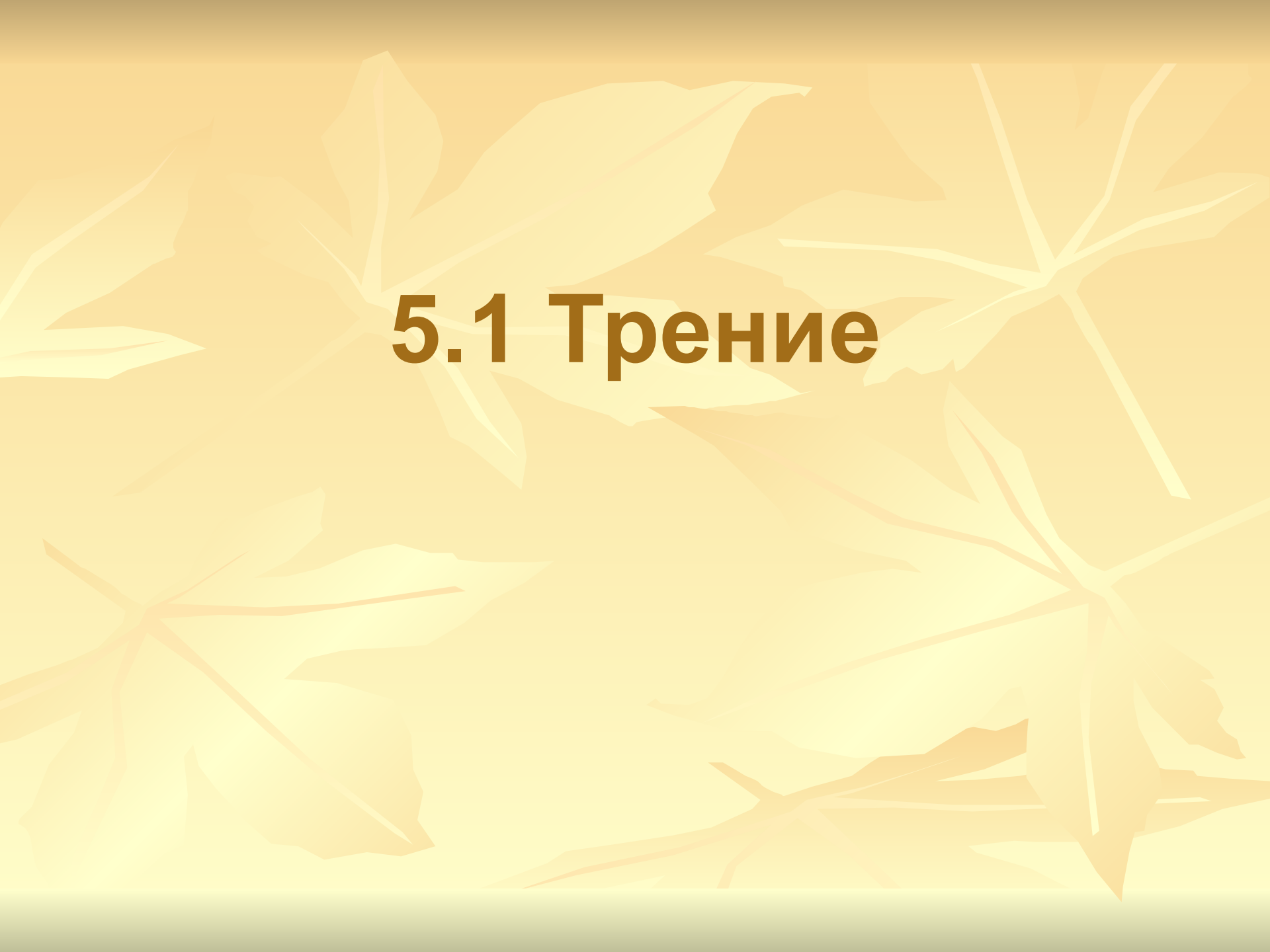


# Теоретическая механика

## Статика

Лекция № 5



# **5.1 Трение**

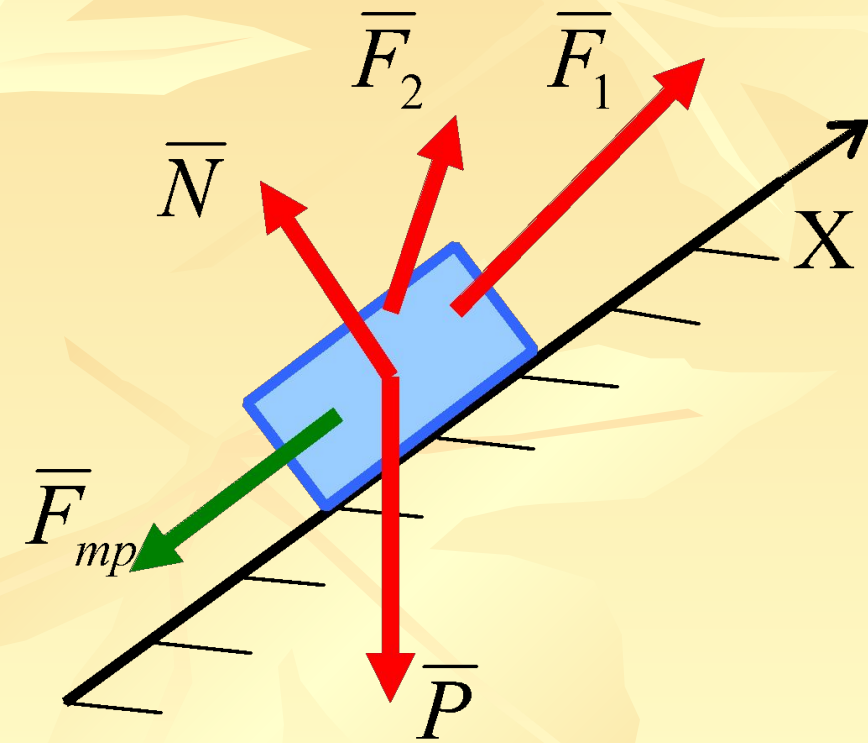
## 5.1.1 Трение скольжения

При стремлении сдвинуть одно тело по поверхности другого, в плоскости соприкосновения тел возникает сила сопротивления их относительному движению, называемая **силой трения скольжения**.

