

**Решение.** В верхней точке 2 траектории шарик должен иметь некоторую линейную скорость  $\vec{v}_2$ , в противном случае он начнет падать из этой точки вертикально вниз.

По второму закону Ньютона  $m\vec{g} + \vec{T} = m\vec{a}$ , где  $\vec{T}$  — сила натяжения нити в точке 2,  $\vec{a}$  — ускорение в этой точке. Скорость  $\vec{v}_2$  минимальна при  $\vec{T} = \vec{0}$ , т. е.  $m\vec{g} = m\vec{a}$ . Проекция ускорения  $\vec{a}$  на ось, направленную из точки 2 вдоль нити к центру окружности, равна модулю центростремительного ускорения  $a_n = v^2/l$ , проекция вектора  $\vec{g}$  на эту ось равна  $g$ . Следовательно,

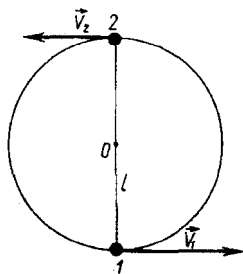
$$mg = mv_2^2/l. \quad (1)$$

Будем считать, что в точке 1 шарик находится на нулевом уровне потенциальной энергии. Тогда по закону сохранения энергии

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2} + 2mgl. \quad (2)$$

Решив совместно уравнения (1) и (2), получим

$$v_1 = \sqrt{5gl}.$$



Р и с. 72

## Задачи для самостоятельного решения

**205.** Пуля массой  $m = 10$  г, летящая со скоростью  $v_1 = 800$  м/с, попадает в доску толщиной  $d = 50$  мм и вылетает из нее со скоростью  $v_2 = 100$  м/с. Определить силу сопротивления доски, считая эту силу постоянной.

**206.** Цепь массой  $m = 5$  кг, лежащую на столе, берут за один конец и равномерно поднимают вертикально вверх на высоту, при которой нижний конец отстоит от стола на расстоянии, равном длине цепи  $l = 2$  м. Чему равна работа по подъему цепи?

**207.** Какую минимальную работу необходимо совершить, чтобы телеграфный столб массой  $m_1 = 200$  кг, к вершине

которого прикреплен крестовина массой  $m_2 = 30$  кг, перевести из горизонтального положения в вертикальное? Длина столба  $l = 10$  м.

**208.** Какую работу нужно совершить, чтобы поднять груз массой  $m = 30$  кг на высоту  $h = 10$  м с ускорением  $a = 0,50$  м/с<sup>2</sup>?

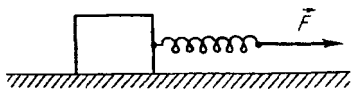
**209.** Какую работу совершает электровоз за  $\tau = 10$  мин, перемещая по горизонтальному пути состав массой  $m = 3000$  т с постоянной скоростью  $v = 72$  км/ч, если коэффициент сопротивления движению  $\mu = 0,005$ ? Коэффициент сопротивления движению равен отношению модуля силы сопротивления к модулю силы нормальной реакции опоры.

**210.** Санки массой  $m$  соскальзывают с вершины горы высотой  $h$  и, пройдя некоторое расстояние, останавливаются. Какую работу надо совершить, чтобы втащить санки по той же траектории обратно на вершину горы?

**211.** Человек массой  $m_1 = 60$  кг прыгает с неподвижной тележки массой  $m_2 = 30$  кг, стоящей на рельсах, в направлении вдоль путей. При этом тележка перемещается в противоположную сторону на  $s = 2,0$  м. Считая коэффициент трения при движении тележки  $\mu = 0,10$ , найти работу, которую совершает человек при прыжке.

**212.** Тело массой  $m = 1$  кг движется прямолинейно так, что зависимость его координаты от времени описывается уравнением  $x = 10 + 20t - 4t^2$ , в котором все величины выражены в единицах СИ. Определить кинетическую энергию этого тела через  $t = 2$  с после начала движения.

**213.** Брусок массой  $m = 1$  кг покоится на горизонтальной шероховатой поверхности (рис. 73). К нему прикреп-



Р и с. 73

лена пружина жесткостью  $k = 20$  Н/м. Какую работу надо совершить для того, чтобы сдвинуть с места брусок, растягивая пружину в горизонтальном направлении, если ко-

эффициент трения между бруском и поверхностью  $\mu = 0,2$ ?

**214.** Тело массой  $m = 2$  кг равномерно перемещается по горизонтальной поверхности под действием силы, направленной под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту. При перемещении  $s = 6$  м эта сила совершает работу  $A = 20$  Дж. Найти коэффициент трения тела о поверхность.

