

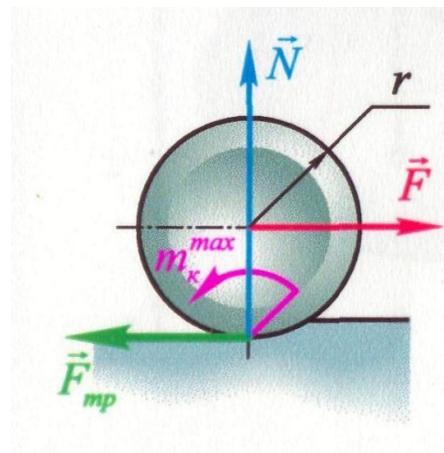
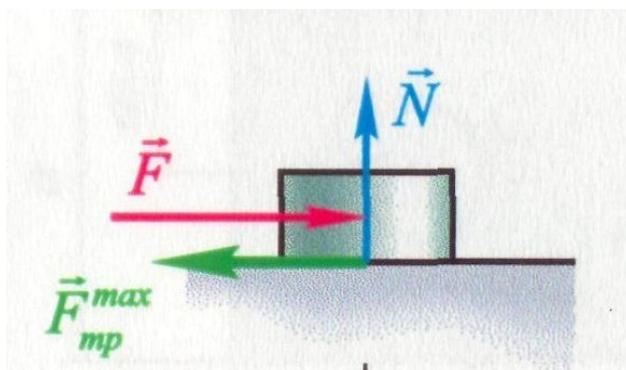


# Тема 1.6

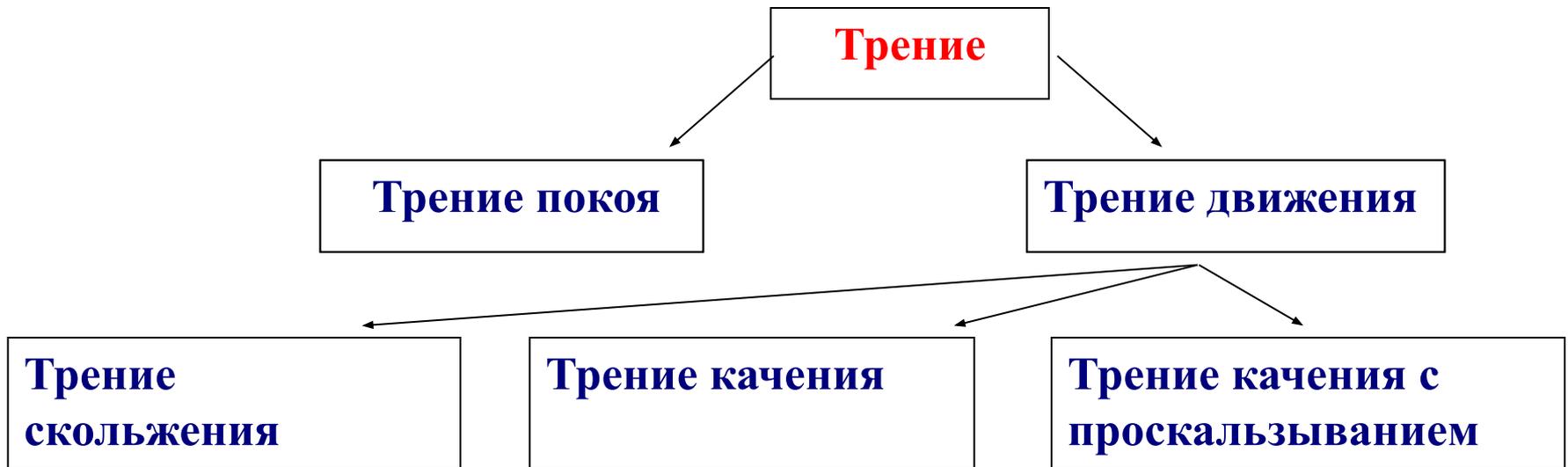
## ТРЕНИЕ

# Трение-

это сопротивление относительно движению, возникающее между двумя телами, в зонах соприкосновения поверхностей по касательной к ним.