В теоретической механике рассматривается только **сухое трение**, когда между трущимися поверхностями отсутствует смазка.

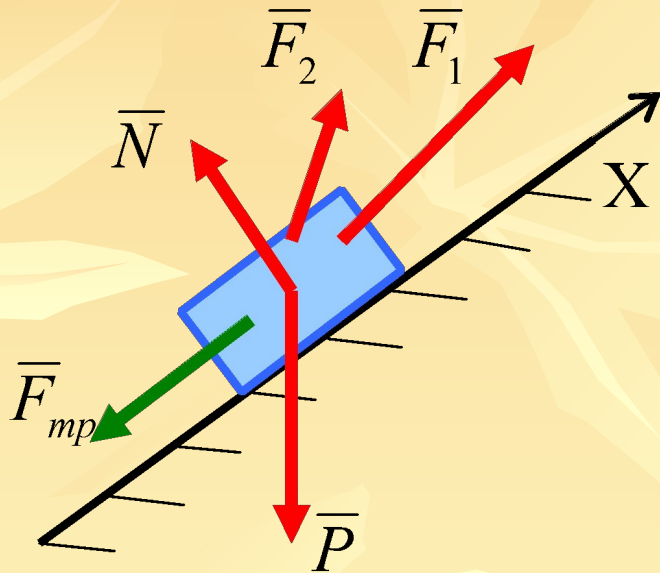
Различают силу трения скольжения **при покое** и **при движении**.

# Законы трения скольжения (законы Кулона)



- **Сила трения** всегда направлена в сторону, **противоположную** возможному или реальному движению под действием приложенных сил.

