

# Сила трения покоя (сила сопротивления).

## 1. Постановка вопроса.



Великий итальянский художник и ученый Леонардо да Винчи проводил опыты, которыми удивлял своих учеников: он таскал по полу, то плотно свитую веревку, то ту же веревку во всю длину.

Он смог установить, что «каждым тяжелым телом побеждается сопротивление трения весу, равное четвертой части этого веса».

На уроке мы проверили это утверждение (данные представлены ниже). Кроме этого мы обнаружили «белое пятно» в изложении материала в учебнике. В каждом опыте стрелка динамометра «рвалась вперед» в момент начала движения, обнаруживая максимальную силу сопротивления, большую, чем сила трения скольжения. Почему так происходит? Какова природа этого «избытка»? Мы решили разобраться с этим вопросом.

## 2. Общие вопросы о трении.

Любое движение окружающих нас тел сопровождается сопротивлением. Даже больше – сопротивление необходимо для начала движения и изменения скорости. Например: останавливается автомобиль, у которого водитель отключил двигатель; останавливается после многих колебаний маятник; медленно погружается в банку с маслом брошенный туда маленький металлический шарик; стираются подошвы обуви и шины машин; изнашиваются детали трущихся механизмов. Все это и многое другое вызвано действием сил сопротивления.

Французский физик Гильом пишет: “Всем нам случалось выходить в гололедицу; сколько усилий стоило нам удерживаться от падения, сколько смешных движений приходилось нам проделать, чтобы устоять! Это заставляет нас признать, что обычно земля, по которой мы ходим, обладает драгоценным свойством, благодаря которому мы сохраняем равновесие без особых усилий. Та же мысль возникает у нас, когда мы едем на велосипеде по скользкой мостовой или когда лошадь скользит по асфальту и падает. Изучая подобные явления, мы приходим к открытию тех следствий, к которым приводит трение. Инженеры стремятся по возможности устранить его в машинах – и хорошо делают. В прикладной механике о трении говорится как о крайне нежелательном явлении, и это правильно, - однако лишь в узкой специальной области. Во всех прочих случаях мы должны быть благодарны трению: оно даёт нам возможность ходить, сидеть и работать без опасения, что книги и чернильница упадут на пол, что стол будет скользить, пока не упрётся в угол, а перо выскользывает из пальцев”.

## 3. Трение скольжения.

Поверхность твёрдого тела обладает неровностями. Даже у хорошо отшлифованных металлов в электронный микроскоп видны “бугорки” и “впадинки”. При сжатии тел соприкосновение происходит только в самых высоких местах и площадь реального контакта значительно меньше общей площади соприкасающихся поверхностей. Давление в местах соприкосновения может быть очень большим, возникает деформация. При этом площадь контакта увеличивается, а давление падает. Так продолжается до тех пор, пока давление не достигнет определённого значения, при котором дальнейшая деформация прекращается. Поэтому площадь фактического контакта оказывается пропорциональной сжимающей силе.

В месте контакта действуют силы упругости, возникающие при деформации “бугорков”. Эти силы направлены против движения, и именно они препятствуют движению тела. К такому мнению приводит мысленный эксперимент в космическом корабле. В невесомости любое тело можно поднять лёгким движением, т.е. сил сопротивления для неподвижно лежащих предметов там нет (ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИЛ ПРИТЯЖЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИ НУЛЕВОЕ). Силы сопротивления появляются, если к телу приложить некоторую силу. В результате такого действия тело и поверхность деформируются – появляются силы сопротивления (ИХ ПРИРОДА - ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СИЛА ОТТАЛКИВАНИЯ). Т.о. силы притяжения на механизме сопротивления практически не сказываются. Они влияют на целостность тела. Очевидно, что при молекулярной шлифовке, можно добиться полного соединения двух частей в единое целое. А это к трению отношения не имеет, это скорее вопрос для изучения сопротивления материалов. Аналогична ситуация с пластилином. Два кусочка при слабом соединении деформируются, но их можно снова разделить. А если нажать сильнее, то два кусочка станут единым целым. Эта модель сил сопротивления, по-видимому, близка к реальной ситуации в металлах.

Первоначально нашей задачей было определение сил трения скольжения. Для нашего эксперимента была собрана следующая установка.



№	1	2	3	4	5
F тяж., Н	20	25	30	35	40
F тр. ск., Н	4,5	5,5	7,0	8,5	9,5
F тяж./F тр. ск.	4,4	4,5	4,3	4,1	4,2

Наш опыт подтвердил утверждение Леонардо да Винчи, что «каждым тяжелым телом побеждается сопротивление трения весу, равное четвертой части этого веса».