**215.** Лодка стоит неподвижно в стоячей воде. Человек, находящийся в лодке, переходит с носа на корму. На какое расстояние переместится лодка, если масса человека  $m_1 = 60$  кг, масса лодки  $m_2 = 120$  кг, длина лодки  $l = 3$  м? Сопротивление воды не учитывать.

**216.** Охотник стреляет с лодки. Какую скорость приобретает лодка в момент выстрела, если масса охотника с лодкой  $M = 100$  кг, масса дроби  $m = 40$  г и средняя начальная скорость дроби  $v_0 = 400$  м/с? Ствол ружья во время выстрела направлен под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту.

**217.** Третья ступень ракеты состоит из ракеты-носителя массой  $M = 50$  кг и головного защитного конуса массой  $m = 10$  кг. Конус отбрасывается вперед сжатой пружиной. При испытаниях на Земле с закрепленной ракетой пружина сообщала конусу скорость  $v_0 = 5,1$  м/с. Какова будет относительная скорость конуса и ракеты, если их разделение произойдет на орбите?

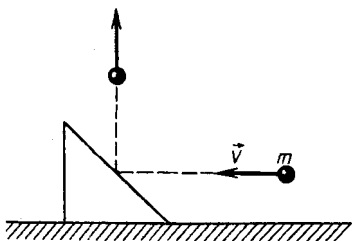
**218.** Снаряд массой  $m = 40$  кг, летевший в горизонтальном направлении со скоростью  $v = 600$  м/с, разорвался на 2 части массами  $m_1 = 30$  кг и  $m_2 = 10$  кг. Большая часть стала двигаться в прежнем направлении со скоростью  $v_1 = 900$  м/с. Определить модуль и направление скорости меньшей части снаряда.

**219.** Два пассажира одинаковой массой  $m = 70$  кг находятся на платформе, стоящей неподвижно на рельсах. Масса платформы  $M = 280$  кг. Каждый пассажир начинает бежать с одинаковой относительно платформы скоростью  $u = 6$  м/с. Найти скорость, которую приобретает платформа, если они прыгнут: а) в одну сторону одновременно; б) в разные стороны одновременно; в) в одну сторону последовательно; г) в разные стороны последовательно. В случаях «в» и «г» второй пассажир начинает бежать после того, как прыгнет первый.

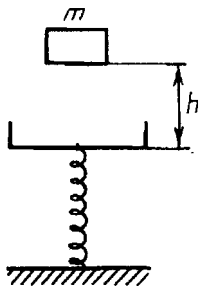
**220.** Плот массой  $m_1$  плывет по реке со скоростью  $v_1$ . На плот с берега перпендикулярно направлению движения плота прыгает человек массой  $m_2$  со скоростью  $v_2$ . Определить скорость плота с человеком. Силой трения плота о воду пренебречь.

**221.** Движущийся шар сталкивается с покоящимся шаром. После удара модуль импульса каждого из шаров равен модулю импульса системы до удара. Определить, под каким углом разлетаются шары.

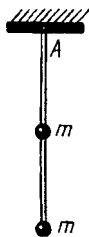
**222.** В прямую призму, масса которой  $M$ , а поперечное сечение представляет собой равнобедренный прямоугольный треугольник, попадает шарик массой  $m < M$ , летящий горизонтально со скоростью  $\vec{v}$ , и после удара движется вертикально вверх (рис. 74). Считая удар абсолютно упругим, найти скорость шарика  $\vec{v}_1$  и призмы  $\vec{v}_2$  после удара. Сопротивлением воздуха и трением призмы о горизонтальную подставку пренебречь. До удара призма покоилась.



Р и с. 74



Р и с. 75



Р и с. 76

**223.** Пуля, летящая с определенной скоростью, углубляется в дощатый барьер на  $l = 10$  см. На сколько углубится в тот же барьер такая же пуля, имеющая вдвое большую скорость? Сила сопротивления барьера в обоих случаях одинаковая.

**224.** Тело массой  $m = 100$  г падает с высоты  $h = 5$  м на чашу пружинных весов (рис. 75) и сжимает пружину жесткостью  $k = 1 \cdot 10^3$  Н/м на величину  $x$ . Определить  $x$ , если массы чаши и пружинных весов пренебрежимо малы.

**225.** Тело массой  $m = 1$  кг бросили с некоторой высоты с начальной скоростью  $v_0 = 20$  м/с, направленной под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту. Определить кинетическую энергию тела через  $\tau = 2$  с после начала его движения. Сопротивлением воздуха пренебречь.