# Сила трения при покое



$$\sum F_X = 0; \Rightarrow$$

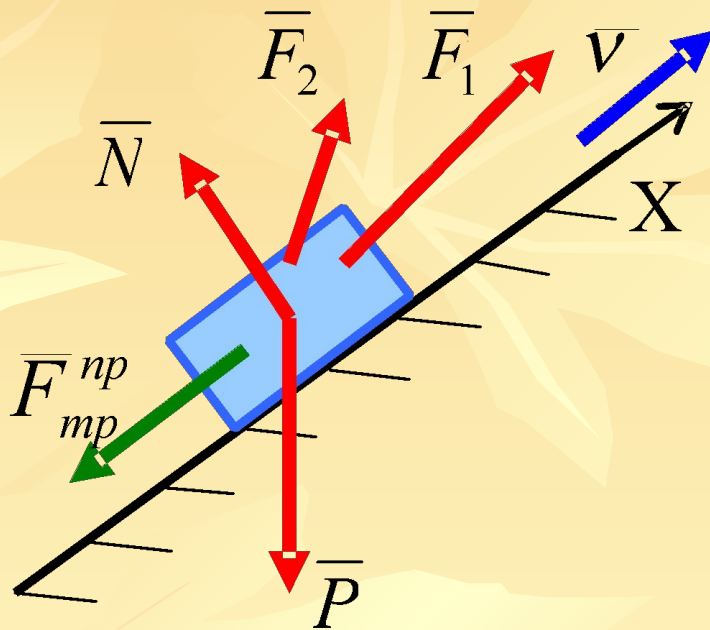
$$-F_{mp} + \sum F_{kX} = 0; \Rightarrow$$

$$F_{mp} = \sum F_{kX}; \Rightarrow$$

$$0 \leq |F_{mp}| \leq |F_{mp}^{np}|.$$

- **При покое** сила трения зависит от приложенных к телу сил, ее модуль заключен между нулем и предельным (max) значением, достигаемом в момент выхода из состояния покоя (в начале движения).

# Сила трения при движении

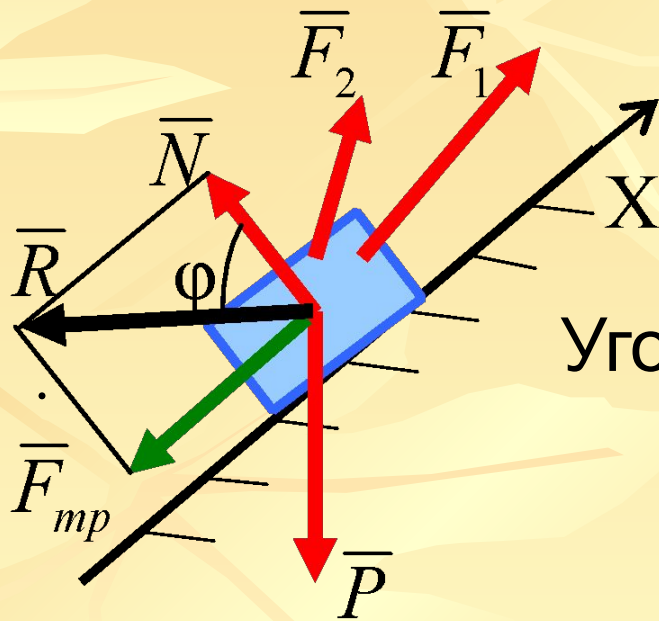


$$F_{тр}^{np} = fN$$

- При движении предельная сила трения  $\vec{F}_{тр}^{np}$  равна произведению коэффициента трения скольжения  $f$  на силу нормального давления  $N$ .

- Значение предельной силы трения  $\bar{F}_{tr}^{np}$  в довольно широких пределах **не зависит от размеров** соприкасающихся при трении поверхностей.
- $\bar{F}_{tr}^{np}$  **от скорости зависит незначительно**. В приближенных расчетах принимают  $\bar{F}_{tr}^{np} = const$ .
- **Коэффициент трения скольжения  $f$**  определяют экспериментально, так как он зависит от материала и физического состояния трущихся поверхностей.

