

## КАК БЕГАТЬ ПО ПОТОЛКУ?



Мадагаскарский плоскохвостый геккон  
 Фото: Wikimedia.org, TimVickers

Гекконы, как известно, умеют бегать по стенам и даже по потолку. Долгое время было совершенно непонятно, как они это делают. В качестве объяснения предлагались разные механизмы: клей, присоски, крючочки, которые цепляются за шероховатости в стене, капиллярные силы, электростатические силы. Все эти варианты были отвергнуты: никакого клея на лапках у геккона нет, никаких следов он не оставляет. Нет и вакуумных присосок: геккону не требуется никаких усилий, чтобы оторвать лапку от стены, бегают они очень быстро. Дело и не в шероховатостях стены: он прекрасно держится на гладком стекле. Капиллярные силы были отвергнуты опытами: геккон одинаково хорошо держится на смачиваемой и на несмачиваемой поверхности. Специальными опытами с ионизированной плазмой продемонстрировали, что электростатические взаимодействия ни при чём.

Доказано, что геккон держится за счёт вандерваальсовых взаимодействий, то есть за счёт очень слабых взаимодействий между молекулами.

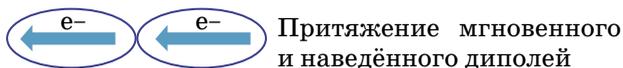
Что такое вандерваальсовы взаимодействия? Проще всего это объяснить на примере притяжения двух полярных молекул. Молекулы могут быть незаряжены, но при этом *полярны*. Поясним, что это такое, на примере. В молекуле воды атом кислорода немного перетягивает к себе электроны, и эта сторона оказы-

вается немного отрицательно заряженной. А та сторона, где атомы водорода, – соответственно, положительно заряженной. Такие частицы, внутри которых заряд распределён по двум полюсам, называются *диполями*. Значок  $\delta+$  означает, что в этой части молекулы не целый положительный заряд, а просто электроны немного смещены, и в этой части молекулы небольшой положительный заряд.

Если диполи оказываются рядом, они поворачиваются друг к другу так, что положительная часть одной молекулы оказывается рядом с отрицательной частью другой. При этом расстояние между  $\delta+$  и  $\delta-$  окажется меньше, чем расстояние между  $\delta+$  и соседней  $\delta+$ . А ведь электрические силы уменьшаются с расстоянием. И поэтому два таких диполя, то есть две полярные молекулы, будут притягиваться.

Оказывается, молекулы будут притягиваться, даже если только одна из молекул полярна. Это происходит потому, что в неполярной молекуле электроны могут немного смещаться туда или сюда, и под действием электрического поля соседнего диполя они сместятся: неполярная молекула превратится в так называемый *наведённый диполь*.

Более того, если обе молекулы неполярны, электроны в них тоже случайным образом сдвигаются туда или сюда, и, если в какое-то мгновение они сместятся в одну сторону, там на это мгновение образуется *мгновенный диполь*. И такой мгновенный диполь на это мгновение может привести диполь на соседней молекуле. И они тоже будут притягиваться. Разумеется, в такой ситуации невозможно сказать, кто из них мгновенный, а кто наведённый. Важно, что заряды в обеих молекулах будут сдвигаться синхронно.



Вандерваальсовы силы – очень слабые, слабее всех других сил между молекулами. И главное – они действуют только на очень близком расстоянии. Энер-



гия вандерваальсовых взаимодействий обратно пропорциональна шестой степени расстояния между молекулами. Это значит, что если расстояние между молекулами увеличится в 2 раза, то энергия притяжения уменьшится в  $2^6 = 64$  раза, а сила взаимодействия – в  $2^7 = 128$  раз.

А ведь поверхности, по которым надо ходить геккону, даже если они кажутся нам гладкими, в микромире совсем не гладкие. Для того, чтобы обеспечить сильное вандерваальсово взаимодействие, нужно, чтобы большая поверхность лапки геккона плотно прилегала к поверхности, на которой ему надо держаться.



Лапки геккона. Фото: [gekolab.lclark.edu](http://gekolab.lclark.edu), A. Syred

Обеспечивается это устройством его лапок. Нижняя часть подушечек пальцев покрыта тонкими щетинками. Щетинки собраны в отдельные кластеры. Плотность щетинок – 14 000 на  $\text{мм}^2$ . Каждая такая щетинка на конце ветвится на 400 – 1000 совсем мелких волокон толщиной 200 нм, а на конце каждого такого волокна – плоская бляшка, или, как её назвали, шпатель. Когда геккон прижимает палец к поверхности, он делает движение параллельно поверхности, тем самым выравнивая все шпатели параллельно поверхности.

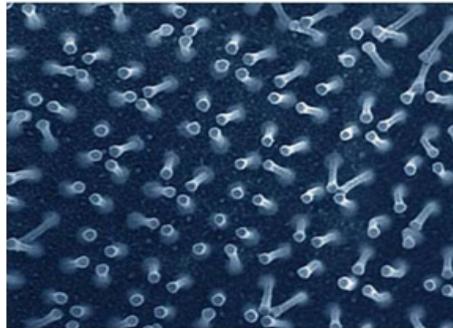


Если бы все бляшки оказались сцеплены с поверхностью, лапа геккона могла бы удерживать 130 кг. Но на практике у поверхности всё-таки есть рельеф, щетинчатое устройство частично это компенсирует, но всё же не полностью. На обычной стене лапа геккона может удерживать в 40 раз больше его веса.

Для того, чтобы оторвать лапку, достаточно изменить угол её наклона. Геккон может это сделать за 15 миллисекунд.

Когда поняли, как это устроено, поняли, что это легко смоделировать: сделать поверхность, покрытую тонкими нановолокнами, которые могли бы принимать форму поверхности.

Продаётся такая вещь, называется *nano-tape*, или *gesco-tape*. Её можно прижать к поверхности, и она будет держаться за счёт вандерваальсовых сил, а если отлепить – не останется никаких следов, потому что никакого клея нет. Между прочим, первую статью на эту тему написали нобелевские лауреаты по физике Андрей Гейм и Константин Новосёлов.



Поверхность *nano-tape*  
Фото из статьи А.Гейма,  
К. Новосёлова и др.

Можно даже сделать робота-спайдермена, который, используя такой же эффект, сможет ходить по стеклу или по потолку.



Робот-геккон  
Фото: М. Cutkosky, S. Kim.

