неё падает маленький брусок массой m (рис. 161). Определите модуль максимальной скорости бруска при его движении вниз.



Решение.

Шаг 0. Рассмотрим систему тел «пружина – брусок – Земля». Будем считать брусок материальной точкой. Влиянием сил сопротивления со стороны воздуха пренебрежём.

Шаг 1. Инерциальную систему отсчёта свяжем с Землёй.

Шаг 2. На брусок действует сила тяжести $m \cdot \vec{g}$. Кроме того, после касания бруском пружины на него начнёт действовать нарастающая по мере деформации пружины сила упругости. Пока модуль силы упругости будет меньше модуля силы тяжести, брусок будет продолжать разгоняться. После того как модуль силы упругости станет больше модуля силы тяжести, модуль скорости бруска начнёт уменьшаться. Таким образом, модуль скорости бруска достигнет максимума в тот момент, когда модуль силы тяжести станет равным модулю силы упругости:

$$m \cdot g = k \cdot \Delta L, \quad (9)$$

где ΔL – сжатие пружины в интересующий нас момент времени.

Шаг 3. Внешних сил нет.

Шаг 4. Брусок в начальный момент времени покоился. Обозначим максимальный модуль скорости бруска в интересующий нас момент времени v . По условию задачи массой пружины можно пренебречь. Поэтому выражение для начальной и конечной кинетической энергии имеет вид:

$$K_0 = 0; \quad K_k = \frac{m \cdot v^2}{2}.$$

За промежуток времени от начального до интересующего нас момента брусок опускается с высоты H до высоты $L - \Delta L$. При этом изначально недеформированная пружина сжимается на ΔL . Поэтому выражения для начальной и конечной потенциальной энергии имеют вид:

Закон изменения механической энергии

$$П_0 = m \cdot g \cdot H; \quad П_к = m \cdot g \cdot (L - \Delta L) + \frac{k \cdot \Delta L^2}{2}.$$

Шаг 5. Запишем закон изменения механической энергии:

$$K_0 + П_0 + A_{тр} + A_{ex} = K_к + П_к.$$

С учётом полученных результатов имеем:

$$0 + m \cdot g \cdot H + 0 + 0 = \frac{m \cdot v^2}{2} + \frac{k \cdot \Delta L^2}{2} + m \cdot g \cdot (L - \Delta L). \quad (10)$$

Выразив ΔL из уравнения (9) и подставив его значение в (10), получим:

$$v = \sqrt{2g \cdot (H - L) + \frac{m \cdot g^2}{k}}.$$

$$\text{Ответ: } v = \sqrt{2g \cdot (H - L) + \frac{m \cdot g^2}{k}}.$$

5. Запись закона изменения полной механической энергии

Совместное использование ЗСИ и ЗИМЭ

Движение тел, соединённых пружиной

0. Выбор модели

1. Выбор ИСО

2. Рассмотрение сил

3. Установление сил, совершающих работу

4. Запись начальных и конечных энергий и импульсов

Задача 1

На гладкой горизонтальной поверхности лежат два связанных нитью бруска (рис. 162). Масса первого бруска равна M , а второго — $2M$. Между брусками

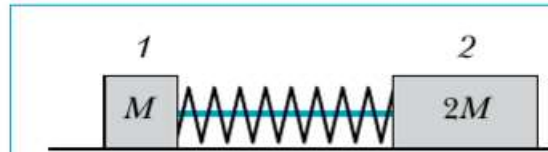


Рис. 162

вставлена лёгкая пружина жёсткостью k . Пружина сжата на величину Δl . После того как нить пережигают, бруски под действием пружины разъезжаются в противоположные стороны. Определите скорости движения брусков, если известно, что они движутся поступательно.

Решение.

Шаг 0. Рассмотрим систему тел «бруски — пружина». После пережигания нити бруски движутся поступательно, поэтому будем считать их материальными точками. Силами сопротивления со стороны воздуха пренебрежём.