# Угол трения



$$\vec{R} = \vec{F}_{mp} + \vec{N}$$

$$N \leq R \leq R_{np}$$

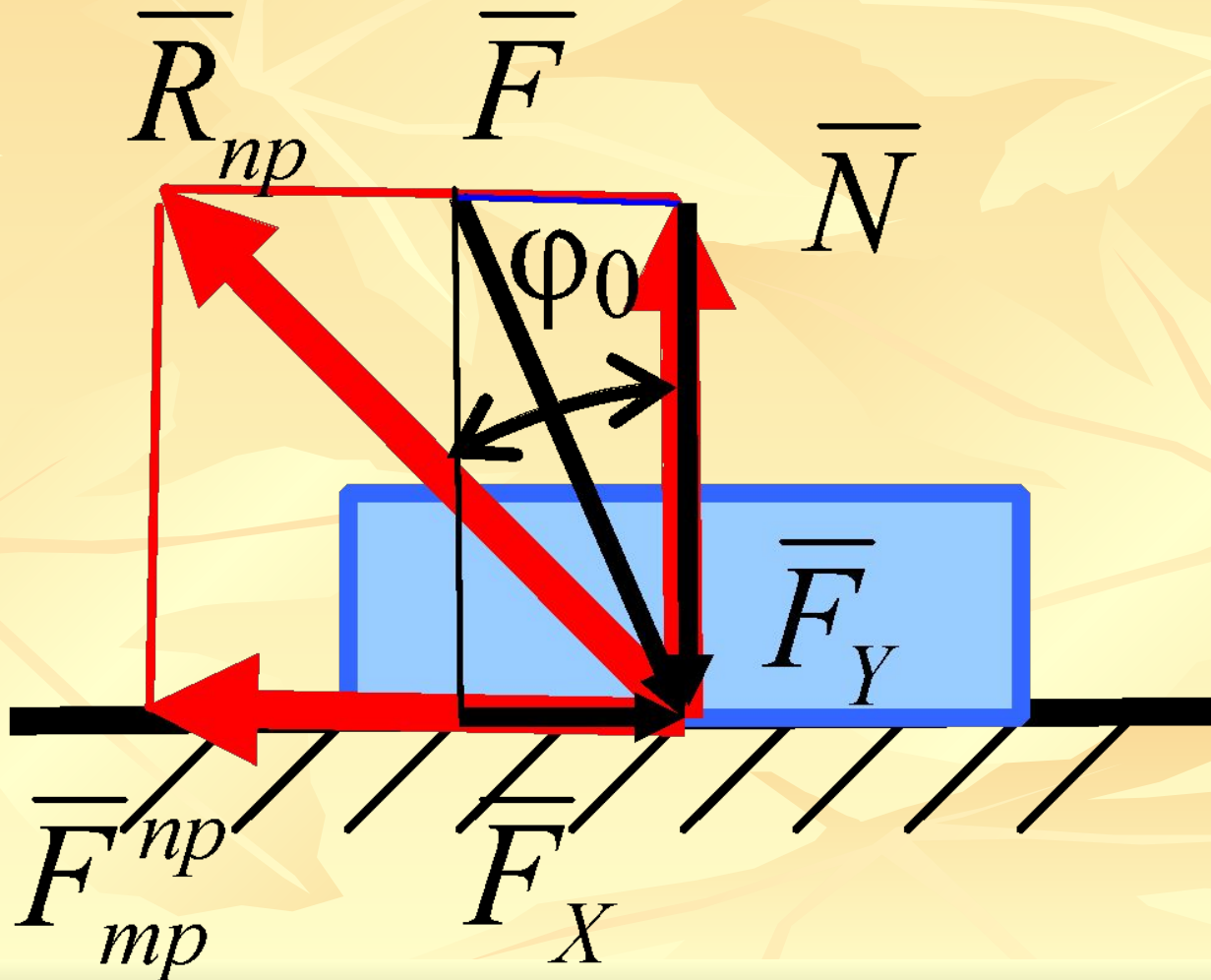
$$0 \leq \varphi \leq \varphi_0$$

Угол  $\phi_0$  называют **углом трения**

■ При движении:

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{F_{mp}^{np}}{N} = \frac{fN}{N} = f$$

