

О.Х.Деревенский

ЖМУРКИ С ЭЛЕКТРИЧЕСТВОМ

«Повсеместная работа электрических установок и приборов была бы невозможна без глубокого научного понимания природы электричества.»

(Из сборника «Шутки больших учёных»)

«В некотором царстве, в некотором государстве, долбил себе по клавишам один скромный программист. Звали его Вася Пупкин – или, там, Билли Сукинсон. Долго ли, коротко ли он долбил, но вот однажды компилятор выдал добро на программку, которая рисовала на экране монитора синие и красные шарики. Тучи синих и красных шариков. Да не простых, а с заданными свойствами.

Свойства шарики имели:

Танцевать они умели!

Только танцы шли не сами,

А – по заданной программе.

И программа та была

Остроумна, весела!

Чтобы начались эти весёлые танцы, требовалось, например, сгруппировать шарики на экране так, чтобы в одном месте доминировали синие, а в другом – красные. После чего «отпустить» их, предоставив «самим себе». И – мама дорогая! – шарики начинали двигаться так, чтобы выровнять количества синего и красного цветов на всех местах экрана. У тех, кто наблюдал это дивное зрелище, создавалось впечатление, что шарики разного цвета притягиваются друг к другу, а шарики одинакового цвета – отталкиваются друг от друга. Но это ещё не всё! Можно было принудительно организовать коллективное движение шариков одного цвета – например, вдоль некоторой замкнутой кривой. И – мама дорогая! – соседние шарики, предоставленные «самим себе», старались, по возможности, компенсировать этот принудительный поток цвета. Если принудительно двигались синие шарики, то свободные красные шарики искривляли своё движение так, чтобы двигаться в попутном направлении с синим потоком, а свободные синие шарики – наоборот, во встречном. Создавалось впечатление, что, помимо действия покоящихся шариков друг на друга, движущиеся шарики тоже действуют друг на друга. Всё логично: если статическое действие стремится устранить статическое разделение синего и красного цветов, то динамическое действие стремится компенсировать потоки синего или красного цвета.

И вот, на одном Терминале сидел Дремучий пользователь. Увидел он эти танцующие шарики – и чуть не тронулся. Играл, играл, и всё не мог наиграться. Видя только монитор и не подозревая о том, что танцы шариков

обеспечиваются программой, Дремучий пользователь глубоко убедился в том, что свойства действовать друг на друга присущи самим шарикам. Имея незаурядный пытливый ум, Дремучий пользователь стал придумывать – что же это за свойства у шариков, которые порождают силы, заставляющие шарики танцевать. Из кожи вон лез этот пользователь. Напрягал свой незаурядный пытливый ум – до пара из ушей. Да толку-то? Жаль беднягу, зря старался. Не в свойствах шариков было дело. Из свойств у шариков был лишь цвет – синий или красный. Но это свойство не порождало никаких сил. Наличие цвета у шарика было лишь знаком для программы, которая синими шариками рулила так, а красными – этак...»

Если в этой байке под «синим и красным цветом» разумеется «отрицательный и положительный электрический заряд», а под Дремучим пользователем – ортодоксальную физическую науку, то сегодняшней уровень понимания этой наукой природы электрического заряда окажется обрисован точь-в-точь. Неспроста авторы учебников по электричеству ловко уходят от вопроса о том, что такое электрический заряд. «Вообще говоря, это – количество электричества» - поясняют нам. Класс! А электричество – это что? Вообще говоря, электричество – это и есть электрические заряды, да? Впрочем, авторы учебников дают одну наводку: заряд – это свойство, порождающее взаимодействие зарядов на расстоянии. А если их спросить: «А «порождающее» - как?» - то они с облегчением разъясняют: «А так, как описывают наши замечательные математические формулы! Идите, дети, учите мат-часть!» Хотя, с некоторых пор детям стали давать подсказочку: заряды, мол, не просто действуют друг на друга на расстоянии. Заряд – он, якобы, создаёт электромагнитное поле, а уже оно-то действует на заряды. Как, физически, «создаёт», как «действует» - это, опять же, большой-большой секрет. «Привыкайте довольствоваться малым, - поучают детей, - и полностью удовлетворяться одной лишь красотой математического аппарата!»

Этот высоконаучный подход, с железобетонно расставленными приоритетами, процветал не всегда. Фарадею и Максвеллу, например, пришлось работать в атмосфере дикого разгула плюрализма. Любое новое научное слово вполне типично отзывалось: быстренько находились деятели, которые начинали гнуть прямо противоположную линию. Стоило кому-то заикнуться о том, что носителями электричества являются частицы вещества, как тут же лезли умники с претензиями на то, что электричество – это независимый от вещества флюид (невесомая жидкость). Этот флюид, якобы, способен втекать в кусок вещества и, с неменьшим успехом, вытекать из него. Электричество одного знака, мол – от избытка этого флюида, а электричество другого знака – от недостатка. Ещё более продвинутые специалисты толковали не об одном флюиде, а сразу о двух – по числу типов электричества. И стоило кому-то вдохновиться идеей электрических флюидов и начать строить их физическую модель, как тут же подавали голос сторонники чисто описательного подхода, избегавшие физических гипотез – имеем, мол,

математический инструмент для расчётов, и хорошо, а сверх этого, мол, не надо ля-ля. Идя навстречу этим описателям, поднимали свои флаги фанаты концепции о том, что наэлектризованные тела действуют друг на друга на расстоянии непосредственно – чисто-конкретно математически. Но тут же раздавались ехидные замечания о том, что «это – не по-физически», что для взаимодействия наэлектризованных тел на расстоянии непременно нужен посредник. Физическая модель этого посредника – чёрт с ней, обойдёмся и без неё, но сам посредник нужен позарез! Иначе – «не по-физически»! Весь этот раздрай, что особенно пикантно, шёл ещё и по национальному признаку. Британские учёные тузили немецких – уворачиваясь при этом от пинков своих французских коллег. Потери из-за «дружественного огня» были огромны.

Стыдно сказать: такой бардак назывался у них наукой. Это – явно по чьему-то недосмотру. Вот сейчас в науке наведён тотальный порядок: то, что одобрено Министерством просвещения – то и наука, а всё остальное – это лженаука. Сегодня даже девочки с улицы могут, при желании, отличить известного учёного от известного лжеучёного.

Знал бы Максвелл, что всё так будет! Знал бы он, как обойдутся с его теорией благодарные потомки! Эти потомки так и заявляют: Максвелл, мол, создал основу теории электромагнитного поля! Дяденьки, да вы читали «Трактат об электричестве» Максвелла? Вот же он там пишет: *«Электрическое поле – это часть пространства в окрестностях наэлектризованных тел, рассматриваемая с точки зрения электрических явлений. Она может быть занята воздухом... или это может быть так называемый вакуум, из которого удалили всякое вещество...»* Как в сельском хозяйстве поле – это участок земной поверхности, так и у Максвелла поле – это участок пространства. Т.е., Максвелл вкладывал в понятие «поле» чисто геометрический смысл. Максвеллу даже в страшном сне не могло присниться, что участок пространства может быть физической реальностью и обладать физическими свойствами. Знаменитые уравнения Максвелла – это вовсе не уравнения поля, это чисто формальные выражения для расчёта взаимодействий зарядов. Поэтому никакой физической модели поля у Максвелла не было, да и быть не могло. Лишь в самом конце «Трактата» он добавил пару условно-пророческих слов: похоже, всё-таки существует некая среда в пространстве между электрическими зарядами, и через неё-то, мол, заряды могут взаимодействовать – тогда, возможно, полученные выше уравнения сгодятся для описания этой среды... О, они сгодились, да ещё как! Великий Лорентц построил потрясающую физическую модель эфира. Механические натяжения и вихри в эфире подчинялись уравнениям Максвелла. Даже электроны Лорентц рассматривал как «местные модификации в состоянии эфира», подчиняющиеся тем же уравнениям! Эта теория была единственная, которая объясняла все известные на то время явления в оптике, электромагнетизме и теплоте! Но вскоре, с подачи

Эйнштейна, эфир из физики выкинули – он ему мешал страшно. Что это – конец для теории поля? Да как посмотреть! Физически, это конец и был. А математически – это было только начало! Ведь уравнения Максвелла из физики выкидывать не стали – потому что на них и держалось всё то, что называлось эйнштейновским «принципом относительности». Вот и канонизировали Максвелла как светоча, который записал не абы что, а уравнения поля. Максвелл от такой канонизации, небось, в гробу перевернулся – ведь теперь о поле говорили не как об участке пространства, а как о физической реальности!

Нет, окосеть можно, следя за зигзагами эволюции понятий в фундаментальной физике! Максвелл дал чисто математический инструмент для расчётов взаимодействий зарядов. Лорентц офизичил этот подход – на основе модели эфира. Затем эфир, носитель физичности в данном вопросе, устраняют. И опять оставляют голые уравнения Максвелла. Но теперь, словно глаза продрамши, усматривают в этих уравнениях великий физический смысл – они, дескать, описывают поле, как физическую реальность! Ладно, описывали бы хорошо. Так ведь нет! Вот, из уравнений Максвелла строго следует, что в плоской электромагнитной волне максимумы напряжённостей электрического и магнитного полей достигаются синфазно. Во многих учебниках дан схематический «мгновенный снимок» этой волны, с двумя синфазными синусоидами – E и H . Так вот, эти иллюстрации даны для тех, кто шуток не понимает. Ведь если говорить в терминах этих синусоид, E и H , то на опыте они сдвинуты друг относительно друга на 90° – электрическая энергия превращается в магнитную, и обратно. Вот те раз! Это же убийственное противоречие получается! Наука его до сих пор не разрешила, она его только замалчивала изо всех своих научных сил. А то ведь узнают дети про то, что уравнения Максвелла хреново описывают «поле, как физическую реальность», и думать начнут. Дескать, что-то тут не в порядке – либо с уравнениями, либо с физической реальностью. Уравнения, говорят им – гениальные. Ну, значит, реальность – из пальца высосанная!

Ну, действительно – где она, эта физическая реальность, называемая электромагнитным полем? Кто-нибудь эту «реальность» видел? Щупал? Пробовал на вкус? Нет, во всех без исключения детекторах «электромагнитного поля» мы имеем дело только с поведением пробных заряженных частиц, и ни с чем сверх этого. Зачем же нужны домыслы о поле? А это, видите ли, у теоретиков склад ума такой. Программное управление физической реальностью они не признают, а непосредственное взаимодействие зарядов на расстоянии их напрягает. Выдумали, для душевного успокоения, посредника в этом взаимодействии, т.е. поле – и с тех пор в него веруют. Чем дальше в лес, тем больше дров наламывают. Чем больше вопиющих противоречий в воззрениях на поле громоздят, тем крепче в это поле веруют. Вера – это страшная сила. Мировая практика показывает, что «человеки разумные» - это слабаки против «человеков, упёрто верующих».

Только не советуем говорить верующим в поле физикам комплименты про то, как крепка их вера – а то они жутко обидятся. Потому что у них наиболее крепка вера именно в то, что их упёртая вера – это, на самом деле, проявление их разума. Так и блещет разум в определении электрического заряда – это, мол, то, чем порождается электромагнитное поле. В таком определении есть изящный сатанинский нюанс. Если кто вздумает отрицать реальность поля, то он автоматически будет отрицать и реальность заряда. И над таким недотёпой можно будет от души поржать... Видя, как здорово получается у этих подвижников, иные далёкие от физики дилетанты полагают, что поле – это нечто настолько обыденное, что любой желающий имеет право использовать понятие «поле» в своих рассуждениях о мироздании. И начинают эти дилетанты толковать про «полевые формы материи». Душа – это, мол, полевая форма материи! Параллельные миры – они, мол, построены из «особых» полевых форм материи! Ох, как не любят физики этих дилетантов, которые умничают на халяву, используя чужую интеллектуальную собственность! «Шарлатанский бред!» - кричат физики. Это понятно. У кого чего болит, тот о том и говорит...

