

# Урок 23

Силы трения.

## Пример решения задачи

Используя закон всемирного тяготения, можно определить массы космических тел. В качестве примера оценим массу Солнца, считая расстояние между Солнцем и Землей равным  $150$  млн км. Земля движется вокруг Солнца со скоростью  $30$  км/с.

Решение. Центробежное ускорение Земли при движении вокруг Солнца  $a = \frac{v^2}{R}$  (здесь  $v = 3 \cdot 10^4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ,  $R = 1,5 \cdot 10^8$  км). Это же ускорение можно найти из второго закона Ньютона и закона всемирного тяготения:

$$a = \frac{F}{M_3} = G \frac{M_3 M_c}{R^2 M_3} = G \frac{M_c}{R^2}.$$

Отсюда находим массу Солнца:

$$M_c = \frac{a R^2}{G} = \frac{v^2 R}{G}.$$

# Домашнее задание от 25.11.2016

- §11;
- описание лабораторной работы №6 «Исследование силы трения скольжения. Измерение коэффициента трения скольжения»;
- № 11.17, 11.26, 11.34, 11.37.

# Проверим домашнее задание от 23.11.2016

- §10;
- № 10.8, 10.19, 10.23 (найти еще и плотность шаров), 10.30.

**10.8.** Во сколько раз сила притяжения Землей искусственного спутника больше на поверхности Земли, чем на высоте трех земных радиусов над ее поверхностью?

$$F_1 = G \frac{mM}{R^2}$$

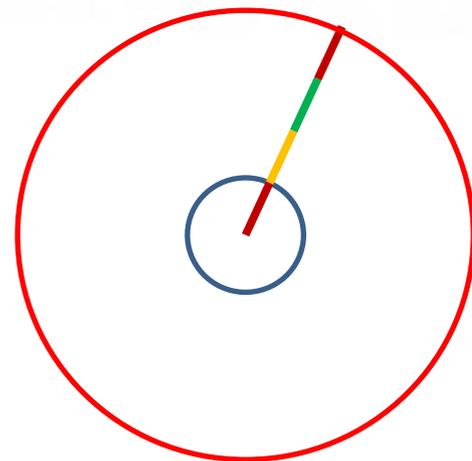
$$F_2 = G \frac{mM}{(R + h)^2}$$

$$F_2 = G \frac{mM}{(R + 3R)^2}$$

$$F_2 = G \frac{mM}{(4R)^2}$$

$$F_2 = G \frac{mM}{16R^2}$$

$$F_2 = \frac{F_1}{16}$$



**10.19.** Чему равна сила тяготения между двумя одинаковыми бильярдными шарами диаметром 4 см в момент столкновения (рис. 105)? Масса каждого шара 200 г.

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$

$$F = G \frac{m^2}{R^2}$$

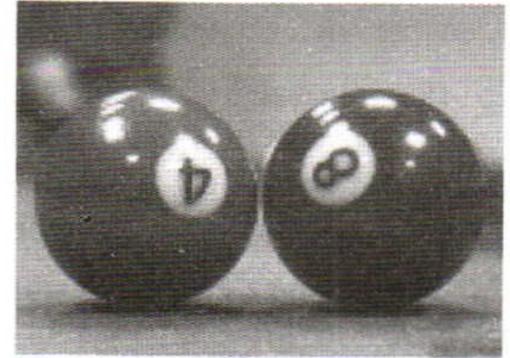


Рис. 105

$$F = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2} \frac{(0,2 \text{ кг})^2}{(4 \cdot 10^{-2} \text{ м})^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2} \cdot 4 \cdot 10^{-2} \text{ кг}^2}{16 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} =$$

$$= \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 10^{-4}} \text{ Н} = 1,67 \cdot 10^{-9} \text{ Н}$$

**10.19.**  $1,7 \cdot 10^{-9} \text{ Н}$ .

**10.23.** Расстояние между центрами двух одинаковых шаров равно 1 м. При какой массе шаров они притягивались бы силой 1 Н? Дано:

$$m_1 = m_2 = m$$

$$R = 1 \text{ м}$$

$$F = 1 \text{ Н}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$

Решение:

$$F = G \frac{m^2}{R^2}$$

$$m = \sqrt{\frac{F \cdot R^2}{G}}$$

$$m = R \sqrt{\frac{F}{G}}$$

$$m = 1 \sqrt{\frac{1}{6,67 \cdot 10^{-11}}} = \sqrt{\frac{10^{11}}{6,67}} = \sqrt{\frac{100 \cdot 10^9}{6,67}} =$$

$$m = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3$$

$$\rho = \frac{3m}{4\pi R^3}$$

Найти:

$m, \rho$

$$= \sqrt{15 \cdot 10^9} = \sqrt{150 \cdot 10^8} \approx 12 \cdot 10^4 \text{ (кг)}$$

$$\rho = \frac{3 \cdot 12 \cdot 10^4}{4 \cdot 3,14 \cdot (0,5)^3} = 11,5 \cdot 10^4 \left( \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$$

???????

Ответ:

10.23. 122 т.

Изотоп осмия является самым **плотным** **веществом** на планете. Его плотность составляет  $22,61 \text{ г/см}^3$ .

$$22,61 \text{ г/см}^3 = 22610 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho = 11,5 \cdot 10^4 \left( \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$$

**Плотность** вещества в ядре фантастически велика – порядка  $10^{13} - 10^{14} \text{ г/см}^3$ .

Очередной рекорд был поставлен в рамках эксперимента, воспроизводящего условия сразу после Большого взрыва. Созданная в Большом адронном коллайдере материя была значительно горячее центра Солнца и плотнее недр нейтронной звезды. Рождённое в ходе столкновений ионов свинца вещество представляло собой кварк-глюонную плазму, рассказали учёные на конференции [Quark Matter 2011](#), прошедшей во Франции. Во Вселенной нет более плотного состояния материи, разве что в чёрных дырах, [поведали](#) экспериментаторы. А чтобы было понятнее, привели пример: подобный материал, занимающий один кубический сантиметр, весил бы 40 миллиардов тонн.

