

Лекция 5

Устойчивость

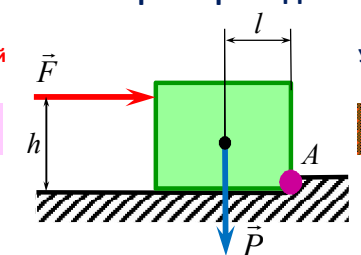
Трение скольжения Трение качения

ЛЕКЦИИ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ - TBRIM

Устойчивость при опрокидывании

Опрокидывающий момент

$$M_{\text{опр}} = F \cdot h$$



Удерживающий момент

$$M_{\text{уд}} = P \cdot l$$

Коэффициент устойчивости

$k \geq 1$

- устойчивости ЕСТЬ

$k < 1$

- устойчивости НЕТ

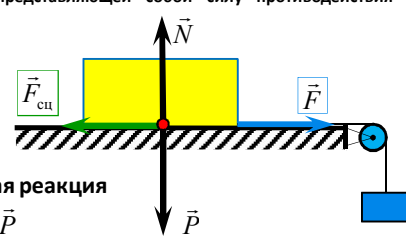
ЛЕКЦИИ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ - TBRIM

ТРЕНИЕ ПОКОЯ

Опыт Кулона

Если к твердому телу, покоящемуся на шероховатой горизонтальной поверхности, приложить горизонтальную силу, то действие этой силы вызовет появление **СИЛЫ СЦЕПЛЕНИЯ**, представляющей собой силу противодействия плоскости смещению тела

$\vec{F}_{\text{сц}} = -\vec{F}$



\vec{N} - нормальная реакция
 $\vec{N} = \vec{P}$

Благодаря силе сцепления, тело остается в покое при $0 \leq F \leq F_{\text{max}}$

и модуль силы сцепления изменяется

ЛЕКЦИИ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ - TBRIM

Статическое трение – трение при отсутствии движения



Модуль максимальной (предельной) силы сцепления пропорционален нормальному давлению тела на плоскость

$$F_{\text{сц пр}} = f_0 \cdot P = f_0 \cdot N$$

Модуль силы сцепления всегда удовлетворяет условию $F_{\text{сц}} \leq f_0 \cdot N$

f_0 - статический коэффициент трения (зависит от материала и физического состояния соприкасающихся тел, определяется экспериментально)

$f_0 = 0,15 - 0,25$
 $f_0 = 0,4 - 0,7$
 $f_0 = 0,027$

ЛЕКЦИИ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ - TBRIM

Законы трения скольжения при покое

1. При стремлении сил сдвинуть одно тело по поверхности другого, в плоскости соприкасающихся тел возникает сила трения (сила сцепления), направленная в сторону противоположную возможному перемещению тела под действием приложенных к нему сил.

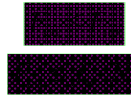
$$0 \leq F_{\text{тр}} (F_{\text{сц}}) \leq F_{\text{пр}}$$

2. Величина предельной силы трения равна произведению коэффициента трения на нормальную реакцию

$$F_{\text{пр}} = f_0 \cdot N$$

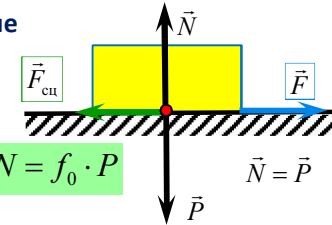
3. Величина предельной силы трения не зависит от площади контакта соприкасающихся тел

Из первых двух законов следует, что **при равновесии**



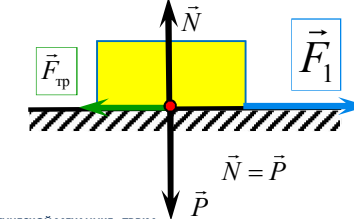
ЛЕКЦИИ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ - ТВРИМ

Предельное равновесие



$$F = F_{\text{тр}} = F_{\text{сц пр}} = f_0 \cdot N = f_0 \cdot P$$

ЧТОБЫ ТЕЛО СКОЛЬЗИЛО



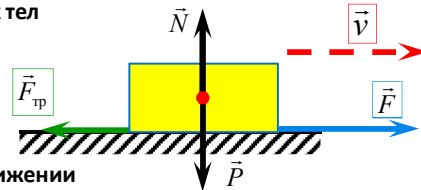
$$F_1 > F_{\text{тр}} = f_0 \cdot P$$

ЛЕКЦИИ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ - ТВРИМ

ТРЕНИЕ СКОЛЬЖЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ

Динамическое трение – трение при движении

СИЛА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ – сила сопротивления скольжению одного тела по поверхности другого, возникающая в плоскости соприкосновения этих тел



