Ещё один вид сил, с которыми имеют дело в механике, - это силы трения. Эти силы действуют вдоль поверхностей тел при их непосредственном соприкосновении. Силы трения во всех случаях препятствуют относительному движению соприкасающихся тел. При некоторых условиях силы трения делают это движение невозможным. Однако они не только тормозят движение тел. В ряде практически важных случаев движение тела не могло бы возникнуть без действия сил трения.

Трение, возникающее при относительном перемещении соприкасающихся поверхностей твёрдых тел, называется сухим трением.

Различают три вида сухого трения: трение покоя, трение скольжения и трение качения.

Трение покоя. Попробуйте сдвинуть пальцем лежащую на столе толстую книгу. Вы приложили к ней некоторую силу, направленную вдоль поверхности стола, а книга остаётся в покое. Следовательно, между книгой и поверхностью стола возникает сила, направленная против той силы, с которой вы действуете на книгу, и в точности равная ей по модулю. Это сила трения - Вы с большей силой толкаете книгу, но она по-прежнему остаётся на месте. Значит, и сила трения настолько же возрастает.

Силу трения, действующую между двумя телами, неподвижными относительно друг друга, называют силой трения покоя.

Если на тело действует сила, параллельная поверхности, на которой оно находится, и тело при этом остаётся неподвижным, то это означает, что на него действует сила трения покоя, равная по модулю и направленная в противоположную сторону силе. Следовательно, сила трения покоя определяется действующей на него силой.

Если действующая на покоящееся тело сила хотя бы немного превысит максимальную силу трения покоя, то тело начнёт скользить.

Наибольшее значение силы трения, при котором скольжение ещё не наступает,

называется максимальной силой трения покоя.

Для определения максимальной силы трения покоя существует весьма простой, но не очень точный количественный закон. Пусть на столе находится брусок с прикреплённым к нему динамометром. Проведём первый опыт. Потянем за кольцо динамометра и определим максимальную силу трения покоя. На брусок действуют сила тяжести, сила нормальной реакции опоры сила натяжения пружины динамометра и максимальная сила трения покоя.

Положим на брусок ещё один такой же брусок. Сила давления брусков на стол увеличится в 2 раза. Согласно третьему закону Ньютона сила нормальной реакции опоры также увеличится в 2 раза. Если мы снова измерим максимальную силу трения покоя, то увидим, что она увеличилась во столько раз, во сколько раз увеличилась сила в 2 раза.

Продолжая увеличивать число брусков и измеряя каждый раз максимальную силу трения покоя, мы убедимся в том, что максимальное значение модуля силы трения покоя пропорциональна модулю силы нормальной реакции опоры.

Если обозначить модуль максимальной силы трения покоя через, то можно записать.

Где - коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом трения. Коэффициент трения характеризует обе трущиеся поверхности и зависит не только от материала этих поверхностей, во и от качества их обработки. Коэффициент трения определяется экспериментально.

Эту зависимость впервые установил французский физик Ш. Кулон. Если положить брусок на меньшую грань, то не изменится.

Максимальная сила трения покоя не зависит от площади соприкосновения тел.

Сила трения покоя изменяется в пределах от нуля до максимального значения, равного. За счёт чего может происходить изменение силы трения? Дело здесь вот в чём. При действии на тело некоторой силы оно слегка (незаметно для глаза) смещается, и это смещение продолжается до тех пор, пока микроскопические шероховатости поверхностей не расположатся относительно друг друга так, что, зацепляясь одна за другую, они приведут к появлению силы, уравновешивающей силу. При увеличении силы тело опять чуть-чуть сдвинется так, что мельчайшие неровности поверхностей по-иному будут цепляться друг за друга, и сила трения возрастёт. И лишь при ни при каком взаимном расположении шероховатостей поверхности сила трения не в состоянии уравновесить силу и начнётся скольжение.

Зависимость модуля силы трения скольжения от модуля действующей силы показана на рисунке.