**10.30.** На какой высоте над поверхностью Земли сила тяготения уменьшается на 10 %?

Дано:

$$F_2 = 0,9F_1$$

$$F_1 = G \frac{mM}{R^2}$$

$$F_2 = G \frac{mM}{(R+h)^2}$$

$$F_2 = 0,9F_1$$

Найти:

$h$

$$G \frac{mM}{(R+h)^2} = 0,9G \frac{mM}{R^2}$$

$$\frac{1}{(R+h)^2} = \frac{0,9}{R^2}$$

$$h_{1,2} = \frac{-(-18R) \pm \sqrt{(-18R)^2 - 4(-9)R^2}}{2 \cdot (-9)}$$

$$h_{1,2} = \frac{18R \pm \sqrt{(-18R)^2 + 36R^2}}{-18}$$

**Ответ:**      **10.30. 350 км.**

**Решение:**

$$0,9(R+h)^2 = R^2$$

$$0,9(R^2 + 2Rh + h^2) = R^2$$

$$0,9R^2 + 1,8Rh + 0,9h^2 = R^2$$

$$0 = 0,1R^2 - 1,8Rh - 0,9h^2$$

$$0 = R^2 - 18Rh - 9h^2 \quad x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$h_{1,2} = \frac{18R \pm \sqrt{(-18R)^2 + 36R^2}}{-18}$$

$$h_{1,2} = \frac{18R \pm 19R}{-18}$$

$$h_2 = \frac{6400 \text{ км}}{18}$$

$$h_2 = \frac{-R}{-18}$$

$$h_2 = \frac{R}{18}$$

$$h_2 = 355 \text{ км}$$

У. стр.90 и 113

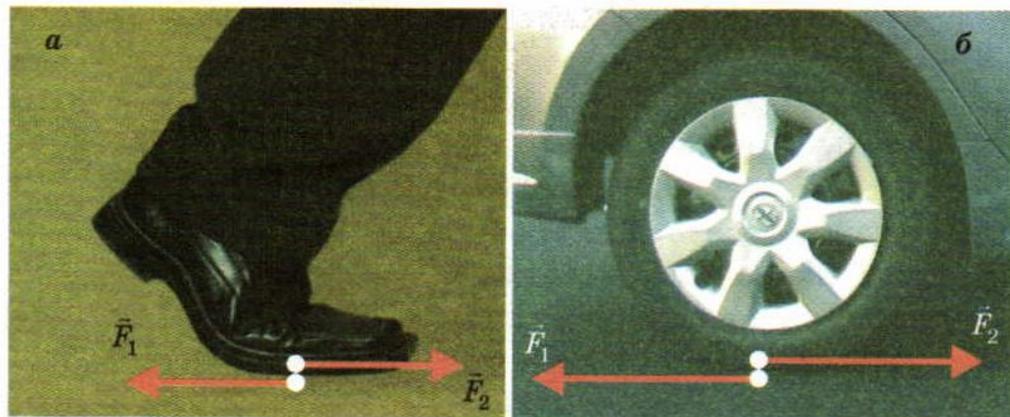


Рис. 9.5. Отталкивание от дороги с помощью силы трения покоя

## СИЛА ТЯГИ

Автомобиль разгоняется, тоже «используя» третий закон Ньютона: мотор вращает колесо автомобиля, а оно вследствие этого толкает дорогу *назад*. При этом согласно третьему закону Ньютона дорога толкает автомобиль *вперед* (рис. 9.5, б).

Направленную вперед силу, действующую на автомобиль со стороны дороги, иногда называют *силой тяги*.

В условиях задач о разгоне и торможении транспорта часто упоминаются *сила тяги* и *сила сопротивления*.

Что такое сила тяги, мы уже знаем (см. § 9. Третий закон Ньютона). При решении задач главное — знать, что эта сила направлена вперед. А под силой сопротивления движению понимают обычно равнодействующую *всех* сил, направленных противоположно скорости.

**10.31.** Найдите ускорение свободного падения на поверхности Марса, если его масса составляет 11 % массы Земли, а радиус — 53 % земного радиуса.

Дано:

$$M_M = 0,11M_3$$

$$R_M = 0,53R_3$$

Найти:

Решение:

$$F_{\text{грав}} = G \frac{mM}{R^2}$$

$$F = mg$$

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

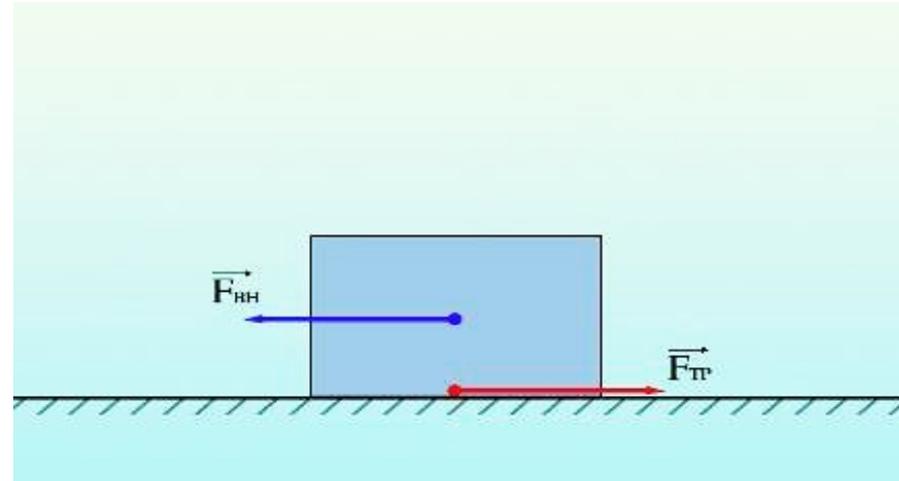
$$g_M = G \frac{0,11M_3}{(0,53R_3)^2}$$

$$g_M = \frac{0,11}{(0,53)^2} G \frac{M_3}{R_3^2} = 0,39 G \frac{M_3}{R_3^2} = 0,39 g_3$$

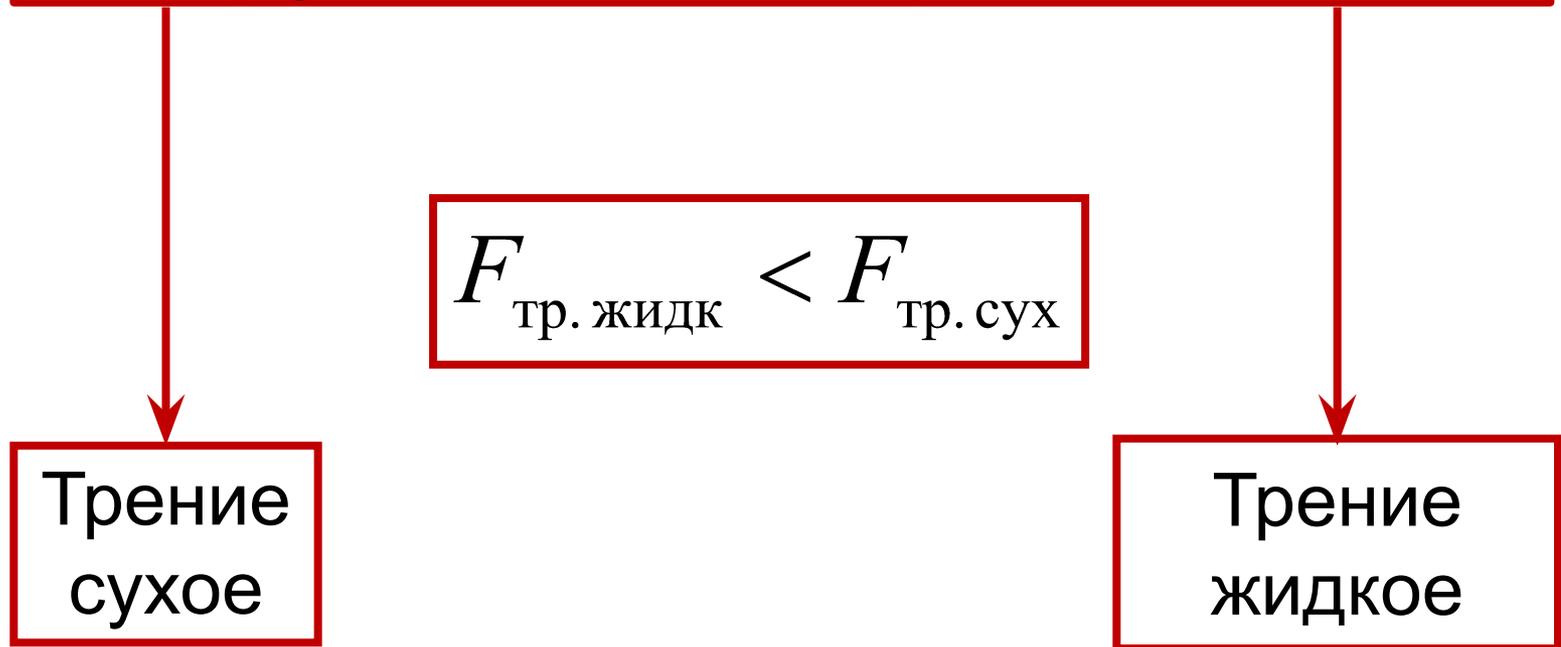
Ответ: **10.31.**  $3,9 \hat{\text{ м/с}}^2$ .

# Трение

- Взаимодействие, возникающее в месте соприкосновения тел и препятствующее их относительному движению, называют **трением**.
- Величину, характеризующую это взаимодействие – **силой трения**.



# Виды трения (по материалу трущихся поверхностей)



Жидкое трение меньше, чем сухое  
(переведите бытовую фразу в формулу)

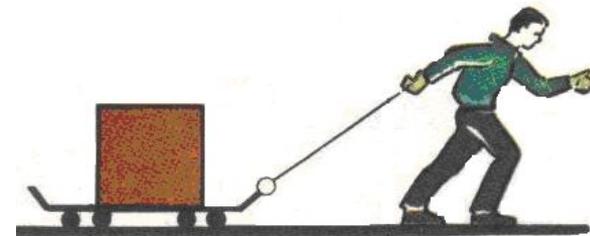
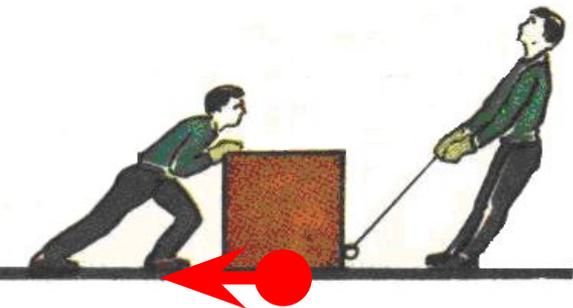
# Виды трения (по характеру движения)

