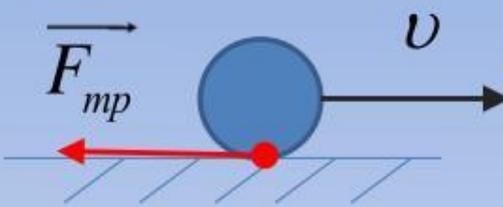
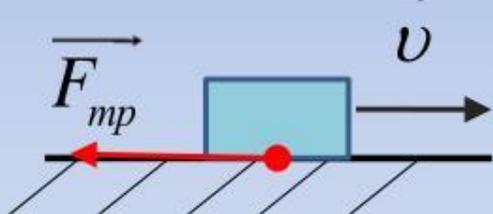
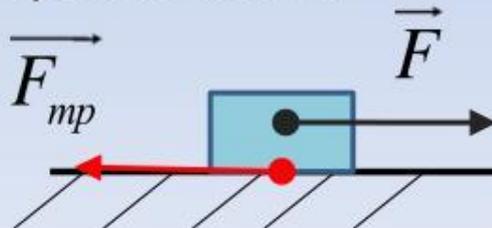
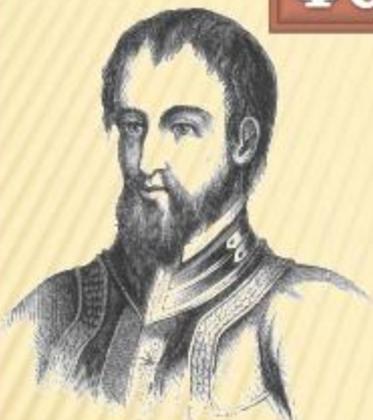


**Лабораторный  
практикум  
№2 «Измерение  
коэффициента трения  
скольжения»**

# Сила трения.

Сила	Схема действия	Направление и точка приложения	Формула или зависимость
<p><b>СИЛА ТРЕНИЯ</b></p> <p><b><math>F_{тр}</math></b></p> <p>- сила, возникающая при движении одного тела по поверхности другого.</p>	<p>Трение качения <math>\vec{v}</math></p>  <p>Трение скольжения <math>\vec{v}</math></p>  <p>Трение покоя <math>\vec{F}</math></p> 	<p>Направлена в сторону, противоположную движению.</p> <p>Точка приложения – между телом и поверхностью.</p> <p>Направлена противоположно действующей силе.</p>	<div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <math display="block">F_{тр.покоя} &gt;</math> <math display="block">&gt; F_{тр.скольж} &gt;</math> <math display="block">&gt; F_{тр.качения}</math> </div> <p>Зависит от материала поверхностей и веса тела</p> <p>Пример:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• подшипники</li> <li>• смазка</li> <li>• протекторы</li> </ul>

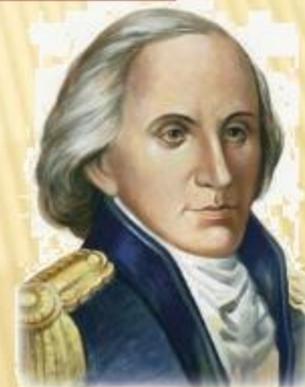
# Формула силы трения. Коэффициент трения.



Гийом Амонтон

Первая формулировка законов трения принадлежит великому Леонардо (1519 г.), который утверждал, что

**сила трения, возникающая при контакте тела с поверхностью другого тела, пропорциональна силе прижатия, направлена против направления движения и не зависит от площади контакта.** Этот закон был заново открыт через 180 лет Г.Амонтоном, а затем уточнён в работах Ш.Кулона (1781 г.). Амонтон и Кулон ввели понятие коэффициента трения



Шарль Кулон

**Коэффициент трения** – это безразмерная физическая величина, определяющая отношение величины силы трения к силе нормального давления, прижимающей тело к опоре.

**Коэффициент трения** характеризует интенсивность взаимодействия поверхностей соприкасающихся тел, которая зависит от материалов соприкасающихся тел и от качества обработки их поверхностного слоя.

