

2. Если тело находится на наклонной плоскости, то, как видно из рис. 5.6,

$$N = P \cos \varphi \text{ и } F = P \sin \varphi,$$

где P —сила тяжести тела, φ —угол наклона плоскости к горизонту.

При малых углах φ сила $F < F_0$ и тело лежит неподвижно на наклонной плоскости. По мере увеличения угла φ сила F возрастает и при некотором угле φ_0 , называемом **углом трения**, становится равной F_0 . При $\varphi > \varphi_0$ тело скользит по наклонной плоскости. Полагая

$$P \sin \varphi_0 = F_0 = f_0 N = f_0 P \cos \varphi_0,$$

найдем связь между коэффициентом статического трения и углом трения:

$$f_0 = \operatorname{tg} \varphi_0. \quad (5.15)$$

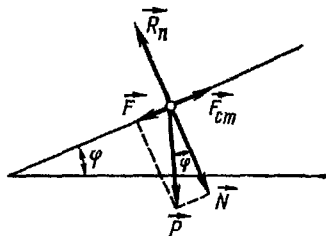


Рис. 5.6.

При действии на соприкасающиеся два тела касательных сил, величина которых меньше предельного значения силы статического трения, тела не проскальзывают друг относительно друга. Это явление, называемое **явлением застоя**, широко используют в технике для передачи усилий от одних частей машин к другим (ременные передачи, фрикционные муфты, ленточные транспортеры и т. д.). На явлении застоя основано крепление деталей с помощью гвоздей и винтов, движение по поверхности Земли различных видов транспорта. Например, сила тяги автомобиля не может быть больше суммы предельных значений сил статического трения ведущих колес по поверхности дорог. Если коэффициент статического трения будет мал (например, на обледенелой дороге), то сила тяги может оказаться недостаточной для того, чтобы автомобиль тронулся с места, и его ведущие колеса будут буксовать.

§ 5.5. Кинематическое трение

1. Закон Амонтона—Кулона для трения скольжения можно выразить формулой, аналогичной (5.14):

$$F_{ск} = f' N, \quad (5.16)$$

где f' —коэффициент трения скольжения, а N —сила нормального давления. Коэффициент трения скольжения зависит от материала тел и состояния их соприкасающихся поверхностей. Он также несколько зависит от скорости движения. При малых скоростях $f' \approx f_0$.

2. Остановимся на причинах, вызывающих трение скольжения. Во время движения одного тела относительно другого происходит разрушение зацепившихся друг за друга выступов шероховатостей на соприкасающихся поверхностях. До тех пор, пока внешняя сила F

меньше предельного значения, определяемого формулой (5.14), т. е. пока

$$F < f_0 N,$$

происходит лишь незначительная деформация зацеплений и, соответственно, исчезающе малое смещение соприкасающихся поверхностей. Увеличение внешней силы влечет за собой разрушение зацеплений, и при $F > F_0 = f_0 N$ начинается скольжение.

Из сказанного следует, что для уменьшения трения необходимо делать соприкасающиеся поверхности тел возможно более гладкими. Однако, как показывает опыт, целесообразно уменьшать шероховатости этих поверхностей лишь до определенного предела. Дальнейшее уменьшение шероховатости приводит не к уменьшению, а к возрастанию сил трения. Это связано с тем, что между частицами тел с гладкими поверхностями, вплотную прилегающими друг к другу, действуют значительные силы межмолекулярного притяжения. Поэтому «эффективная» сила нормального давления может значительно превосходить силу нормального давления N , обусловленную внешними нагрузками. Для учета указанного явления Б. В. Дерягиным был предложен **двучленный закон трения скольжения**:

$$F_{\text{ск}} = f(N + N_0), \quad (5.17)$$

где N_0 — дополнительная нормальная сила, являющаяся результирующей сил молекулярного притяжения в областях непосредственного контакта поверхностей трущихся тел, f — **истинный коэффициент трения скольжения**.

Силы межмолекулярного притяжения очень быстро убывают с увеличением расстояния между частицами. Поэтому можно считать, что они проявляются лишь в областях действительного контакта между телами. Если p_0 — давление, обусловленное силами межмолекулярного притяжения, а S_0 — площадь действительного контакта, то формула (5.17) принимает вид

$$F_{\text{ск}} = f(N + p_0 S_0). \quad (5.18)$$

Необходимо отметить, что S_0 всегда во много раз меньше площади S кажущегося контакта. Для шероховатых поверхностей S_0 мало и $f \approx f'$, так что двучленный закон трения (5.18) совпадает с законом Амонтона—Кулона (5.16).

3. К трению движения относятся еще **трение при качении и трение при верчении**. Различие этих движений состоит в следующем.

При качении (например, цилиндра по плоскости) точки контакта соприкасаются лишь на мгновение, и одно из тел вращается вокруг мгновенной оси, проходящей через точки контакта. При верчении (например, оси волчка на опоре, стрелки компаса вокруг острия — ее опоры) точки контакта соприкасаются длительно. В случае верчения трение связано со скольжением в местах контакта. Для его уменьшения применяют острия с малыми радиусами закругления и увеличивают твердость острия и опорной поверхности.

Причина возникновения трения качения состоит в следующем. При качении по плоской поверхности кругового цилиндра или шара возникают деформации. Поэтому точка A приложения силы R реакции поверхности несколько смещается вперед, а линия действия силы отклоняется от вертикали — назад (рис. 5.7). Нормальная составляющая реакции $R_n = -N$, а касательная составляющая R_τ и является силой трения качения:

$$F_{\text{кач}} = R_\tau.$$

При равномерном качении сила $F_{\text{кач}}$ компенсируется силой тяги F , а реакция R направлена вдоль прямой AO , так что ее момент относительно оси симметрии O катящегося тела равен нулю. Если r — радиус катящегося тела (цилиндра или шара), а f_k — величина смещения точки A приложения реакции R , то из условия равенства нулю момента силы R относительно оси O следует, что

$$F_{\text{кач}} \cdot r = R_n f_k = N f_k.$$

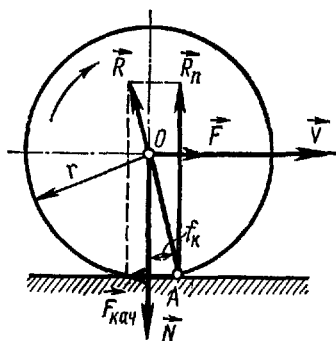


Рис. 5.7.

Поэтому для силы трения качения справедлив закон Кулона:

$$F_{\text{кач}} = f_k \frac{N}{r}. \quad (5.19)$$

Величину f_k называют коэффициентом трения качения.

Значения коэффициентов трения скольжения f' и качения f_k для некоторых случаев приведены в табл. 3.

Таблица 3

Материал	f'	Материал	f_k , см
Сталь по стали	0,12—0,17	Железный обод по рельсам	0,003
Железо по чугуну	0,18	То же по асфальту	0,1
Металл по дереву	0,4—0,6	То же по песку	0,3—0,5
Сталь по льду	0,027	Резиновая шина по твердому грунту	0,4

Вопросы для повторения

1. Сформулируйте и запишите закон Гука.
2. Опишите рассмотренные в § 5.2 деформации и дайте определения характеризующих их величин.
3. Начертите и поясните диаграмму растяжения.
4. Каковы физические причины трения?
5. Изложите законы трения.