Шаг 1. Инерциальную систему отсчёта свяжем с поверхностью стола. Ось X направим параллельно нити и оси пружины от первого бруска ко второму.

Шаг 2. На бруски действуют силы тяжести, силы реакции опоры и силы упругости пружины.

Шаг 3. Силы тяжести и реакции опоры перпендикулярны направлению движения брусков, а действующие на бруски силы упругости направлены вдоль оси X .

Шаг 4. По условию задачи массой пружины следует пренебречь. Поэтому её кинетическая энергия и импульс равны нулю. Сразу после пережигания

5. Запись закона сохранения импульса, закона изменения механической энергии. Решение уравнений.



6. Анализ результата

ния нити (в начальный момент времени) бруски покоятся. Поэтому начальная кинетическая энергия и начальный импульс системы равны нулю:

$$K_0 = 0; p_0 = 0.$$

В начальный момент времени пружина сжата на Δl . Поэтому начальная потенциальная энергия пружины равна:

$$\Pi_0 = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2}.$$

Пусть v_1 и v_2 — проекции на ось X скоростей первого и второго брусков после того, как пружина разожмётся и перестанет действовать на них. Тогда кинетическая энергия системы, потенциальная энергия пружины и проекция импульса системы на ось X в этот момент времени будут соответственно равны:

$$K_k = \frac{M \cdot v_1^2}{2} + \frac{2M \cdot v_2^2}{2}; \quad \Pi_k = 0; \quad p_k = M \cdot v_1 + 2M \cdot v_2.$$

Шаг 5. Поскольку внешние силы — силы тяжести и реакции опоры перпендикулярны направлению движения брусков, то работа этих сил равна нулю. Сумма внешних сил равна нулю. Поэтому импульс системы тел сохраняется. Силы упругости пружины являются внутренними потенциальными силами. Поэтому они не изменяют механическую энергию системы. Силы трения отсутствуют. Запишем законы сохранения механической энергии и проекции импульса на ось X :

$$K_0 + \Pi_0 = K_k + \Pi_k; \quad p_0 = p_k.$$

С учётом результатов шага 4 имеем:

$$0 + \frac{k \cdot \Delta l^2}{2} = \frac{M \cdot v_1^2}{2} + \frac{2M \cdot v_2^2}{2} + 0; \quad (1)$$

$$0 = M \cdot v_1 + 2M \cdot v_2. \quad (2)$$

Выразив v_1 из уравнения (2) и подставив его в (1), получаем:

$$v_1 = -\sqrt{\frac{2k}{3M}} \cdot \Delta l; \quad v_2 = \sqrt{\frac{k}{6M}} \cdot \Delta l.$$

Шаг 6. Проанализируем полученный результат. Прежде всего отметим, что полученные выражения имеют размерность скорости:

$$\left[\frac{м}{с} \right] = \sqrt{\frac{[Н/м]}{[кг]}} \cdot [м] = \sqrt{\frac{[кг \cdot м]}{[кг \cdot с^2 \cdot м]}} \cdot [м].$$

Совместное использование ЗСИ и ЗИМЭ

Абсолютно упругий удар

Пусть два однородных шара массами m_1 и m_2 движутся поступательно навстречу друг другу вдоль линии, соединяющей их центры. Модули их скоростей равны v_1 и v_2 (рис. 163).

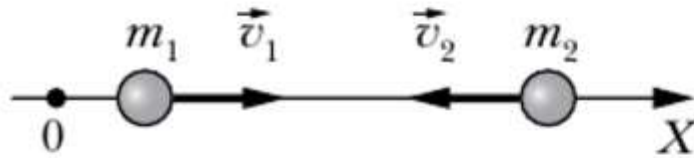


Рис. 163

Если начальные скорости шаров направлены вдоль линии, соединяющей их центры, то удар таких шаров называют *центральной*. Определите скорости шаров после удара, считая его *центральной* и *абсолютно упругим*.