Трение покоя

Трение движения

Трение скольжения

Трение качения



# Трение скольжения

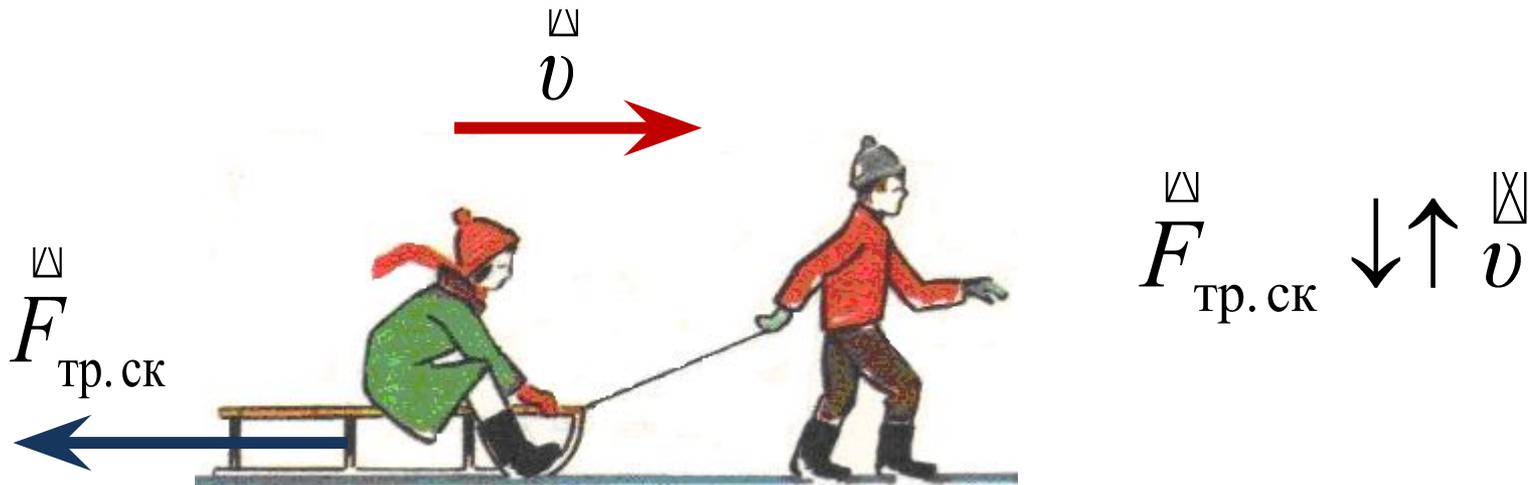
Сила, возникающая при скольжении одного тела по поверхности другого и направленная в сторону, противоположную движению, называется силой трения скольжения.



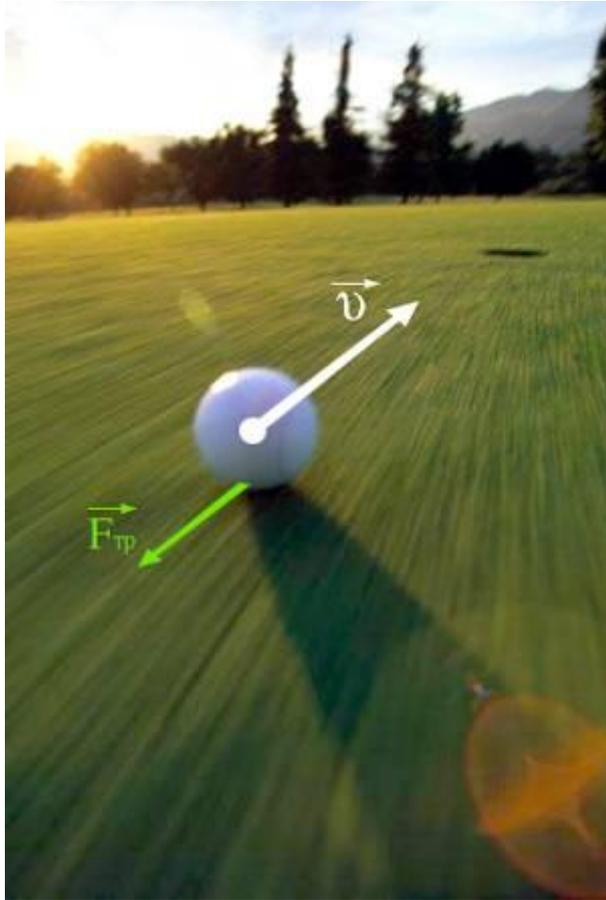
Силы трения скольжения действуют между соприкасающимися телами, когда они движутся друг относительно друга. Направлены эти силы вдоль поверхности соприкосновения тел так, чтобы уменьшить скорость их относительного движения.