Пои ходьбе и беге на подошвы ног действует сила трения покоя, если только ноги не скользят. Такая же сила действует на ведущие колёса автомобиля. На ведомые колёса также действует сила трения покоя, но уже тормозящая движение, причём эта сила значительно меньше силы, действующей на ведущие колёса (иначе автомобиль не смог бы тронуться с места).

В давнее время сомневались, что паровоз сможет ехать по гладким рельсам. Думали, что трение, тормозящее ведомые колёса, будет равно силе трения, действующей на ведущие колёса. Предлагали даже делать ведущие колёса зубчатыми и прокладывать для них специальные зубчатые рельсы.

Трение скольжения. При скольжении сила трения зависит не только от состояния трущихся поверхностей, но и от относительной скорости движения тел, причём эта зависимость от скорости является довольно сложной. Опыт показывает, что часто (хотя и не всегда) в самом начале скольжения, когда относительная скорость ещё мала, сила трения становится несколько меньше максимальной силы трения покоя. Лишь затем, по мере увеличения скорости, она растёт и начинает превосходить.

Вы, вероятно, замечали, что тяжёлый предмет, например ящик, трудно сдвинуть с места, а потом двигать его становится легче. Это как раз и объясняется уменьшением силы трения при появлении скольжения с малой скоростью (см. рис. 3.24).

При не слишком больших относительных скоростях движения сила трения скольжения мало отличается от максимальной силы трения покоя. Поэтому приближённо можно считать её постоянной и равной максимальной силе трения покоя.

Важная особенность силы трения скольжения состоит в том, что она всегда направлена противоположно относительной скорости соприкасающихся тел.

Силу трения скольжения можно уменьшить во много раз с помощью смазки - чаще всего тонкого слоя жидкости (обычно того или иного сорта минерального масла) - между трущимися поверхностями. Трение между слоями жидкости, прилегающими к твёрдым поверхностям, значительно меньше, чем между сухими поверхностями.

Сила трения качения. Сила трения качения существенно меньше силы трения скольжения, поэтому гораздо легче перекатывать тяжёлый предмет, чем двигать его.

Сила трения зависит от относительной скорости движения тел. В этом её главное отличие от сил тяготения и упругости, зависящих только от расстояний.

Силы сопротивления при движении твёрдых тел в жидкостях и газах. При движении твёрдого тела в жидкости или газе на него действует сила со­ противления среды. Эта сила направлена против скорости тела относительно среды и тормозит движение.

Главная особенность силы сопротивления состоит в том, что она появляется только при наличии относительного движения тела и окружающей среды. Сила трения покоя в жидкостях и газах полностью отсутствует.

Это приводит к тому, что усилием рук можно сдвинуть тяжёлое тело, например плавающую лодку, в то время как сдвинуть с места, скажем, поезд усилием рук просто невозможно.

Модуль силы сопротивления зависит от размеров, формы и состояния поверхности тела, свойств среды (жидкости или газа), в которой тело движется, и, наконец, от относительной скорости движения тела и среды.

Примерный характер зависимости модуля силы сопротивления от модуля относительной скорости тела показан на рисунке 3.25. При относительной скорости, равной нулю, сила сопротивления не действует на тело. С увеличением относительной скорости сила сопротивления сначала растёт медленно, а затем всё быстрее и быстрее. При малых скоростях движения силу сопротивления можно считать прямо пропорциональной скорости движения тела относительно среды, где коэффициент сопротивления, зависящий от формы, размеров, состояния поверхности тела и свойств среды - её вязкости. Вычислить коэффициент теоретически для тел сколько-нибудь сложной формы не представляется возможным, его определяют опытным путём.

При больших скоростях относительного движения сила сопротивления пропорциональна квадрату скорости, где коэффициент сопротивления, отличный от.

Какую из формул или можно использовать в конкретном случае, определяется опытным путём. Например, для легкового автомобиля первую формулу желательно применять приблизительно при при больших скоростях следует использовать вторую формулу.