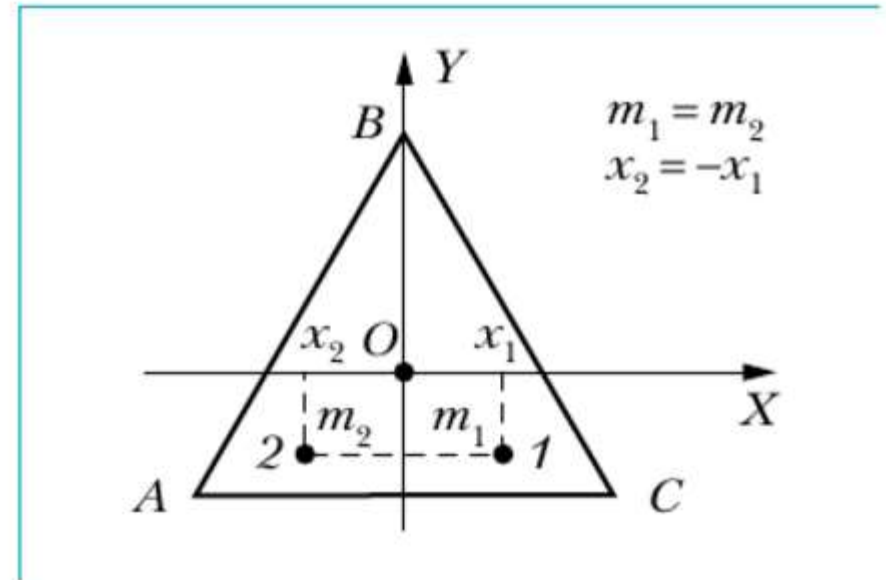
§37 Определение центра масс плоской фигуры

§37 Решение задач статики с применением двух условий равновесия

Определение центра масс плоской фигуры

Задача 1

Пусть из тонкого однородного медного листа вырезан равносторонний треугольник ABC (рис. 173). Определите положение центра масс этого треугольника.



Решение задач статики с применением двух правил равновесия

Задача 2

Прямоугольная картина массой m висит на стене так, как показано на рис. 175, а. Прикреплённая к картине верёвка расположена в одной вертикальной плоскости с центром масс картины и образует с горизонтом угол β . Картина образует с вертикалью угол α . Высота картины равна H . Определите минимальное значение коэффициента трения между стеной и картиной.

Решение.

Шаг 0. Будем считать картину твёрдым симметричным по двум осям телом, центр масс которого находится в его середине (на равном удалении от сторон).

0. Выбор модели

1. Выбор ИСО

2. Изображение сил

3. Определение проекций сил

4. Первое условие равновесия

4. Второе условие равновесия

Шаг 1. Выберем инерциальную систему отсчёта так, как показано на рис. 175, б.

Шаг 2. Изобразим действующие на картину силы: силу тяжести $m \cdot \vec{g}$, приложенную к её центру масс (центру тяжести), силу $\vec{N}$ нормальной реакции стены, силу $\vec{F}_{\text{тр}}$ трения картины о стену и силу $\vec{F}$, действующую на картину со стороны верёвки.

Шаг 3. Определим проекции сил на координатные оси. Проекция силы тяжести $m \cdot \vec{g}$ и силы $\vec{F}_{\text{тр}}$ на ось X равны нулю. Проекция силы $\vec{N}$ на эту ось положительна и равна её модулю: $N_x = N$. Проекция силы $\vec{F}$ на ось X отрицательна и равна $F_x = -F \cdot \cos \beta$. Поэтому сумма проекций всех сил на ось X равна: $N - F \cdot \cos \beta$.

Проекция силы тяжести на ось Y отрицательна и равна её модулю со знаком «минус»: $m \cdot g_y = -m \cdot g$. Проекция силы $\vec{F}$ на ось Y положительна и равна: $F_y = F \cdot \sin \beta$. Проекция силы трения на эту ось положительна и равна её модулю: $F_{\text{тр}y} = F_{\text{тр}}$. Проекция силы $\vec{N}$ на ось Y равна нулю. Поэтому сумма проекций всех сил на ось Y равна: $F \cdot \sin \beta + F_{\text{тр}} - m \cdot g$.

