

# 6.ТРЕНИЕ

## 6.1. Законы трения скольжения

### Законы Ш.Кулона (XVIII век):

1. Если одно тело стремится сдвинуться относительно другого, то в плоскости их соприкосновения возникает **сила трения скольжения в покое**,  $F$ , величина которой может изменяться от нуля до некоторого предельного значения,  $0 \leq F \leq F_{пр}$ .

2. Величина  $F_{пр}$  равна произведению статического коэффициента трения,  $f_0$ , на величину нормального давления,  $N$ .

$$F_{пр} = f_0 \cdot N$$

3. Величина предельной силы трения не зависит от размеров соприкасающихся при трении поверхностей.

*Отмеченные выше закономерности относятся к случаю, когда тела не перемещаются друг относительно друга.*

В случае перемещения тел друг относительно друга, т.е. применительно к *трению скольжения при движении* установлено следующее:

1. Силы трения в движении направлены противоположно векторам скоростей точек соприкасающихся тел.
2. Величина силы трения в движении пропорциональна нормальному давлению,  $N$ , одного из трущихся тел на другое; пропорциональность устанавливается посредством коэффициента трения скольжения в движении,  $f'$   
$$F = f' \cdot N$$
3. Коэффициент  $f'$  несколько меньше коэффициента  $f$  и зависит от материалов трущихся тел и состояния их поверхностей.
4. Коэффициент  $f'$  зависит от относительной скорости трущихся тел. В большинстве случаев с увеличением скорости величина коэффициента убывает.

## 6.2. Угол и конус трения

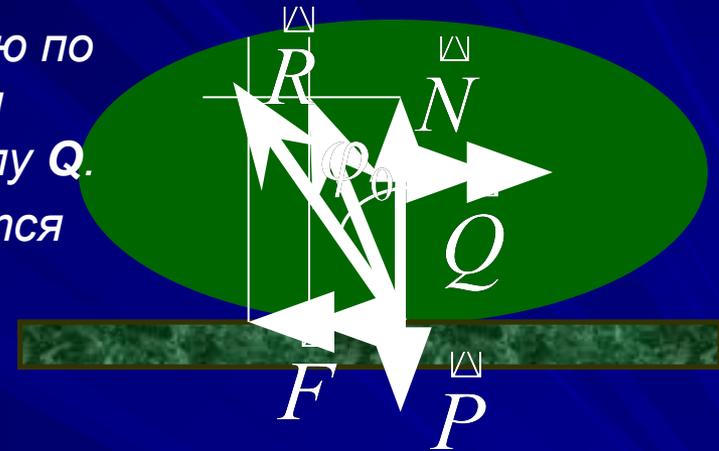
На покоящееся тело со стороны поверхности (связи) действует сила реакции  $N$ , уравнивающая силу тяжести тела  $P$ .

Попытаемся сдвинуть тело, приложив небольшую по модулю силу  $Q$ . Мгновенно появится касательная составляющая реакции  $F$ , уравнивающая силу  $Q$ .

Полная реакция поверхности на тело складывается из двух составляющих:

нормальной,  $N$ , и касательной (силы трения),  $F$

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



Увеличение модуля  $Q$  приводит к увеличению модуля силы трения  $F$  и, соответственно, к отклонению вектора  $R$  от вертикали.

Максимальное отклонение  $R$  от вертикали соответствует максимальному модулю  $F=F_{пр}$  и соответствует наибольшему модулю  $Q$  при котором тело еще находится в покое, т.е. при дальнейшем увеличении  $Q$  тело придет в движение. Наибольший угол отклонения  $R$  от вертикали и называют **углом трения**  $\varphi_0$

На рисунке видно, что  $\operatorname{tg}\varphi_0 = \frac{F_{пр}}{N} = \frac{f_0 \cdot N}{N}$ , откуда  $\operatorname{tg}\varphi_0 = f_0$

Представьте геометрическую фигуру, которая получится при вращении вектора  $R$  вокруг вертикали; получим конус с вершиной в точке приложения  $R$ . Это и есть **конус трения**.

## 6.3. Трение качения

Пока величина силы  $Q$  и, соответственно, пара сил не столь велики, она не сможет преодолеть пластически образованную поверхность другого. Пусть тело и поверхность будут абсолютно твердыми. Тогда местом контакта в плоскости будет точка  $A$ . К покоящемуся телу приложены сила тяжести  $P$  и сила реакции  $N$  при этом  $N = -P$ . В большей мере правую ее часть и разгрузив левую, как это показано на рисунке в виде трапеции.

Важно помнить, самая малая по модулю сила  $Q$  будет смещать равнобедренную распределенную нагрузку  $P$  будет смещаться вправо же возникает сила трения  $F$  пытающаяся удержать тело в покое но вместо этого возникает пара сил  $(Q, F)$ , создавая вместе с силой тяжести пару сил на плече  $\delta$ . В предельном состоянии равновесия, имеем  $m(P, N) + m(Q, F) = P \cdot \delta - Q \cdot R = 0$

В случае АТТ никакого сопротивления качению нет. Откуда получаем коэффициент трения качения  $\delta = QR / P$

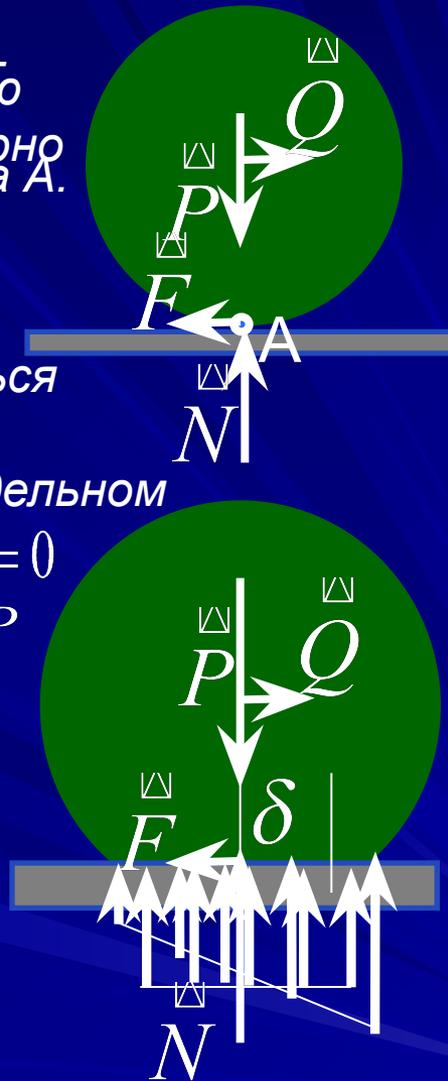
Рассмотрим реальные деформируемые тела. В этом случае местом контакта будет уже площадка, представленная на рисунке линией. Это можно представить, вспомнив деформацию колеса автомобиля.

Та же сила тяжести,  $P$ , действует на тело.

А вот нормальная составляющая реакции связи равномерно распределена по линии контакта.

Если просуммировать эту распределенную силу, то получим величину  $N$

при приложении к телу малой силы  $Q$  возникнет такая же по величине и противоположная по направлению сила трения  $F$ , уравнивающая действие  $Q$ , но создающая пару  $(Q, F)$ , которая пытается покатить тело по поверхности в сторону действия пары.



# 7. ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ ТЕЛА

Центром тяжести твердого тела называется точка, через которую проходит линия действия равнодействующей сил тяжести частиц данного тела, при любом его расположении в пространстве

$$x_c = \frac{\sum p_k x_k}{P}$$

$$y_c = \frac{\sum p_k y_k}{P}$$

$$z_c = \frac{\sum p_k z_k}{P}$$

$$\bar{P} = \sum_n \bar{p}_k$$

