

Сила трения

все "за" и "против"

Работу выполнили:

Юртыева Ильвина,

Хасанова Аделя, Степик Марина,

Сгибнева Алена, Лагода Алена

Почему на коньках нельзя прокатиться по полу?



Почему же так трудно идти по скользкой мостовой?



А что дает нам возможность ходить, сидеть и работать без опасения, что книги и тетради упадут на пол, что стол будет скользить, пока не упрется в угол, а ручка выскользнет из пальцев?



Чтобы ответить на эти вопросы, сделаем опыт. Попробуй толкнуть стоящий на полу шкаф - он и не шелохнется! Во-первых, его удерживает инерция. Любой предмет (или как говорят физики "тело") стремится сохранить состояние покоя. Вот это свойство тел и называют инерцией. Инерция - явление, которое встречается очень часто. Поэтому даже людей, которых трудно привести в движение, называют инертными, то есть стремящимися к неподвижности.



Но вернемся к нашему опыту. Шкаф удерживает на месте не только инерция. Отрежь четыре ломтика сырого картофеля. Попроси помочь кого-нибудь из взрослых и, поочередно приподнимая углы шкафа, подложи по ломтику под каждую ножку. Готово? Теперь снова нажмем на шкаф. Смотри - поехал. А ведь ты толкал не сильнее, чем в первый раз. Значит, дело не в одной инерции. Чтобы преодолеть инерцию, у тебя сил хватило бы. Пусть медленно, пусть постепенно, но шкаф все-таки бы сдвинулся. А вот трения ты не осилил. И помог только сырой картофель.

Выходит, что трение не только враг движения. Трение - страж покоя. Если бы не стало трения покоя, это привело бы к непредвиденным последствиям. Мебель гуляла бы по комнатам от легкого сквозняка. Мы не могли бы ходить. Колеса машин без толку крутились бы в воздухе бельевые прищепки, ничего не могли бы удерживать. Со всех гор сползли бы ледники, все камни и даже вся земля, лежащая на склонах. Да мало ли еще какие произошли бы неприятности!



Немного теории

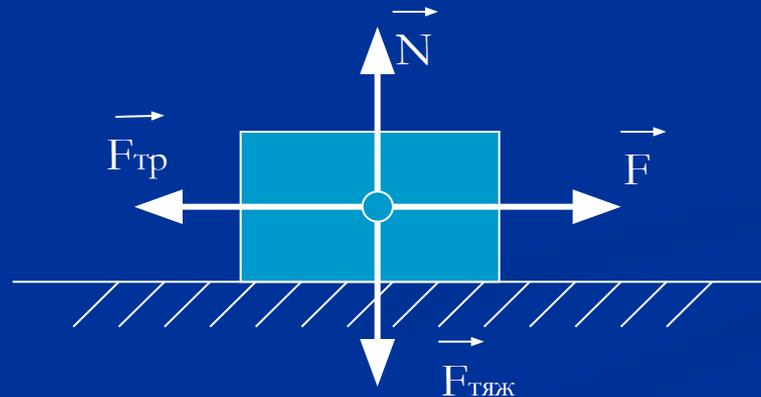
Сила трения – это сила взаимодействия соприкасающихся поверхностей двух тел.

Сила трения вычисляется по формуле:

$$F_{\text{тр}} = \mu * N,$$

где μ - коэффициент трения, а N – сила нормального давления.

Особенностью силы трения является то, что она всегда направлена против движения тела к которому приложена:



Из истории

- Первая формулировка законов трения принадлежит Леонардо да Винчи.
Леонардо утверждал, что сила трения, возникающая при контакте тела с поверхностью другого тела, пропорциональна нагрузке (силе прижатия), направлена против направления движения и не зависит от площади контакта.
- Но работы Леонардо да Винчи стали известны уже после того, как классические законы трения были вновь открыты французскими учёными Амонтоном. Но работы Леонардо да Винчи стали известны уже после того, как классические законы трения были вновь открыты французскими учёными Амонтоном и Кулоном в XVII-XVIII веках.
- Конец XIX века ознаменовался замечательными достижениями в исследовании вязкости, то есть трения в жидкостях. Смазка трущихся поверхностей применялась с момента зарождения техники, но только О.Рейнольдс в 1886 году дал первую теории смазки.
- В 1902 году Штрибек опубликовал данные, свидетельствующие о том, что при отсутствии смазки сила сопротивления не падает сразу с уровня силы трогания до кулоновой силы, возникает постепенное падение силы с ростом скорости.