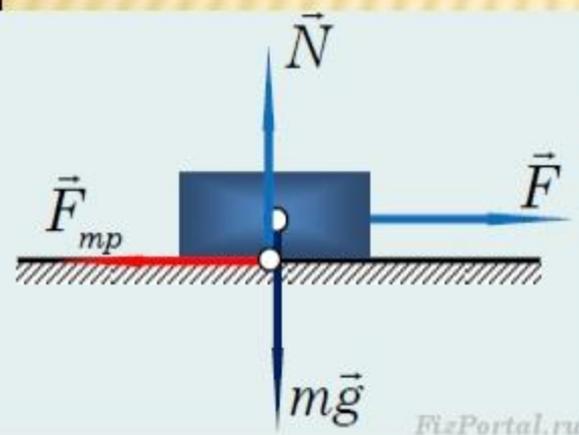
$$F_{тр} = \mu N$$



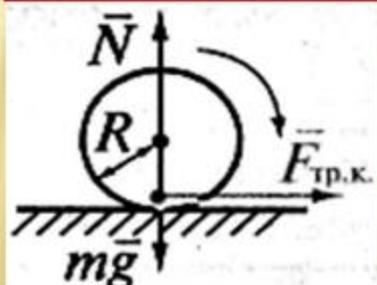
$$F_{тр} = \mu N = \mu mg$$



$$\mu = \frac{F_{тр}}{N}$$



$$F_{тр.к} = \mu_{к} \cdot \frac{N}{R}$$



Трущиеся поверхности	Коэффициент трения скольжения
Сталь по льду	0,014
Сталь по стали	0,15-0,18
Дерево по чугуну	0,25-0,5
Дерево по дереву:	
поперек волокон	0,34
вдоль волокон	0,48
Резина по чугуну	0,5-0,8
Целлофан по резине	0,95

# Сила трения

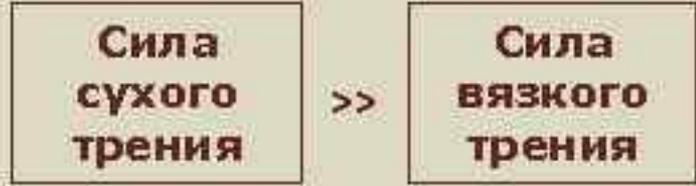
Сила трения покоя НЕ может превышать некоторого  $\max$  значения  $(F_{тр})_{\max}$

При  $F > (F_{тр})_{\max}$  возникает относительное проскальзывание



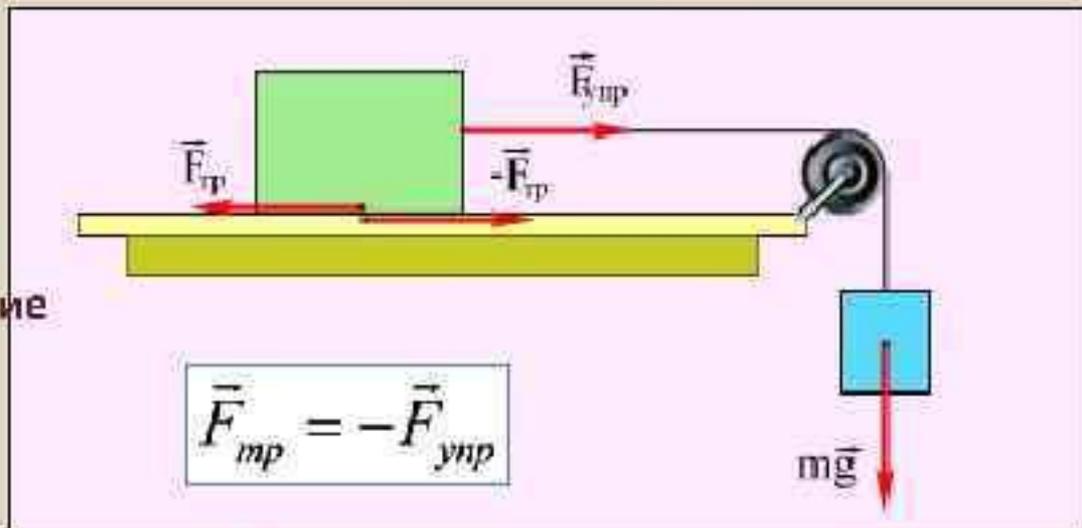
$$\vec{F}_{тр} = (F_{тр})_{\max} = \mu N$$