Но вернёмся к электричеству, которое все жилы из экспериментаторов вытянуло, прежде чем стало ясно, что оно связано не с флюидами какими-то, а с частицами вещества. Особенно здорово это прояснилось у Фарадея, в его опытах по электролизу (мы к ним ещё вернёмся), а также в ещё одной ключевой области исследований – забавах с катодными лучами. «Вышли мы все из катода!» - бодро пели эти лучи, летя в вакуумной трубке Крукса. Что только Крукс с ними не вытворял! Прежде всего бросалось в глаза их люминесцентное действие даже на стекло трубки – облучаемые места начинали, так сказать, отсвечивать. При внесении препятствия в поток лучей, в отсвечивании появлялась чёткая тень, свидетельствующая о том, что лучи летели прямолинейно. «Мельница Крукса», т.е. лёгкая крыльчатка, облучаемая по одну сторону от оси вращения, резво вертелась – даже ежу становилось понятно, что катодные лучи переносят импульс. Сфокусированные катодные лучи нагревали и даже расплавляли кусочки вещества! В довершение, Крукс установил, что катодные лучи переносят электрический заряд и отклоняются магнитом! На основе всего этого Крукс полагал, что катодные лучи – это поток «мельчайших элементарных частиц». Но мельче ли они атомов – и если мельче, то насколько? – это было ещё не ясно.

Некоторую ясность сюда привнёс Дж.Дж.Томсон. Он провёл классические опыты – с воздействием магнитного и электрического полей на катодные частички. И установил, что знак заряда катодных частичек точно отрицательный, а удельный заряд одной такой частички, т.е. отношение заряда к массе, на три порядка больше удельного заряда самого лёгкого иона, водорода – а эта величина была известна из опытов по электролизу. Так, уже теплее. Но! Кабы знать по отдельности заряд и массу катодной частички –

сразу стало бы ясно, что это электрон. А если знаешь только отношение заряда к массе у катодной частички – возможны варианты! Толку-то с того, что это отношение на три порядка больше, чем у иона водорода! Почему оно больше – потому что масса частички меньше? А, может, потому что заряд у частички больше? А, может, и то, и другое?

Короче, вопрос о величине дискрета электрического заряда встал во всей своей красе, и неспроста. Сегодня-то все, кому не лень, знают об элементарном электрическом заряде. А на рубеже XIX-XX веков, представьте себе, были физики, которые полагали, что частицы могут нести произвольные количества электричества, выражаемые даже не натуральными числами, а любыми дробными – и что в экспериментах проявляются лишь статистически средние величины заряда по ансамблю частиц. Сейчас, конечно, подобные воззрения кажутся наивными, особенно если иметь в виду, что «электрический заряд» - это просто метка для управляющей программы. Эта метка у частицы либо есть, либо её нет – третьего не дано. Но кто понимал это на рубеже XIX-XX веков, если это и сегодня мало кто понимает? если нынешние теоретики толкуют о кварках – якобы, имеющих дробные (!) доли элементарного заряда!

Ни стыда у этих теоретиков, ни совести – из «прекрасного далёка» плюют прямо в душу Милликену, который чуть в лепёшку не разбился, а величину «элементарного заряда» выложил на блюдечке. Он, знаете ли, впрыскивал мелкие масляные капельки в пространство между горизонтальными пластинами, на которые подавал электрическое напряжение. Для капелек, имевших некоторый заряд, можно было подобрать напряжение так, чтобы электрическая сила почти уравновешивала силу тяжести – и тогда капелька долго оставалась в поле микроскопа, медленно двигаясь вниз или вверх. Это происходило не в вакууме, а в воздухе, в котором предусмотрительно создавались ионы – с помощью излучения маленького кусочка радия. Если капелька присоединяла к себе ион, то её масса, практически, не изменялась, но изменение заряда вызывало изменение её вертикальной скорости. Так вот: изменения этой скорости всегда происходили скачками. И эти скачки соответствовали изменениям заряда, которые были кратны одной и той же величине. Которую и договорились называть «элементарным зарядом».

Потом ещё было строго научно доказано, что элементарный положительный заряд по величине точно равен элементарному отрицательному. И что в состав атомов входят электроны, имеющие элементарный отрицательный заряд, и протоны, имеющие элементарный положительный заряд. И что по массе электроны и протоны различаются почти в 2000 раз, так что Дж.Дж.Томсон не зря старался. Да, и главное: в нейтральном атоме одинаковы количества протонов и электронов – а если их количества неодинаковы, то это уже не атом, а ион. Столько всего встало на свои места!

Впрочем, оставались ещё кое-какие неясности. Например, электрический заряд – обладает ли он энергией? Вопрос-то – на засыпку. Максвеллу в его «Трактате» было легко рассуждать: «*Электричество... не является, подобно теплоте, формой энергии*». Но теперь считается, что зарядом порождается поле – а поле, клянуся нам, энергией всенепременно обладает. Физическая реальность же, ёлы-палы. Теперь, белочки и зайчики, пораскинем мозгами: если заряд энергией *не* обладает, может ли он породить поле, которое энергией обладает? Ой, не может. А то закон сохранения энергии упадёт – совсем плохо будет. Значит, энергия у электрического заряда – как бы, есть. Можно, конечно, тонким слоем размазывать сопли про то, где эта энергия локализована – на самом заряде, или в поле, или и там и сям сразу... Но, дяденьки, зачем нам нужны три тома комментариев, замутняющих вопрос? Давайте попроще: есть электрический заряд – есть поле – есть и энергия, правда? Она так и называется: «электрическая энергия» - может, слышали? Так вот: по вашим замечательным формулам, эта электрическая энергия у электрона и позитрона, при их близком соседстве, сопоставима с их собственными энергиями (т.е. массами, умноженными на квадрат скорости света). Внимание, вопрос: куда же девается эта нехилая энергия при аннигиляции электрона и позитрона? Ведь там на выходе оказывается энергия, соответствующая только их собственным энергиям, и ни капельки сверх этого! Экспериментаторы и так чуть в штаны не наложили от радости – когда обнаружили, что излучение аннигиляции в гробу видало релятивистский рост массы: даже в случае релятивистских электронов и позитронов, излучение их аннигиляции даёт всё ту же спектральную линию, ставшую настоящей находкой для калибровки гамма-спектрометров! По счастливому стечению обстоятельств, те экспериментаторы не заморачивались проблемой с бесследным исчезновением электрической энергии при аннигиляции – а то их радость, чего доброго, превысила бы допустимый предел.

Ну, ладно, экспериментаторы тихо радовались, а теоретики-то на что? Молча взирали на бесследное исчезновение электрической энергии? Проявляли преступную халатность, или устраивали сознательную диверсию? Да нет, у них – чистое алиби. Понимаете, слишком бурно развивалась физика – некогда было оглянуться и увидеть тот дурелом, который позади остался.

Поэтому давайте сделаем важное проясняющее допущение: электрический заряд никакой энергией не обладает. Вот масса – это и есть соответствующая форма энергии, а заряд – ни в коем случае. Причём, если нет энергии у зарядов, то нет энергии и у движущихся зарядов. А то выдумали, тоже мне – энергию электрического тока, как энергию движущихся зарядов. На эту тему был случай из практики. Представьте: идёт экзамен по курсу теории электричества. Девочка-отличница всё грамотно излагает – ну, уверенно идёт на очередной «пятак». Профессору стало так хорошо, что он напоследок спросил: «А было вам на моих лекциях хоть что-нибудь непонятно?» И девочка выдала: «Вообще-то, вот простая цепь постоянного

тока: аккумулятор питает лампочку, лампочка светит. Согласно уравнению непрерывности, энергия потока заряда через любое поперечное сечение этой цепи в единицу времени – одна и та же. Не понимаю: что же тогда остаётся в лампочке?» Профессор остолбенел – он понял, что тоже этого не понимает...

Но эти непонятки пришли позже, а в начале XX века насчёт электричества у физиков была полная эйфория. Такая радость, такая радость! У свободного электрона есть заряд, и у свободного протона есть заряд. Величина того и другого – совершенно определённая и неизменная. Во времени неизменная, прошу заметить! Т.е., заряды у свободных электронов и протонов *всё время* есть! Вон, и треки свободных электронов и протонов в камере Вильсона об этом вопиют. Смотрите: магнитное поле поворачивает вектор скорости заряженной частицы. Если бы у неё заряд то был, то не был, в её треке криволинейные участки чередовались бы с прямолинейными. Но таких чередований не видать. Ну, тогда точно – если уж заряд у частицы есть, то он у неё *всё время* есть. Это казалось совершенно самоочевидным. И едва ли кто допускал мысль о том, что у связанных электронов и протонов, входящих в состав атомов, заряды могут вести себя как-нибудь иначе, чем у свободных. С какой, мол, стати им себя иначе вести? Разве атомы состоят не из таких же электронов и протонов, какие в камере Вильсона летают? Или протоны и электроны – разные бывают? С этой убойной логикой столкнулся бы каждый, кто усомнился бы в том, что заряды у связанных электронов и протонов *всё время* есть, как и у свободных. Кстати, ведь поначалу думали, что именно благодаря зарядам протонов и электронов, т.е. на электрических взаимодействиях, держатся сами атомные структуры – больше-то вроде физически не на чем. Это позже обнаружилась смехотворность «электрического» объяснения атомных структур, и пришлось теоретикам наворачивать крутой квантово-механический замес для того, чтобы надёжно скрыть своё бессилие в данном вопросе. Скрыть-то скрыли, но предрассудок о том, что у атомарных протонов и электронов заряды есть *всё время*, успел крепко засесть физикам в подсознание – т.е. успел приобрести статус высшей научной истины, не нуждающейся в доказательствах. Из этого предрассудка – тоже вполне подсознательно – вытекало важное следствие. А именно: у атома, содержащего одинаковые количества протонов и электронов, суммарный заряд *всё время* равен нулю. Значит, движущиеся атомы – не говоря уже о покоящихся! – не могут дать переноса электричества. Для переноса электричества, дескать, непременно требуется движение частиц с ненулевым зарядом. И, венец этой подсознательной логики: переноса электричества без переноса вещества – не бывает! Аминь! Во веки веков!

То, что происходило в научных воззрениях на электричество дальше... Нет, дорогой читатель, сначала вас нужно подготовить. Вот нам не раз говорили: «Нужно уважительно относиться к достижениям предшественников!» А то мы не понимаем! К достижениям-то мы относимся уважительно! Просто мы стараемся называть вещи своими именами – как

достижения, так и всё остальное. Так вот: для рассказа о том, что происходило в научных воззрениях на электричество дальше, лучше всего подходит ненормативная лексика. Но мы останемся в рамках литературности – так что не обессудьте!

А происходило вот что. Стройная картиночка, где заряды атомов всегда тождественно равны нулю, а перенос электричества возможен только при перемещении заряженных частиц, на корню пресекла разумные объяснения целого ряда феноменов. Первым в этом скорбном списке стоял феномен намагничиваемости. Опыт ясно указывал на то, что магнитное действие порождается движущимися зарядами. А постоянное магнитное действие – постоянно движущимися зарядами, чёрт побери! Но не могут в постоянном магните постоянно двигаться заряженные частицы, об этом ещё Максвелл писал: *«если бы токи обычного вида протекали вокруг частей магнита заметных размеров, то имелся бы постоянный расход энергии для их поддержания, а магнит бы являлся постоянным источником тепла»*. Здесь, заметим, ключевым является словосочетание «токи обычного вида». Как? – разве бывают ещё токи необычного вида? Ещё как бывают – ведь Максвелл отнюдь не шутил! «Токами обычного вида» он называл перемещение заряженных частиц. Но он говорил ещё о «токах смещения», т.е. о переносе электричества без переноса вещества и без потерь на джоулево тепло. Правда, он не дал разъяснений, как такое возможно – но ток смещения входил в его уравнения на равных с обычным током. «Гении тоже иногда ошибаются», – констатировали его последователи, предпочтя не иметь никакого объяснения намагничиваемости, чем разбираться с «необычными» токами смещения. Физика, мол – наука точная! В ней всё должно быть обычно – например, как спин электрона. Хотя он до сих пор физической модели не имеет! Хотя нет ни одного экспериментального свидетельства о том, что свободный электрон спином действительно обладает! Обычное дело, чего там (см. про спин электрона в «Фокусах-покусах квантовой теории»)! Кстати, нас агитировали: уверуйте во спин электрона, и обретёте способность объяснять намагничиваемость, даже не приходя в сознание – для этого будет вполне достаточно спинного мозга!