# Направление силы трения ДВИЖЕНИЯ

**Сила трения (скольжения и качения) всегда направлена вдоль поверхностей соприкасающихся тел в сторону противоположную скорости движения тела по неподвижной поверхности.**



# Трение качения

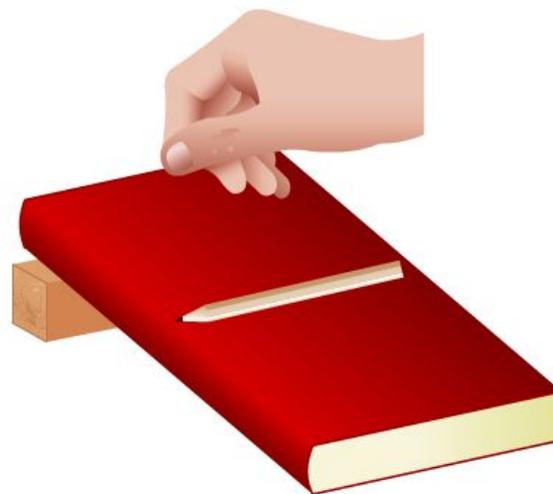


Если тело **катится** по поверхности другого тела, то возникающее в месте их контакта трение называют **трением качения**.

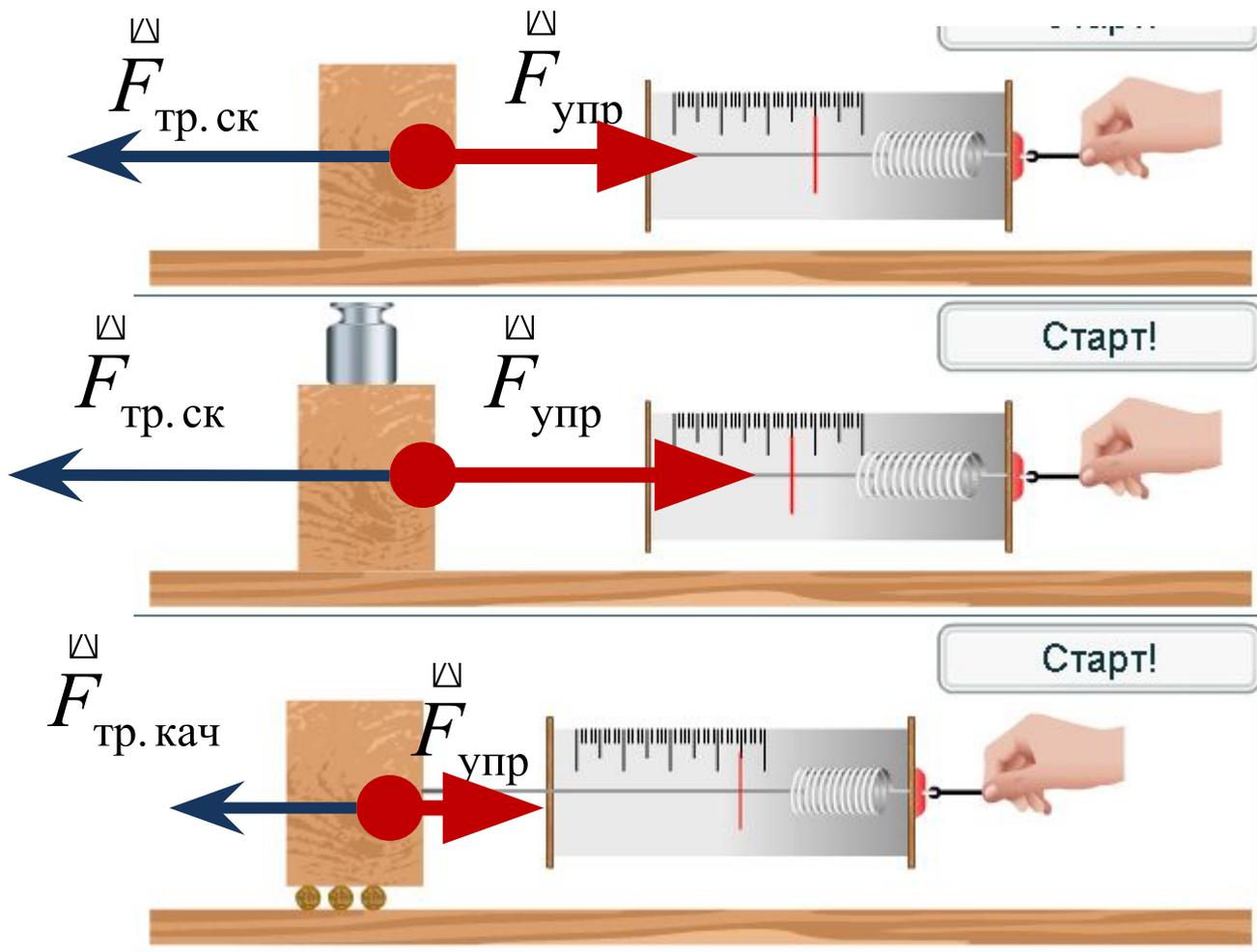


# Сравним силу трения скольжения и качения

Старт!