Сила трения скольжения зависит не только от свойств поверхностей и силы давления, но и от скорости движения.

### Зависимость силы трения скольжения от силы тяжести



### 4. Сила трения покоя (сила сопротивления).

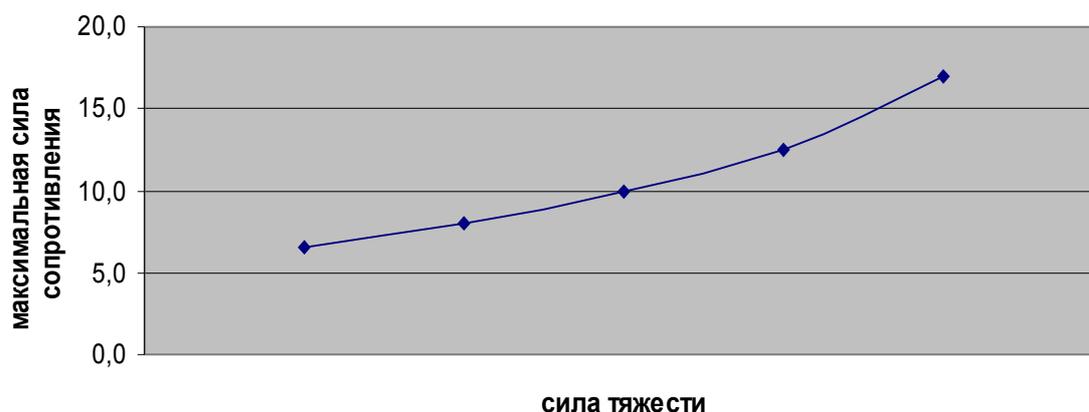
Силу, которая противодействует первоначальному сдвигу предмета, называют **силой трения покоя**. Хотя нагляднее её называть **силой сопротивления**. Например, моей попытке сдвинуть гору мешает сила сопротивления. А попробуйте сказать, что сдвинуть гору вам мешает сила трения покоя? По-моему будет звучать нелепо. Ведь о газах говорят правильно – сопротивление газов. Однако оставим вопросы терминологии...

Именно сила сопротивления является необходимым условием для изменения скорости тела, т.е. для начала движения или для начала торможения. Это как необходимость воздуха для дыхания (условие необходимое, но не достаточное). В процессе движения мы толкаем Землю, а она толкает нас.

Если приложенная сила не достаточно велика, то сила сопротивления её уравнивает. Затем сила сопротивления достигает своего максимума, и тело начинает движение, т.е.

$$F_{\text{сопротивления макс.}} > F_{\text{тр. скольжения}}$$

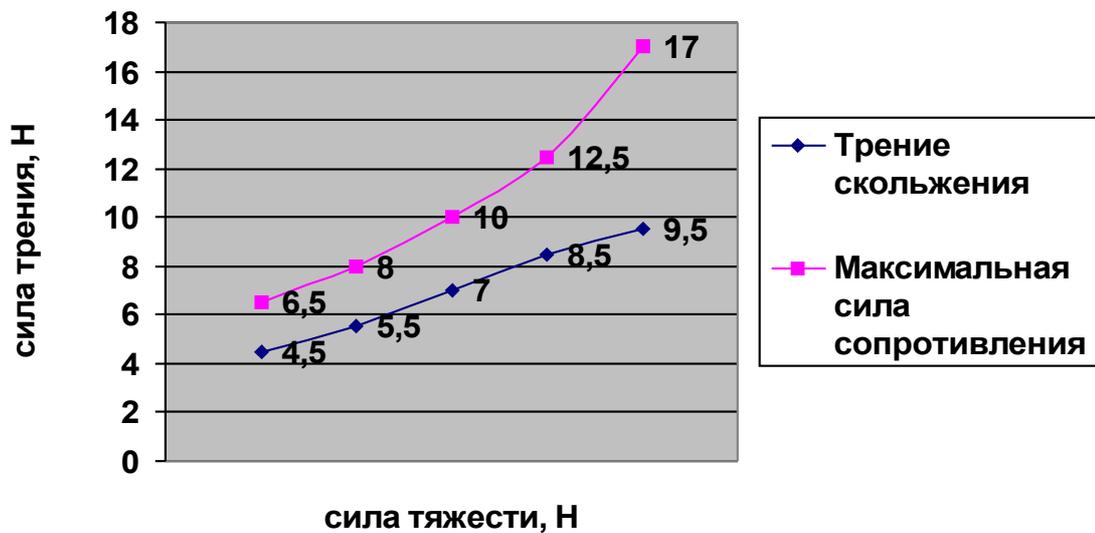
### Зависимость максимальной силы сопротивления от силы тяжести



Мы решили выяснить величину этого «избытка»:  $\Delta F = F_{\text{сопротивления макс.}} - F_{\text{тр. скольжения}}$ . Предполагалось, что эта величина увеличивается пропорционально силе тяжести, как и сила трения скольжения. Результат оказался иным.