Движение в жидкости или газе

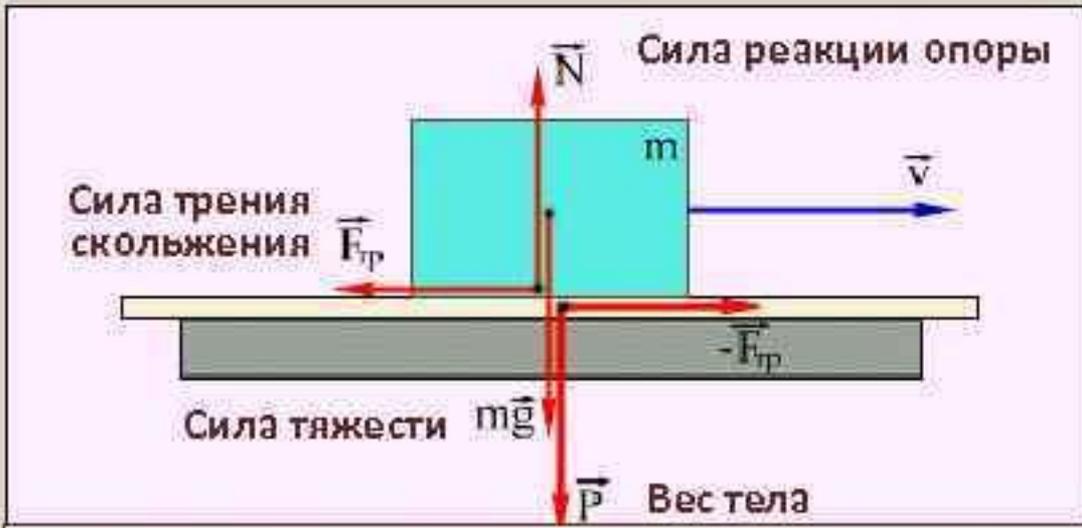


$$\vec{F}_c = f(v) \quad \begin{matrix} F \sim v & \text{малые } v \\ F \sim v^2 & \text{большие } v \end{matrix}$$

Сил трения качения



Сила трения покоя ( $u = 0$ )



Силы трения при скольжении ( $u \neq 0$ )

Причины возникновения  
силы трения

Движение под действием  
силы трения

Шероховатость  
поверхностей

Межмолекулярное  
притяжение

Сила трения

ПОКОЯ

скольжения

качения

Способы изменения силы  
трения

*Увеличение силы  
трения  
(песок в гололедицу,  
напильник)*

*Уменьшение силы  
трения  
(смазка, подшипники)*



# Силы трения

- возникают между соприкасающимися телами (когда?)
- направлены вдоль поверхности против движения (куда?)
- вызваны притяжением молекул (электромагнитные) (почему?)
- зависят от веса и рода соприкасающихся тел (от чего?)
- не зависят от площади тел

## Виды силы трения:

Трение покоя ( $v=0$ )       $F_{тр} = F$  (I з. Ньютона)

Трение скольжения

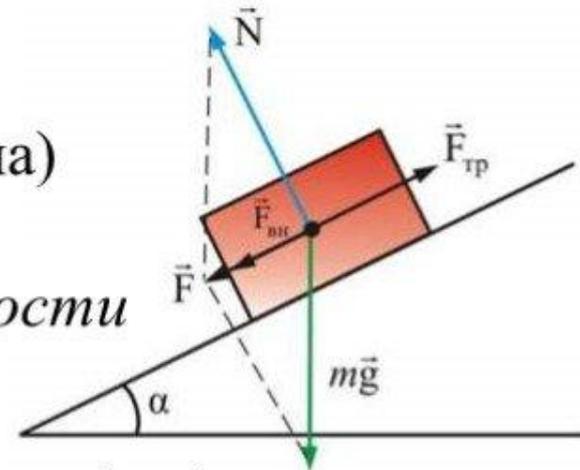
$F_{тр} = \mu mg$  – на горизонтальной поверхности