# ВИДЫ ТРЕНИЯ



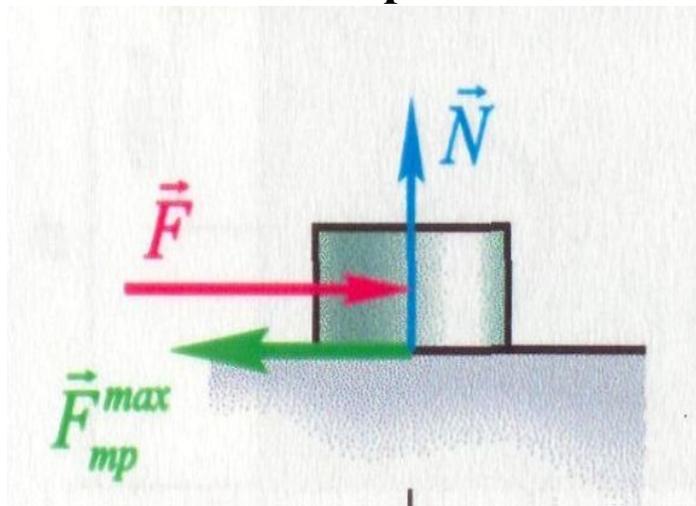
- **Трение покоя** - трение двух тел при микросмещении без макросмещения. (т.е при малом относительном перемещении тел в пределах перехода от покоя к относительному движению)
- **Трение движения** - трение двух тел находящихся в относительном движении.
- В промышленности трение различают как **сухое, полужидкостное, жидкостное.**

# Сила трения

– это сила, с которой тело сопротивляется движению.

- Сила трения всегда направлена в сторону, противоположную движению.
- Сила трения покоя больше, чем сила трения движения.

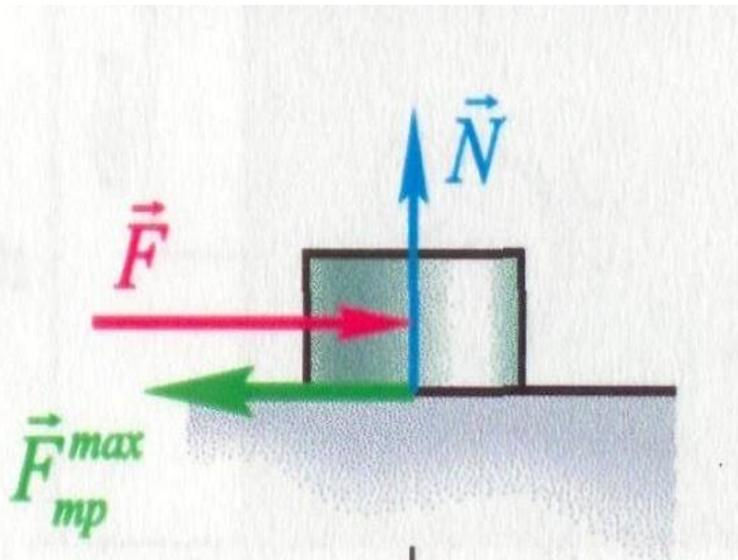
$$F_{\text{тр покоя}} > F_{\text{тр движения}}$$



## 2 ТРЕНИЕ СКОЛЬЖЕНИЯ

- это трение движения, при котором скорости тел в точке касания различны по значению и направлению.

*Трение скольжения* возникает при попытке «сдвинуть» одно тело относительно другого и появляется сила трения скольжения  $F_{\text{тр}}$ . Тело «сдвинется» если только  $F \geq F_{\text{тр}}^{\text{max}}$



# ЗАКОНЫ ТРЕНИЯ

Существуют три закона трения скольжения (законы Кулона):

***1. Сила трения не зависит от величины площади трущихся поверхностей***

**Если площадь трущихся поверхностей увеличится, то увеличится и количество сцепляющихся неровностей, но уменьшится давление и сопротивление останется прежним**

# ЗАКОНЫ ТРЕНИЯ

***2. Максимальная сила трения прямо пропорциональна нормальной составляющей внешних сил, действующих на поверхности тела.***

Во сколько раз увеличится сила нормального давления или реакция, во столько же раз возрастет максимальная сила трения

# ЗАКОНЫ ТРЕНИЯ

***3. Сила трения зависит от материала тел, состояния трущихся поверхностей, наличия и рода смазки.***

Различают фрикционные (специальные пластмассы с применением асбеста и меди) и антифрикционные материалы (баббит, бронза, графит).