Виды трения

Трение

```
graph TD; A[Трение] --> B[Внутреннее]; A --> C[Внешнее]; B --> D[Жидкое]; C --> E[Сухое]; E --> F[Трение покоя, скольжения]; E --> G[Трение качения];
```

Внутреннее – взаимодействие между слоями одного тела.



Жидкое

(движение твердого тела в жидкости или газе)

Внешнее – возникает на поверхности контакта двух тел.



Сухое

(возникает между поверхностями твердых тел)



Трение покоя, скольжения

Трение качения



Трение покоя, скольжения

Поверхность твёрдого тела обычно обладает неровностями. Например, даже у очень хорошо отшлифованных металлов в электронный микроскоп видны «горы» и «впадины» размером в 100-1000Е. 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, и там возникает пластическая деформация. При этом площадь контакта увеличивается, а давление падает. Так продолжается до тех пор, пока давление не достигнет определённого значения, при котором деформация прекращается. Поэтому площадь фактического контакта оказывается пропорциональной сжимающей силе.

В месте контакта действуют силы молекулярного сцепления (известно, например, что очень чистые и гладкие металлические поверхности прилипают друг к другу).

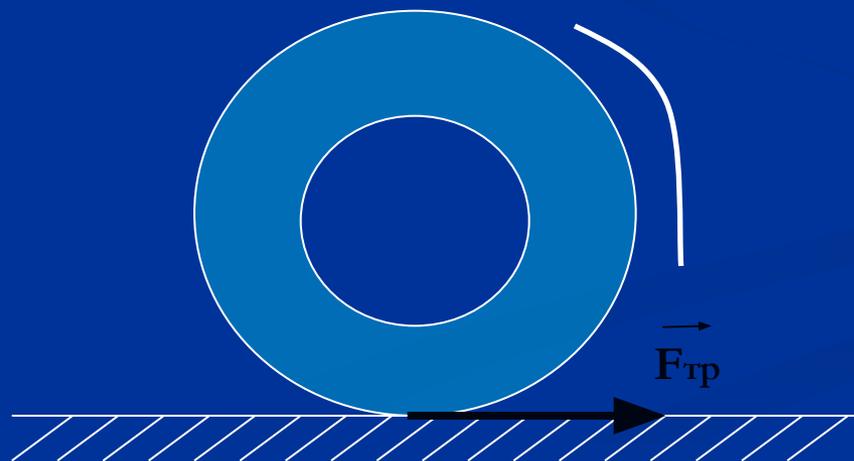
Эта модель сил сухого трения (так называют трение между твёрдыми телами), по-видимому, близка к реальной ситуации в металлах.



Если тело, например, просто лежит на горизонтальной поверхности, то сила трения на него не действует. Трение возникает, если попытаться сдвинуть тело, приложить к нему силу. Пока величина этой силы не превышает определённого значения, тело остаётся в покое и сила трения равна по величине и обратна по направлению приложенной силе. Затем начинается движение.

Может показаться удивительным, но именно сила трения покоя разгоняет автомобиль. Ведь при движении автомобиля колеса не проскальзывают относительно дороги, и между шинами и поверхностью дороги возникает сила трения покоя. Как легко видеть, она направлена в сторону движения автомобиля. Величина этой силы не может превосходить максимального значения трения покоя.