# Как нужно тянуть динамометр, чтобы он измерял силу трения?

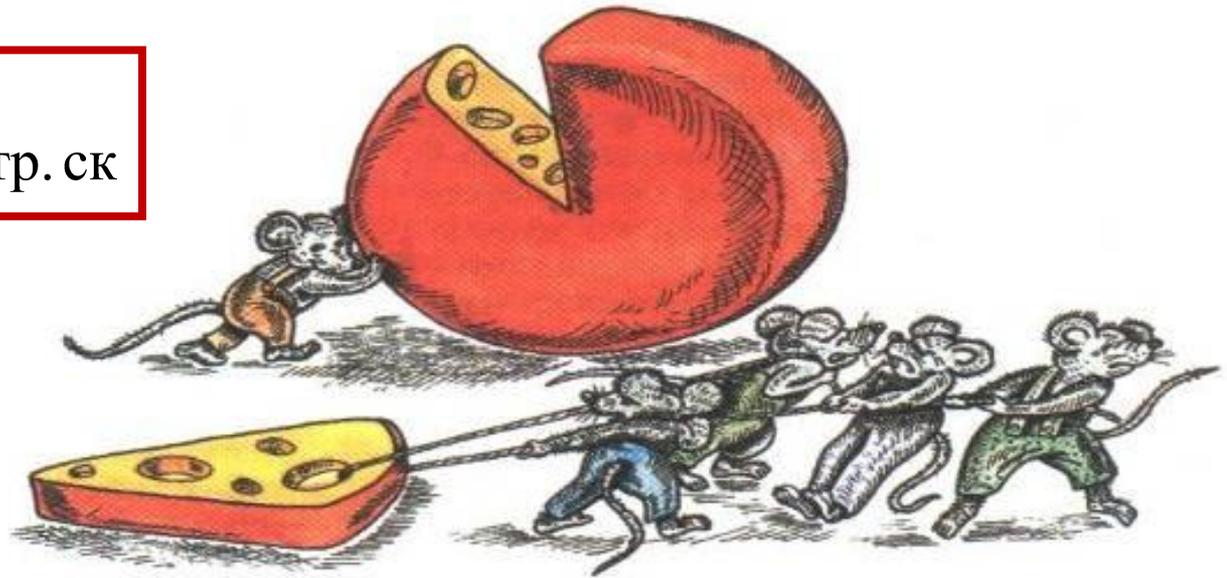


$$\vec{v} = \text{const}$$

# Сравнение силы трения скольжения и силы трения качения

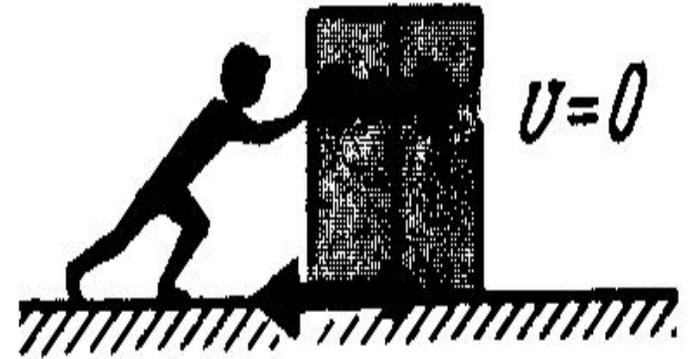
При одинаковых нагрузках сила трения качения значительно меньше силы трения скольжения.

$$F_{\text{тр. кач}} \ll F_{\text{тр. ск}}$$

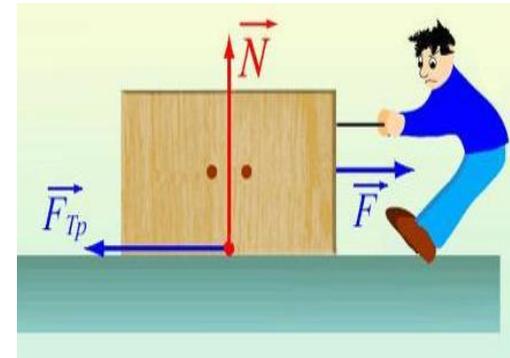


# Трение покоя

- Сила трения покоя направлена **против** **возможного** **перемещения** тела.

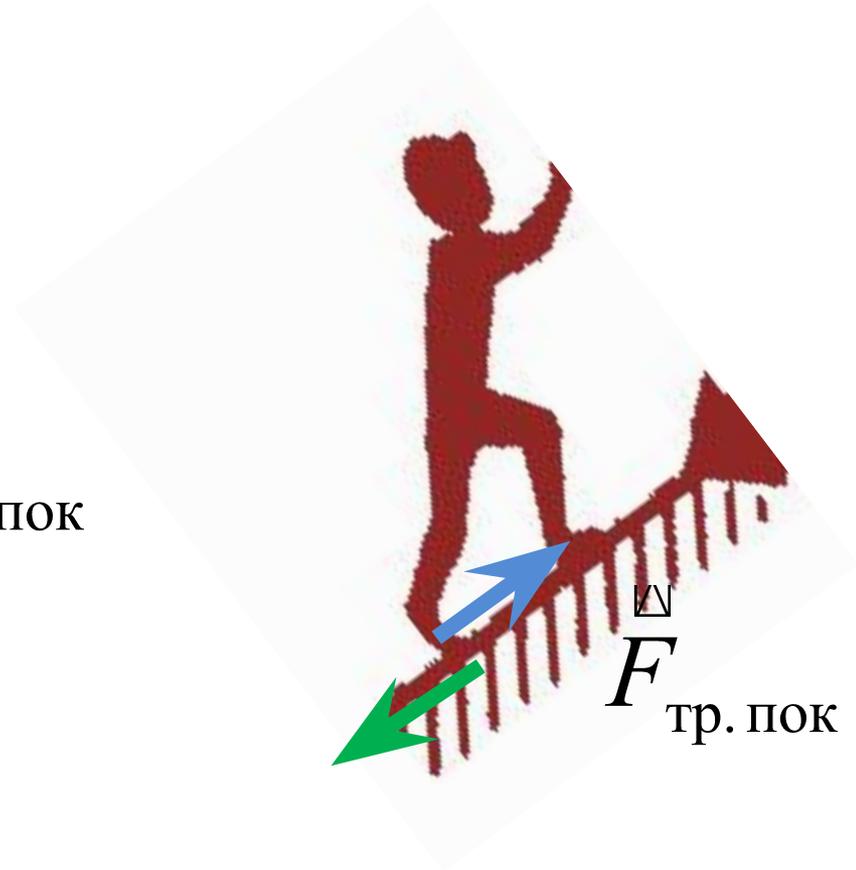
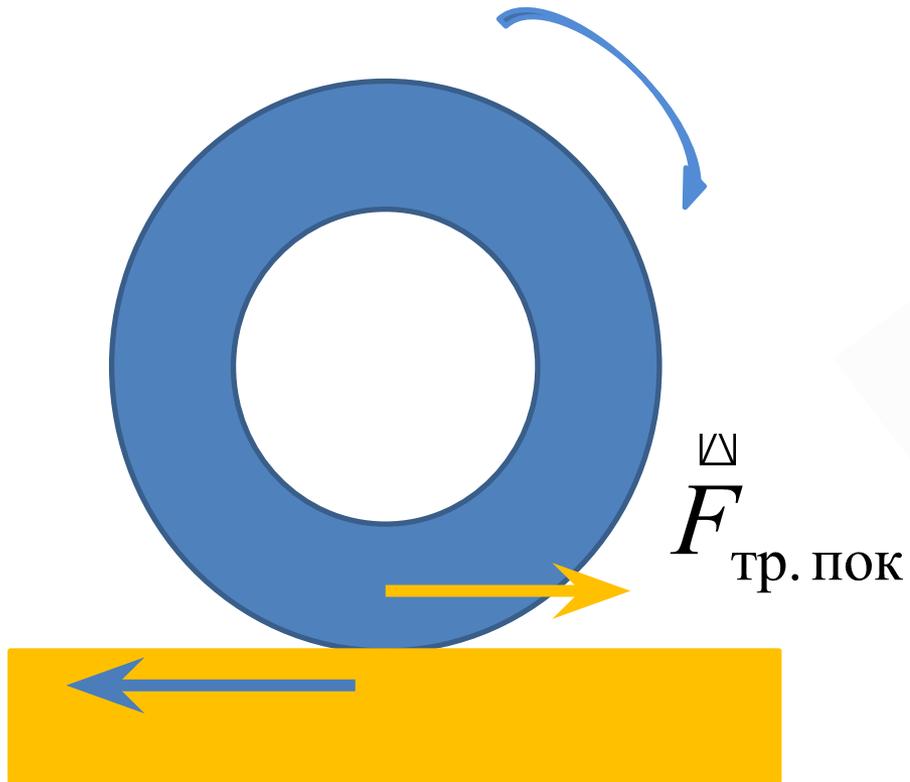


