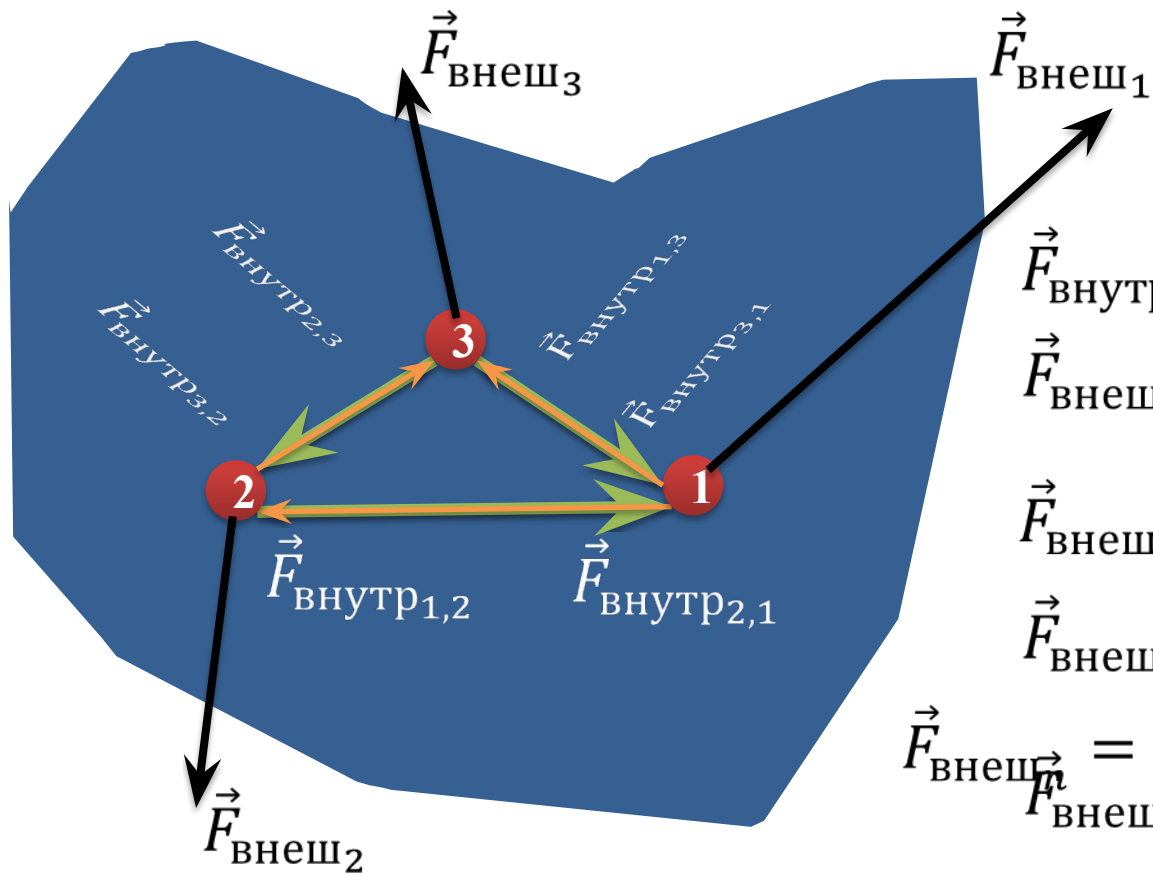


# Условия равновесия твердых тел



$$\vec{F}_{\text{внутр}n} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$

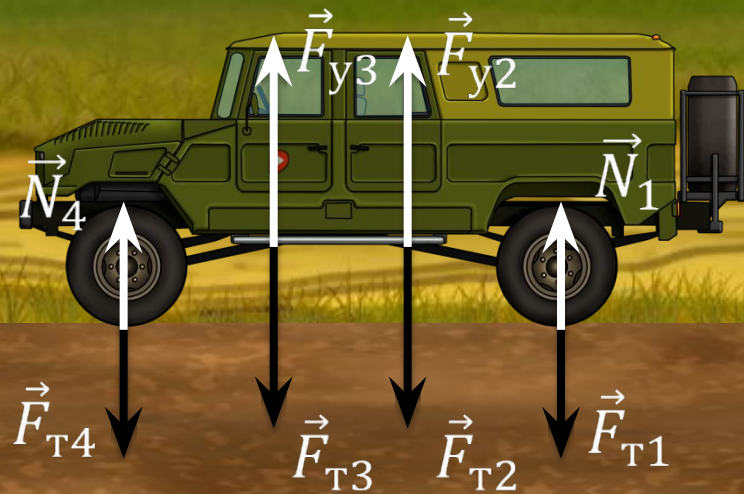
$$\vec{F}_{\text{внеш}n} = \vec{F}'_1 + \vec{F}'_2 + \dots + \vec{F}'_n$$