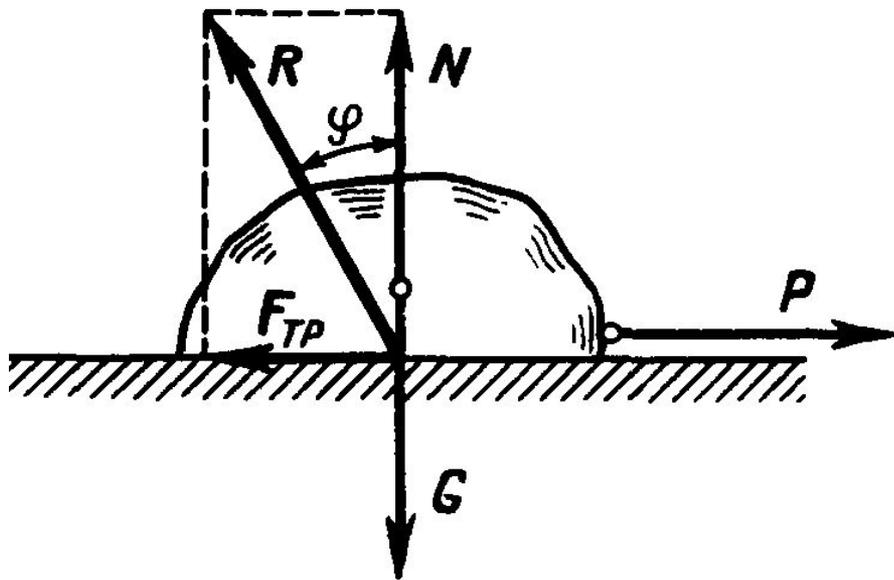
Шероховатые поверхности обладают большим трением, чем гладкие.

При смазке поверхностей скольжения тело начинает двигаться с меньшим трением.

# Сила трения

*Сила трения равна произведению силы нормального давления на коэффициент трения скольжения*

(Из второго закона трения)

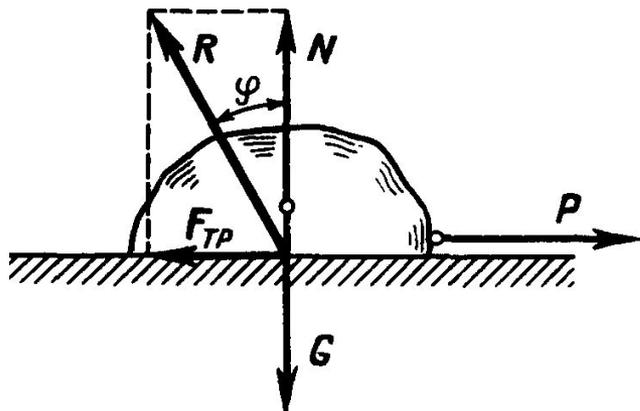


$F_{\text{тр}} = f_{\text{тр}} N$  ,  
где  $f_{\text{тр}}$  - коэффициент трения скольжения  
N- сила нормального давления

# Коэффициент трения скольжения-

это отношение силы трения к силе  
нормального давления  $f_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} / N$

Нормальная реакция  $N$  опорной  
поверхности и сила трения  $F_{\text{тр}}$  дают  
равнодействующую  $R$



$R = N + F_{\text{тр}}$  - полная реакция  
опорной поверхности

$F_{\text{тр}} = N \operatorname{tg} \varphi$   $\varphi$  - угол трения

$f_{\text{тр}} = \operatorname{tg} \varphi$  - коэффициент

трения скольжения равен тангенсу угла  
трения

Коэффициент  $f_{\text{тр}}$  трения скольжения (при покое) определяют опытным путем

# Коэффициент трения скольжения

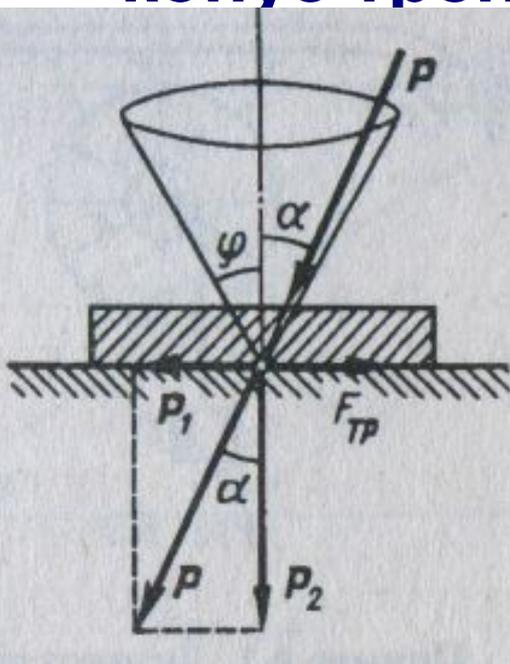
Коэффициент  $f_{\text{тр}}$  трения скольжения (при покое) определяют опытным путем: значения его для различных условий приведены в справочниках.

