

выстрела, если масса вылетевшего снаряда  $m = 20$  кг и вылетает он со скоростью  $v = 600$  м/с? Коэффициент сопротивления движению платформы  $k = 0,1$ .

**Ответ:**  $S = 0,08$  м.

**4.8.** Кузнечик сидит на конце соломинки длиной  $l = 40$  см, которая лежит на гладком горизонтальном полу. С какой наименьшей скоростью  $v_{0 \min}$  относительно пола он должен прыгнуть, чтобы попасть на другой конец соломинки? Масса кузнечика  $M$  вдвое больше массы соломинки  $m$ . С какой скоростью  $v$  и в каком направлении станет двигаться при этом соломинка?

**Ответ:**  $v_{0 \min} = 1,1$  м/с,  $v = 1,6$  м/с.

**4.9.** Снаряд разрывается в верхней точке траектории на высоте  $h = 19,6$  м на две одинаковые части. Через время  $t = 1$  с после взрыва одна часть падает на землю под тем местом, где произошел взрыв. На каком расстоянии  $S_2$  от места выстрела упадет вторая часть снаряда, если первая упала на расстоянии  $S_1 = 1000$  м?

**Ответ:**  $S_2 = 5000$  м.

**4.10.** По наклонной плоскости, с углом наклона  $\alpha$  соскальзывает без трения ящик с песком массой  $M$  ( $v_0 = 0$ ). Когда ящик прошел путь  $l$ , в него попал снаряд массой  $m$ , скорость которого направлена под углом  $\beta$  к горизонту. Ящик остановился. С какой скоростью летел снаряд?

**Ответ:**  $v = \frac{M \sqrt{2gl \sin \alpha}}{m \cos(\alpha \pm \beta)}$ .

## 5. ЭНЕРГИЯ. РАБОТА. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

### Основные формулы и методические указания

Энергия – количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи.

Закон сохранения энергии: энергия никогда не создается и не уничтожается, она только переходит из одной формы в другую.

Механическая энергия – мера механического движения системы тел и механического взаимодействия тел системы друг с другом и с внешними телами.

$$W_{\text{мех}} = W_{\text{к}} + W_{\text{п}}.$$

Кинетическая энергия тела массой  $m$ , движущегося со скоростью  $v$ , есть величина

$$W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}.$$

Теорема об изменении кинетической энергии: изменение кинетической энергии тела равно сумме работ всех сил, приложенных к этому телу.

$$\Delta W_{\text{к}} = \sum_i A_i.$$

Работа переменной силы  $\vec{F}$  на пути  $S$

$$A = \int_0^S F \cos \alpha ds,$$

где  $\alpha$  – угол между силой  $\vec{F}$  и вектором перемещения.

Потенциальная энергия тела, поднятого вблизи поверхности Земли на высоту  $h$

$$W_{\text{п}} = mgh.$$

Потенциальная энергия упругого деформированного тела

$$W_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2},$$

где  $k$  – коэффициент упругости.

Закон сохранения энергии в механике: полная механическая энергия замкнутой системы, в которой действуют только консервативные силы, есть величина постоянная

$$W_{\text{к}} + W_{\text{п}} = \text{const}$$

Работе консервативных (потенциальных) сил можно поставить в соответствие убыль потенциальной энергии

$$A(F_{\text{пот}}) = -\Delta W_{\text{п}} = W_{\text{п1}} - W_{\text{п2}}.$$

Механическую энергию системы могут изменять непотенциальные силы ( $F_{\text{непот}}$ ).

Теорема об изменении механической энергии имеет вид

$$\Delta W_{\text{мех}} = A(F_{\text{непот}}).$$

### Примеры решения задач

**Задача 1.** Тело массой  $m$  брошено горизонтально с башни высотой  $h$  со скоростью  $v_0$ . При падении на Землю скорость тела равна  $v$ . Найти работу силы сопротивления.

**Решение.** Задачу можно решить двумя способами:

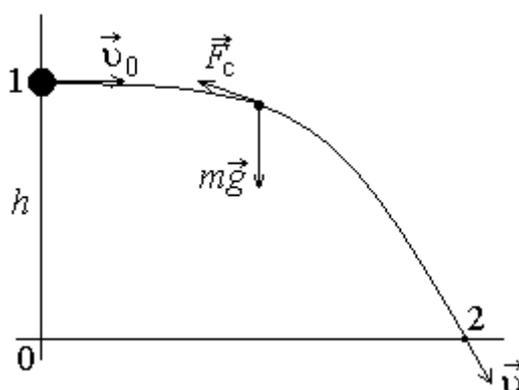


Рис. 5.1

#### 1 способ.

По теореме об изменении кинетической энергии

$$\Delta W_{\text{к}} = W_{\text{к}2} - W_{\text{к}1} = A(F_c) + A(mg),$$

так как  $m\vec{g}$  – консервативная сила, то ее работа не зависит от траектории пути и можно записать

$$A(mg) = A_{1-0} + A_{0-2} = A_{1-0}(mg) + 0 = mgh,$$

$$A(F_c) = \Delta W_{\text{к}} - A(mg) = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} - mgh.$$