# Явление самоторможения (заклинивания)

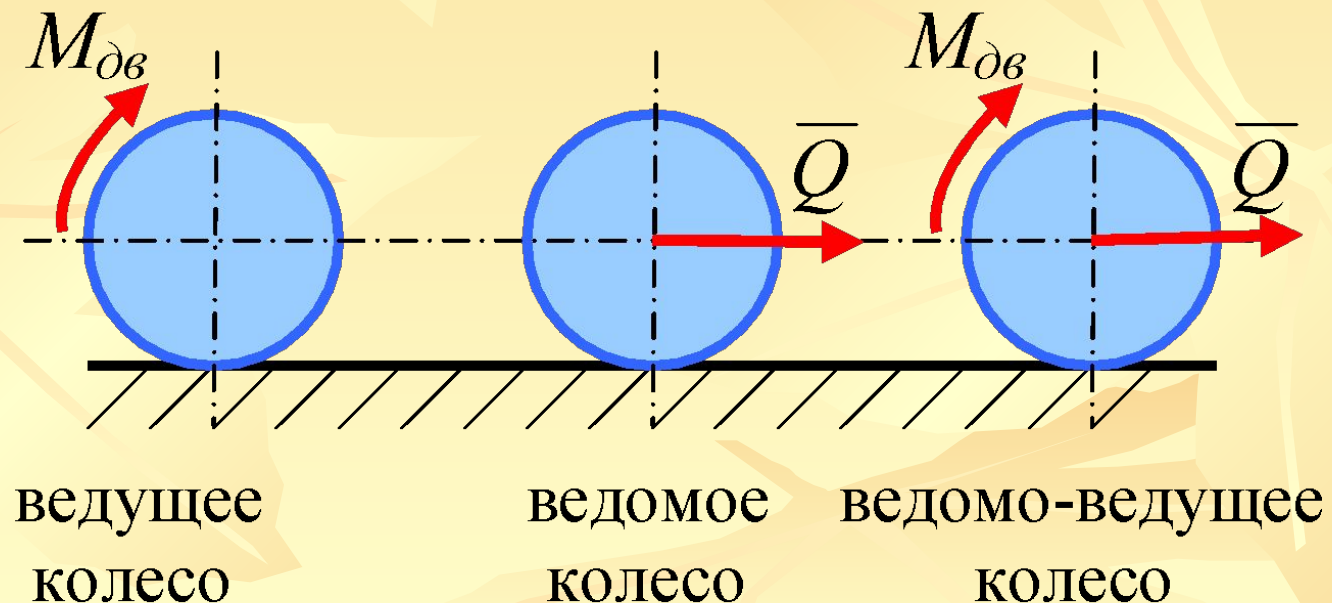


# Явление самоторможения (заклинивания)

Если равнодействующая  $\bar{F}$  всех внешних сил, приложенных к сдвигаемому по шероховатой поверхности телу, проходит внутри угла трения  $\varphi_0$ , то сколь угодно большой силой сдвинуть тело не удастся. Составляющая  $\bar{F}_y$  всегда равна нормальной реакции  $\bar{N}$  (по закону равенства действия и противодействия, аксиома 5, §1), а составляющая  $\bar{F}_x$  (сдвигающая сила) при  $\varphi < \varphi_0$  всегда будет меньше предельной силы трения  $\bar{F}_{тр}^{пр}$ . Это явление называется **явлением самоторможения или заклинивания**.