$$\vec{F}_{\text{тр. пок}} = -\vec{F}_{\text{внешн}}$$

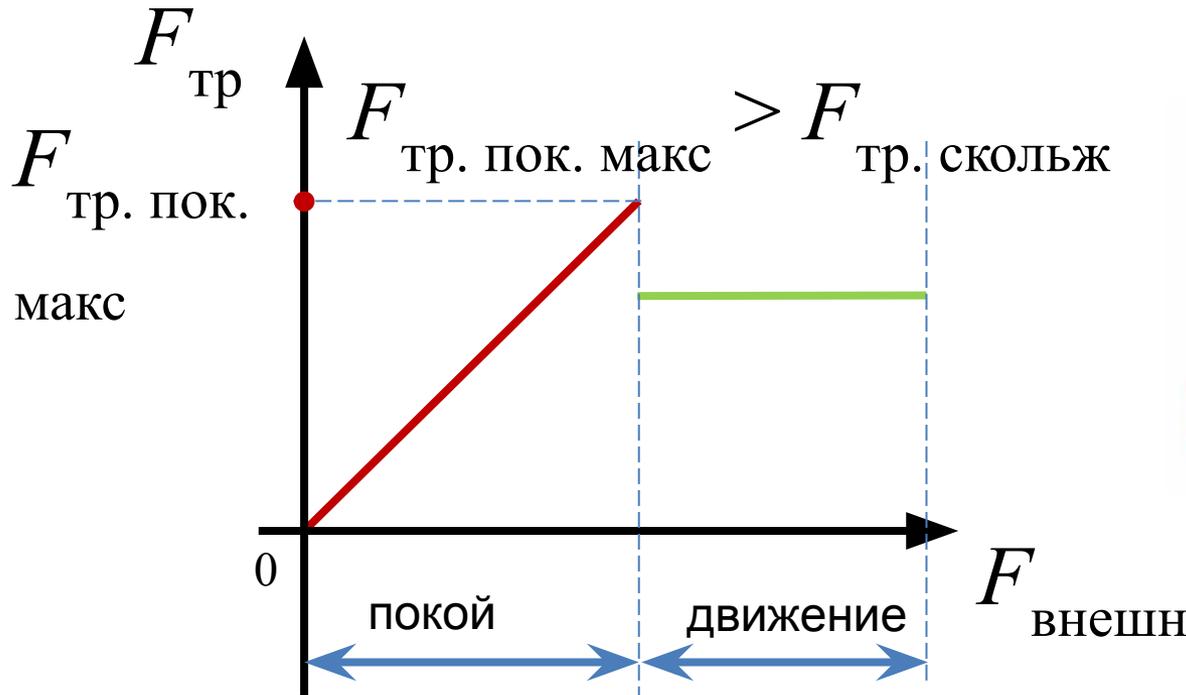


силы трения покоя действуют между соприкасающимися телами, когда одно из них пытаются сдвинуть относительно другого. Направлены эти силы вдоль поверхности соприкосновения тел так, чтобы препятствовать относительному движению тел.