№	1	2	3	4	5
F тяж., Н	20	25	30	35	40
F сопр. макс., Н	6,5	8	10	12,5	17

F тр. ск., Н	4,5	5,5	7	8,5	9,5
F сопр. макс.- F тр. ск.	2,0	2,5	3,0	4,0	7,5



Почему же это происходит? Учебники, если и указывают на такую зависимость, то не объясняют её. Мы решили выяснить, как же зависит максимальная сила сопротивления от силы тяжести. Мы предполагали получить прямолинейный график, однако получилась ветвь параболы, которая при некотором значении силы тяжести резко уходит вверх. Наша версия: **чем больше вес тела, тем глубже он «тонет» в поверхности стола. При малом погружении, его ещё можно выдернуть, и дальше он будет двигаться под действием меньшей силы, так как инерция не позволит ему снова «потонуть».** Тело будет скользить не проваливаясь, как движется человек на водных лыжах за катером.

При глубоком «погружении» никакая горизонтальная сила не сможет выдернуть тело. И это уже не трение, а сцепление. Аналогия с бороной помогла разобраться в этом вопросе.

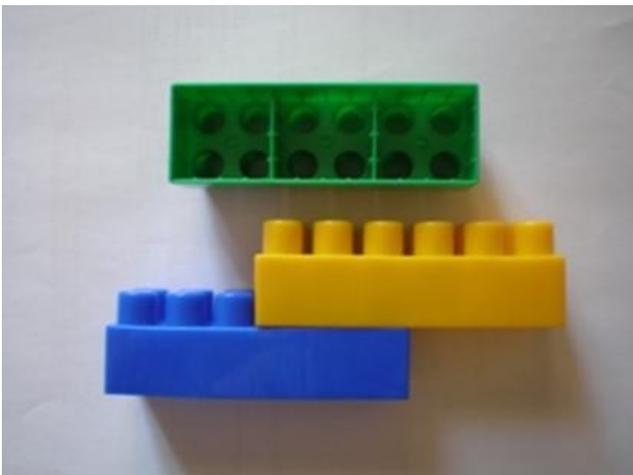


Если на борону положить груз, то она полностью погрузится в землю и тащить её горизонтально, вспарывая землю на большую глубину, будет просто невозможно. И, видимо, речь будет идти уже не о трении, а о сопротивлении материалов (система борона-земля, как единое тело).

Вспомним детский конструктор.



Сцепление частей конструктора похоже на забитые гвозди и горизонтальная сила не может разрушить соединение, не ломая частей конструктора.



Пройдите босиком по влажному песку, и вы увидите, что следы – это одна часть конструктора, а наши ступни – другая. Протекторы нужны для создания механического сцепления, т.е. для увеличения силы сопротивления. Понятие «сила сопротивления» всеобъемлюще. Трение – это понятие, справедливое только для относительно гладких поверхностей и которое находится между МЕХАНИЧЕСКИМ СЦЕПЛЕНИЕМ и ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ СИЛАМИ ПРИТЯЖЕНИЯ, которые скрепляют тела. Мы же привыкли работать с крайними вариантами упрощений: пластичная и абсолютно упругая деформация, абсолютно чёрное тело и зеркальное отражение, идеальный газ. Трение – это своего рода полупроводник, занимающий среднюю нишу, но чрезвычайно важный. Какой величины должны быть бугорки и впадинки, чтобы говорить о трении, а не механическом сцеплении? Может быть, поэтому такие разные результаты получали знаменитые учёные, которые изучали трение?

## 5. Заключение.

Вопрос для дальнейшей работы: **какую силу нужно приложить, чтобы тело можно было поднять с горизонтальной поверхности?** С одной стороны будет действовать сила тяжести и электромагнитное притяжение, а с другой стороны сила, приложенная против силы тяжести. Так мы выясним, насколько значимы силы притяжения. Или ими можно пренебрегать (в конкретных задачах) и оставлять для рассмотрения только силы отталкивания, как мы отбрасываем из рассмотрения взаимодействие молекул при изучении идеального газа. Все мои разработки можно найти на школьном сайте [zabalkin.narod.ru](http://zabalkin.narod.ru)