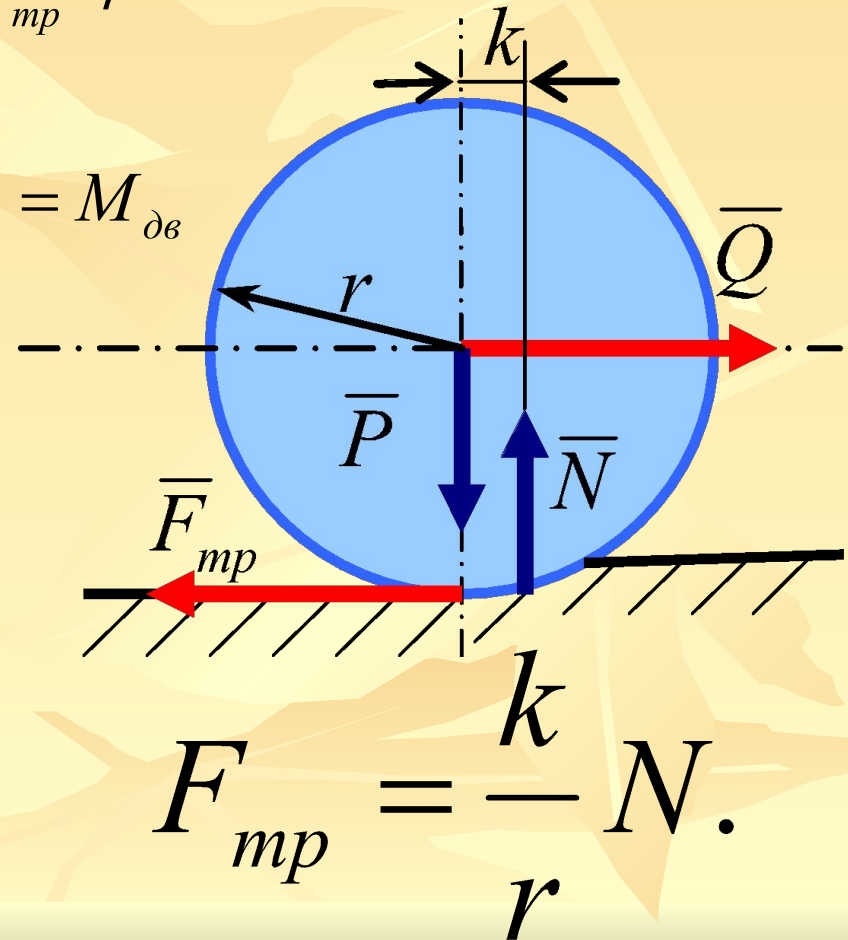
## 5.1.2 Трение качения

При качении жесткого колеса (катка) по мало деформируемой поверхности возникает **сила трения качения**. В зависимости от силдвигающих колеса различают: **ведущие, ведомые и ведомо-ведущие колеса**.



# Ведомое колесо

Движущая сила  $\bar{Q}$  и сила трения  $\bar{F}_{mp}$  образуют движущую пару с моментом  $M_{dv} = Q \cdot r = F_{mp} \cdot r$ , а сила тяжести  $\bar{P}$  и нормальная реакция  $\bar{N}$  пару сопротивления с моментом  $M_c = M_{dv}$ . Так как  $M_c = N \cdot k$ , то величина смещения  $k$  называется **коэффициентом трения качения, причем  $k/r \ll f$** , поэтому в технике стремятся заменить трение скольжения трением качения. Сила трения качения определяется выражением



# Ведущее колесо

**Движущий момент:**

$$M_{\partial в} = Fr = F'r$$

**Момент трения:**

$$M_{тр} = F_{тр} \cdot r$$

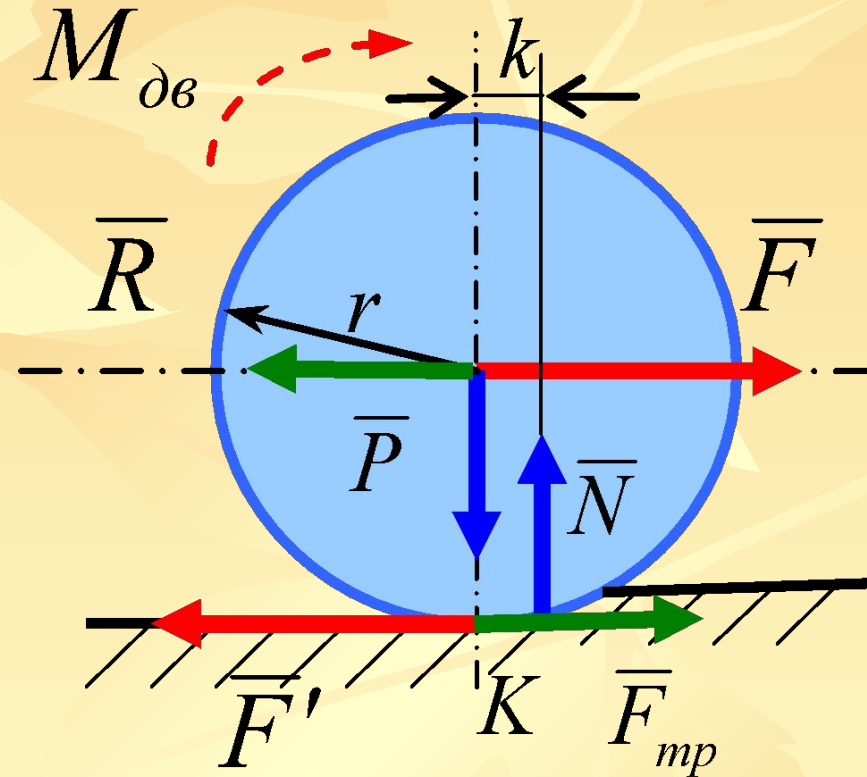
**Момент сопротивления:**

$$M_C = k \cdot N$$

Качение колеса возможно,

если  $M_{\partial в} \geq (M_{тр} + M_C) \Rightarrow$

$$F \geq (F_{тр}^{np} + \frac{k}{r} N)$$



# Законы трения качения:

Сила трения качения равна  $F_{mp} = \frac{k}{r} N$ .

- ✓ Момент сил сопротивления  $M_c = k \cdot N \cdot r$ , препятствующий качению жесткого колеса в широких пределах не зависит от радиуса колеса.
- ✓ Коэффициент трения качения  $k$  зависит от материала катка, плоскости соприкосновения, физического состояния поверхности.
- ✓ В первом приближении считают, что  $k$  зависит от угловой скорости колеса (катка) и скорости его скольжения по плоскости незначительно.
- ✓ Законы трения качения справедливы для не очень больших нормальных давлений и не слишком легко деформируемых материалов катка и поверхности.

## 5.1.3 Трение верчения

- В случае, когда активные силы стремятся вращать тело (шар) вокруг нормали к общей касательной поверхности, возникает **трение верчения**.
- **Коэффициент трения верчения** значительно меньше коэффициента трения качения.

## 5.2 Центр тяжести твердого тела

Центр (точка С) системы параллельных сил тяжести

$$\bar{P}_1, \bar{P}_2, \dots, \bar{P}_k, \dots, \bar{P}_n$$

всех точек тела называется

**центром тяжести**

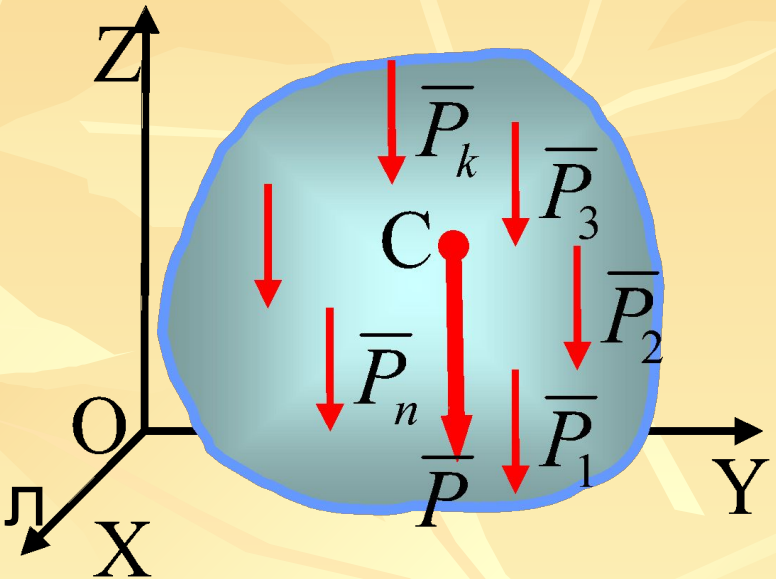
**твердого тела**, а сумма сил

тяжести всех его

материальных точек  $\bar{P} = \sum \bar{P}_k$

называется **силой тяжести**

действующей на него



# Координаты центра тяжести твёрдого тела

$$X_C = \frac{1}{P} \sum P_k \cdot X_k; Y_C = \frac{1}{P} \sum P_k \cdot Y_k; Z_C = \frac{1}{P} \sum P_k \cdot Z_k$$

где

$X_k, Y_k, Z_k$

- координаты точек приложения сил  
тяжести

$P_k$

, действующих на  $k$ -ю материальную  
точку