Шаг 4. Из первого условия равновесия в проекциях на координатные оси следует, что:

$$N - F \cdot \cos \beta = 0; \quad (1)$$

$$F \cdot \sin \beta + F_{\text{тр}} - m \cdot g = 0. \quad (2)$$

Шаг 4*. Запишем второе условие равновесия картины — равенство нулю суммы моментов действующих на неё сил относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости рисунка. Ось проведём через точку B картины. Такой выбор оси обусловлен следующими соображениями. Во-первых, под действием изображённых на рисунке сил картина может начать вращаться только вокруг оси, перпендикулярной плоскости рисунка. Во-вторых, при таком выборе оси линия действия силы натяжения верёвки проходит через ось. Поэтому момент этой силы будет равен нулю. Кроме того, плечи сил нормальной реакции стены и трения легко выражаются через заданные в условии задачи параметры и соответственно равны: $H \cdot \cos \alpha$ и $H \cdot \sin \alpha$. Плечо силы тяжести равно $0,5H \cdot \sin \alpha$. Силы $\vec{N}$ и $m \cdot \vec{g}$ стремятся раскручивать картину против часовой стрелки, а сила тре-

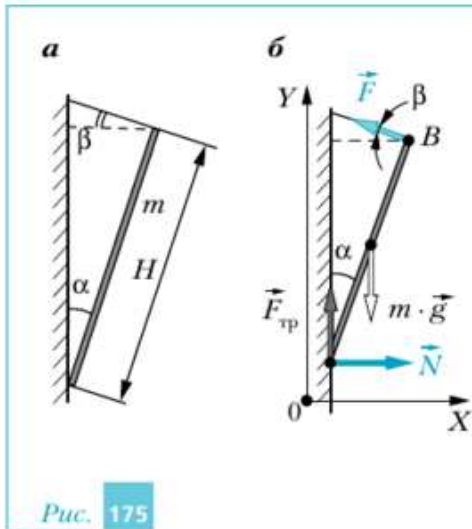


Рис. 175

5. Использование индивидуальных свойств сил



6. –



7. Составление системы уравнений



8. Решение системы уравнения

ния $\vec{F}_{\text{тр}}$ – в противоположном направлении. С учётом знаков второе условие равновесия картины относительно выбранной оси имеет вид:

$$N \cdot H \cdot \cos \alpha + m \cdot g \cdot 0,5H \cdot \sin \alpha - F_{\text{тр}} \cdot H \cdot \sin \alpha = 0. \quad (3)$$

Шаг 5. По условию задачи картина не должна скользить. Следовательно, $\vec{F}_{\text{тр}}$ является силой трения покоя. Поэтому

$$F_{\text{тр}} \leq \mu \cdot N. \quad (4)$$

При минимальном коэффициенте трения неравенство (4) превращается в равенство.

Шаг 6. В статике не используется, так как ускорения всех точек тела равны нулю по условию.

Шаг 7. Объединим полученные уравнения в систему:

$$N - F \cdot \cos \beta = 0; \quad (1) \text{ (первое условие равновесия по оси } X)$$

$$F \cdot \sin \beta + F_{\text{тр}} - m \cdot g = 0; \quad (2) \text{ (первое условие равновесия по оси } Y)$$

$$N \cdot H \cdot \cos \alpha + m \cdot g \cdot 0,5H \cdot \sin \alpha - F_{\text{тр}} \cdot H \cdot \sin \alpha = 0; \quad (3) \text{ (второе условие равновесия)}$$

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N. \quad (4) \text{ (условие минимальности коэффициента трения)}$$

Шаг 8. Выражая F из уравнения (1) и подставляя его в уравнение (2), с учётом условия (4) получаем:

$$N \cdot (\mu + \operatorname{tg} \beta) = m \cdot g.$$

Выражая отсюда N и подставляя его в уравнение (3), с учётом условия (4) после приведения подобных членов имеем: $\mu = 2 \operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{tg} \beta$.