Металл по металлу без смазки .....	0,15. ..0,3
То же, со смазкой .....	0,1. ..0,18
Дерево по дереву без смазки .....	0,4.. .0,6
Кожа по чугуну без смазки .....	0,3. ..0,5
То же, со смазкой .....	0,15
Сталь по льду .....	0,02

Коэффициент трения скольжения при движении обычно меньше, чем при покое, и в первом приближении не зависит от скорости относительного перемещения тел.

# Свойство конуса трения

Если коэффициент трения скольжения одинаков для всех направлений движения, то множество полных реакций образует круговой конус трения



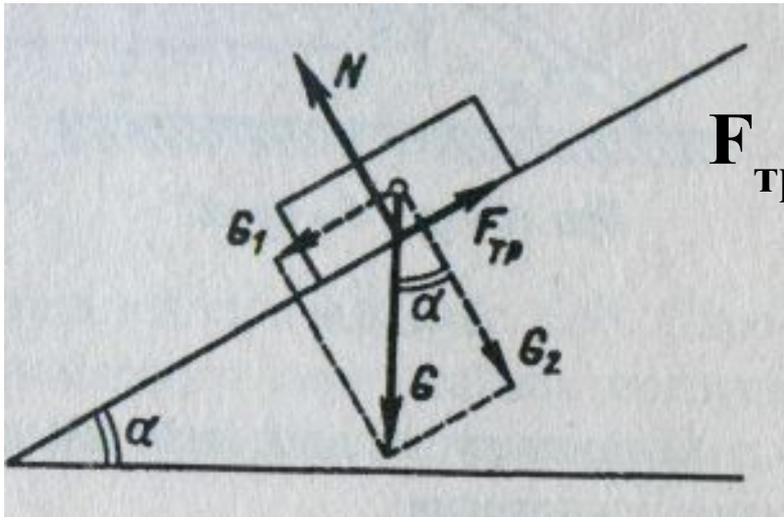
Для равновесия тела, лежащего на шероховатой поверхности, равнодействующая приложенных к нему активных сил должна проходить внутри конуса трения.

По второму закону трения скольжения

$$F_{\text{тр}} = f_{\text{тр}} P_2 = P_2 \operatorname{tg} \phi$$

Следовательно, **при  $\alpha < \phi$  будет  $P_1 < F_{\text{тр}}$  и движение тела невозможно.**

# Трение на наклонной плоскости



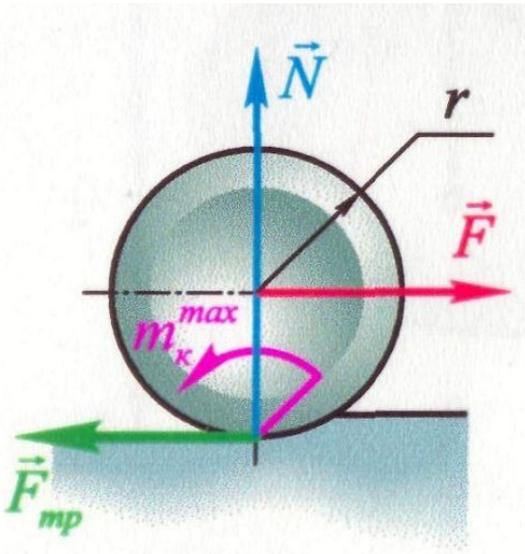
$$F_{тр} = f_{тр} N = f_{тр} G_2 = f_{тр} G \cos \alpha$$

$$F_{тр} = f_{тр} mg \cos \alpha$$

- а) Если угол наклона плоскости равен углу трения ( $\alpha = \varphi$ ), то тело, лежащее на наклонной поверхности, будет под действием собственной силы тяжести либо равномерно скользить, либо находится в покое
- б) Если  $\alpha < \varphi$  – тело находится в покое
- в) Если  $\alpha > \varphi$  – тело будет под действием собственной силы тяжести равномерно скользить

## 3 ТРЕНИЕ КАЧЕНИЯ

**Трение качения** - трение движения, при котором скорости соприкасающихся тел в точках касания одинаковы по значению и направлению.



Трение качения вызвано деформацией поверхности качения, при этом деформируется и само катящееся тело.

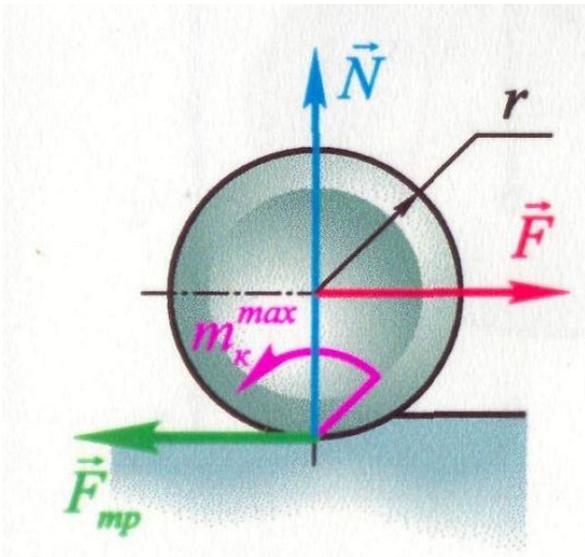
Трение качения возникает при попытке «перекатить» друг относительно друга тела с криволинейной поверхностью.

# КАТОК И ТРЕНИЕ КАЧЕНИЯ

Колесо катится под действием момента качения

$$M_{\kappa} = F r,$$

где  $M_{\kappa}$  - момент качения;  
 $F$  - внешняя сила  
 $r$  - радиус колеса.

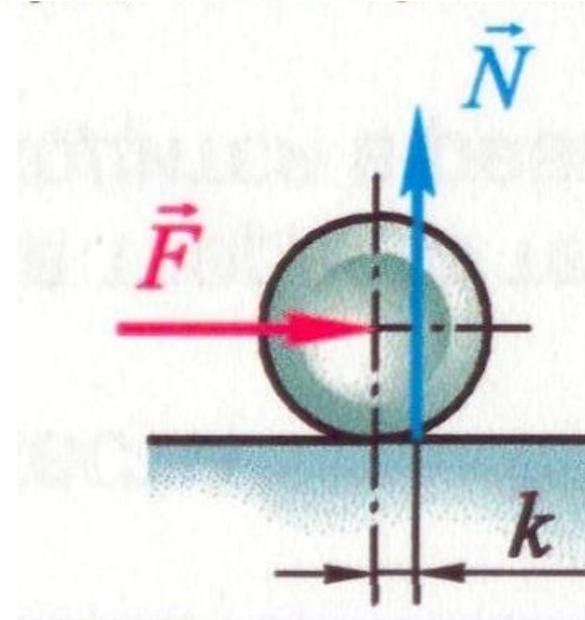


При качении возникает трение качения за счет пары трения качения с моментом  $M_{\kappa}^{\max}$

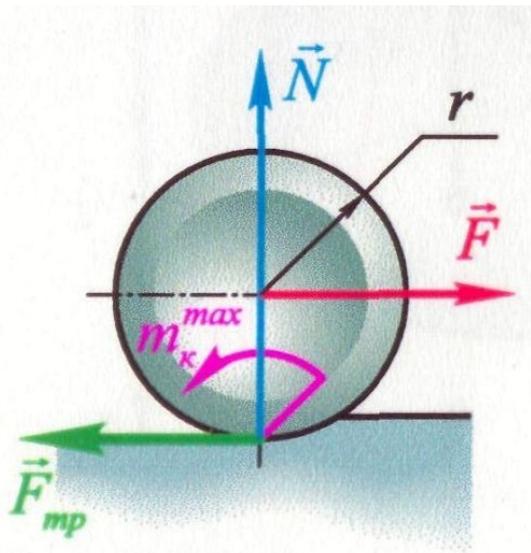
$$M_{\kappa}^{\max} = k N,$$

где  $M_{\kappa}^{\max}$  – момент трения качения;  
 $k$  – коэффициент трения качения – это расстояние между вектором силы тяжести и смещенной точкой опоры (размерная величина [м]);

$N$  – сила нормального давления из смещенной точкой опоры



# ВОЗМОЖНЫЕ СЛУЧАИ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА



Тело катится, только если

$$M_k \geq M_k^{max}, \text{ т.е. } F r \geq k N$$

Минимальная сила необходимая для движения

$$F = k N / r$$

Чем больше радиус  $r$ ,  
тем меньше сила  $F$

- а)  $M_k \geq M_k^{max}$ , но  $F < F_{тр}$  - тело только катится
- б)  $M_k < M_k^{max}$ , но  $F > F_{тр}$  - тело только скользит
- в)  $M_k > M_k^{max}$ , но  $F > F_{тр}$  - тело катится с проскальзыванием
- г)  $M_k < M_k^{max}$ , но  $F < F_{тр}$  - тело в состоянии покоя