Поэтому если на скользкой дороге резко нажать на газ, то автомобиль начнет буксовать. А вот если нажать на тормоза, то вращение колёс прекратится, и автомобиль будет скользить по дороге. Сила трения изменит своё направление и начнёт тормозить автомобиль.



Сила трения при скольжении твёрдых тел зависит не только от свойств поверхностей и силы давления (это зависимость качественно такая же, как для трения покоя), но и от скорости движения. Часто с увеличением скорости сила трения сначала резко падает, а затем снова начинает возрастать.

Эта важная особенность силы трения скольжения как раз и объясняет, почему звучит скрипичная струна. Вначале между смычком и струной нет проскальзывания, и струна захватывается смычком. Когда сила трения покоя достигнет максимального значения, струна сорвется, и дальше она колеблется почти как свободная, затем снова захватывается смычком и т.д.

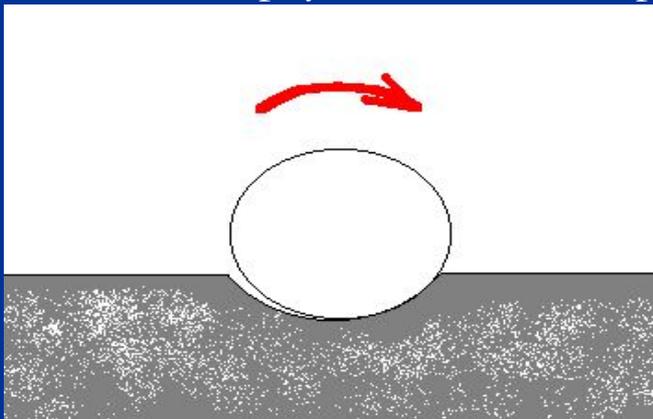
Подобные, но уже вредные колебания могут возникнуть при обработке металла на токарном станке вследствие трения между снимаемой стружкой и резцом. И если смычок натирают канифолью, чтобы сделать зависимость силы трения от скорости более резкой, то при обработке металла приходится действовать наоборот (выбирать специальную форму резца, смазку и т.п.). Так что важно знать законы трения и уметь ими пользоваться.



Трение качения

Возьмем деревянный цилиндр и положим его на стол так, чтобы он касался стола по образующей. В центры оснований цилиндра вставим концы проволочной вилки и прикрепим к ней снабженный очень чувствительный динамометр. Если тянуть за динамометр, то цилиндр покатится по столу. По показаниям динамометра увидим, что нужна весьма небольшая сила тяги, чтобы сдвинуть с места цилиндр и катить его равномерно дальше, гораздо меньшая, чем при скольжении того же цилиндра, если бы он не вращался и скользил бы по столу. При той же силе давления на стол сила трения качения много меньше силы трения скольжения. Например, при качении стальных колёс по стальным рельсам трение качения примерно в 100 раз меньше, чем трение скольжения. Поэтому в машинах стремятся заменить трение скольжения трением качения, применяя так называемые шариковые или роликовые подшипники.

Происхождение трения качения можно наглядно представить себе так. Когда шар или цилиндр катится по поверхности другого тела, он немного вдавливаясь в поверхность этого тела, а сам немного сжимается. Таким образом, катящееся тело всё время как бы вкатывается на горку. Вместе с тем происходит отрыв участков одной поверхности от



другой, а силы сцепления, действующие между этими поверхностями, препятствуют этому. Оба эти явления и вызывают силы трения качения. Чем твёрже поверхности, тем меньше вдавливание и тем меньше трение качения.