Сила трения при движении

$$F_{\text{тр}} = f \cdot N \quad f - \text{динамический коэффициент трения}$$

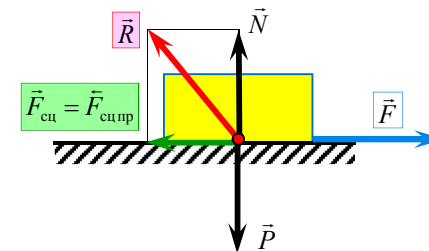
Экспериментально установлено, что $f < f_0$

Причины возникновения силы трения скольжения:

- шероховатость соприкасающихся поверхностей;
- молекулярные силы сцепления плотно прижатых к друг другу тел

ЛЕКЦИИ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ - ТВРИМ

Реакция реальной (шероховатой поверхности) имеет две составляющие: нормальную реакцию и силу сцепления (или силу трения при движении тела)



ЛЕКЦИИ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ - ТВРИМ

Угол, образованный реакцией шероховатой поверхности с нормалью к поверхности в предельном состоянии покоя, называется **УГЛОМ ТРЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ**

$\vec{F}_{\text{сц}} = \vec{F}_{\text{сц пр}}$

$\varphi_{\text{сц}} - \text{угол трения сцепления}$

ЛЕКЦИИ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ - ТВРИМ

Конус с вершиной в точке касания тел, образующая которого составляет угол сцепления с нормалью к поверхностям тел, называется **КОНУСОМ СЦЕПЛЕНИЯ**.

Поверхность конуса сцепления представляет собой геометрическое место максимальных реакций опорной поверхности.

ПРОСТРАНСТВО ВНУТРИ КОНУСА представляет собой совокупность возможных положений реакций опорной поверхности в состоянии покоя.

МАКСИМАЛЬНАЯ РЕАКЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ может принимать различные положения на поверхности этого конуса, зависящие от направления приложенной к телу силы, которая стремится сдвинуть его с места.

ЛЕКЦИИ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ - ТВРИМ

Трение качения -

сопротивление, возникающее при качении одного тела по поверхности другого

Условия равновесия:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^n \vec{F}_{kx} = 0 & Q - F_{\text{пр}} = 0, \quad Q = F_{\text{пр}} \\ \sum_{k=1}^n \vec{F}_{ky} = 0 & N - P = 0, \quad N = P \\ \sum_{k=1}^n M_A(\vec{F}_k) = 0 & -Q \cdot r = 0 \end{cases}$$

ЛЕКЦИИ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ - ТВРИМ

Условия равновесия:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^n \vec{F}_{kx} = 0 & Q - F_{\text{пр}} = 0, \quad Q = F_{\text{пр}} \\ \sum_{k=1}^n \vec{F}_{ky} = 0 & N - P = 0, \quad N = P \\ \sum_{k=1}^n M_A(\vec{F}_k) = 0 & -Q \cdot r + N \cdot \delta = 0 \\ & Q \cdot r = N \cdot \delta \\ & Q = \frac{N \cdot \delta}{r} = \frac{P \cdot \delta}{r} \end{cases}$$

Чтобы покатить тело $Q \geq \frac{P \cdot \delta}{r}$

δ - коэффициент сопротивления качению (зависит от материала, характера поверхности) $[\delta] = [\text{мм}]$

Момент сопротивления качению $M_{\text{ск}} = N \cdot \delta$

ЛЕКЦИИ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ - ТВРИМ

Ориентировочные значения коэффициента трения для различных пар качения

Катящееся тело	Подстилающая поверхность	Коэффициент трения в мм
мягкое дерево	мягкое дерево	1,5
мягкое дерево	сталь	0,8
твёрдое дерево	твёрдое дерево	0,8
эбонит	бетон	10—20
эбонит	сталь	7,7
резина	бетон	15—35
закалённая сталь	закалённая сталь	0,01
полимер	сталь	2
сталь	асфальт	6
сталь	тротуарная плитка	1,5
сталь	сталь	0,5
железо	мягкое дерево	5,6
железо	гранит	2,1
железо	железо	0,51
чугунное литьё	чугунное литьё	0,8

ЛЕКЦИИ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ - ТВВ1М