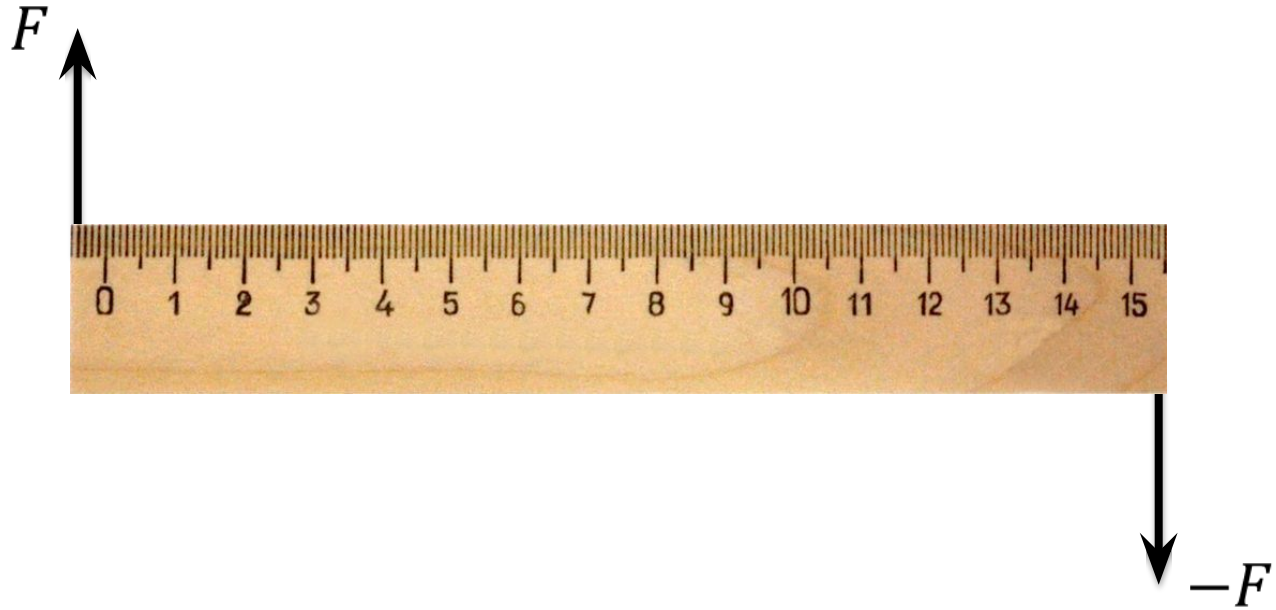
$$\vec{F}_{\text{внеш}1} + \vec{F}_{\text{внутр}1} = 0$$

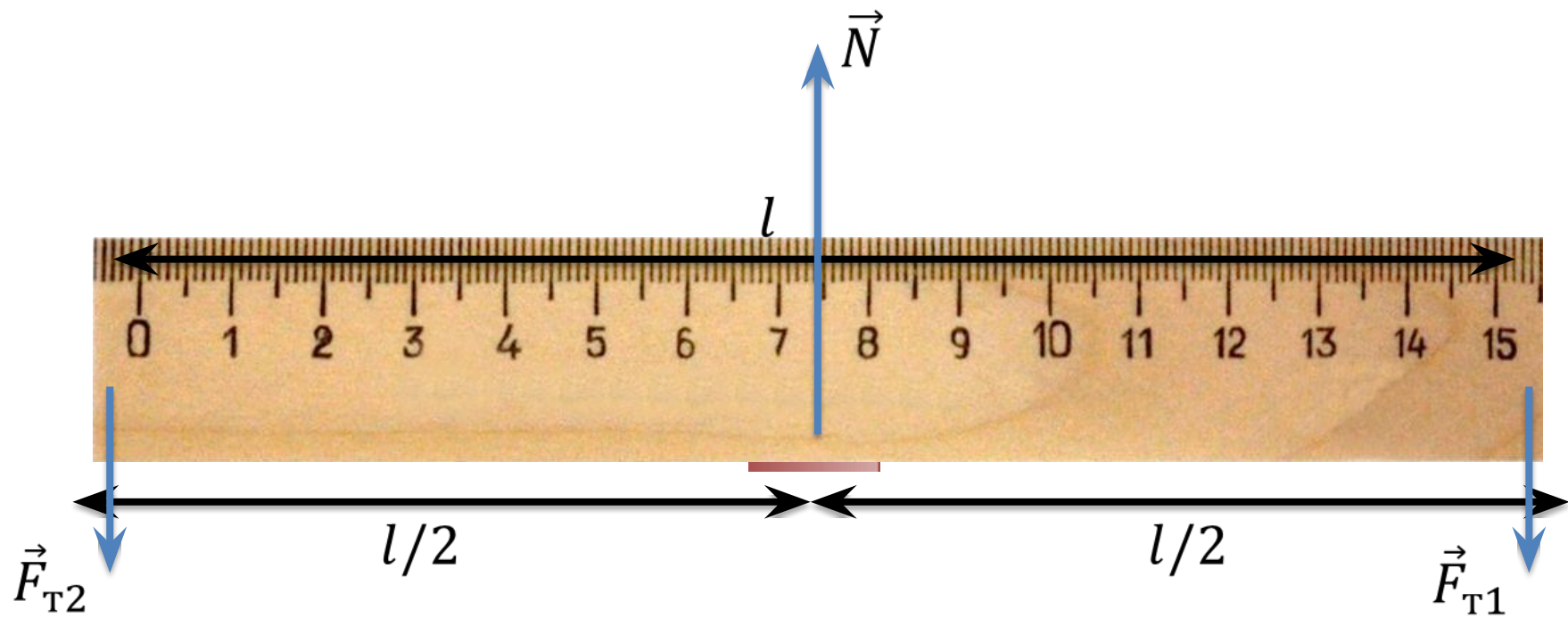
$$\vec{F}_{\text{внеш}2} + \vec{F}_{\text{внутр}2} = 0$$