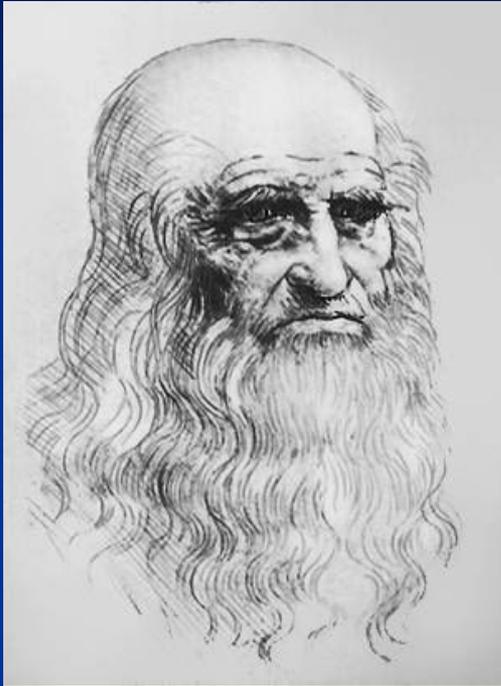


Жидкое трение

Кроме сухого трения существует ещё так называемое жидкое трение, возникающее при движении твёрдых тел в жидкостях и газах и связанное с их вязкостью. Силы жидкого трения пропорциональны скорости движения и обращаются в нуль, когда тело останавливается. Поэтому в жидкости можно заставить тело двигаться, прикладывая даже очень маленькую силу. Например, тяжелую баржу на воде человек может привести в движение, отталкиваясь от дна шестом, а на земле такой груз ему, конечно, не сдвинуть. Эта важная особенность сил жидкого трения объясняет, например, тот факт, почему автомобиль «заносит» на мокрой дороге. Трение становится жидким, и даже небольшие неровности дороги, создающие боковые силы, приводят к «заносу» автомобиля.



ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ (Leonardo da Vinci) (15 апреля 1452, Винчи близ Флоренции — 2 мая 1519, замок Клу, близ Амбуаза, Турень, Франция), итальянский живописец, скульптор, архитектор, ученый, инженер.

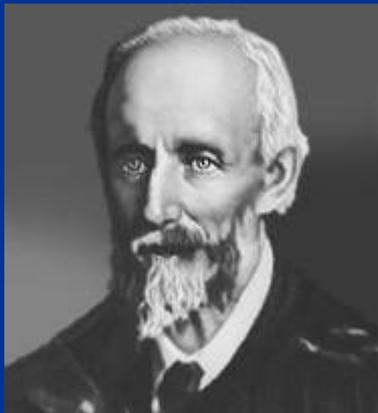


Леонардо — ученый. Технические проекты

Как ученый и инженер Леонардо да Винчи обогатил проницательными наблюдениями и догадками почти все области знания того времени, рассматривая свои заметки и рисунки как наброски к гигантской натурфилософской энциклопедии. Он был ярким представителем нового, основанного на эксперименте естествознания. Особое внимание Леонардо уделял механике, называя ее «раем математических наук» и видя в ней ключ к тайнам мироздания; он попытался определить коэффициенты трения скольжения, изучал сопротивление материалов, увлеченно занимался гидравликой. Многочисленные гидротехнические эксперименты получили выражение в новаторских проектах каналов и ирригационных систем. Страсть к моделированию приводила Леонардо к поразительным техническим предвидениям, намного опережавшим эпоху: таковы наброски проектов металлургических печей и прокатных станов, ткацких станков, печатных, деревообрабатывающих и прочих машин, подводной лодки и танка, а также разработанные после тщательного изучения полета птиц конструкции летальных аппаратов и парашюта.



АМОНТОН (Amontons) Гийом (31 августа 1663 -- 11 октября 1705), французский механик и физик, член Парижской АН (1699). Изучал самостоятельно физику, математику, прикладную и небесную механику, архитектуру. Был почти глухим. Основные работы в области механики, термометрии, молекулярной физики. Сконструировал гигрометр (1687), ртутный барометр (1695), воздушный термометр (1702), барометр с U-образной трубкой, используемый на флоте. Нашел (1702) постоянную термодинамическую точку — точку кипения воды. Установил связь между давлением воздуха и его плотностью. Измерял зависимость объема воздуха от температуры. Показал (1699), что трение пропорционально взаимному давлению трущихся поверхностей. Пришел к идее абсолютного нуля, который по его данным получится при — 293,8 °С. Усовершенствовал (1703) пирометр.