**226.** На невесомом стержне длиной  $l = 75$  см укреплены два одинаковых шара массой  $m$  каждый. Один шар укреплен на конце стержня, другой – посередине (рис. 76). Стержень может колебаться в вертикальной плоскости вокруг точки  $A$ . Какую горизонтальную скорость нужно сообщить нижнему концу стержня, чтобы стержень отклонился до горизонтального положения?

**227.** Шарик подвешен на невесомом прямом стержне. Какую минимальную скорость в горизонтальном направлении необходимо сообщить шарика, чтобы он сделал полный оборот в вертикальной плоскости?

**228.** Найти количество теплоты, которое выделилось при абсолютно неупругом соударении двух шаров, двигавшихся навстречу друг другу. Масса первого шара  $m_1 = 0,4$  кг, его скорость  $v_1 = 3$  м/с. Масса второго шара  $m_2 = 0,2$  кг, скорость  $v_2 = 12$  м/с.

**229.** Брусок массой  $m_1$  движется по гладкой горизонтальной поверхности со скоростью  $v_1$ . Пуля массой  $m_2$ , летевшая в горизонтальном направлении со скоростью  $v_2$ , застревает в бруске. Угол между векторами  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$   $\alpha = 90^\circ$ . Определить, какое количество теплоты выделилось в бруске.

**230.** Сваю массой  $m_1 = 100$  кг забивают в грунт с помощью копра; при этом груз массой  $m_2 = 300$  кг свободно падает с высоты  $H = 4,0$  м и при каждом ударе свая опускается на  $h = 10$  см. Определить силу сопротивления грунта, считая ее постоянной, для двух случаев: а) удар груза копра о сваю абсолютно упругий; б) удар абсолютно неупругий.

**231.** Шар массой  $m_1$ , движущийся со скоростью  $\vec{v}_1$  по горизонтальной поверхности, сталкивается с неподвижным шаром массой  $m_2$ . Между шарами происходит абсолютно упругий центральный удар. Определить скорости шаров после удара.

**232.** Самолет пикирует вертикально вниз с высоты  $h_1 = 1,5$  км до высоты  $h_2 = 500$  м. Его начальная скорость  $v_1 = 360$  км/ч, а при выходе из пике  $v_2 = 540$  км/ч. Найти силу сопротивления воздуха, считая ее постоянной. Масса самолета  $m = 2,0$  т, двигатель самолета не работает. Ускорение свободного падения  $g$  считать равным  $10$  м/с<sup>2</sup>.

**233.** Камень брошен под углом к горизонту с высоты  $H$  с начальной скоростью  $v_0$ . С какой скоростью камень упадет на поверхность земли? Решить без применения кинематических уравнений. Сопротивление воздуха не учитывать.

**234.** Пуля, летящая со скоростью  $v_0$ , пробивает несколько одинаковых досок, расположенных на некотором расстоянии друг от друга. В какой по счету доске пуля застрянет, если ее скорость после прохождения первой доски  $v_1 = 0,8v_0$ ?

**235.** Пуля массой  $m$ , летящая горизонтально со скоростью  $v$ , попадает в ящик с песком массой  $M$ , подвешенный на жестком невесомом стержне длиной  $l$ , который шарнирно укреплен за верхний конец («баллистический маятник»), и застревает в нем. Стержень может вращаться вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной направлению скорости пули. Пренебрегая размерами ящика, определить максимальный угол отклонения стержня от вертикали.

**236.** С верхней точки наклонной плоскости длиной  $l = 18$  м, образующей с горизонтом угол  $\alpha = 30^\circ$ , скользит тело массой  $m = 2,0$  кг. Какое количество теплоты выделяется при трении тела о плоскость, если начальная скорость тела равна нулю, а у основания  $v = 6$  м/с?

**237.** Камень массой  $m = 20$  г, выпущенный вертикально вверх из рогатки, резиновый жгут которой был растянут на  $\Delta l = 20$  см, поднялся на высоту  $h = 40$  м. Найти коэффициент упругости жгута. Сопротивление воздуха не учитывать.

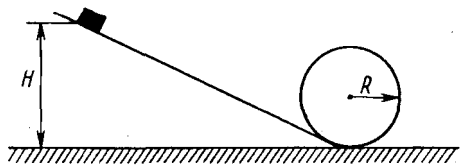
**238.** Тело массой  $m = 1$  кг, брошенное с вышки в горизонтальном направлении со скоростью  $v_0 = 20$  м/с, упало на землю через промежуток времени  $t = 3$  с. Определить кинетическую энергию тела в момент удара о землю. Сопротивление воздуха не учитывать.