#### 2 способ.

По теореме об изменении механической энергии

$$\Delta W_{\text{мех}} = A(F_{\text{неконсерват.}}),$$

$$\Delta W_{\text{мех}} = W_{2\text{к}} - W_{1\text{к}} + W_{2\text{п}} - W_{1\text{п}} = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} - mgh,$$

$$A(F_c) = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} - mgh \quad A(F_c) < 0.$$

**Задача 2.** Предельная нагрузка, которую выдерживает нить,  $F_{\max} = 10$  Н. Нить с грузом массой  $m = 0,5$  кг отклоняют от положения равновесия и отпускают. На какой наибольший угол  $\alpha$  можно отклонить нить, чтобы она не разорвалась в низшей точке траектории? Сопротивлением воздуха пренебречь.

**Решение.**

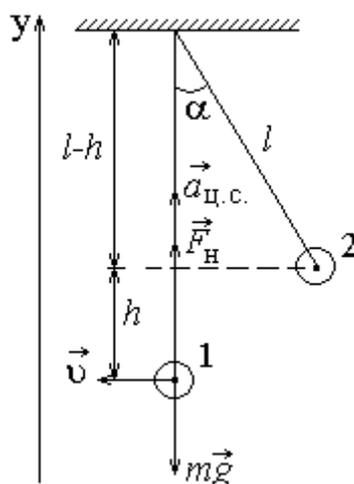


Рис. 5.2

Примем за нулевой уровень потенциальной энергии, когда груз находится в низшей точке траектории (1). Тогда в положении 2 его потенциальная энергия  $mgh$ . Когда груз отпускают, его потенциальная энергия в положении 2 переходит в кинетическую в положении 1.

$$mgh = \frac{mv^2}{2},$$

откуда 
$$v^2 = 2gh.$$

Линейную скорость груза  $v$  в низшей точке 1 найдем, воспользовавшись вторым законом Ньютона

$$m\vec{g} + \vec{F}_H = m\vec{a}_{\text{ц.с.}}$$

В скалярной записи

$$F_H - mg = \frac{v^2 m}{l},$$

( $l$  – длина нити с грузом).

$$F_{\max} = F_H = m \left( \frac{v^2}{l} + g \right) = mg \left( \frac{2h}{l} + 1 \right). \quad (1)$$

Из рисунка видно, что

$$l = \frac{l-h}{\cos \alpha},$$

откуда

$$\frac{h}{l} = 1 - \cos \alpha.$$

Подставив в (1) получим

$$\cos \alpha = 1 - \frac{F_{\max}}{2mg} + \frac{1}{2} = 1,5 - \frac{F_{\max}}{2mg},$$

$$\cos \alpha = 1,5 - \frac{10}{2 \cdot 0,5 \cdot 9,8} = 0,48,$$

$$\alpha = \arccos 0,48 = 61^\circ.$$

### Задачи для самостоятельного решения

**5.1.** Чему равны значения потенциальной  $E_{\text{п}}$  и кинетической  $E_{\text{к}}$  энергий камня массой  $m = 1$  кг, брошенного вертикально вверх со скоростью  $v_0 = 10$  м/с через  $t = 1$  с после броска?

**Ответ:**  $E_{\text{к}} = \frac{m(v_0 - gt)^2}{2} = 0,02$  Дж;  $E_{\text{п}} = \frac{mv_0^2}{2} - E_{\text{к}} = 49,98$  Дж.

**5.2.** Под каким углом  $\alpha$  к горизонту вылетел снаряд из ствола орудия со скоростью  $v_0 = 600$  м/с, если его масса равна  $m = 3$  кг, а кинетическая энергия в высшей точки траектории  $E_{\text{к}} = 270$  кДж. Чему равна потенциальная энергия  $E_{\text{п}}$  в этой точке? Сопротивлением пренебречь.

**Ответ:**  $\alpha = \arccos \left( \frac{1}{v_0} \sqrt{\frac{2E_{\text{к}}}{m}} \right) = 60^\circ$ ;  $E_{\text{п}} = \frac{mv_0^2}{2} - E_{\text{к}} = 270$  кДж.