# Трение покоя

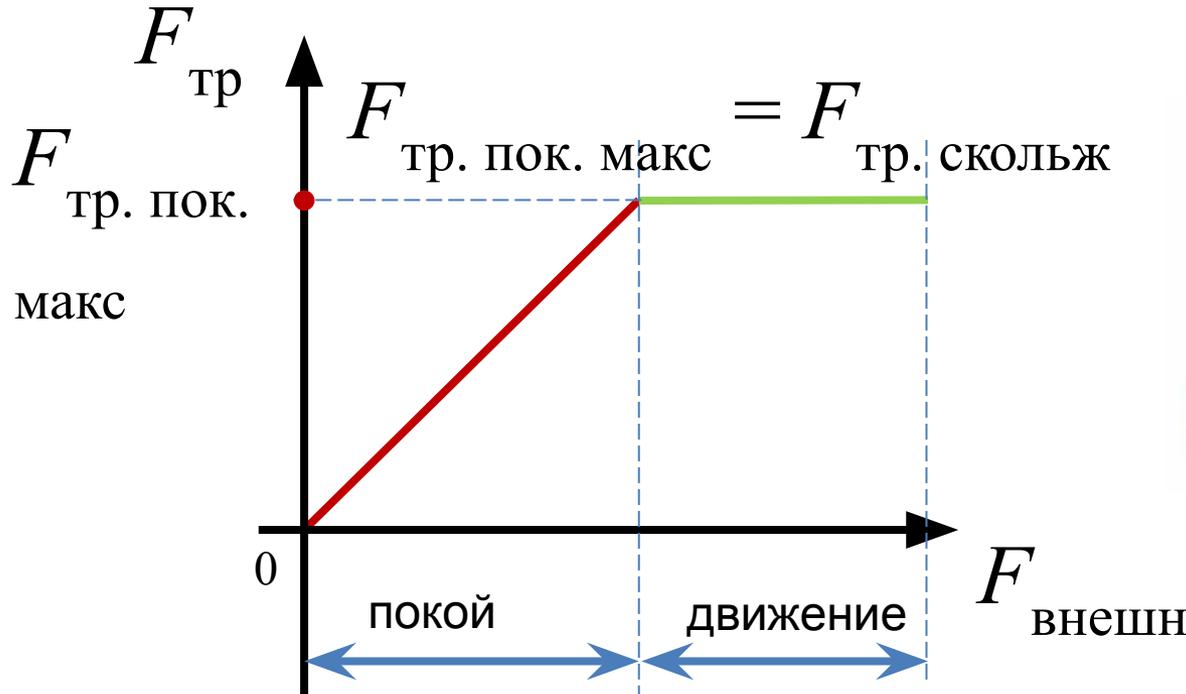


- **Сила трения покоя** препятствует относительному **смещению** соприкасающихся тел.
- Она растёт вместе с силой, стремящейся сдвинуть тело с места и **все время равна ей по модулю и противоположна по направлению**.



$$\boxed{F_{\text{тр. пок}} = -F_{\text{внешн}}}$$

- **Сила трения покоя** препятствует относительному **смещению** соприкасающихся тел.
- Она растёт вместе с силой, стремящейся сдвинуть тело с места и **все время равна ей по модулю и противоположна по направлению**.

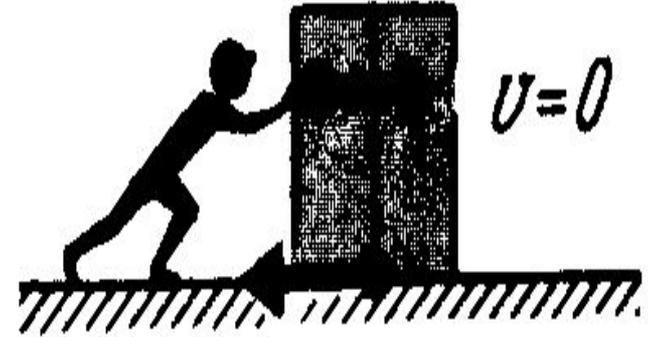


$$\boxed{F_{\text{тр. пок}} = -F_{\text{внешн}}}$$

# Трение покоя

$$F_{\text{тр. пок}} = F_{\text{внешн}}$$

$$0 \leq F_{\text{тр. пок}} \leq F_{\text{тр. пок. макс}}$$



на самом деле

$$F_{\text{тр. пок. макс}} > F_{\text{тр. ск}}$$

в задачах будем считать, что

$$F_{\text{тр. пок. макс}} = F_{\text{тр. ск}}$$

$$F_{\text{тр. ск}} = \mu P$$

$$F_{\text{тр. пок. макс}} = \mu P$$

# Закон Амонтона-Кулона

$$F_{\text{тр}} = \mu P$$

$$N = P$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N$$

Сила трения  
скольжения прямо  
пропорциональна  
весу тела.

Сила трения  
скольжения прямо  
пропорциональна  
силе реакции  
опоры.

# Коэффициент трения скольжения

$\mu$

$$F_{\text{тр}} = \mu P$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N$$

$$\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{P}$$

$$\mu < 1$$

$$[\mu] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{Н}} = 1$$

$$\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{N}$$

Коэффициент трения показывает, какую часть от веса тела составляет сила трения.

Коэффициент трения показывает, какую часть от силы реакции опоры составляет сила трения

# Коэффициент трения скольжения

$\mu$

Сталь по льду	0,015
Сталь по стали	0,03—0,09
Дерево по дереву	0,2—0,5
Шины по сухому асфальту	0,5—0,7
Шины по мокрому асфальту	0,35—0,45
Шины по гладкому льду	0,15—0,20

# Причины трения



1. Шероховатость поверхностей соприкасающихся тел.
2. Молекулярное притяжение, действующее в местах контакта трущихся тел.