**239.** Конькобежец массой  $M = 60$  кг, стоя на льду, бросает в горизонтальном направлении шайбу массой  $m = 0,3$  кг со скоростью  $v = 40$  м/с. На какое расстояние откатится при этом конькобежец, если коэффициент трения коньков о лед  $\mu = 0,004$ ?

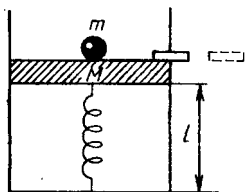
**240.** Деталь, обрабатываемая на станке, прижимается с силой  $F = 1 \cdot 10^3$  Н к шлифовальному камню диаметром  $d = 4 \cdot 10^{-1}$  м. Какая мощность затрачивается на шлифовку, если коэффициент трения камня о деталь  $\mu = 2 \cdot 10^{-1}$  и камень вращается с частотой  $n = 2$  с $^{-1}$ ?

**241.** Небольшое тело соскальзывает по наклонной плоскости с высоты  $H = 1,2$  м. Наклонная плоскость переходит в «мертвую петлю» (рис. 77). Найти работу силы трения, если известно, что сила, с которой действует тело на петлю в верхней точке, равна нулю, масса тела  $m = 10$  г, радиус петли  $R = 0,4$  м. Ускорение свободного падения  $g$  считать равным  $10$  м/с $^2$ .

**242.** С какой наименьшей высоты должен скатываться велосипедист, не вращая педалей, чтобы проехать по дорож-



Р и с. 77



Р и с. 78

ке, имеющей форму «мертвой петли» радиуса  $R = 4,0$  м, не отрываясь от дорожки в верхней точке петли?

**243.** Груз массой  $m = 2$  кг, падающий с высоты  $h = 5$  м, проникает в мягкий грунт на глубину  $l = 5$  см. Определить среднюю силу сопротивления грунта. Сопротивление воздуха не учитывать.

**244.** В закрепленную вертикальную трубку вставлена невесомая пружина, верхний конец которой прикреплен к подвижному поршню массой  $M$  (рис. 78). Нижний конец пружины упирается в дно трубки. Пружина сжата до длины  $l$  и удерживается в сжатом состоянии с помощью защелки. На поршень положили шарик массой  $m$ . На какую высоту подскочит шарик, если освободить пружину, сдвинув защелку? Пружина в недеформированном состоянии имеет длину  $L$ . Жесткость пружины  $k$ . Трением пренебречь.

**245.** С какой начальной скоростью необходимо бросать вертикально вниз тело массой  $m = 2,0$  кг, чтобы через  $t = 1,0$  с его кинетическая энергия  $E_k$  была равна  $2,5$  кДж? Ускорение свободного падения принять равным  $10$  м/с<sup>2</sup>. Сопротивлением воздуха пренебречь.

**246.** Камень падает с высоты  $h = 20$  м без начальной скорости. Какова будет скорость камня в тот момент, когда его потенциальная энергия уменьшится в  $n = 2,0$  раза по сравнению с первоначальным ее значением? Сопротивление воздуха не учитывать.

**247.** Тележка массой  $m_1 = 50$  кг движется со скоростью  $v = 2,0$  м/с по горизонтальной поверхности. На тележку с высоты  $h = 20$  см падает груз массой  $m_2 = 50$  кг и остается на тележке. Найти выделившееся при этом количество теплоты.

**248.** Два тела массами  $m_1 = 1,0$  кг и  $m_2 = 2,0$  кг движутся по взаимно перпендикулярным направлениям со скоростями  $v_1 = 10$  м/с и  $v_2 = 15$  м/с соответственно. После соударения первое тело останавливается. Какое количество теплоты выделится при ударе?

**249.** Горизонтально летящая пуля попадает в деревянный брус, лежащий на гладкой горизонтальной плоскости, и пробивает его. Определить, какая часть энергии пули перешла в теплоту. Масса пули  $m = 10$  г, масса бруса  $M = 1$  кг, начальная скорость пули  $v_0 = 500$  м/с, скорость пули после вылета  $v = 300$  м/с.

**250.** Тело бросили под некоторым углом к горизонту с начальной скоростью  $v_0 = 15$  м/с. На какой высоте его кинетическая энергия в  $n = 3$  раза меньше начальной? Сопротивлением воздуха пренебречь.