$$\vec{F}_{\text{внеш}n} = \vec{F}'_1 + \vec{F}'_2 + \dots + \vec{F}'_n = 0$$

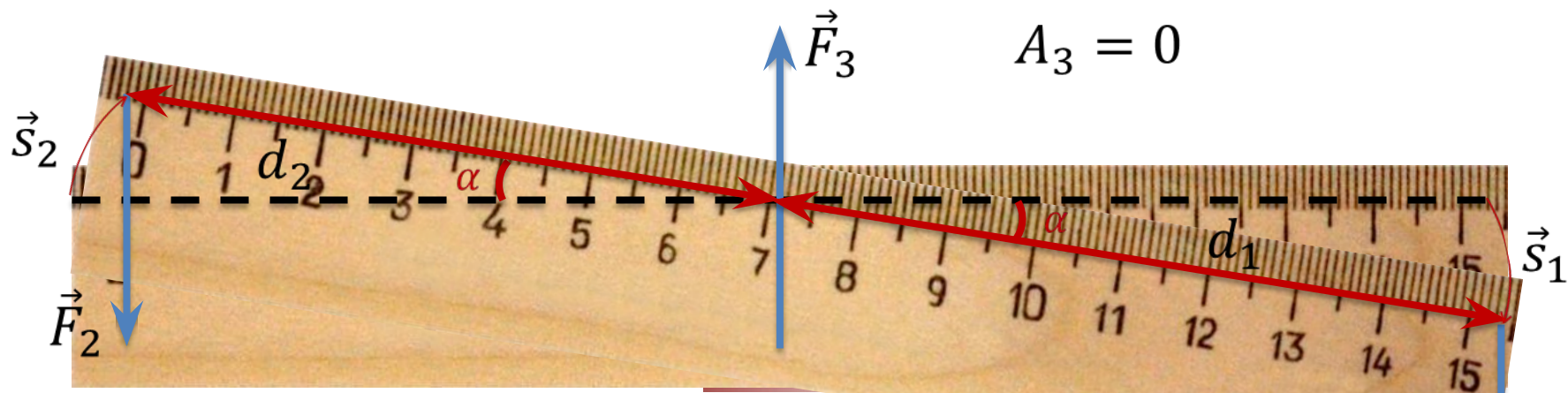
$$\vec{F}_{\text{внеш}n} + \vec{F}_{\text{внутр}n} = 0$$