РЕЙНОЛЬДС (Reynolds) Осборн (1842-1912), английский физик и инженер. Основные труды по теории динамического подобия, течению вязкой жидкости, теориям турбулентности и смазки. Экспериментально установил один из критериев подобия — число Рейнольдса.



КУЛОН (Coulomb) Шарль Огюстен (14 июня 1736, Ангулем — 23 августа 1806, Париж), выдающийся французский физик и инженер, экспериментальные исследования которого имели основополагающее значение для формирования учения об электричестве и магнетизме, член Парижской академии наук.

Годы учебы

Его отец, Анри Кулон, правительственный чиновник, вскоре после рождения Шарля переехал с семьей в Париж, где некоторое время занимал доходную должность по сбору налогов, но, пустившись в спекуляции, разорившие его, вернулся на родину, на юг Франции, в Монпелье. Шарль с матерью остался в Париже. В конце 1740-х годов его поместили в одну из лучших школ того времени для молодых людей дворянского происхождения — «Коллеж четырех наций», известный также как Коллеж Мазарини. Уровень преподавания там был достаточно высок, в частности, большое внимание уделялось математике. Во всяком случае, юный Шарль настолько увлекся науками, что решительно воспротивился намерениям его матери избрать для него профессию медика, или, в крайнем случае, юриста. Конфликт стал настолько серьезен, что Шарль покинул Париж и переехал к отцу в Монпелье.



Военный инженер

В этом городе еще в 1706 г. было основано научное общество, второе после столичной академии. В феврале 1757 г. 21-летний Кулон прочитал там свою первую научную работу «Геометрический очерк среднепропорциональных кривых» и вскоре был избран адъюнктом по классу математики.

Но это приносило лишь моральное удовлетворение, нужно было выбирать дальнейший путь. Посоветовавшись с отцом, Шарль избрал карьеру военного инженера. Научное общество Монпелье снабдило Кулона нужными рекомендациями, и после сдачи экзаменов (достаточно трудных, так что подготовка к ним потребовала девяти месяцев занятий с преподавателем) Шарль Кулон в феврале 1760 г. направился в Мезьер, в Военно-инженерную школу, одно из лучших высших технических учебных заведений того времени. Обучение велось там с отчетливо выраженным практическим уклоном: кроме математики, физики и других «теоретических предметов», изучались многие чисто-прикладные дисциплины — от строительного дела и того, что теперь назвали бы «материаловедением», до вопросов организации труда (слушателям поручалось руководство бригадами крестьян, мобилизованных на общественные работы). Кулон окончил Школу в 1761.

Хотя отзыв о нем руководителя Школы выглядит местами отнюдь не восторженно («Его работа об осаде хуже средней, рисунки сделаны очень плохо, с подчистками и пометками... Он полагает, как и другие со сходным образом мыслей, что древесину для лафетов и повозок можно просто найти в лесу...»), он, вероятно, был среди лучших выпускников (отмечен денежной премией).



Первые 10 лет службы

Получив чин лейтенанта, Шарль Кулон был направлен в Брест, один из крупных портов на западном побережье Франции. В Бресте Кулону были поручены картографические работы, связанные с возведением и перестройкой укреплений на побережье. Но эта деятельность была довольно непродолжительной.

Меньше, чем через два года Кулону пришлось экстренно включиться в работы по возведению крепости на о. Мартиника в Вест-Индии для защиты его от англичан. Объявленный конкурс на проект укрепления выиграл опытный военный инженер де Рошмор, но этот проект вызвал большой спор, в который был вовлечен и Кулон. Хотя проект в целом и удался отстоять, но в него пришлось внести значительные изменения; в частности, ассигнования были уменьшены более чем в два раза. Кулон, оставшийся фактическим руководителем строительства, под началом которого работало почти полторы тысячи человек, оказался перед лицом множества весьма сложных, и далеко не только технических задач. Условия работы были трудными, климат очень тяжелым, людей не хватало, да и те, кто оставался, тяжело болели. Сам Кулон за восемь лет работы на острове тяжело болел восемь раз и впоследствии вернулся во Францию с сильно подорванным здоровьем. Приобретенный им большой опыт достался дорогой ценой.