**251.** От поезда массой  $M = 600$  т, идущего с постоянной скоростью по прямолинейному горизонтальному участку пути, отрывается последний вагон массой  $m = 60$  т. Какой путь до остановки пройдет этот вагон, если в момент его остановки поезд движется с постоянной скоростью  $v = 40$  км/ч? Мощность  $N$  тепловоза, ведущего состав, постоянна и равна 10 МВт. Коэффициент сопротивления движению равен отношению модуля силы сопротивления к модулю силы нормальной реакции рельсов.

**252.** Два груза массами  $m_1 = 10$  кг и  $m_2 = 15$  кг свободно подвешены на нитях длиной  $l = 2,0$  м так, что соприкасаются друг с другом. Меньший груз отклонили на угол  $\alpha = 60^\circ$ . Определить, на сколько изменилась потенциальная энергия груза и на какую высоту поднимутся грузы, если отклоненный груз отпустили и после удара грузы движутся вместе.

**253.** По наклонной плоскости снизу вверх пускают тело с начальной скоростью  $v_0 = 2$  м/с. Поднявшись на некоторую высоту, тело соскальзывает по тому же пути вниз. Какова будет скорость тела, когда оно вернется в исходную точку? Коэффициент трения между телом и плоскостью  $\mu = 0,4$ . Угол наклона плоскости к горизонту  $\alpha = 30^\circ$ .

**254.** Определить мощность, развиваемую электрической лебедкой, если она тянет груз равномерно вверх по наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол  $\alpha = 30^\circ$ . Импульс груза  $p = 3 \cdot 10^3$  кг · м/с, коэффициент трения  $\mu = 0,2$ .

**255.** Определить мощность гидротурбины при условии, что за время  $t = 1$  с с высоты  $h = 100$  м падает  $V = 250$  м<sup>3</sup> воды. КПД турбины  $\eta = 90$  %. Плотность воды  $\rho = 1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

**256.** Ракета с работающим двигателем «зависла» над поверхностью Земли. Какова мощность, развиваемая двигателем, если масса ракеты  $m$ , а скорость истечения газов



из двигателя ракеты равна  $v$ ? Изменением массы ракеты за счет истечения газов можно пренебречь.

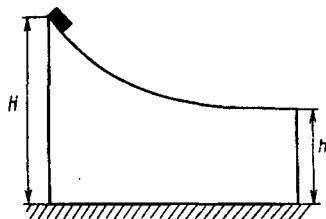
**257.** Два тела бросают с высоты  $h = 20$  м со скоростью  $v_0 = 15$  м/с каждое. С какими скоростями тела упадут на землю, если первое тело брошено вертикально вверх, а второе — горизонтально? Сопротивление воздуха не учитывать.

**258.** Мяч массой  $m = 100$  г отпустили на высоте  $h = 2$  м над полом. Какое количество теплоты выделилось при первом ударе мяча о пол, если время между первым и вторым ударами мяча о пол  $\tau = 1,2$  с? Сопротивление воздуха не учитывать. Ускорение свободного падения  $g$  принять равным  $10$  м/с<sup>2</sup>.

**259.** Пуля массой  $m$  попадает в центр лежащего на краю стола шара и застревает в нем. Определить скорость шара в момент удара о пол, если пуля летела в горизонтальном направлении со скоростью  $v_0$  и высота стола  $H$ . Сопротивлением воздуха пренебречь.

**260.** Гладкая горка массой  $M$  находится на гладком горизонтальном полу (рис. 79).

На горку положили и отпустили без толчка шайбу массой  $m$ . Отношение масс  $n = m/M = 0,60$ ,  $H = 1,3$  м и  $h = 0,50$  м. Каково расстояние от шайбы до горки в момент падения шайбы на пол? В момент отделения от горки скорость шайбы направлена горизонтально. Сопротивление воздуха не учитывать.



Р и с. 79

**261.** Пуля массой  $m = 20$  г, летящая горизонтально со скоростью  $v = 400$  м/с, попадает в шар массой  $M = 5$  кг, подвешенный на невесомой и нерастяжимой нити длиной  $l = 4$  м, и отскакивает от него после упругого центрального удара. Определить угол, на который отклоняется нить.

**262.** Частица, кинетическая энергия которой равна  $E_0$ , сталкивается абсолютно упруго с такой же неподвижной частицей и отклоняется от первоначального направления на угол  $\alpha = 60^\circ$ . Определить кинетическую энергию каждой частицы после соударения.

**263.** Тело массой  $m_1$ , движущееся со скоростью  $v_1$ , налетает на покоящееся второе тело и после абсолютно упругого столкновения отскакивает от него со скоростью  $v_2 = \frac{2}{3}v_1$  под углом  $\alpha = 90^\circ$  к первоначальному направлению движения. Определить массу второго тела.