$$\Delta E_K \neq 0 \Rightarrow A \neq 0$$



$$A_3 = 0$$

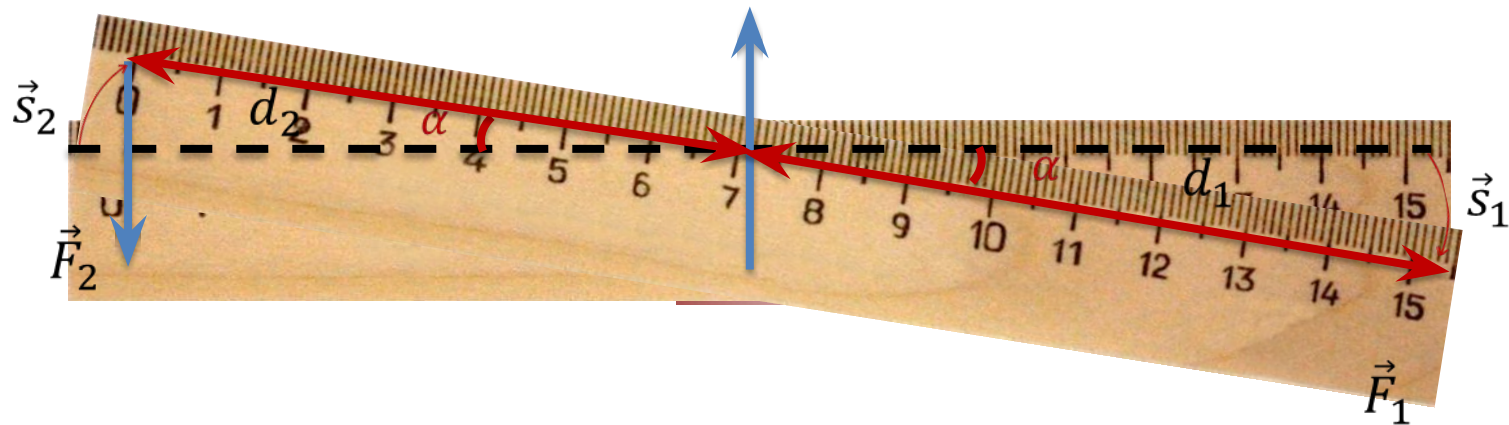
$$A = F |\Delta \vec{r}| \cos \alpha$$

$$A_2 = -F_2 d_2 \alpha$$

$$\mathcal{L} = \Delta \varphi$$

$$A_1 = F_1 d_1 \alpha$$

$$A = (F_1 d_1 - F_2 d_2) \alpha$$



**Плечо силы** — это кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы.

**Момент силы относительно оси вращения тела** — это произведение модуля силы и плеча силы:

$$M = \pm Fd$$

# Второе условие равновесия

Для того, чтобы твердое тело находилось в равновесии, **сумма моментов всех внешних сил**, относительно любой оси вращения должна быть равна нулю:

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$$



$$M_1 < 0$$

$$M_2 > 0$$



# Условия равновесия

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{F_1}{F_2} \Rightarrow M_1 = -M_2 \Rightarrow M_1 + M_2 = 0$$

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$$

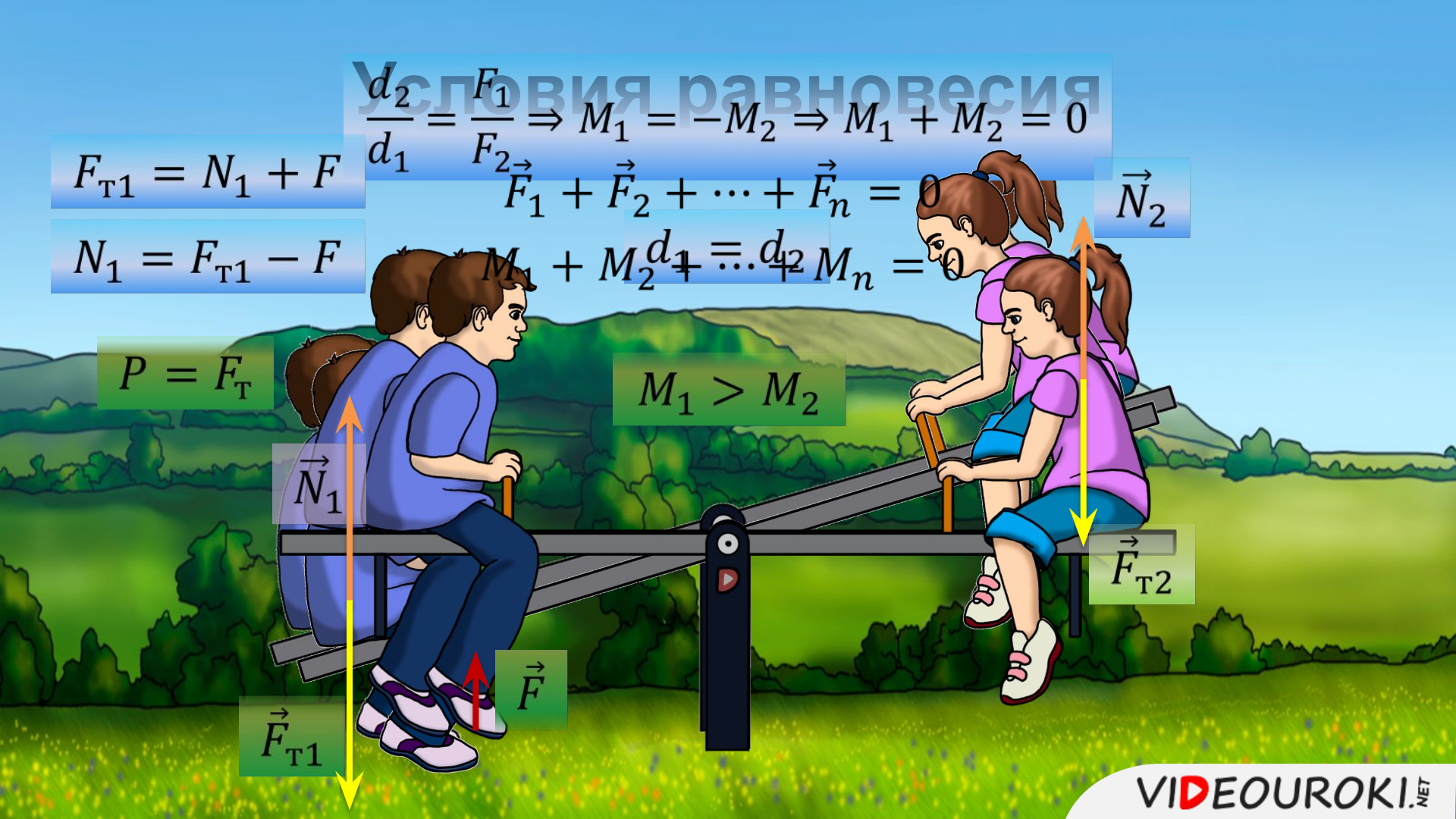
$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$$