После возвращения на родину

Вернувшись во Францию, Кулон в 1772 г. получает назначение в Бушен. Условия работы здесь были несравненно более легкие, и появилась возможность вновь активно продолжить научную деятельность. Задачи, которые он решал, относятся к той области, которую назвали бы теперь строительной механикой и сопротивлением материалов. Уже в то время эта область привлекала большое внимание многих физиков и математиков. После возвращения на родину, Кулон, проведя еще довольно большое число новых исследований, послал свой мемуар в Парижскую академию наук, а затем зачитал его на двух заседаниях в марте и апреле 1773. Об этом труде весьма похвально отозвались два академика, которым было поручено его рецензирование (одного из них, Борда, Кулон впоследствии спасал в период якобинской диктатуры, пряча его в своем поместье). Для автора это было большой поддержкой.



Но вскоре он увлекся новыми проблемами. В 1775 Парижская академия наук объявила конкурсную задачу: «Изыскание лучшего способа изготовления магнитных стрелок, их подвешивания и проверки совпадения их направления с направлением магнитного меридиана и, наконец, объяснение их регулярных суточных вариации». Что касается последней части задачи, ее решение в то время было явно недоступно (даже о самой причине существования магнитного поля Земли не только тогда, но даже и теперь известно не все!), но вот задача о наилучшем устройстве компаса и, в частности, подвеса магнитной стрелки была актуальна. Она увлекла Кулона.

О том, насколько эта задача была непроста, какую высокую точность требовалось обеспечивать, можно судить хотя бы по следующему факту: подвешенная на тонкой шелковой нити стрелка так чувствительно реагировала на все воздействия, что приходилось защищать ее не только от слабейших воздушных потоков, но даже и от приближения глаза наблюдателя (на стрелке и на теле человека всегда могут оказаться электрические заряды, и их взаимодействие может сказаться на силах). Чтобы исключить это, Кулон решил заменить шелковые нити металлической проводящей электричество проволокой. Это был шаг, сыгравший в дальнейшем очень большую роль, когда Кулон изобрел и начал использовать крутильные весы. Но пока до этих работ было еще далеко. В 1777 Кулон становится победителем конкурса, посвященного разработке прибора для исследования магнитного поля Земли, и тут же погружается в другую большую работу: в исследование трения. В 1779 (а затем, повторно, в 1781) академия объявила еще один конкурс, посвященный именно трению. Уже в 1780 Кулон представил в академию конкурсную работу «Теория простых машин», которая через год также была удостоена премии. Результаты этой работы базировались на многочисленных экспериментах Кулона, в которых исследовалось как трение между твердыми телами, так и трение в жидкостях и газах. Эти работы Кулон проводил уже в Лилле, куда он был переведен в начале 1780 г. Примерно через год исполнилось его давнишнее желание: произошел перевод в Париж, где 12 декабря 1781 он был избран в академики по классу механики.



В Париже

В столице на Кулона почти сразу же обрушилось множество дел, в том числе, и административных. Некоторые из них имели и политическую окраску, и одно из них даже закончилось для Кулона недельным заключением в тюрьму аббатства Сен-Жермен де Пре.

Заседания в многочисленных комиссиях, в частности, в Комиссии по каналам в Бретани, оставляли мало времени для науки, и, тем не менее, Кулон представил в 1784 в академию свою работу, которую можно считать весьма важной: мемуар о кручении тонких металлических нитей, а 1785-89 гг. — серию мемуаров по электричеству и магнетизму.