Ответ: минимальный коэффициент трения $\mu = 2 \operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{tg} \beta$.

Законы сохранения.

Алгоритм решения задач.

Шаг	ЗСИ	ЗСМЭ	ЗСИ+ЗСМЭ
0	Выбор модели	Выбор модели	Выбор модели
1	Выбор ИСО	Выбор ИСО	Выбор ИСО
2	Выбор тел системы, рассмотрение сил	Рассмотрение сил	Рассмотрение сил
3	Запись ЗСИ	Установление сил, совершающих работу	Установление сил, совершающих работу
4	Запись начальных и конечных значений импульсов тел системы	Запись начальных и конечных значений энергий	Запись начальных и конечных значений импульсов и энергий
5	Составление уравнения, его решение	Запись ЗСМЭ (ЗИМЭ при наличии сил трения или внешних сил), решение уравнения	Запись ЗСИ, ЗСМЭ, решение системы уравнений
6	Анализ ответа	Анализ ответа	Анализ ответа

Серия вебинаров «Решение задач»

Вебинары по алгоритмическому подходу к решению задач можно посмотреть здесь:

Кинематика

Динамика

Статика и гидростатика. Законы сохранения.

Молекулярно-кинетическая теория и термодинамика

ЛИНИЯ УМК **ФИЗИКА** 7 – 11 КЛАССЫ

Грачёв А.В. и др.



- Инновационный УМК
- Систематизация физических знаний
- Система обучения решению задач
- Оптимальный УМК для подготовки к ЕГЭ, ОГЭ, олимпиадам

Состав УМК:

- Учебник в печатной и электронной формах
- Рабочая программа
- Проектирование учебного курса
- Рабочие тетради
- Тетради для лабораторных работ

ФП № 1.2.5.1.3.1

ФП № 1.2.5.1.3.2

ФП № 1.2.5.1.3.3

ФП № 1.3.5.1.5.1

ФП № 1.3.5.1.5.2



Поможем оформить закупку учебников и учебных пособий для вашей школы.

По всем вопросам пишите на почту
sales@rosuchebnik.ru

УМК «Физика» А.В. Грачёва и др. 7 – 9 класс



1.2.5.1.3.1



1.2.5.1.3.2



1.2.5.1.3.3

УМК «Физика» А.В. Грачёва и др. 10 – 11 класс



1.3.5.1.5.1



1.3.5.1.5.2

В свободном
доступе

[СКАЧАТЬ ЗДЕСЬ](#)



В свободном
доступе

[СКАЧАТЬ ЗДЕСЬ](#)

Физика

Рабочая программа
к линии УМК А.В. Грачёва

10–11



Электронная форма учебника



Бесплатно получить
электронные формы
учебников можно на сайте
<https://lecta.rosuchebnik.ru/>

по промо-кодам:

UMK2019
5books

УМК «Физика» Грачёва А.В. – единственные учебники, которые школа может получить **бесплатно**

Если Вы желаете работать по учебникам Грачёва А.В.,
а школа не имеет возможности их закупить, то
можно написать на адрес Opalovskiy.VA@rosuchebnik.ru

Вам будет отправлена форма заявки для
бесплатного обеспечения школы учебниками
физики Грачёва А.В.

Опаловский Владимир Александрович

Методист по физике и астрономии корпорации «Российский учебник»



- ✓ Учитель высшей квалификационной категории
- ✓ Педагогический стаж 15 лет
- ✓ Кандидат технических наук

Opalovskiy.VA@rosuchebnik.ru

- Телефон «Горячей линии» бесплатный по всей России **+7 (800) 700-64-83**
- Телефон «Горячей линии» бесплатный при звонке из Москвы **8 (499) 270-14-59**
- Электронный адрес: help@rosuchebnik.ru



Цифровая среда школы
lecta.rosuchebnik.ru



Сайт
rosuchebnik.ru