$$F_{T1} = N_1 + F$$

$$N_1 = F_{T1} - F$$

$$P = F_T$$

$$M_1 > M_2$$



На двух веревках подвешен груз, так, как показано на рисунке. Если масса груза 20 кг, то каковы силы натяжения веревок?

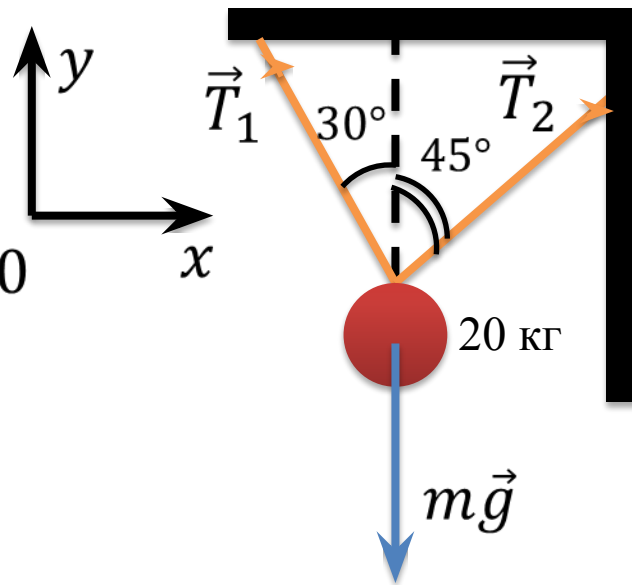
$$\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + m\vec{g} = 0$$

$$X: -T_1 \sin 30^\circ + T_2 \sin 45^\circ = 0$$

$$Y: T_1 \cos 30^\circ + T_2 \cos 45^\circ - mg = 0$$

$$T_1 = \frac{T_2 \sin 45^\circ}{\sin 30^\circ}$$

$$\frac{T_2 \sin 45^\circ \cos 30^\circ}{\sin 30^\circ} + T_2 \cos 45^\circ - mg = 0$$

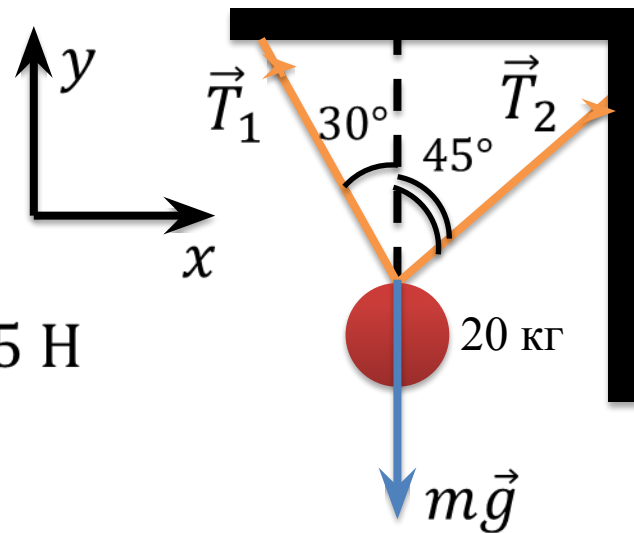


На двух веревках подвешен груз, так, как показано на рисунке. Если масса груза 20 кг, то каковы силы натяжения веревок?

$$T_2 \left( \frac{\sin 45^\circ \cos 30^\circ}{\sin 30^\circ} + \cos 45^\circ \right) = mg$$

$$T_2 = \frac{mg}{\sin 45^\circ \operatorname{ctg} 30^\circ + \cos 45^\circ} = 101,5 \text{ Н}$$

$$T_1 = \frac{T_2 \sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = 143,5 \text{ Н}$$



В некоторых замках использовались подъемные мосты. Предположим, что нагрузка распределяется равномерно между обеими цепями. Масса моста равна ~~2000~~ **2000** кг, угол между цепью и мостом составляет **40°**. Рассчитайте натяжение на цепях и силу реакции опоры.

