

Дональд Эйглер и перестановка атомов

Дональд Эйглер [работал] в исследовательских лабораториях компании IBM в Альмадене, штат Калифорния. До Альмадена Эйглер два года провел в лабораториях компании Bell на восточном побережье США, тех самых лабораториях, где родился транзистор, один из важнейших компонентов — и символов — электроники. А теперь Эйглер захотел построить микроскоп, работающий на основе туннельного эффекта, чтобы поглядеть, как такой редкий газ, как ксенон, взаимодействует с металлической поверхностью. Эйглер уже имел раньше дело с благородными газами: когда ему надо было защитить диссертацию в Калифорнийском университете в Сан-Диего, он воспользовался расхожей методикой обработки металлической поверхности пучками газов — так определяли магнитные свойства металла, но Эйглер попутно собирал сведения об электронах на поверхности металла. В Альмадене Эйглер начал сооружать такой туннельный микроскоп, который и работал бы очень устойчиво, и сохранял бы работоспособность при самых низких температурах. На это у него ушло три года. Когда же микроскоп был готов, Эйглер, вместо того чтобы проецировать на поверхность металла пучок атомов ксенона, разместил эти атомы на поверхности и стал наблюдать за ними и за их взаимодействием с металлической подложкой. Такие редкие газы, как ксенон, называются благородными потому, что они очень устойчивы и при этом практически не вступают в химические реакции с атомами иных элементов. Чтобы атомы ксенона не сбежали с подложки, Дон Эйглер охладил ее до очень низкой температуры.

И вот однажды ночью (когда вибрации здания минимальны — и сотрудники ушли домой, и машины за окном уже не ездят) он увидел изображения — сначала одних атомов, а потом и других и на одном и том же участке металлической поверхности. И хоть иголка микроскопа все равно болталась, всякий раз магнитоскоп после очередного колебания иглы регистрировал новый образ. Затем Эйглер, изучая зарегистрированные изображения, придал потоку изображений большую скорость (это примерно так, как если смотреть кино на повышенной скорости смены кадров) и заметил, что одно изображение атомов «перетекает» в другое и что направление перетекания совпадает с направлением отклонения иглы. Он повторил опыт и увидел, что в зависимости от напряжения, приложенного к игле, и тока, через нее протекающего, изображение получается или тривиальным, не обнаруживающим ничего особенного, или измененным — с шевелящимися атомами. Итак, налицо доказательства того, что не бессонная ночь повинна в смещении атомов. Их движение — не игра случая, но результат усилий экспериментатора. Получается, что атомами можно манипулировать — вопреки всякому ожиданию и наперекор всем квантовым предписаниям. Чтобы доказать свою правоту, Дон Эйглер написал слово «IBM», выложив буквы 35 атомами ксенона. Эта картинка облетела весь мир и ознаменовала рождение нанотехнологии: человек заставил атомы «ходить строем».

Что же случилось под иглой? Уподобим атом ксенона футбольному мячу на поле стадиона. На траве, которая растет на этом поле, мяч неподвижен — его не пускает трава. А когда футболист ставит ногу на мяч, он давит — слегка — на мяч, то есть мяч теперь не пускает бутсу футболиста. Но если футболист уберет ногу, мяч совершит несколько оборотов вокруг своей оси — ногу футболист убрал, но давление внутри мяча осталось. На этом основан прием, который называется «крученный мяч». Если же футболист не уберет ногу, а надавит ею на мяч чуть сильнее, мяч выскользнет из-под ноги и покатится. Вот примерно то же случилось и с атомом ксенона под иглой туннельного микроскопа. Чтобы получить хорошее изображение атома ксенона, не смещая его, иголку надо подвести на расстояние, большее 0,2 нм (нога футболиста над мячом). Если же промежуток между кончиком иглы и атомом меньше 0,2 нм, игла вступает во взаимодействие с атомом и меняет взаимодействие атома с поверхностью подложки. Атом — «в западне», и эта «западня» сдвигается вслед за перемещением иглы туннельного микроскопа.

Дон Эйглер придумал несколько объяснений для поведения атомов металлов и малых молекул: его «молекулярный человечек» ростом в 5 нм состоял из молекул монооксида углерода (угарного газа). Весть про успехи Эйглера дошла до Японии и вызвала у тамошних ученых острую зависть. Директор Hitachi потребовал от своих научных сотрудников научиться писать атомами. Но остро умные японцы, вместо того чтобы выводить буквы на поверхности металла, выставляя на ней атом за атомом, решили снимать атомы, тоже по одному, с поверхности полупроводниковой подложки — буквы выкладывались не из атомов, а из дырок, оставшихся после удаления атомов. На надпись «IBM» японцы ответили целым лозунгом «PEACE'91 HCRL» — «МИР в 1991-м году — Центральная исследовательская лаборатория фирмы Hitachi».

Умение Дона Эйглера манипулировать атомами помогло проворным политикам в США, а затем и Японии развернуть за счет бюджета большие научно-исследовательские программы. За ними последовали и иные не слишком застенчивые правительства по всему миру; впрочем, об этом уже рассказано — в главе 1. И все же до середины 1990-х годов ни в одной лаборатории за городской чертой Альмадена не смогли воспроизвести эксперимент Дона Эйглера — уже потому, что нигде в мире ни у кого не было такого хорошего туннельного микроскопа, как в Альмадене. Только потом Герхард Мейер из Берлинского свободного университета сумел придумать усовершенствования, позволившие поставить производство

туннельных микроскопов, пригодных для манипуляции атомами, на поток (причем каждый такой прибор стоил немало — примерно 0,4 млн евро!).<...>

В 1993 году Дон Эйглер предложил вместо молекулы, которая, для того чтобы переключать ток, должна менять свою форму, взять какой-нибудь атом и заставить его работать «коромыслом», замыкающим или размыкающим электрические контакты. Смещением атома можно было бы управлять, прикладывая напряжение в несколько вольт между иглой и поверхностью подложки: меняя напряжение, заставить атом двигаться туда, куда захочется экспериментатору. Нет напряжения, и ток ничтожно мал; стало быть, выключатель — в положении «выключено». Когда же атом, опрокинувшись, прикоснется к кончику иглы, ток вырастет в полсотни раз — и положение выключателя переменится на «включено». Итак, состояние атома-переключателя можно менять, то есть переводить из положения «включено» в положение «выключено», и наоборот. Вот и пришло время на весь мир объявить о создании первого атомного выключателя.

Интернет-ресурсы:

<http://elementy.ru/nauchno->

[populyarnaya biblioteka/430907/Nanonauki Nevidimaya revolyutsiya Glava iz knigi](http://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/430907/Nanonauki_Nevidimaya_revolyutsiya_Glava_iz_knigi)

[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%8F_%D0%9A%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B8#/media/File:Don Eigler Neon Argon.jpg](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B8%D1%8F_%D0%9A%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B8#/media/File:Don_Eigler_Neon_Argon.jpg)