бруска с чистыми полированными поверхностями, то они слипаются. Трение здесь становится очень большим, так как площадь действительного контакта велика. Силы молекулярного сцепления, которые ответственны за трение, превращают два бруска в монолит.

Рассмотренная нами модель трения довольно груба. Мы не останавливались здесь на диффузии молекул, т.е. на проникновении молекул одного тела в другое, на роли электрических зарядов, возникающих на соприкасающихся поверхностях, на механизме действия смазки. Эти вопросы во многом неясны, а объяснения спорны. Можно только удивляться тому, что при такой сложности трение описывается столь простым законом: $F = \mu N$. И хотя коэффициент трения μ не очень постоянен и несколько меняется от одной точки поверхности к другой, для многих поверхностей, с которыми мы часто сталкиваемся в технике, можно делать достаточно хорошие оценки ожидаемой силы трения.

Сухое трение имеет одну существенную особенность: наличие трения покоя. В жидкости или газе трение возникает только при движении тела, и тело можно сдвинуть, приложив к нему даже очень маленькую силу. Однако при сухом трении тело начинает двигаться только тогда, когда проекция приложенной к нему силы $\vec{F}$ на плоскость, касательную к поверхности, на которой лежит тело, станет больше некоторой величины (рис. 1).

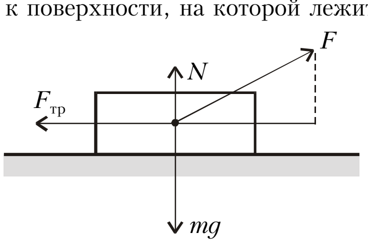

Рис. 1

Пока тело не начало скользить, действующая на него сила трения равна касательной составляющей приложенной силы и направлена в противоположную сторону. При увеличении приложенной силы сила трения тоже возрастает, пока не достигает максимальной величины, равной μN, при которой начинается скольжение. Дальше сила трения уже не меняется.

Часто об этом забывают при решении задач. На вопрос, какая сила трения действует на стол массой 30 кг, стоящий на полу, если коэффициент трения равен 0,4, большинство уверенно отвечает: 120 Н, что неверно. Сила трения равна нулю – иначе стол поехал бы в сторону действия силы трения, так как других горизонтальных сил нет.

Итак, если тело покоится, то, для того чтобы сдвинуть его с места, к телу нужно приложить силу, бóльшую максимально возможной силы трения покоя, которая обусловлена прочностью молекулярных связей. А как обстоит дело, если тело уже движется? Какую силу нужно приложить для того, чтобы тело начало двигаться еще и в другом направлении? Оказывается, сколь угодно малую. Связано это как раз с тем, что сила трения не может быть больше максимальной силы трения покоя.

Попробуйте проделать простой опыт. Возьмите книжку и положите ее одним краем на другую книжку потолще. Получится наклонная плоскость. Теперь положите на эту плоскость спичечный коробок, к которому привязана нитка. Если коробок скользит, то уменьшите наклон плоскости, взяв книжку-подставку потоньше. Потяните за нитку коробок вбок. При этом он поедет еще и вниз! Уменьшите наклон плоскости и опять потяните за нитку. Та же картина. Коробок соскальзывает даже при очень малых углах наклона плоскости. Сила трения, раньше удерживавшая коробок на плоскости, стала почему-то очень маленькой.

Постараемся понять, в чем здесь дело. Если бы коробок двигался только горизонтально, то параллельно ребру наклонной плоскости на него действовала бы сила трения, равная μN. Для того чтобы коробок при этом не соскальзывал вниз, вверх на него должна действовать сила трения, равная по величине проекции силы тяжести коробка на наклонную плоскость. Равнодействующая этих двух сил трения больше μN, а этого быть не может. Значит, коробок должен соскальзывать с наклонной плоскости.

Теперь представим себе такую ситуацию. Возьмем брусок, привяжем к нему нить и, положив брусок на горизонтальную плоскость, будем тянуть за нить с постоянной скоростью v_1 (рис.2). Приложив к бруску силу, перпендикулярную $\vec{v}_1$, его можно заставить двигаться еще и в этом направлении с постоянной скоростью $\vec{v}_2$. Сила трения при этом будет равна μN и направлена противоположно скорости $\vec{v}$ движения бруска относительно плоскости ($\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$).

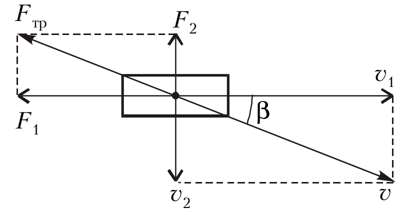

Рис. 2

Разложим силу трения на две составляющие – по направлению скоростей $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$:

$$F_1 = F_{\text{тр}} \cos\beta, \; F_2 = F_{\text{тр}} \sin\beta,$$

где β – угол между векторами $\vec{v}_1$ и $\vec{v}$, а $\operatorname{tg}\beta = v_2/v_1$. Составляющая $\vec{F}_1$ силы трения уравновешивает силу натяжения нити, а составляющая $\vec{F}_2$ – «боковую» силу, приложенную к бруску. Так как

$$\sin\beta = \frac{\operatorname{tg}\beta}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\beta}},$$

то

$$F_2 = F_{\text{тр}} \frac{v_2/v_1}{\sqrt{1 + \left(v_2/v_1\right)^2}} = F_{\text{тр}} \frac{v_2}{\sqrt{v_1^2 + v_2^2}}.$$

Если $v_2 \ll v_1$, то угол β мал и $\sin\beta \approx \operatorname{tg}\beta$. В этом случае

$$F_2 = F_{\text{тр}} \operatorname{tg}\beta = \mu N \frac{v_2}{v_1},$$

и составляющая силы трения, препятствующая движению бруска «вбок», оказывается пропорциональной скорости этого движения. Картина получается такой, как при малых скоростях в случае жидкого трения. А это означает, что брусок, движущийся в некотором направлении, можно заставить двигаться еще и в перпендикулярном направлении сколь угодно малой силой.

Любопытный вывод можно теперь сделать относительно коробка, равномерно движущегося по наклонной плоскости (рис.3). Здесь $F_2 = mg\sin\alpha$, а $N = mg\cos\alpha$ (m – масса коробка, α – угол наклона плоскости к горизонту). Поэтому

$$mg\sin\alpha = \mu mg\cos\alpha \frac{v_2}{\sqrt{v_1^2 + v_2^2}},$$

откуда

$$v_2 = v_1 \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\sqrt{\mu^2 - \operatorname{tg}^2\alpha}}.$$

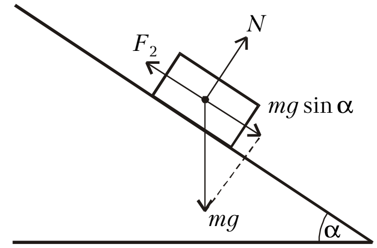

Рис. 3

Это справедливо, конеч-