Дано:

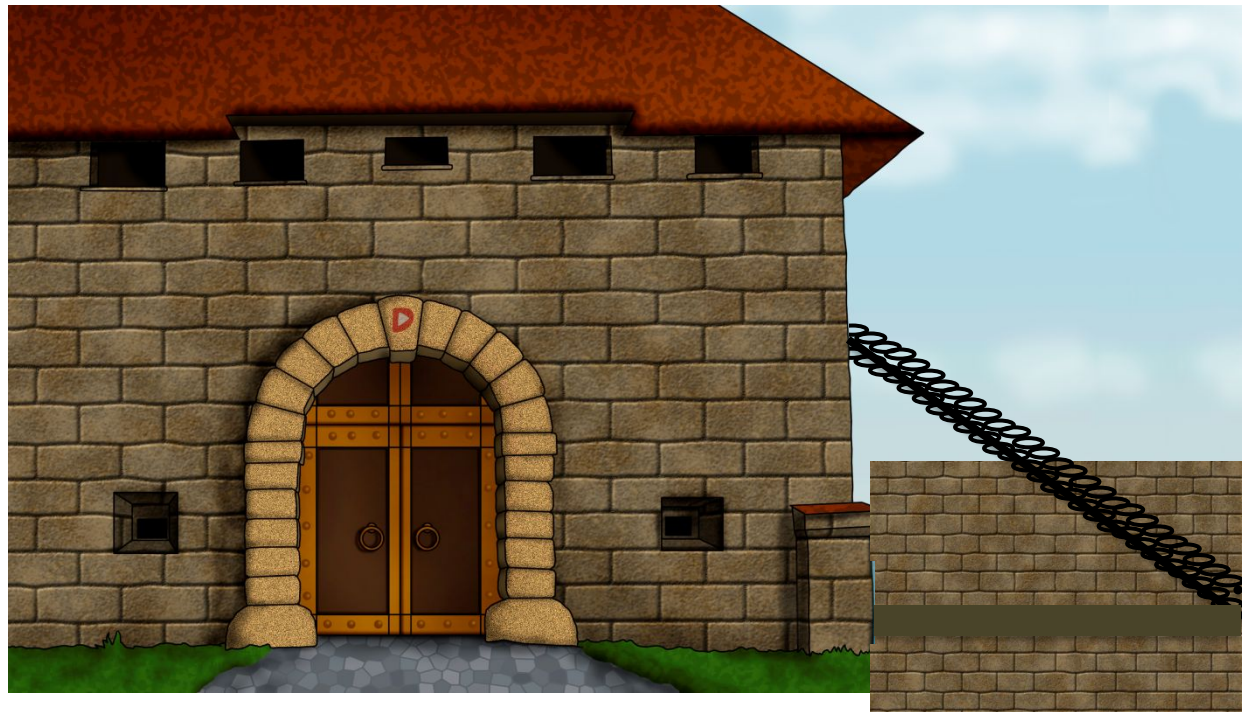
$$m = 2000 \text{ кг}$$

$$\alpha = 40^\circ$$

---

$$T_1, T_2 - ?$$

$$N - ?$$





В некоторых замках использовались подъемные мосты. Предположим, что нагрузка распределяется равномерно между обеими цепями. Масса моста равна 2000 кг, а угол между цепью и мостом составляет  $40^\circ$ . Рассчитайте натяжение на цепях и силу реакции опоры.

Дано:

$$m = 2000 \text{ кг}$$

$$\alpha = 40^\circ$$

$$T_1, T_2 - ?$$

$$N - ?$$

$$M_1 + M_2 + M_3 = 0$$

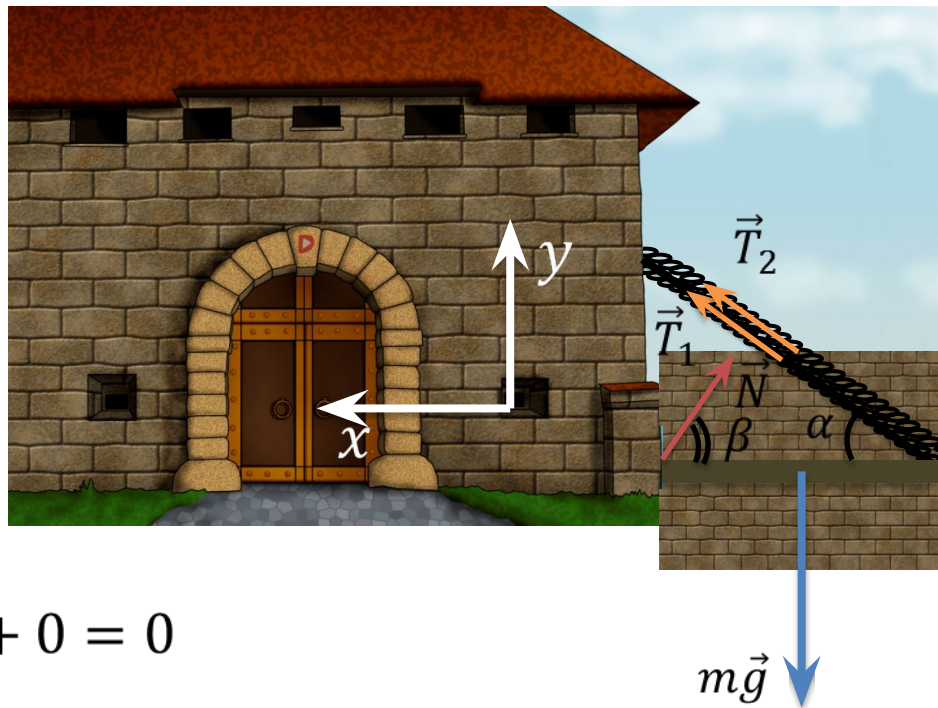
$$T_{1y} = T_1 \sin \alpha$$

$$M_1 = lT_1 \sin \alpha$$

$$M_2 = -\frac{l}{2} \times \frac{m}{2} g$$

$$M_3 = 0$$

$$lT_1 \sin \alpha - \frac{l}{2} \times \frac{m}{2} g + 0 = 0$$



В некоторых замках использовались подъемные мосты. Предположим, что нагрузка распределяется равномерно между обеими цепями. Масса моста равна 2000 кг, а угол между цепью и мостом составляет  $40^\circ$ . Рассчитайте натяжение на цепях и силу реакции опоры.

Дано:

$$m = 2000 \text{ кг} \quad \left| \quad lT_1 \sin \alpha - \frac{lmg}{4} = 0 \right.$$

$$\alpha = 40^\circ \quad \left| \quad T_1 = \frac{mg}{4 \sin \alpha} \right.$$

$$T_1, T_2 - ?$$

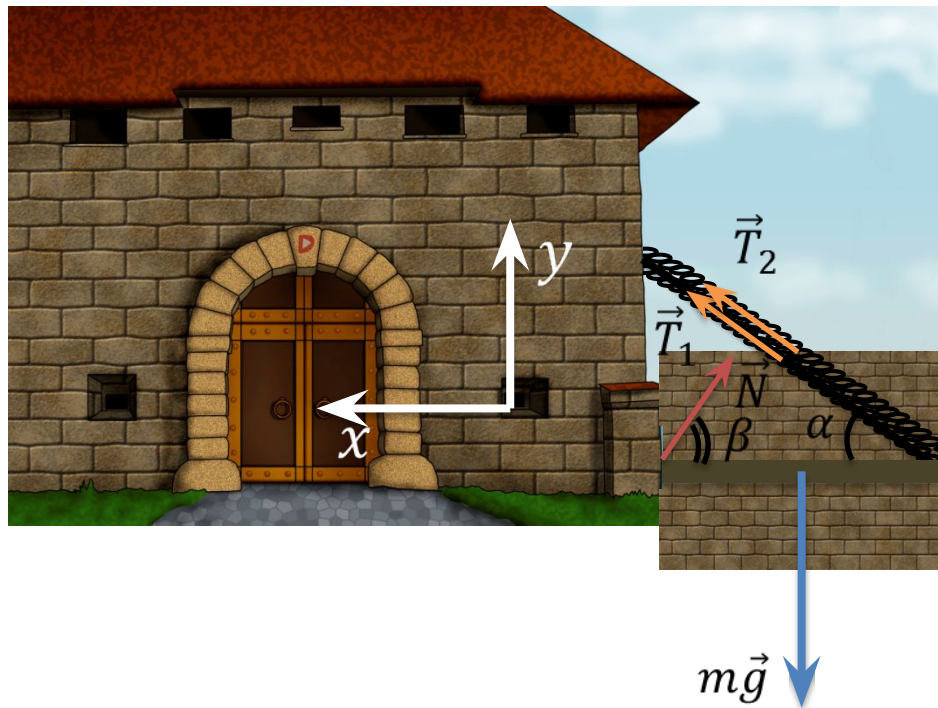
$$N - ?$$

$$T_1 = 7623 \text{ Н}$$

$$T_2 = 7623 \text{ Н}$$

$$\vec{T} + \vec{N} + m\vec{g} = 0$$

$$T = T_1 + T_2$$



В некоторых замках использовались подъемные мосты. Предположим, что нагрузка распределяется равномерно между обеими цепями. Масса моста равна 2000 кг, а угол между цепью и мостом составляет  $40^\circ$ . Рассчитайте натяжение на цепях и силу реакции опоры.