Исследование кручения нитей может показаться имеющим лишь вспомогательное «техническое» значение, но без него были бы невозможны дальнейшие количественные измерения силы взаимодействия электрических зарядов и магнитных полюсов. Как и всегда, труд Кулона отличался глубиной и изобретательностью. Так, диаметр очень тонких нитей определялся Кулоном взвешиванием и измерением их длины. Многие из того, что вошло в классические исследования Кулона, можно теперь заметить и в трудах некоторых его предшественников. Так, крутильные весы использовал еще в 1773 выдающийся английский ученый Генри Кавендиш, но он не печатал своих трудов, они были опубликованы лишь столетие спустя.

Важным для решения всей проблемы моментом явилось то, что Кулон понял: нужно исследовать взаимодействие «точечных» заряженных тел, т.е. таких, расстояния между которыми значительно превосходит их размеры. Но и здесь Кулон не был первым. К такой же мысли пришел и англичанин Робайсон (1739-1805), который в результате тщательных опытов пришел к выводу, что сила электрического взаимодействия между телами обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними; но он сообщил о своих результатах лишь в 1801, значительно позже Кулона.



Впрочем, «закон обратных квадратов» уже давно казался многим почти очевидным. И дело здесь не только в гипнотизирующем примере закона всемирного тяготения великого Ньютона; другой закон не позволил бы объяснить множество наблюдаемых фактов (например, почему внутри ящика с проводящими стенками, какой бы заряд на него ни помещался, никакое электрическое поле не ощущается).

Закон Кулона известен теперь, наверное, любому школьнику. Но вряд ли многим известно, какое искусство и наблюдательность пришлось проявить исследователю. Кулон заметил попутно, что заряды довольно быстро «стекают» с тел, и правильно объяснил это тем, что воздух обладает некоторой проводимостью; это обстоятельство осложняло эксперимент, но оно само стало важным открытием. Многие знают, что закон взаимодействия магнитных полюсов, также тщательно изученный Кулоном, внешне очень похож на закон взаимодействия электрических зарядов. Из-за этого электростатика и магнитостатика долго представлялись во всем подобными друг другу, если не считать того удивительного факта, что «магнитные заряды» противоположных знаков почему-то всегда встречаются попарно и никогда — по отдельности. Лишь после работ Ампера выяснилось, что магнитные поля постоянных магнитов обусловлены не тем, что они состоят из огромного числа маленьких магнитиков (как, заметим, полагал и Кулон), а электрическими токами, т.е. движением электрических зарядов.

Современную классическую (т.е. неквантовую) теорию электрических и магнитных явлений часто называют электродинамикой Фарадея и Максвелла. Конечно, в написании этой важнейшей главы физики почетное место занимают и многие другие замечательные ученые, и в числе первых здесь по праву должно быть упомянуто имя Шарля Кулона.





Веселая викторина



Хорошо ли ты понял, что такое инерция покоя, трение. Тогда попробуй ответить на вопросы:

1. Почему доктор бежит по льду к травмированному хоккеисту мелкими шажками?
2. Что мешает малышам летом кататься с горки на санках?
3. Почему шоферы ругают "Лысую резину"?
4. Почему книги и посуда в шкафах не падает с полок?
5. Зачем лыжники используют различные мази?
6. Что помогает школьникам прочно сидеть за партами, кроме большого желания учиться?
7. Почему так трудно отчистить жвачку от одежды?
8. Почему автомобиль на мокрой или ледяной дороге не может остановиться быстро, даже если его скорость не очень велика?
9. Попробуй что-нибудь удержать в намыленных руках (только не бьющееся!). Объясни, что происходит.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Чем больше мы будем изучать законы трения, тем сложнее, а не проще представлятся они нам. Иными словами, всё глубже вникая в закон торможения самолёта, мы всё ясней будем понимать его «фальшь». Чем глубже взгляд, чем аккуратней измерения, тем сложнее становится истина; она не предстанет перед нами как итог простых фундаментальных процессов. Тем больше человек понимание того, что, расширяя круг знаний человек расширяет круг своих не знаний.