$F_{тр} = \mu N$  – на наклонной плоскости

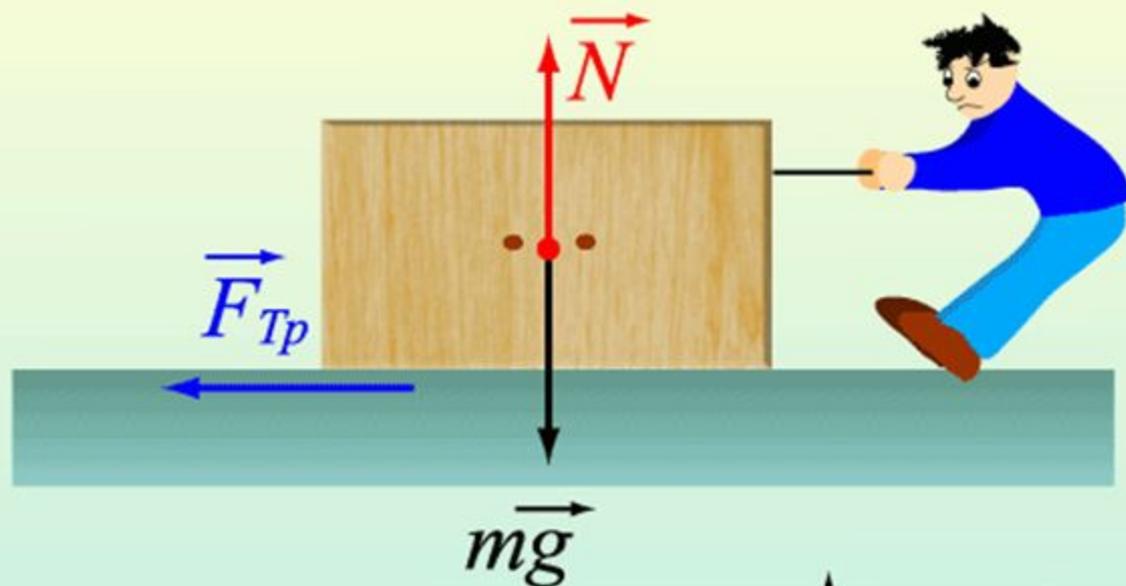
Трение качения (движение шара, колеса, цилиндра)

$F_{тр.кач} \ll F_{тр.ск}$

$\mu$  – коэффициент трения скольжения,  
зависит от рода и качества поверхностей,  $0 < \mu < 1$

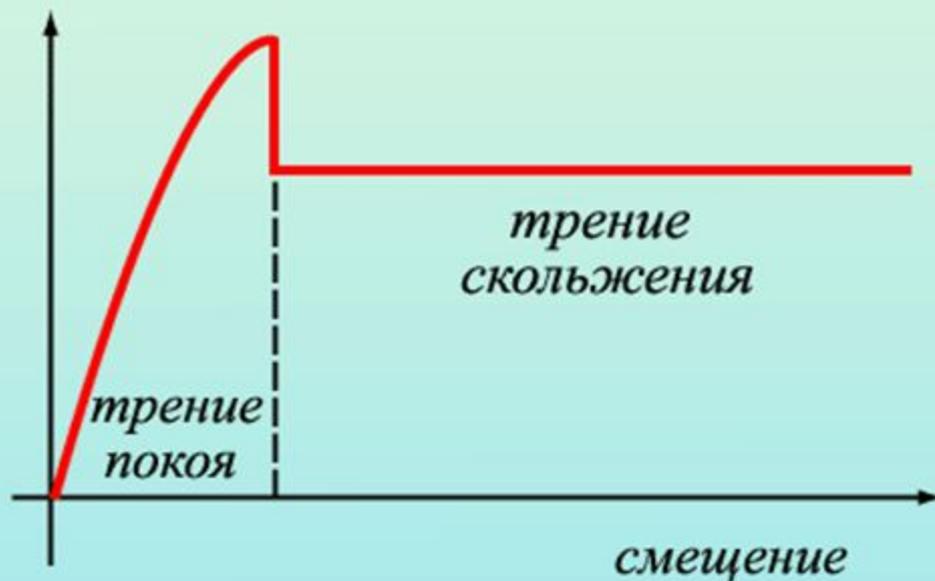


# Сила трения

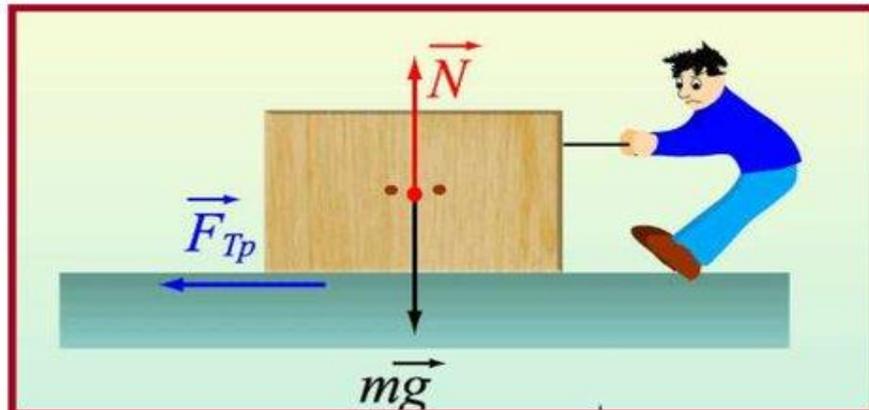
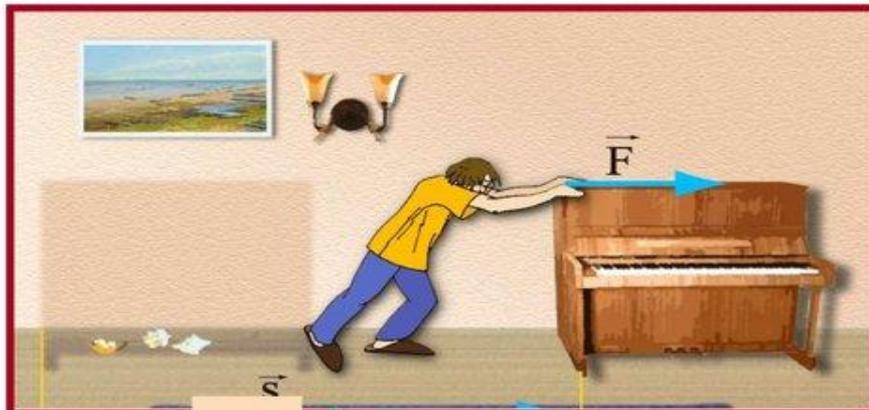


Сила, возникающая  
в плоскости  
касания тел при их  
относительном  
перемещении

$$F_{Tr} = \mu N$$



# Сила трения покоя

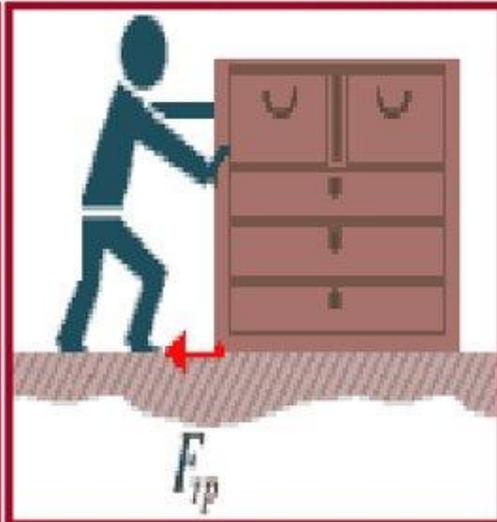


$F_{\text{тр}}$

**Сила трения покоя существует между любыми покоящимися телами.**

**Она удерживает тела на наклонной плоскости. При попытке сдвинуть тело сила трения покоя**

# Сила трения скольжения



**Сила трения скольжения возникает при скольжении одного тела по поверхности другого.**

**Зависит от величины прижимающей силы и материала соприкасающихся поверхностей.**

**Сила трения скольжения меньше силы трения покоя.**

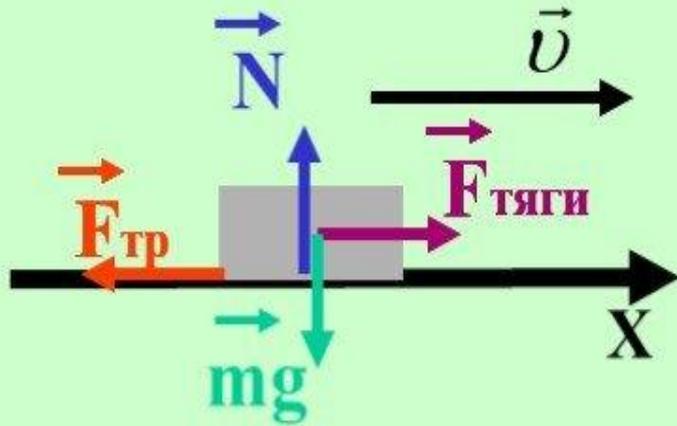
## Сила трения скольжения

Силу трения, действующую между двумя телами, скользящими относительно друг друга, называют силой трения скольжения.

Сила трения скольжения равна максимальной силе трения покоя!

$$F_{\text{ТР}} = \mu \cdot N$$

Сила трения скольжения всегда направлена противоположно направлению относительной скорости соприкасающихся тел.



$$F_{\text{тр}} \approx F_{\text{тр.маx}} = \mu N$$

Сила трения не зависит от площади соприкосновения тел.

При равномерном движении:

$$v = \text{const}$$

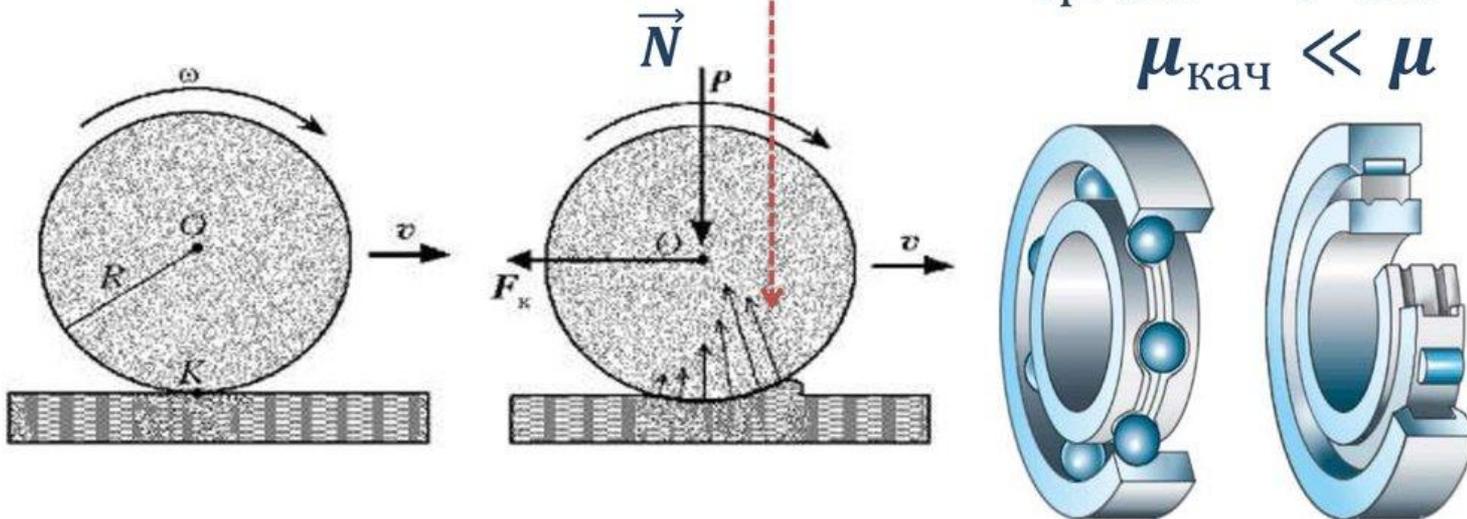
$$a_x = 0$$

$$F_{\text{тяги}} = F_{\text{тр}}$$

# Сила трения качения

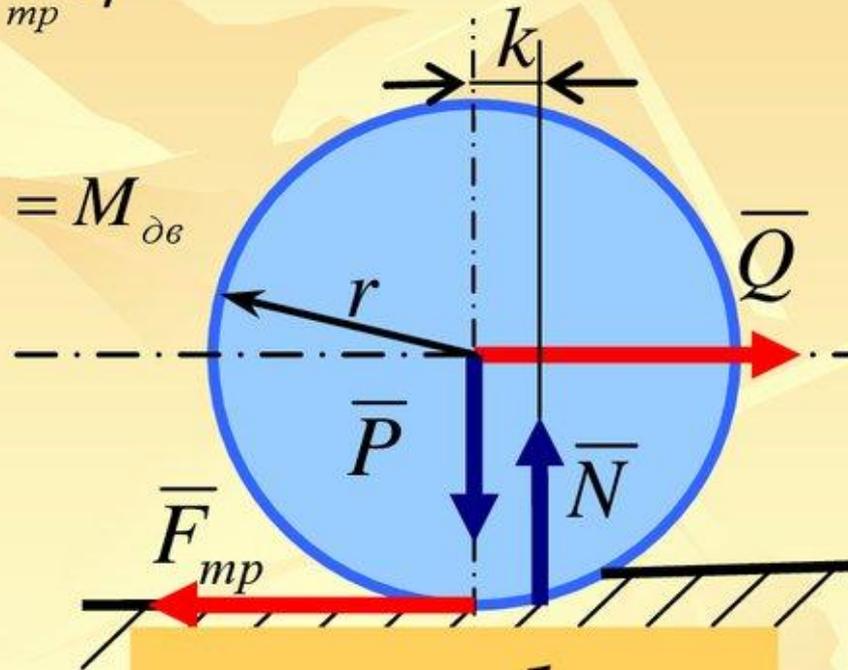
- Силы, действующие на тело вращения со стороны поверхности качения
- Не симметричны относительно вертикальной плоскости: сила, возникающая в передней части тела вращения со стороны поверхности качения, будет больше
- Результирующая сила  $N$  имеет горизонтальную составляющую, направленную назад – ее называют **силой трения качения**  $F_k$

$$F_{\text{тр. кач}} = \mu_{\text{кач}} N$$
$$\mu_{\text{кач}} \ll \mu$$



# Ведомое колесо

Движущая сила  $\bar{Q}$  и сила трения  $\bar{F}_{mp}$  образуют движущую пару с моментом  $M_{\partial в} = Q \cdot r = F_{mp} \cdot r$ , а сила тяжести  $\bar{P}$  и нормальная реакция  $\bar{N}$  пары сопротивления с моментом  $M_C = M_{\partial в}$ . 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

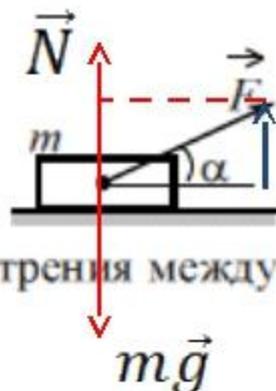


$$F_{mp} = \frac{k}{r} N.$$

## Задача часть 2

25

Брусок массой  $m = 2$  кг движется поступательно по горизонтальной плоскости под действием постоянной силы, направленной под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту (см. рисунок). Модуль этой силы  $F = 12$  Н. Модуль силы трения, действующей на брусок,  $F_{\text{тр}} = 2,8$  Н. Чему равен коэффициент трения между бруском и плоскостью?



Ответ: 0,2.

Так как брусок движется поступательно, сила трения уже достигла своего максимального значения и равна

$$F_{\text{тр}} = \mu N$$

Спроектируем все действующие силы только на ось

$$OY \quad 0 = N + F \sin \alpha - mg \rightarrow N = mg - F \sin \alpha$$

$$F_{\text{тр}} = \mu(mg - F \sin \alpha) \rightarrow \mu = \frac{F_{\text{тр}}}{(mg - F \sin \alpha)} = \frac{2,8}{14} = 0,2$$

ЗАДАЧА: БРУСОК ИЗ СОСТОЯНИЯ ПОКОЯ ДВИЖЕТСЯ ВПРАВО И ЗА 25С ПРОХОДИТ РАССТОЯНИЕ 60М. ЧЕМУ РАВЕН КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ МЕЖДУ БРУСКОМ И ПОВЕРХНОСТЬЮ.

№432.

Дано:

$$s = 60 \text{ м}$$

$$t = 25 \text{ с}$$

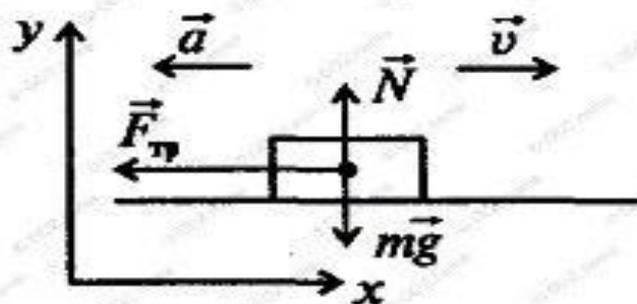
$$v = 0$$

$$\mu = ?$$

Решение:

На тело действуют силы: тяжести, трения и реакции опоры. По II закону Ньютона  $m\vec{a} = \vec{F}_{\text{тр}} + m\vec{g} + \vec{N}$  в проекциях на оси координат

$$\left. \begin{array}{l} O_x: -ma = -F_{\text{тр}} \\ O_y: +N - mg = 0 \\ F_{\text{тр}} = \mu \cdot N \end{array} \right\} ma = \mu \cdot mg$$



Сокращаем на  $m \Rightarrow a = \mu \cdot g$ .  $\mu = \frac{a}{g}$  (1). Ускорение можно найти

$$\left. \begin{array}{l} \text{по формуле } s = v_0 t - \frac{at^2}{2} \\ v_0 = at \end{array} \right\} \Rightarrow s = at^2 - \frac{at^2}{2} \Rightarrow a = \frac{2s}{t^2}$$

(так как движение равнозамедленное). Подставим значение  $a$  в (1):

$$\mu = \frac{2s}{gt^2}; \mu = \frac{2 \cdot 60 \text{ м}}{10 \text{ м/с}^2 \cdot 25^2 \text{ с}^2} = \frac{120 \text{ м}}{10 \cdot 625 \text{ м}} = 0,0192 \approx 0,02.$$

7 С высоты  $h$  по наклонной плоскости из состояния покоя соскальзывает брусок массой  $m$ . Длина наклонной плоскости равна  $S$ , а коэффициент трения между бруском и плоскостью равен  $\mu$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно определить.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) скорость бруска в конце наклонной плоскости  
 Б) равнодействующая сил, действующих на брусок

### ФОРМУЛЫ

1)  $\sqrt{2g(h - \mu\sqrt{S^2 - h^2})}$

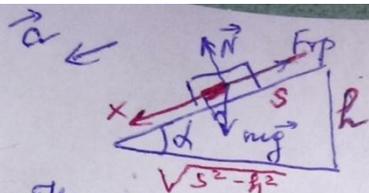
2)  $\frac{mg}{S}(h - \mu\sqrt{S^2 - h^2})$

3)  $\sqrt{\frac{2S^2}{g(h - \mu\sqrt{S^2 - h^2})}}$

4)  $\frac{\mu mg}{S}\sqrt{S^2 - h^2}$

Ответ:

А	Б



$$a = \frac{v^2}{2S} \quad v_0 = 0$$

По ox:  $mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} = ma \quad (1)$

По наклонной плоскости:  $F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha$   
 где  $\sin \alpha = \frac{h}{S}$   $\cos \alpha = \frac{\sqrt{S^2 - h^2}}{S}$

$$\text{в (1)} \quad mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha = m \frac{v^2}{2S}$$

$$g \frac{h}{S} - \mu g \frac{\sqrt{S^2 - h^2}}{S} = \frac{v^2}{2S}$$

$$v = \sqrt{2g(h - \mu \sqrt{S^2 - h^2})}$$

Ответ: А 1)

Равнодействующая сил?

$$R = ma$$

$$R = m \frac{v^2}{2S}$$

$$R = \frac{mL}{2S} (2g(h - \mu \sqrt{S^2 - h^2}))$$

$$R = \frac{mg}{S} (h - \mu \sqrt{S^2 - h^2})$$

Ответ: Б 2)

С высоты  $h$  по наклонной плоскости из состояния покоя соскальзывает брусок массой  $m$ . Длина наклонной плоскости равна  $S$ , а коэффициент трения между бруском и плоскостью равен  $\mu$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно определить.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) сила трения, действующая на брусок

Б) время движения бруска

### ФОРМУЛЫ

$$1) \sqrt{2g(h - \mu\sqrt{S^2 - h^2})}$$

$$2) \frac{mg}{S}(h - \mu\sqrt{S^2 - h^2})$$

$$3) \sqrt{\frac{2S^2}{g(h - \mu\sqrt{S^2 - h^2})}}$$

$$4) \frac{\mu mg}{S}\sqrt{S^2 - h^2}$$

Ответ:

А	Б

# Ссылка на видеоролик

Лаб практикум №2 «Измерение  
коэффициента трения скольжения»

<https://www.youtube.com/watch?v=sWSroTNE8yQ>