Дано:

$$m = 2000 \text{ кг}$$

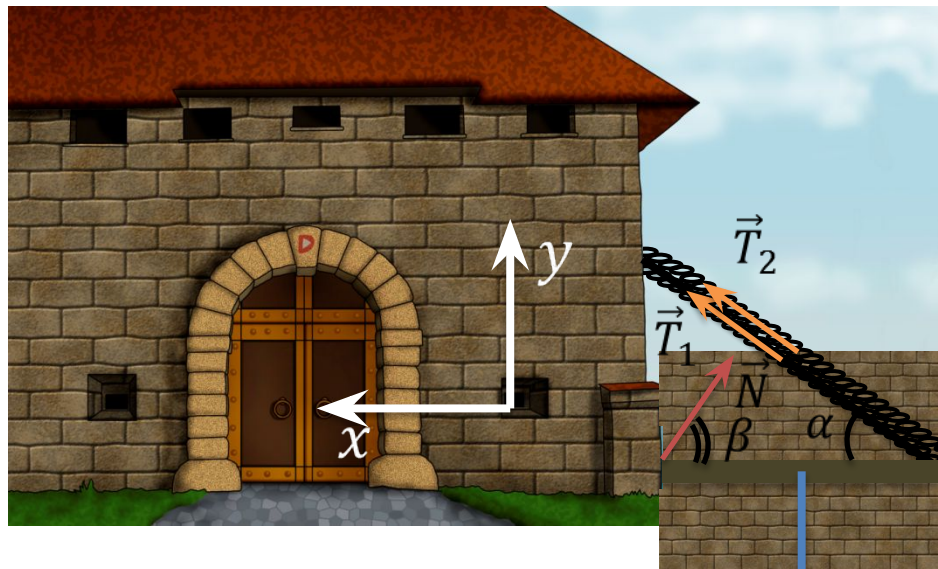
$$\alpha = 40^\circ$$

$$T_1, T_2 - ?$$

$$N - ?$$

$$\vec{T} + \vec{N} + m\vec{g} = 0$$

$$T = T_1 + T_2$$



$$X: T \cos 40^\circ - N_x = 0$$

$$N_x = T \cos 40^\circ$$

$$Y: T \sin 40^\circ + N_y - mg = 0$$

$$N_y = -T \sin 40^\circ + mg$$



В некоторых замках использовались подъемные мосты. Предположим, что нагрузка распределяется равномерно между обеими цепями. Масса моста равна 2000 кг, а угол между цепью и мостом составляет  $40^\circ$ . Рассчитайте натяжение на цепях и силу реакции опоры.

Дано:

$$m = 2000 \text{ кг}$$

$$\alpha = 40^\circ$$

$$T_1, T_2 - ?$$

$$N - ?$$

$$\vec{T} + \vec{N} + m\vec{g} = 0$$

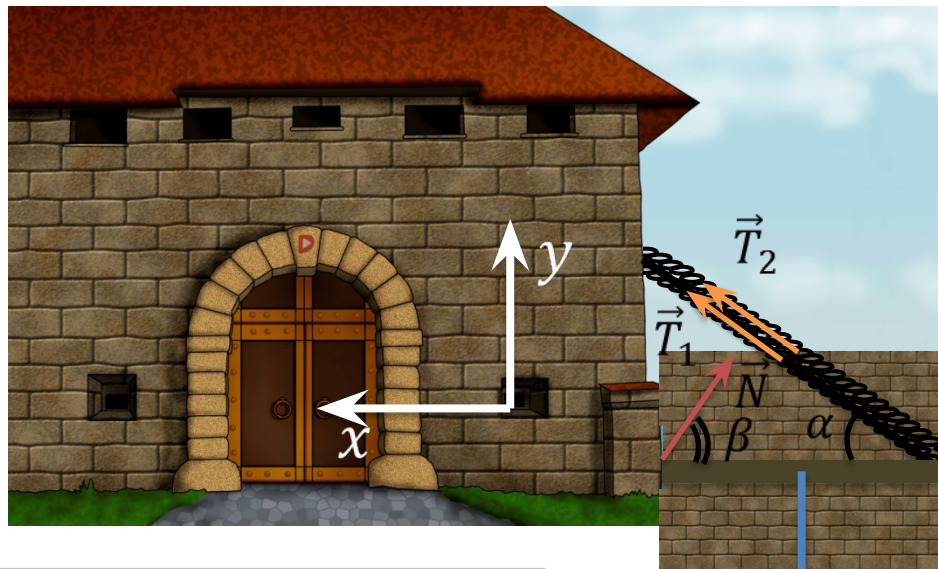
$$T = T_1 + T_2$$

$$N_x = T \cos 40^\circ$$

$$N_y = T \sin 40^\circ + mg$$

$$N = \sqrt{N_x^2 + N_y^2} = \sqrt{T^2 (\cos 40^\circ)^2 + (-T \sin 40^\circ + mg)^2}$$

$$N = 15246 \text{ Н} \quad \text{tg} \beta = \frac{N_y}{N_x} \Rightarrow \beta = \text{arctg} \left( \frac{N_y}{N_x} \right) = 40^\circ$$



$m\vec{g}$



# Основные выводы

- Два условия равновесия твердых тел:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$$

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$$

- **Момент силы относительно оси вращения тела** — это произведение модуля силы и плеча силы:

$$M = \pm Fd$$

- **Плечо силы** — это кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы.