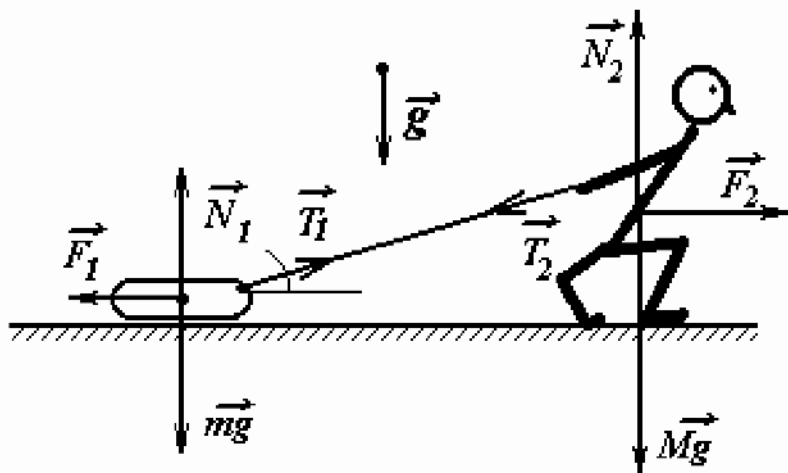


### Условие

**9-1.** Стоя на льду, человек пытается сдвинуть тяжелые сани за привязанную к ним веревку. Масса саней 100 кг, человека 60 кг. Коэффициент трения саней о лед 0,20, человека – 0,30. Под каким углом к горизонту нужно тянуть за веревку?

### Решение

**9-1.** Если попытаться тянуть сани горизонтально, то у нас ничего не получится: сила трения, удерживающая сани на льду ( $F_1 = \mu_1 Mg = 196$  Н) слишком велика для того, чтобы человек мог их сдвинуть



( $F_2 = \mu_2 Mg = 176$  Н) – он начнет проскальзывать раньше. Однако если тянуть нить не горизонтально, а под некоторым углом  $\alpha$  к горизонту, то выполнение условий задачи возможно, т.к. при этом уменьшается вес саней и увеличивается вес человека. Таким образом:

$$\left. \begin{aligned} \mu_1 N_1 &= \mu_1 (Mg - T \sin \alpha) = T \cos \alpha \\ \mu_2 N_2 &= \mu_2 (Mg - T \sin \alpha) = T \cos \alpha \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где  $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$  – сила натяжения веревки,  $\mu_1$  и  $\mu_2$ ,  $N_1$  и  $N_2$  – соответственно коэффициенты трения и силы реакции, относящиеся к саням и человеку.

Из (1) следует:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{\mu_1 M}{\mu_2 m} - 1}{\mu_1 + \mu_1 \frac{M}{m}} = \frac{\mu_1 M - \mu_2 m}{\mu_1 \mu_2 (M + m)} = 0,21. \quad (2)$$

Таким образом, человек должен тянуть сани под углом большим чем  $\alpha = \operatorname{arctg}(0,21) = 12^\circ$  к горизонту.

Из (2) видно, что при  $\mu_2 m > \mu_1 M$  угол становится отрицательным ( $\operatorname{tg} \alpha < 0$ ), в этом случае тянуть сани можно горизонтально. Заметим, что сдвинуть сани возможно при любом малом  $\mu_2 \neq 0$ , но для этого важно, чтобы руки были сильными настолько, чтобы обеспечить необходимое значение  $T$ , которое мы, за отсутствием надобности не вычисляли. (Верхняя оценка для  $T = mg$ , когда сани станут «невесомыми» для льда; в этом случае нить практически вертикальна.)