Разделавшись, таким образом, с намагничиваемостью, физики переглянулись: «Что бы такое ещё объяснить, не прибегая к токам смещения?» Ну, вон, например – объяснили бы секреты фокусов с пьезоэлектрическими кристаллами. Ведь до чего там доходило: если грамотно тюкали по такому кристаллу, то на его противоположных гранях генерировались разноимённые заряды. Только вы не подумайте сторяча, будто в нём электрончики утекали с одной стороны и притекали к другой – в диэлектрическом кристалле этот номер не проходит. Хуже того: если бы здесь дело было в недостатке-избытке электрончиков, то грань с избытком электрончиков могла бы выдать некоторое их количество во внешнюю цепь, а грань с их недостатком – наоборот, принять их из внешней цепи. Может,

кто-то думает, что именно так и генерируется импульс тока в цепи пьезозажигалки? Ну, что вы! Никаких электрончиков пьезоэлектрический кристалл не выдаёт и не принимает. Диэлектрик же. В диэлектрике электрончики не только не могут передвигаться – там свободных электрончиков вообще нет. А в цепи пьезозажигалки – в её внешней части, из металлических проводников – свободные электрончики есть. Когда на пьезокристалле генерируются разноимённые заряды, электрончики в проводниках уматываются от отрицательно заряженной грани кристалла, и подваливают к положительно заряженной. Вот вам и импульс тока. Да, но откуда берутся заряды на гранях пьезокристалла? Ну, это хороший вопрос. Понимаете, наука к нему ещё не готова. Были, правда, попыточки изобразить всё дело так, будто от механического воздействия в пьезокристалле возникает перегруппировка заряженных частиц: протончики, мол, смещаются, преимущественно, к одной грани, а электрончики – к противоположной. Нет уж, не смешите мои тапочки: достигаемые плотности зарядов на гранях пьезокристалла требовали бы таких больших «разъезжаний» протончиков и электрончиков, при которых рассыпались бы атомные структуры, не говоря уже о кристаллических.

Аналогичные чудеса, кстати, творились и с сегнетоэлектриками – с той лишь разницей, что они могли иметь остаточную электризацию противоположных граней, сохраняющуюся без всяких внешних воздействий. И при этом, опять же, не могли ни выдать электрончиков во внешнюю цепь, ни принять их из неё. Всё это вытворялось связанными зарядами – которые генерировались и группировались загадочным для науки способом.

А ведь оно – так просто! Помните, в самом начале мы говорили про программку, которая рисовала танцующие синие и красные шарики? Так это была иллюстрация поведения свободных электрических зарядов. Вторая версия этой программки иллюстрировала поведение и связанных зарядов тоже. Парочки «синий шарик – красный шарик» связывались, конечно, чисто программными средствами. Смысл связывания был в том, что эти два шарика «подвешивались» на небольшом расстоянии друг от друга – причём, это расстояние жёстко фиксировалось. Но самое интересное: в этой сине-красной связке, цвета шариков сияли *не всё время*: когда сиял синий цвет, красный «отдыхал» - и наоборот. Частота этих сине-красных мерцаний была довольно высока, так что сами эти мерцания были незаметны невооружённым глазом. Из-за инерции зрительного восприятия казалось, что яркости синего и красного цветов в этой связанной парочке – одинаковы. Но так было тогда, когда каждый из двух цветов сиял в течение одной половины периода мерцаний и «отдыхал» в течение другой половины, когда сиял другой цвет. По-научному это называется так: «скважность прерываний цветов составляла 50%». Но скважность могла и отличаться от этого центрального значения. В таком случае, в сине-красной связке происходило нечто замечательное: синий цвет сиял, скажем, каждые две трети периода мерцаний, а красный – каждую

одну треть. То есть, в этой связке синий цвет доминировал во времени и, на глаз, сиял ярче, чем красный! И, последний штришок: такие разбалансы цвета в связанных парочках были откликом на принудительные разделения синих и красных свободных шариков, а также на их принудительные потоки. И на то, и на другое свободные шарики откликались, как мы помним, своими подвижками, а связанные парочки – разбалансами цвета. При подходящем принудительном дёргании свободных шариков, связанные парочки передавали по эстафете всплески того или иного цвета. Происходил перенос цвета без перемещения цветных шариков! У Дремучего пользователя тихо сносило остатки крыши...

Опять же, аналогия между красно-синими связками шариков и атомарными связками «протон-электрон» - довольно удачная. Но – не буквальная. Вот нам подсказывают: по логике «цифрового» физического мира, электрический заряд у частицы – это наличие у неё циклических смен всего двух состояний, «тик» и «так», происходящих с частотой, которую называют электронной (около $1.24 \cdot 10^{20}$ Гц). Электрон – это в чистом виде цепочка смен этих двух состояний, и ничего сверх этого в электроне нет. С протоном посложнее: у него электронной частотой промодулирована несущая, которая на три порядка выше, и которой соответствует на три порядка большая масса. И положительный, и отрицательный заряды – это смены двух состояний на электронной частоте, разница же между зарядами по знаку – из-за того, что у положительных и отрицательных зарядов эти смены состояний происходят в противофазе. Алгоритм, который формирует атомарные связки «протон-электрон», попеременно прерывает цепочки этих смен состояний у протона и электрона, т.е. попеременно отправляет их электрические заряды в небытие. Поэтому связанные протон и электрон не притягиваются друг к другу, и электрон не обязан пребывать в орбитальном или ином движении для того, чтобы эта связка была стабильной. Её стабильность обеспечивается автоматически: при конкретной частоте попеременных «выключений» зарядов протона и электрона, они оказываются «подвешены» на вполне определённом расстоянии друг от друга. Ну, и так далее – по аналогии. При 50-процентной скважности попеременных «выключений» зарядов в связке «протон-электрон», эта связка ведёт себя, в среднем, как электрически нейтральная. При сдвиге этой скважности в ту или иную сторону, в связке «протон-электрон» доминирует во времени тот или иной заряд. Это называют «зарядовым разбалансом». Кстати, концепция зарядовых разбалансов даёт единственное на сегодня объяснение разницы между валентными и невалентными электронами – а ведь без объяснения этой разницы не может быть и объяснения химической связи. И разница эта – совсем простая: у невалентных связок «протон-электрон» зарядовые разбалансы не допускаются, а у валентных – допускаются. Да, и главное: всплеск зарядовых разбалансов того или иного знака может передаваться от одних связок «протон-электрон» к другим и, таким образом, перемещаться в веществе, что

даёт перенос электричества без переноса вещества. Ну, вот. Как выражался один наш сокурник, «всё тривиальное – просто!»

Всё-таки, прав был Максвелл насчёт двух типов электрических токов. Есть движение заряженных частиц, а есть продвижение зарядовых разбалансов. В обоих случаях происходит перенос электричества! Причём, программы, которые управляют переносом электричества, обеспечивают и необходимые для этого превращения энергии. В кинетическую энергию заряженной частицы превращается не энергия «поля», а часть собственной энергии частицы, т.е. часть её массы. А энергия зарядового разбаланса появляется за счёт убыли энергии связи в атомарной связке «протон-электрон». Зарядовый разбаланс массой не обладает, и кинетической энергией – тоже; он безынерционен!

Эта концепция сразу же заработала на всю свою эвристическую мощь. И, в первую очередь – применительно к чему? Да к металлам! Про которые детям ещё в школе впаривают, что электричество в них переносится только свободными электронами. Бедные дети... они такие доверчивые! И ведь сразу не догадаешься, что детям впаривают полуправду – которая, как известно, хуже чем ложь. Кто бы сомневался в том, что свободные электроны в металлах есть – на это указывает хотя бы термоэмиссия, а также холодная эмиссия, т.е. вытягивание электронов из металла сильным электрическим «полем». Но много ли свободных электронов в металлах? – вот в чём вопрос. Теория тут уже давно впереди паровоза бежит – аж запыхалась. Теоретик Друде, будучи в здравом уме и трезвой памяти, клялся и божился, что для той хорошей электропроводности, какая есть у металлов, на каждый атом в металле должен приходиться один свободный электрон. Ни больше, ни меньше. Т.е., атомы в куске металла должны быть тотально ионизованы. Эх, подвела трезвая память теоретика Друде: он позабыл разъяснить – по мановению какой волшебной палочки все атомы скопом ионизируются – да при температуре не в миллиарды градусов, а при какой-нибудь там комнатной. Загадка природы! У нас в деревне в таких случаях говорят: «Листья дуба падают с ясеня...» Кстати, есть ведь металлы, атомы которых имеют всего по одному валентному электрону. Если все эти атомы отдадут по электрону ради нужд хорошей электропроводности, то у них не останется возможностей образовывать химические связи друг с другом. Тогда на чём же держится металлическая кристаллическая решётка? Теоретики выработали ответ и на этот вопрос. Будучи в здравом уме и трезвой памяти, они свистнули на помощь квантовую механику – и с тех пор клянутся и божатся, что структура металлов держится на совершенно особой связи, порождаемой газом тех самых свободных электронов. То есть, уже не вполне свободных. Видите ли, у квантовой механики – дар похлеще, чем у царя Мидаса. Всё, к чему тот прикасался, превращалось в золото – через это бедняга и кончился. А всё, к чему прикасается квантовая механика, превращается в мешок с дерьмом, вывернутый наизнанку. После такого чудесного прикосновения квантовой

механики, свободные электроны в металлах стали считаться немного связанными. Причём, каждый из них стал считаться немного связанным не с каким-нибудь одним атомом, а со всеми сразу. По-научному это звучит так: «Каждый электрон из газа свободных электронов «как бы принадлежит сразу всем атомам решётки». Понимаете? Это условно-беременной женщиной быть нельзя, а условно-свободным электроном – погрязшим в лёгких связях со всеми атомными ядрами в своём куске – можно! Была бы на то воля сочинившего сие!

Впрочем, сочинителей было несколько, и каждый из них полагал за аксиому, что остальные должны подстраиваться под него. В результате этой нешуточной подковёрной борьбы появилась на свет шуточная зонная теория твёрдого тела – которая, как договорились считать в высоконаучных кругах, объясняет хорошую электропроводность металлов. А шуточная она потому, что основана на т.н. «одноэлектронном приближении» - согласно которому, каждый электрон из газа свободных электронов взаимодействует только с ионами решётки, а остальных свободных электронов как бы нет. Очень они мешают теоретикам, эти остальные свободные электроны: если считать, что их там набирается на целый «электронный газ», то хорошей электропроводности у металлов не бывать. Другое дело – структура кристаллической решётки металла: тут, мол, без электронного газа – никак. Вы уж, дяденьки, определитесь! И, потом: не стыдно вам на электронный газ лишнее наговаривать? Он, конечно, вместе с ионами мог бы обеспечить квазинейтральность, как в облаке плазмы, но каким это образом он мог бы обеспечить жёсткую кристаллическую структуру? Вон, в той же плазме – почему там нет жёстких кристаллических структур? Высокая температура мешает, что ли? Вот незадача... а охладишь плазму, так электроны с ионами прорекомбинируют, и от электронного газа кукиш останется... Ну, до чего же нелепо Природа устроена – совсем не так, как теоретикам нужно!

«Тем хуже для Природы!» - подбадривали себя теоретики. Заладили: «в металлах электронный газ, электронный газ...» Сейчас мы покажем, какой там «электронный газ». Помните мультик про козлёнка, который умел считать до десяти? Ну, вот. В справочниках даны плотности металлов и их атомные массы. Этих данных достаточно, чтобы рассчитать средние расстояния между атомами в металлических кристаллах. А ещё в справочниках даны экспериментальные значения радиусов атомов металлов. Остаётся применить метод пристального взглядывания – и убедиться в том, что в металлах средние междуатомные расстояния близки к величине удвоенного атомного радиуса. Вот те раз! Это означает, что кристаллическая решётка металла формируется при непременном участии самых внешних атомарных электронов! Т.е. эти электроны конкретно входят в состав атомов, а не в состав электронного газа!

Дорогой читатель, заметьте: мы не говорим, что свободных электронов в металлах совсем нет. Они есть, но... короче, их очень мало. Мы даже можем сказать – насколько очень. А помогут нам в этом те самые Толмен и Стюарт,

которые изященько доказали, что свободные электроны в металлах таки есть. Хорошенько заэкранировавшись от магнитного поля Земли, они намотали на катушку длинную и тонкую медную проволоку, концы которой присоединили к гальванометру. Катушку с проволокой приводили в быстрое вращение, а потом – хряп! – резко останавливали. И гальванометр регистрировал слабый импульс тока. Деваться некуда: этот импульс тока давали заряженные частицы, двигавшиеся в проволоке по инерции после остановки вращения. А что это за частицы? Извольте: во-первых, направление импульса тока указывало на отрицательный заряд этих частиц. Во-вторых, рассчитывался их удельный заряд – он оказался таким же, как и у частичек катодных лучей. Ну, тогда однозначно, это электроны! Причём – свободные, если они там ухитряются двигаться по инерции. Всё? Нет, не всё. Ещё можно было рассчитать и количество этих свободных электронов – но Толмен и Стюарт об этом умолчали. Может, неспроста? Ведь из их данных получается, что в меди – одном из лучших проводников – один свободный электрон приходится не на десять атомов, не на сотню их и даже не на тысячу, а на полтора-два миллиона! «Беда, беда, конец концепции газа свободных электронов!»

Видите, так и есть: за редчайшим исключением, каждый электрон в металле входит в состав того или иного атома – и, значит, структура решётки держится не на газе свободных электронов, а на обычных химических связях. Впрочем, на не совсем обычных. Помните, есть металлы, у атомов которых – всего один валентный электрон? Такой атом может образовать одну химическую связь, а для поддержания трёхмерной решётки требуется, как минимум, три связи на атом. Тупик, что ли? Наоборот, выход на оперативный простор! Конечно, атом с одним валентным электроном не может образовать три связи одновременно. Но он может образовывать их попеременно, связываясь с соседями по очереди. Для этого, статусы внешних электронов в атоме должны циклически переключаться (чисто программными средствами): побыл ты какое-то время валентным, т.е. способным создать связь – передай этот статус другому, и т.д. Куча атомов с такими циклическими переключениями направленных валентностей вполне способна поддерживать трёхмерную структуру. Только химические связи в такой структуре – не стационарные, а переключаемые, и структура является динамической.

В это с трудом верится? Знаете, у нас тоже поначалу глаза были круглые. А потом как пошли потоком факты, которые объяснялись одним махом! Тут и пластичность-ковкость металлов, в отличие от хрупкости кристаллов с железобетонными химическими связями. Тут и потрясающая химическая агрессивность чистых поверхностей металлов. Тут и проникновение атомов из одного металлического образца в другой, когда они сильно прижаты друг к другу. Тут и лёгкое проникновение в подогретые металлические образцы атомов примесей, например, углерода. Тут и убийственный факт нестабильности молекул металлов: пары металлов – конкретно одноатомны. Жуть какая-то: если атом металла имеет один валентный электрон, то почему

бы двум таким атомам не соединиться в стабильненькую двухатомную молекулу? Что мешает? А то и мешает, что электроны в атомах металлов являются валентными по очереди. Если даже два таких атома ухитрятся и успеют сцепиться в молекулу, то, при первом же переключении валентного статуса, эта сцепка развалится. Между прочим, частота этих валентных переключений является важной характеристикой металла – от неё зависят его механические и химические свойства. Причём, эта частота изменяется с изменением температуры, и свойства металла – соответственно, тоже. Иногда это выглядит впечатляюще. В Антарктиде обнаружилось: при -70°C , тонкий дюралевый лист можно резким движением «порвать как бумагу», а ещё при такой температуре дюраль отлично горит на открытом воздухе!

А к чему мы заладили про валентные переключения в атомах металлов? Да к тому, что эти переключения играют ключевую роль в электронной проводимости металлов. В идеальном монокристалле металла, валентные переключения идеально согласованы. Но реальные проводники являются конгломератами микрокристалликов. На границах этих микрокристалликов, а также на дефектах их кристаллических решёток нарушается согласованность валентных переключений – поэтому эти границы и дефекты являются своеобразными генераторами свободных электронов. Если к проводнику приложено электрическое напряжение, то эти свободные электроны пытаются двигаться к аноду. Но – куда там! – тут же натываются на атомы. Это только большие учёные любят рассуждать о том, что свободные электроны движутся в кристалле, проходя сквозь атомы – ведь атомы, по-ихнему, «состоят в основном из пустоты»! Белочки и зайчики, стряхните эту лапшу со своих ушек! Отлично известно, что глубина проникновения свободного электрона в атом зависит от энергии этого электрона. Чтобы добраться до какой-нибудь внутренней электронной оболочки в атоме, свободный электрон должен иметь такую же энергию, как и энергия связи электронов в этой оболочке. Чтобы добраться до ядра, он должен иметь энергию, большую чем энергия связи у самого сильно связанного атомарного электрона! Вот почему для низкоэнергичных электронов кристаллическая структура твёрдого тела, с плотной упаковкой атомов, является непреодолимым препятствием. Иначе в природе не было бы никаких диэлектриков. Да, мол, но что же тогда отличает металлы от диэлектриков, если свободные электроны сквозь металлы всё-таки проходят? Да нестационарность химических связей и отличает, ёжики! У свободного электрона, упёршегося в атом с нестационарными химическими связями, есть шанс улучшить момент и войти в состав этого атома – с освобождением электрона, входившего в состав этого атома прежде. Этот новоиспечённый свободный электрон продвинется к аноду и тоже упрётся в атом, где сценарий замещения-освобождения может повториться – и так далее. В таком режиме – ротации кадров между свободными и связанными электронами – и будет происходить продвижение электронов к аноду. Кстати, можно сделать грубую оценку для скорости такого продвижения. Для этого

междуатомное расстояние, скажем, 3 Ангстрем, поделим на период цикла валентных переключений – частота которых при комнатной температуре, как нам подсказывают, имеет порядок 10^{10} Гц. Тогда для скорости продвижения электронов получим величину 3 м/с. Если учесть, что продвижение электронов происходит не вполне по прямым, да не через каждый атом, да не на каждый цикл переключений валентностей... и сбросить, на все эти дела, пару порядков – то в итоге получим сантиметры в секунду. Эта близко к тому, что и обнаруживается в экспериментах по определению «подвижности свободных электронов в металлах».

А теперь – ещё одна интересность. Каждый новоиспечённый свободный электрон в металле, торкнувшись в сторону анода, успеваает набрать какую-никакую энергию до того, как упереться в атом. Допустим, произошла эта тихая смена – с замещением-освобождением. Электрон, который оказался замещён, освобождён, и послан, сами понимаете, к аноду – этот электрон начинает свой путь, имея нулевую энергию. А куда девается та энергия, с которой пришлый электрон шмякнулся в атом? А она не девается, а превращается – причём, не во что-нибудь, а в тепло. Узнаёте? Это же и есть механизм выделения джоулева тепла при продвижении электронов в проводнике! Только, обращаем внимание: из этого объяснения следует, что продвижение электронов в проводнике сопровождается выделением джоулева тепла **непрерывно**. Тут академики, широко улыбнувшись, напомним нам про явление сверхпроводимости. Супер-пупер: упорядоченное движение электронов, мол, есть, а выделения джоулева тепла – нету! Это что же – приговор тому, что мы тут излагаем? Подождите, надо разобраться! Ведь здесь возможны варианты! Вдруг окажется, что при т.н. сверхпроводимости никакого упорядоченного движения электронов нет вовсе?

Вы погодите смеяться – одна минута идиотского смеха сокращает жизнь на одну минуту! Помните, мы говорили про два способа переноса электричества? Про то, как в металлах реализуется первый из них – через движение электронов – мы уже пару слов сказали. Теперь скажем пару слов про второй из них, через движение зарядовых разбалансов. У этого второго способа есть принципиальные отличия от первого. Электроны имеют какую-никакую массу, поэтому перенос электричества в металлах через движение электронов является процессом инерционным и, как мы видели выше, довольно медленным. При движении же зарядовых разбалансов не происходит переноса вещества, поэтому такой процесс переноса электричества является безынерционным, и он может происходить с сумасшедшей скоростью, достигающей скорости света. Вы спросите: где такое видано? Здравствуйте-пожалста! Да чуть не на каждом шагу! Вот двухпроводная линия, с длиной в 10 км, к дальним контактам которой присоединён конденсатор. После замыкания рубильника, подключающего источник постоянного напряжения к ближним контактам этой линии – как быстро появится напряжение на конденсаторе? Правильно: оно появится с

задержкой, равной частному от деления длины линии, 10 км, на скорость света, т.е. через 33 микросекунды. Ясно, что такое молниеносное появление напряжения на конденсаторе обеспечивается вовсе не притоком электронов на отрицательную обкладку и оттоком их от положительной обкладки – поскольку электроны продвигаются с черепашной скоростью. Хуже того: задержка на молниеносное появление напряжения не зависит от ёмкости конденсатора! А ведь если здесь дело было бы в притоке-оттоке электронов, то появление того же самого напряжения на конденсаторе большей ёмкости потребовало бы притока-оттока большего количества электронов – а, значит, и большей временной задержки. Да электротехники это хорошо знают: постоянная времени для зарядки конденсатора через приток-отток электронов равна произведению ёмкости конденсатора на омическое сопротивление цепочки. Чудненько! Так чем тогда обеспечивается молниеносное появление напряжения на конденсаторе – с задержкой, которая не зависит от его ёмкости? Будем валять дурака дальше – или, для разнообразия, допустим, что дело здесь в движении по проводам всплесков электричества, образуемых зарядовыми разбалансами? Ведь эти две зарядки конденсатора, через приток-отток электронов и через индуцирование зарядовых разбалансов, различаются не только по своим характерным временам. Результаты этих двух зарядок – при одном и том же получившемся напряжении на конденсаторе – различаются кардинально. Зарядку через приток-отток электронов можно назвать активной: такой, активно заряженный, конденсатор может дать мощную разрядную искру в воздухе при попытке замкнуть его выводы. Зарядку же через индуцирование зарядовых разбалансов можно назвать реактивной: если, как в нашем примере с 10-километровой линией, оторвать от неё конденсатор через 33 микросекунды после подачи напряжения на линию, то, не пройдя стадию притока-оттока электронов, мощной разрядной искры конденсатор не даст. Да и вообще: при движении зарядовых разбалансов по проводникам, даже джоулево тепло не выделяется. С чего ему выделяться?

Это свойство, т.е. отсутствие выделения джоулева тепла, особенно показательно проявляется в постоянных магнитах. Помните, мы говорили о нестационарных, переключаемых химических связях в металлах? При условии высокой упорядоченности этих переключений, имеет смысл говорить о миграциях химических связей в образце. Причём, эти миграции могут циклически повторяться – вдоль одних и тех же замкнутых цепочек атомов. Теперь представьте: такой образец находится под воздействием внешнего магнитного «поля». И в образце происходит нечто поразительное. А именно, внешнее «поле» индуцирует подвижки зарядовых разбалансов: их миграции происходят вместе с миграциями химических связей – вдоль тех же замкнутых цепочек атомов. Это называется: стадия намагничивания. Когда внешнее «поле» устраняют, и намагничивание прекращается, миграции химических связей продолжают, как ни в чём не бывало. Но теперь вместе с

химическими связями мигрируют зарядовые разбалансы, которые никуда не исчезли. А движение зарядовых разбалансов по замкнутым траекториям – это движение электричества по замкнутым траекториям. Т.е., это замкнутые токи, которые сами порождают магнитное «поле». Красота! Пока цел кусок металла, химические связи мигрируют. А вместе с ними мигрируют зарядовые разбалансы. Годами и десятилетиями! Что им сделается? Они же каши не просят, и на джоулево тепло себя не расходуют. Не в этом ли секрет постоянных магнетиков? Или это настолько похоже на правду, что в это невозможно поверить?

Ну, ладно, со сверхпроводимостью полегче будет. «На этот раз – только документы и только факты!» Всё, что связано со сверхпроводимостью – это особая область в физике. Фабрика грёз просто! За исследования по сверхпроводимости дали несколько Нобелевских премий, в том числе – Бардину, Куперу и Шрифферу – за ейную теорию; хотя, по статуту Нобелевской премии, она присуждается только за практические результаты. Но уж случай выдался исключительный – практичность теории БКШ оказалась выше крыши! Посудите сами. Всем, кто серьёзно искал ответ на вопрос – как это свободные электроны могут двигаться в веществе без потерь на джоулево тепло? – люди в белых халатах ставили диагноз «вывих мозга». А той троице повезло. Наверное, с ними приключилась какая-то полезная мутация – их мозги отделались лишь лёгким перегревом, выдавши желанный продукт. Вот что подарили нам эти светлые головушки: при температуре ниже критической, свободные электроны разбираются попарно и объединяются в т.н. куперовские пары. Эти-то пары и обладают, мол, чудесной способностью двигаться сквозь вещество, не встречая никакого сопротивления. Пикантная подробность из жизни куперовской пары: образующие её два электрона имеют, как утверждает теория БКШ, противоположные спины и противоположные импульсы. Оригинально! Ну, спины-то – чёрт с ними. Но если два электрона имеют противоположные импульсы, то ведь суммарный перенос электричества – нулевой! Нельзя ли с этого места – поподробнее? Оказывается, нельзя. Авторы учебников, которые упоминают про то, что компаньоны из куперовской пары имеют противоположные импульсы, тут же добавляют: «Это не следует понимать буквально». А как это следует понимать – не уточняют. То ли из-за того, чтобы не сболтнуть ещё чего-нибудь лишнего, то ли из-за того, что краткость – сестра таланта. По-любому, у читателя должно создаваться впечатление, что он имеет дело не с дурдомом, а с храмом точной науки – в лучшем смысле этого слова. Ну, как можно было не дать Нобелевскую премию за такую теорию?!

Давайте же восстановим если уж не историческую справедливость, так хотя бы историческую хронологию! Началось всё с опытов Каммерлинг-Оннеса, который исследовал электропроводность ртути при сверхнизких температурах. Делал он это топорно – замеряя гальванометрами напряжение на кусочке ртути и силу тока через него. При понижении

температуры кусочка ртути примерно до 4°K , что-то там резко в нём менялось – было похоже на то, что его сопротивление скачком падало. Но насколько оно падало – точно установить не удавалось. Намучившись с этой топорной вознёй с гальванометрами, Каммерлинг-Оннес перешёл на более продвинутую методику. Он стал делать колечки из свинца и, как ему казалось, возбуждать в них, в сильно охлаждённых, кольцевой ток электронов. Он же читал Максвелла: «при изменении магнитного потока через замкнутый проводящий контур, в нём возникает э.д.с. индукции», и т.д. Ну, вот. Если изменяющееся магнитное «поле» прикладывалось к колечку при субкритической температуре, то происходило чудо, которое толковали как возникновение кольцевого тока электронов. Который, якобы, годами (!) не затухал – поддерживалась бы субкритическая температура. Опыты это подтверждали! Только, позвольте, как они могли подтверждать, что в колечке действительно годами циркулируют электроны? Амперметр же в это колечко не встраивали. Делали проще: о наличии тока электронов судили по магнитному действию колечка. Отклоняет колечко магнитную стрелочку – значит, ток электронов в колечке есть. Годами отклоняет – значит, годами ток электронов есть! Стоп, стоп. Постоянный магнит тоже годами отклоняет стрелочку, но токов электронов в нём нет. Может, дяденьки, вы нас разыгрываете, и те самые колечки – это тоже магниты? Оказывается, это было проверено – дело-то нехитрое. Сам же Каммерлинг-Оннес сплеча и срубил сук, на котором так уютно устроился. *«Каммерлинг-Оннесу пришло в голову разрезать сверхпроводящее свинцовое кольцо... Казалось, что ток должен прекратиться; в действительности, однако, отклонение магнитной стрелки, регистрировавшей силу тока, при перерезке кольца нисколько не изменилось – так, как если бы кольцо представляло собой не проводник с током, а магнит».* Это цитата из книжки Френкеля «Сверхпроводимость», вышедшей в 1936 году. Едва ли сейчас можно разыскать экземплярчик этой книги – добрые дяди изъяли все, до которых смогли дотянуться. Ибо эта книга содержит научную тайну чрезвычайной важности: в т.н. сверхпроводящем кольце никакого кольцевого движения электронов нет.

А что же там есть – что годами отклоняет магнитную стрелочку? Намагниченность там есть, т.е. упорядоченное движение зарядовых разбалансов. Т.е., второй способ движения электричества – без переноса вещества и без потерь на джоулево тепло, но с магнитным действием. Да, но при охлаждении образца под критическую температуру происходит скачкообразный переход в режим генерации сильного магнитного «поля». Чем обусловлен этот переход? Это – ключевой вопрос! Смотрите: намагниченность обеспечивается движением зарядовых разбалансов по замкнутым цепочкам атомов. Есть ли ограничение на длину таких цепочек? Да, есть. Оно продиктовано вот чем: синхронизация валентных переключений на длине такой цепочки должна происходить за время, которое меньше периода валентных переключений. А длительность этой синхронизации равна

частному от деления длины цепочки на скорость света. Значит, период валентных переключений определяет максимально возможную длину цепочки с упорядоченным движением зарядовых разбалансов! А теперь вспомним, что период валентных переключений зависит от температуры. Чем температура меньше, тем период валентных переключений больше – а, значит, тем больше возможная длина цепочки. И вот, при одной прекрасной температуре, область возможной синхронизации разрастается на весь образец. Выражаясь научным слогом, весь образец начинает представлять собой один домен. Это и есть скачок в состояние, которое предложили называть сверхнамагниченностью. В случае замкнутого проводника, зарядовые разбалансы при этом обретают возможность циркулировать по всей его длине!

Тут внимательные читатели, конечно, заметят, что та прекрасная температура, при заходе под которую наступает сверхнамагниченность, является не характеристической величиной для конкретного материала, а зависит от размера образца – в частности, от его длины. Чем эта длина больше, тем сильнее придётся охлаждать образец, чтобы перевести его в состояние сверхнамагниченности. Неужели, мол, физики – такие идиоты, что этого не заметили? Эх, милые мои! Да кто ж вам сказал, что они этого не заметили? Ещё как заметили! Именно с этим и связана та ужасная драма, которая разыгралась в истории «сверхпроводящих» устройств!

Ведь как гладко всё начиналось! Наматывали катушечку, а два конца этой обмотки соединяли друг с другом. Получался, что называется, короткозамкнутый соленоид. В условиях слабого затравочного магнитного поля охлаждали этот соленоид ниже критической температуры – и он скачком переходил в режим генерации сильного поля. Светясь от счастья, экспериментаторы показывали публике это короткозамкнутое чудо, в котором ток тёк годами без потерь. «Видите, - втолковывали публике, - источники тока теперь на фиг не нужны! Мы их всех повыкидываем на свалку! И съэкономим миллиарды киловатт-часов электроэнергии!» От таких речей публика проникалась глубочайшим уважением к науке. Откуда публике было знать, что поддержание соленоида при субкритической температуре требует производства хладагента, а это в итоге сжигает больше электроэнергии, чем поддержание в соленоиде обычного тока проводимости. «Давайте, орлы, - рукоплескала публика, - развивайте это стоящее дело!»

Да орлы и сами понимали, что это дело стоящее, и что его надо развивать. Хочется ведь большего! Чтобы получить более сильное магнитное «поле» и съэкономить больше киловатт-часов, нужно сделать что? Правильно, нужно увеличить число витков в соленоиде, а, значит, и длину его обмотки. Да нет проблем! Берём проволочку подлиннее, наматываем, кончики замыкаем, затравочное поле включаем, соленоид подмораживаем, и... и ничего не происходит. В нескольких лабораториях проверили – воспроизводимость стопроцентная. Физики оказались в положении детей, чья любимая игрушка растаяла в воздухе прямо на глазах. «Как это? – соображали физики. – Чё это

она так? Почему это малые соленоиды переходят в режим генерации сильного поля – а большие, при той же температуре, не переходят? Материал ведь один и тот же!» С горя устроили международное совещание «по проблемам» сверхпроводимости. Собственно, проблема-то была одна, и на повестке дня стоял единственный вопрос: «Что же делать дальше?» Признаваться в том, что «мы тут все немножко лопухнулись с представлениями о сверхпроводимости», было никак невозможно. Это выглядело бы несолидно, да и скоропалительно. А надо было, чтобы выглядело так: «Наше дело правое! Электроны в сверхпроводниках как двигались, так и движутся! Экономия киловатт-часов идёт вперёд семимильными шагами!» Самым сложным в этой программе был второй пункт: как изобразить движение электронов, если они ни фиги не движутся? И, знаете, быстренько отыскалось такое изумительное решение, что и изображать-то ничего не понадобилось. Если электроны отказываются двигаться добровольно, надо заставить их двигаться принудительно! А для этого надо не замыкать концы обмотки соленоида накоротко, а присоединять их ко внешнему источнику тока! Благо, их ещё не успели повыкидывать на свалку, как публике обещали. Только, при подключённом внешнем источнике тока, не получится замкнутой сверхпроводящей цепочки. Видите ли, если залить жидким гелием источник тока, то он... в общем, тогда он плохо работает. Поэтому жидким гелием следует заливать только соленоид, как и раньше. Пусть теперь только часть цепочки будет сверхпроводящая, это не страшно! Ток в цепочке всё равно будет циркулировать годами – пока пашет источник тока! Публика-дура ни о чём не догадается – если, конечно, не тарыхтеть про внешние источники тока на каждом углу!

О, лучшие научные кадры занимались «сверхпроводящими» электромагнитами с внешними источниками тока. Пришлось решать грандиозную задачу: поддерживать веру в то, что здесь в соленоиде электроны движутся в сверхпроводящем режиме, хотя по токопроводам они движутся в режиме обычной проводимости. Между тем, имелось немало свидетельств о том, что, при внешнем источнике тока, в соленоиде течёт только обычный ток проводимости. Ну, например – подаёте вы напряжение на соленоид, который ещё не охлаждён ниже критической температуры. При этом, бесспорно, сверхпроводимости ещё нет. А вы соленоид охлаждаете, охлаждаете – и вот его температура становится субкритической. Омическое сопротивление соленоида, якобы, должно скачком обратиться в нуль. Значит, сопротивление всей цепи должно скачком уменьшиться, а ток в этой цепи, соответственно, скачком увеличиться. Так вот: никто о таких скачках не сообщал. У короткозамкнутых соленоидов скачкообразные переходы наблюдались, а у соленоидов с внешним источником тока – нет. С чего же вы, дяденьки, брали, что здесь происходил переход в сверхпроводящий режим? С того, что этот переход теория предсказывала? А на практике он – где? Вы ещё скажите, что этот наш «отдельный пример ничего не доказывает». Да неужели

этот пример – отдельный? Да неужели он – не доказывает? А вы, случайно, не из тех, которым можно что-то доказать, лишь прищепив кой-чего? Ну, ладно, вот второй пример. В случае схемы с внешним источником тока, имеется счастливая возможность измерять силу тока в цепи. А, зная геометрию соленоида, можно рассчитать напряженность магнитного «поля», которое должен генерировать соленоид при прохождении через него такого-то тока проводимости. Оказывается, что в режиме «сверхпроводимости» соленоид генерирует «поле», которое, практически, совпадает с рассчитанным через геометрию. Не означает ли это, дяденьки, что через соленоид на самом деле течёт обычный ток проводимости? Или вам и второго примера мало? Ладно, на третий вы сами напросились. Перейдя к схемам «сверхпроводящих» соленоидов с внешним источником тока, исследователи столкнулись с доселе неслыханным грозным явлением. Если прозевать момент и допустить, что ток через соленоид станет больше некоторой критической величины, то соленоид... сгорит к чёртовой матери. Этот феномен поначалу поверг лучшие научные кадры в шок. Ужас был не в том, что соленоиды сгорали. Ужасна была реальная угроза разоблачения дурилочки про сверхпроводимость – ведь сверхпроводник, с его нулевым омическим сопротивлением, по определению сгореть не может. В такой ситуации главное было не растеряться, не впасть в истерику, а проявить научное мужество и отбрёхиваться, отбрёхиваться... В общем, быстренько состряпали успокоительную теорию. Она разъясняла для тех, кто в танке, что сгорает вовсе не сверхпроводящий соленоид. Перед тем, как сгореть, он успевает превратиться в обычно-проводящий – вот он-то, подлец, и сгорает. А как происходит превращение в такого подлеца? Ну, это совсем просто. При критическом токе, в сверхпроводнике возникает ма-а-аленькая область обычной проводимости. Возникает она спонтанно. Если кто не знает, термин «спонтанно» произошёл от выражения «с понта» и, в переводе на общепонятный язык, означает «хрен знает с чего». Ну, вот, с одного понта в сверхпроводнике возникает область обычной проводимости, а с другого понта она шустро разрастается на весь образец. Это, мол, его и губит... А откуда берётся энергия на нагрев и сгорание? Ну, это ещё проще. Когда соленоид был сверхпроводящим, у него были такие запасы магнитной энергии – о-го-го! Вот эта энергия и превращается в джоулево тепло!.. О, горе, горе! Нет повести печальнее на свете! Если даже допустить, что у магнитного «поля» есть какая-то энергия, то, чтобы она быстро превратилась в другую форму, поле должно быстро ослабнуть. А для этого сила тока, генерирующего «поле», должна быстро уменьшиться. Т.е. ток, при превращении из сверхпроводящего в обычный, должен скакнуть вниз! Где вы такое видели, любезные? Скачка тока вверх при прямом превращении – обычного тока в «сверхпроводящий» - никто не заметил, хотя носом рыли. А когда понадобился скачок при обратном превращении – вот он, легко и непринуждённо! Небось, сильно на сковородочке припекло? Тоже мне, «теория критического тока». Есть версия получше. Через соленоид с внешним

источником тока течёт только обычный ток проводимости. Этот ток – неслабый. Он гораздо неслабее, чем в обычных электромагнитах. Но это просто благодаря использованию страшно низкотемпературного хладагента, который эффективно отводит джоулево тепло. Ну, а если ток возрастёт настолько, что хладагент уже не справится с отводом тепла, то соленоид и сгорит себе. Обычное дело. Это похоже на правду, в отличие от «теории критического тока». Но её сочинители не лгали – поклянутся чем угодно! Если их прижать к стенке, то выяснится, что они всего лишь добросовестно заблуждались! Знаете, для подтверждения теории «критического тока», авторы книг не стеснялись публиковать фотографии пострадавших соленоидов – с жуткими следами тепловых разрушений. Вот, мол, что бывает, если не считаться с нашей теорией! Ну, ну. С тем же успехом можно публиковать фотки порванных в клочья презервативов – для подтверждения теории о чьём-то там половом гигантизме. Не слишком ли добросовестно вы заблуждаетесь, любезные?

Вот так и живём! У короткозамкнутых соленоидов наблюдался скачкообразный переход в режим генерации сильного поля. Это был режим сверхнамагниченности, который обеспечивался движением по соленоиду не электронов, а зарядовых разбалансов – но это была хотя бы видимость сверхпроводимости. Соленоиды же с внешним источником тока не способны даже на такую видимость. Как бы они не старались. Казус в том, что, для режима сверхнамагниченности, при субкритической температуре должна быть вся цепь, а не только её часть. Так-то вот. Хорошо уже то, что про экономию миллиардов киловатт-часов никто больше не заикается. Одни лишь главные отклоняющие магниты Большого адронного коллайдера (в количестве 1232 штук) имеют многожильные титан-ниобиевые «сверхпроводящие» обмотки с длиной чуть поболее километра на каждом магните. Разумеется, эти обмотки запитываются внешними источниками тока, габариты и технические характеристики которых – не для слабонервных. Моря киловатт-часов и гольфстримы жидкого гелия... Учитесь, студенты, грамотно разводите лохов на несметные деньги!

Для сравнения: в XIX веке физика не с жиру бесилась, а в трудах и скорбях искореняла заблуждения об электрических флюидах, и укрепляла истину о том, что носителями электричества являются частицы вещества. Например, Фарадей исследовал прохождение постоянного тока через растворы электролитов. Естественно, ток в электролитической ванне обеспечивался переносом вещества к тому и другому электроду: растворённые газы весело бурлили, выделяясь на электродах в виде пузырёчков, а растворённые металлы – организованно, послойно – оседали на катоде, формируя гальваническое покрытие. Что особенно важно: прохождение определённого количества электричества через электролитическую ванну вызывало выделение на электроде совершенно определённого количества того или иного растворённого вещества. Правда, тут не последнюю роль играла ещё и

валентность этого вещества. Вмазывание в электрод некоторого количества двухвалентных частиц требовало прохождения в два раза большего количества электричества, чем в случае такого же количества одновалентных частиц. Вот когда замаячил вывод о дискретном характере электричества, т.е. об элементарном электрическом заряде!

И вот, до сих пор считается, что ток в электролитах – это движение ионов, которые как раз бывают однократные, двукратные, и так далее. Всё это здорово – но, дорогой читатель, не терзают ли вас смутные сомнения? Вот в ванне – водный раствор какой-нибудь алюминиевой соли. Алюминий трёхвалентен, и опыт подтверждает, в согласии с законами электролиза Фарадея: для осаждения на катод N атомов алюминия, требуется пропустить через ванну в три раза большее количество электричества, чем для осаждения N одновалентных атомов. Если кто подзабыл: количество прошедшего электричества определяют, измеряя гальванометром силу тока в цепи, и умножая эту силу тока на время, в течение которого ток тѣк; а количество осаждённых атомов находят, деля массу осаждённого вещества на массу одного атома. Как видно, вполне прозрачная арифметика. Которая вполне прозрачно намекает на то, что атомы алюминия в растворе и впрямь трижды ионизованы – к торжеству теории электролиза... Эх вы, фанаты мокрых технологий! Знаете, сколько составляет сумма энергий связи трёх внешних электронов алюминия? Аж 53 эВ! Это чудовищная, по химическим меркам, величина. Тепловая трёхкратная ионизация атомов алюминия, при обычных температурах, совершенно исключена. Что же это за силушки богатырские, которые делают из атома алюминия трёхкратный ион в растворе? На это академики, с сурьёзным выраженьем на лице, разъясняют – молекула соли, мол, состоит из уже готовых положительных ионов металла и отрицательных ионов остатка, и дипольные молекулы воды просто растаскивают молекулу соли на эти ионы. Ага. «Просто»! Дяденьки, вы в вузах учились или просто их окончили? Каким это образом пара тройных противоположных зарядов может быть растащена слабо-дипольными молекулами – которые ещё и друг к дружке выстраиваются «мордочкой к попке»? Или эти слабо-дипольные молекулы способны по команде напрячься, да ещё хором пукнуть? Тогда, конечно, никакая молекула соли не устоит. Только, если её таким авральным способом растащат на ионы, что же помешает этим ионам воссоединиться? «Вот это хороший вопрос, - обрадуются академики, потому что на него у них есть хороший ответ. – Каждый ион в воде окружён гидратной оболочкой. Вот они-то, гидратные оболочки, и не дают ионам воссоединиться!» Да... хорошо звучит ответ. Только, дяденьки, вы прикиньте напряжённость «поля», порождаемого ионом на расстоянии от него, равном среднему расстоянию между ионами в воде, и сравните её с напряжённостью «поля», создаваемого электродами – при которой начинает течь ток через электролит. Видите, вторая из них на много порядков меньше первой. Ну, теперь попробуйте объяснить – почему ваши хвалёные гидратные оболочки ведут себя по двойным стандартам.

А именно: пресекают воссоединение ионов, но любезно разрешают им двигаться к электродам. Сильную тягу сводят на нет, а несоизмеримо более слабую тягу – вполне допускают!

Дяденьки, если вы такое приемлете, то у вас и деревянный конь обкакается. Ну, признайтесь, что вы не понимаете, как проходит электрический ток через растворы электролитов. А то с ионами вы совсем запутались. Движением ионов электричество и вправду переносится, но где? Ну, например, в слабо ионизованных газах – желательнее в разреженных, где это особенно хорошо получается. Или в космическом вакууме – после выстрелов из ионных пушек. А в электролитах – всё по-другому. Нам подсказывают, что продуктами диссоциации там являются вовсе не ионы, а нейтральные атомы и радикалы. А вот окружающие их гидратные оболочки как раз имеют эффективные заряды. Вода – субстанция удивительная, она кишит электричеством; на этом остановимся подробнее.

Не будем перечислять аномальные физические свойства воды – список длинный. «Всё из-за того, что в воде много водородных связей», - бормочут академики, стараясь не смотреть нам в глаза. Это они не от скромности, а от непонимания того, что такое «водородные связи». Ведь если академики не понимают природу обычных химических связей, откуда у них быть пониманию необычных связей, при которых расстояния между связанными атомами в полтора раза больше обычных – т.е. эти атомы, как сказал Гоголь, *«висят эдаким чёртом, можете представить себе, без всякого, то есть, прикосновения»*. Академики, с присущей им сообразительностью, констатировали, что атом водорода в молекуле воды, оставаясь химически присоединён к своему атому кислорода, с какой-то радости связывается с находящимся поодаль атомом кислорода другой молекулы воды. Т.е., два атома кислорода из разных молекул воды оказываются связаны через «водородный мостик». Кристаллическая структура обычного льда, якобы, целиком держится на таких водородных мостиках. А жидкая фаза получается, когда часть водородных мостиков оттаивает – и чем больше их оттаивает, тем водичка получается жиже.

«Ладно», - скажем мы, но заметим: ваш «водородный мостик» должен строиться через *один* атом водорода. Подтверждается ли это структурными исследованиями? Вон же, в 1957 г. проводили нейтронографию монокристаллов тяжёлого льда. Расшифровка картин рассеяния нейтронов показала: пары атомов кислород-кислород связаны через *два* атома дейтерия. Т.е. в обычном, не тяжёлом, льду водородный мостик строится через *два* атома водорода, каждый из которых находится на химически обусловленном расстоянии от своего атома кислорода. Новость про два атома водорода в водородном мостике вогнала специалистов в ступор. Ведь если учесть, что на один атом кислорода во льду приходится четыре мостика к четырём соседям, то, в свете структурных исследований, химической формулой воды должна быть H_4O . «Нет, «аш два о» нельзя забижать, - прикидывали теоретики. – Надо

придумать чё-нить такое». И вот что придумали: в водородном мостике всё-таки один атом водорода, только он, мол, скачет зайцем туда-сюда – из одного устойчивого положения в другое. Как будто два атома кислорода играют в пинг-понг атомом водорода, понимаете? И, как будто, два атома кислорода при этом связаны. Общее занятие – оно же связывает.

Знаете, дяденьки, подобные популярные объяснения восхитительны, да вот беда: у вас вместо физики – сплошные бытовые аналогии. А ведь есть и физическое объяснение длинных связей в воде – через один атом водорода и в полном согласии с результатами нейтронного зондирования. Не может такого быть, скажете вы. Это потому, что вы погрязли в предрассудке о том, что водородные связи во льду являются стационарными. Сделайте небольшое усилие и допустите, что длинные связи являются переключаемыми, и что, на каждый момент времени, на один атом кислорода во льду приходится, в среднем, две таких связи. А чтобы так получалось, требуется сущий пустячок: чтобы четыре самые длинные атомарные связки «протон-электрон» у кислорода переводились из состояния валентных в состояния невалентных поочерёдно – так, чтобы валентными, на каждый момент времени, были лишь какие-то две из них. Делается это, опять же, чисто программными средствами. Помните, выше мы говорили, что нечто аналогичное вытворяют с атомами металлов? Но у атомов металлов валентные переключения происходят независимо от агрегатного состояния. У атомов кислорода в молекулах воды – это несколько иначе. Режим валентных переключений работает, когда в одну кучу собирается достаточное количество молекул воды. Есть мультик, в котором мартышка пристаёт с вопросами: «Три ореха – это куча? Нет? А – четыре?» С какого количества начинается куча? Так вот, для молекул воды этот вопрос решён, и отнюдь не абстрактно. Собралось вместе такое количество молекул воды, что включился режим валентных переключений, и получилась микрокапелька – значит, собралась куча молекул. И, обратно: капелька уменьшается-уменьшается из-за испарения, и вот в ней молекул становится меньше, чем куча – сразу выключается режим валентных переключений, и микрокапелька испытывает взрывное испарение!

Мы так подробно говорим о валентных переключениях в воде, потому что ими-то и обусловлены динамичность молекулярной структуры воды и её фантастические электрические свойства. Атом водорода в молекуле воды может быть химически присоединён только к валентной кислородной связке «протон-электрон». При потере этой связкой статуса валентной, атом водорода станет свободным и будет присоединён к одному из соседних атомов кислорода – через его связку «протон-электрон», которая стала валентной. Вода в конденсированном состоянии – это не конгломерат молекул, имеющих неизменный состав, а бурлящая на молекулярном уровне среда, в которой каждая молекула регулярно обменивается атомами водорода с соседями. Но это ещё не всё.

Вот полагают, что ничтожная часть молекул жидкой воды диссоциирована на ионы OH^- и H^+ . Элементарный расчёт показывает, что механизм этой диссоциации – не тепловой. «А какой же?» - с этим вопросом лучше не обращаться к науке, а то ей неудобно станет. Мы же говорим про регулярные переформирования составов молекул воды, с тотальным развалом на радикалы OH и H . Так не имеет ли эта картина некоторую электрическую окраску? Ещё как имеет! Когда кислородная связка «протон-электрон» теряет статус валентной, она на некоторое время «зависает» в состоянии максимального отрицательного зарядового разбаланса. Поэтому группа OH , остающаяся после «отпада» атома водорода, ведёт себя как радикал, имеющий элементарный отрицательный заряд. «Отпавший» же атом водорода в ответ индуцирует максимальный положительный зарядовый разбаланс – проявляя себя при этом как протон. Вот откуда берутся в воде так называемые ионы OH^- и H^+ ! Это не ионы вовсе – их электрические заряды проимитированы через зарядовые разбалансы! Вода – это своеобразная жидкая плазма, она буквально бурлит электричеством! Тут внимательный читатель заметит, что это бурление, выходит, имеет тотальный характер, затрагивая каждую молекулу воды – а на опыте обнаруживается диссоциация на ионы OH^- и H^+ лишь ничтожного количества молекул. Всё верно – но противоречия здесь нет. Концентрация ионов в растворах определяется через измерения электропроводности – при молчаливом предположении о том, что ионы являются долгоживущими. Но ведь переформирования молекул в воде происходят за характерные химические времена, около 10^{-11} с, а «ионы» OH^- и H^+ живут и того меньше. Поэтому в случае с водой, вклад в электропроводность дают лишь её тончайшие приэлектродные слои – что и приводит к чудовищному занижению измеряемых концентраций OH^- и H^+ . Зато слабый электрический ток через чистую воду возможен при малых напряжениях между электродами. Поэтому Дэви и удалось получить выделение кислорода и водорода на погруженных в воду электродах, присоединённых к вольтову столбу, который давал какую-то пару вольт. Это называется «электролиз» - разложение электричеством. Друзья, да жидкую воду не надо разлагать электричеством – она сама себя разлагает. Успевай только растаскивать продукты разложения на электроды – и будет полный ажур. Кто не верит – пусть попробует получить «электролиз» бензина при паре вольт. А мы посмеёмся. Потому что знаем, что здесь потребуется пробивное напряжение – этак, десятки киловольт. Только, дети, если вы надумаете проводить эти опыты, то имейте в виду, что вряд ли вы сделаете открытие – здесь авторское свидетельство уже выдано:

Школьник высокие вольты включил,
 В чистом бензине пробой получил!
 Долго за жизнь его бились врачи...
 От школы остались одни кирпичи...

Так вот, значит: вода кишит радикалами OH^- и H^+ - в этом и секрет её потрясающей химической агрессивности, в том числе мощной растворяющей

способности, а также коррозионного воздействия. Станным образом, водную коррозию чёрных металлов теоретики выдают за электрохимическую – через образование гальванической пары металлов и растворение того из них, который имеет более положительный потенциал. Но ведь даже дети знают, что, при контакте с водой, железо не растворяется, а превращается в ржавчину. В школе детям объясняют, что ржавчина – это гидроокись железа... Э! Так это же результат химической реакции! Те дяденьки, которые учат, что при водной коррозии происходит растворение металла, они, что – тупые? Ну, тут ответ неоднозначен. Раньше они не знали про валентные переключения в металлах и в воде. Теперь они про это знать не хотят. Пытаясь во что бы то ни стало сохранить своё невежество, они действуют вполне последовательно. Где же они – «тупые»? Наоборот, вон они какие целеустремлённые! Ну, да не для них будь сказано: радикалы OH^- и H^+ , которыми вола кишит, должны легко «садиться» на временно свободные валентные связи атомов металла, замыкая их на себя и постепенно исключая атомы металла из динамической кристаллической решётки. Так и формируется конгломерат гидроокиси. Кстати, становится понятно, почему так эффективен метод защиты от водной коррозии через создание отрицательного потенциала на защищаемом изделии – например, через подключение его к «минусу» источника постоянного напряжения. Отрицательный потенциал позволяет взаимодействовать с изделием радикалам H^+ , но не OH^- – поэтому гидроокись, при всём своём желании, образоваться не сможет.

А теперь, наконец – про чудеса в электролитах. Вот, смотрите – соли металлов. Они химически неустойчивы и гигроскопичны из-за валентных переключений у атомов металлов. Что будет, если такая соль, которая держится на честном слове, окажется в воде, кишачей радикалами OH^- и H^+ ? Да ясно, что будет: водичка быстро повыковыривает из соли атомы металла – вот и получится «растворение». Только радикалы OH^- и H^+ будут отнюдь не с равным успехом «цепляться» к атомам металла. Выше мы говорили, что заряды у OH^- и H^+ обусловлены не избытком-недостатком электронов, а зарядовыми разбалансами. Так вот: когда в атоме металла, готовом образовать химическую связь, имеет место отрицательный зарядовый разбаланс, к нему присоединился бы атом водорода с положительным зарядовым разбалансом – но этот атом водорода поворачивается к атому металла своим протоном, а не электроном, и связи не получается. Наоборот, при положительном зарядовом разбалансе в атоме металла, радикал OH^- поворачивается к нему именно электроном, и связь, с большой вероятностью, образуется. Но заметьте, что рядом с нейтральным соединением «металл – группа OH » остаётся радикал H^+ ! Если металл трёхвалентен, то рядом с нейтральным соединением «металл – три группы OH » остаются три радикала H^+ ! Конечно, связи «металл – OH » неустойчивы – из-за валентных переключений у атома металла, структура соединения «металл – группы OH » является динамической. Но в результате формируется динамический гидратный комплекс с эффективным

электрическим зарядом, порождаемым радикалами H^+ - в количестве, равном валентности металла. Этими гидратными комплексами и обеспечивается электропроводность водных растворов солей металлов. Никаких тут сказочных ионизаций – всё реалистично. Что касается водных растворов кислот и щелочей, то в первом случае в растворе оказывается избыточное количество радикалов H^+ , а во втором – радикалов OH^- . Эти сдвиги электрического равновесия и обеспечивают прохождение электрического тока. И ещё: молекулы спиртов и сахаров тоже содержат группы OH и H и отлично растворяются в воде – но эти растворы плохо проводят электрический ток. Странно? Отнюдь: при растворении спиртов и сахаров образуются одинаковые количества радикалов OH^- и H^+ - что эквивалентно добавлению чистой воды.

Надо уточнить, что выше мы говорили о постоянном электрическом токе через электролиты. С переменным током через них всё получается гораздо веселее. Неповоротливые гидратные комплексы перестают откликаться своими подвижками на переменное напряжение, начиная уже с довольно низких частот. При частотах в десятки килогерц, весь ток через электролиты обусловлен уже не переносом вещества, а максвелловскими «токами смещения» - т.е. волнами зарядовых разбалансов. На близких к нулю частотах, через водную среду прут гидратные комплексы, что оказывает механическое и тепловое действие. На высоких же частотах, за подвижками зарядовых разбалансов ничего подобного не замечалось. Это мы к тому, что человеческое тело на 75% состоит из водных растворов электролитов. И тогда понятно, почему малое, но постоянное электрическое напряжение может оказаться для человека весьма опасным, а быстропеременное напряжение, с несоизмеримо большей амплитудой, оказывается безвредным. Тесла уверял, что оно даже полезно!

Да, и вот ещё что. Говоря о фантастических электрических свойствах воды, грех умолчать о таком феномене, как структурированность воды, её «память». Это настолько антинаучный феномен, что самые невинные вопросы о нём моментально приводят академиков в бешенство. Ибо они искренне считают: то, чего они не могут объяснить, в природе не существует. А если оно всё-таки существует, то тогда только бешенство и помогает... Смотрите: структурированность воды не может сводиться к наличию в ней молекулярных комплексов, которые держатся на стационарных связях – ведь длинные связи в воде являются принципиально переключаемыми. Но эти переключения могут быть специфически упорядочены – что давало бы соответствующие электрические эффекты.

Вспомним про гидратный комплекс, в центре которого находится атом металла. Его валентные переключения приводят к тому, что нескомпенсированные заряды, имитируемые радикалами H^+ в гидратном комплексе, скачкообразно перемещаются. Должно это сказываться на динамике структурных переключений в окружающей воде? А как же! И если учесть, что скачки положительного заряда в гидратном комплексе происходят

циклически, то напрашивается вывод: от гидратного комплекса в воде должны расходиться структурные волны – пока они не потонут в шумах. Структурные волны в воде – это не шутка, дорогой читатель. Похоже, некоторые обитатели морей их неплохо воспринимают! Проводились опыты с акулами: на значительном удалении они быстро и безошибочно реагировали на появление в воде свежей крови – при том, что зрительные или обонятельные восприятия здесь были исключены. Результаты этих опытов были засекречены – чтобы не волновать академиков.

Но это – ещё что! Подумаешь – структурные волны в воде расходятся и где-то там затухают! Гораздо круче, когда источник структурных волн находится в небольшом объёме воды – и весь этот объём оказывается специфически структурирован. При осторожном разбавлении такой воды, добавленная чистая вода приобретает такое же структурирование. Этот результат повторяется при огромном количестве разбавлений. Дело доходит до «мнимых растворов» - гомеопаты подтвердят. Скажем, на десять баночек с такой водой приходится не более одной молекулы исходно растворённого вещества – а вода из каждой из этих баночек оказывает одинаковое, высоко избирательное, целебное действие. После структурирования воды, контакт с исходным веществом – уже не нужен! Более того – можно обойтись вообще без растворения в воде исходного вещества. Ведь если динамика структуры воды сопровождается электрическими эффектами, то специфическую упорядоченность этой динамики можно получить, обрабатывая воду электромагнитным излучением с соответствующим специфическим спектром. Проверено – работает! Целебный эффект – тоже во всей красе! Дяденьки академики, будете дальше валять дурака и отрицать всё это?

Впрочем, дорогой читатель, академикам и без этого досталось – когда их ткнули носом в биологические свойства талой воды. Вышло так: какие-то рядовые биологи в экспедициях чересчур впечатлились тем, что в воде вблизи тающих льдов жизнь кипит бурнее, чем обычно. Ну, и – опубликовались сдуру. Пришлось из-за них созывать конференции по «биологическому действию талой воды», выпускать сборники трудов... Даже вывод сделали: да, талая вода особо благоприятна для живых организмов, а чтобы узнать, почему это так – требуются дополнительные исследования. До сих пор эти дополнительные исследования требуются... А, можно, мы подскажем? При замерзании воды, пропадает её структурированность, в том числе и патогенная. А при оттаивании льда, талая вода является некоторое время «незамутнённой» в структурном смысле. Живые организмы, не упустите свой шанс! Кстати, едва ли не все бабушки знают, что в ночь на Крещение (на 19 января) жидкая природная вода приобретает особые, биологически благотворные, свойства. Не является ли это результатом принудительного сброса патогенного структурирования воды? В этом месте реакция академиков предсказуема – им до зарезу нужно знать, кто конкретно производит этот принудительный сброс патогенного структурирования воды. Дескать, если мы не назовём имени и

должности этого чувака, и не предъявим его характеристику с места работы, то нечего и бубнить дальше. Экие вы, дяденьки, любознательные бываете! Чувака вам сдай с потрохами! А он есть, чувак-то? Или, может, принудительный сброс патогенного структурирования воды давно проводится в автоматическом режиме? Что значит «как»? Примерно так же, как на ваших компьютерах раз в месяц жёсткий диск автоматически чистится от всяких бяк!

Уф, надо дух перевести. Видите, в разговоре про электричество применительно к металлам – без зарядовых разбалансов худо получается. Применительно к воде – то же самое. Может, хотя бы у диэлектриков электрические свойства легко объясняются без учёта зарядовых разбалансов? Ну, что вы! Вот, например, важной характеристикой диэлектрического материала является его способность к ослаблению, в своём объёме, внешнего электрического «поля» – коэффициент этого ослабления называют диэлектрической проницаемостью. При внесении диэлектрической пластины между обкладками плоского конденсатора, «поле» внутри пластины оказывается слабее «поля» в конденсаторе до внесения пластины. Каким образом диэлектрик ослабляет внешнее «поле» в пределах своего объёма? Были бы в твёрдом диэлектрике свободные заряды, они разбежались бы к противоположным поверхностям пластины – положительные к одной, отрицательные к другой – и сбацали бы ослабляющее «поле». Увы, нет в диэлектрике свободных зарядов. Но даже в такой аховой ситуации настоящие теоретики не растерялись. Прежде всего, они лихо обтяпали дельце с материалами, в молекулах которых эффективные центры положительных и отрицательных зарядов немного раздвинуты. С электрической точки зрения, такая молекула выглядит палочкой о двух концах – на одном конце сидит некоторый положительный заряд, а на другом отрицательный. По-научному такая штука и называется «электрический диполь». Свободный диполь в электрическом «поле» ориентируется против вектора напряжённости – и между концами диполя результирующее «поле» оказывается слабее внешнего. Вот счастье-то привалило! Дальше, мол, всё проще простого: дипольные молекулы в диэлектрике разворачиваются против внешнего «поля» и, так сказать, ослабляют его! Дяденьки, а вы, так сказать, чувствуете разницу между молекулами свободными и входящими в состав твёрдого тела? Может, вы полагаете, что молекулы в твёрдом теле могут свободно крутиться-вертеться по двум углам, как пассатижи в полёте? И что в твёрдом теле, построенном из таких вертлявых молекул, нет никаких межмолекулярных связей? А какие же тогда нечистые силы поддерживают кристаллическую решётку? Или расчёт был на то, что для восприятия вашей теории надо в себе дурака включить?

Да и потом – многие молекулы ведь не являются диполями. Как же ослабляют внешнее поле диэлектрики, состоящие из таких молекул? Здесь теоретиков заклинило на том, что, под действием внешнего «поля», обычные молекулы превращаются в диполи, т.е. их эффективные противоположные заряды разъезжаются – как копыта у коровы на льду. Вот вам, мол, и

дипольчики, вот вам, мол, и ослабление внешнего «поля»! Да, душевно получается. только вы, любезные, прикиньте – по вашим же замечательным формулам – насколько должны разъезжаться заряды в молекулах, чтобы обеспечивать наблюдаемые ослабления «поля». Особенно – в случае сегнетоэлектриков, у которых диэлектрическая проницаемость составляет десятки тысяч и более. У вас должны получиться чудовищные разъезжания зарядов, превышающие межмолекулярные расстояния – и это при напряжённостях «поля», ещё далёких от пробивных. Такого надругательства кристаллическая решётка не перенесла бы – рассыпалась бы в прах. Однако – не рассыпается. Чихала она на ваши баечки про то, как «поле» в диэлектрике гасят молекулы, превратившиеся в дипольчики! Кстати, согласно этим баечкам, молекулы превращаются в дипольчики во всём объёме диэлектрика – чтобы гасить «поле» мощностью всего дружного коллектива. Да, навалиться всем скопом – оно, конечно, легче. Но есть одна заковыка: всем скопом здесь наваливаться бесполезно. «Поле» между пластинами плоского конденсатора создаётся макроскопическим разделением противоположных зарядов. И ослаблено оно может быть лишь макроскопическим же разделением зарядов – например, противоположными зарядами, индуцированными на той и другой поверхностях диэлектрической пластины. Диполи внутри пластины могут быть ориентированы хоть прямо, хоть вкривь и вкось – это всё равно не даст ослабления внешнего «поля», поскольку средняя объёмная плотность заряда в толще пластины будет по-любому равна нулю. В деле ослабления внешнего «поля» придётся отдуваться только поверхностным зарядам на противоположных сторонах пластины. Для молекулярных диполей создать такие заряды – слабо. А для зарядовых разбалансов – милое дело!

И это была лишь первая часть учения о диэлектриках – о том, как они внешнее «поле» ослабляют. Это называется – так себе, «область слабых полей». А ещё есть «область сильных полей». Там всё гораздо серьёзнее – там теоретики толкуют о феномене электрического пробоя. Знаете, как пробивает твёрдый диэлектрик? Пу-пумс! – и насквозь. Само собой, без теории твёрдого тела физики блуждали бы в потёмках, наивно полагая, что свободных электронов в диэлектриках нет. А что говорит нам теория твёрдого тела? Она говорит, что твёрдый диэлектрик кишит свободными электронами, как и металл – и, как у металла, кристаллическая решётка твёрдого диэлектрика держится на электронном газе. Теории твёрдого тела по фиг – твёрдый тебе металл или твёрдый тебе диэлектрик. Вы, белочки и зайчики, спрашиваете – почему тогда диэлектрики проводят постоянный электрический ток не так хорошо, как металлы? Ну, это не для средних умов. В диэлектриках, как учит нас зонная теория, для каждого свободного электрончика, какой бы вектор импульса он ни имел, непременно есть другой свободный электрончик – с точно противоположным импульсом. Ну, чисто куперовские пары – да ещё при комнатной температуре (за это тоже можно было дать Нобелевскую премию, но её дважды за одно и то же не дают). Так вот: в диэлектрике, значит, туча

свободных электронов, которые мечутся как угорелые, но их суммарный импульс всегда равен нулю – а, значит, переноса электричества принципиально нет. Вы можете делать с диэлектриком, что хотите – бить по нему молотком, гнуть, пилить на части, нагревать или охлаждать, подавать на него «слабое» электрическое напряжение – суммарный импульс электронов останется нулевым. Что – непонятно, как такое может быть? Да физики сами этого не понимают. Чтобы было на кого спихнуть ответственность за эти чудеса, они специально распустили слух про чудище Ферми-Дирака (мы о нём уже говорили в «Фокусах-покусах квантовой теории»). Это оно, чудище Ферми-Дирака, обеспечивает нулевой суммарный импульс свободных электронов в диэлектрике. Больше – некому.

Ага! Тогда теория электрического пробоя должна быть очень проста. При подаче пробивного напряжения, чудище Ферми-Дирака перестаёт справляться со своими обязанностями, и всё! Может, пробивное напряжение его парализует. А, может, от пробивного напряжения это чудище вообще копыта откидывает. Тут такой простор для полёта теоретической мысли! Но нет, чегой-то эти перспективы не заинтересовали теоретиков. Они наплодили кучу теорий электрического пробоя, но ни одна из них не исходит из неприятностей у чудища Ферми-Дирака. Такое впечатление, что теоретики сговорились и дурака валяют – всяк на свой лад. Вот, например, что придумали: что канал проводимости в диэлектрике образуется в результате ионизации электронным ударом. Из той кучи теорий, эта особенно недурна; есть в ней для сердца физика что-то такое... к поцелуям зовущее. Конечно, есть у неё и недостатки, но они тоже – премиленькие. Вот, например: атомы в твёрдом теле упакованы плотно, и электрон, на отрезке всего лишь в междуатомный промежуток, должен был бы набирать энергию, достаточную для ионизации атома. Но для этого требуются напряжённости, которые превышают экспериментальные пробивные значения на пару порядков. Чтобы теория пробоя через ионизацию электронным ударом была в согласии с опытом, длина свободного пробега медленного электрона в твёрдом диэлектрике должна составлять несколько сотен Ангстрем – а это невозможно при плотно упакованных атомах. Что – затрудненьице? Та оно-ж легко преодолимо-ж! Теоретики привели под ручки квантовую механику – разберись, мол, всеядная ты наша – и, на всякий случай, отошли подальше. Тут же раздались хруст и довольное чавканье, а на выходе получилось то, чему и полагается в таких случаях. Мол, медленный электрон, да, не может пройти сквозь отдельный атом, но когда этих атомов много, электрон нутром чует их всех сразу, и сквозь все сразу и прёт. Проперев таким макаром положенные сотни Ангстрем и набрав энергию, достаточную для ионизации атома, электрон теряет дар чутья всех атомов сразу – потому что от души вмазывается только в один из них, отчего тот ионизируется. Смотрите-ка, стало уже два свободных электрона! Они смогут ионизовать ещё два атома, и так далее. Возникнет электронная лавина, забодай её коза! Это же и получится электрический пробой! Только, тью ты, опять неувязочка из кармана вылезит.

Первичный-то электрон может инициировать лавину, начиная с любого места в толще образца. Но никто никогда не наблюдал такого канала пробоя в твёрдом диэлектрике, который начинался бы где-то из середины образца – этот канал всегда начинается на его поверхности! Мистика какая-то... Да и вообще, теория пробоя через ударную ионизацию, когда затравочных свободных электронов можно пересчитать по пальцам одной руки, насмерть обижает зонную теорию, по которой даже непробитый диэлектрик кишит свободными электронами. Где же уважение к достижениям предшественников? Или, пардон, зонная теория – это и не достижение вовсе? А чего ж её до сих пор в вузах преподают? Без неё – студентам скучно, что ли?

Эх, дорогой читатель! Давайте снова вспомним про концепцию зарядовых разбалансов. Вы спросите – как она поможет объяснить электрический пробой твёрдого диэлектрика? Отвечаем: легко! И, к тому же, без мистики! Выше мы говорили, что в твёрдом теле, из-за плотной упаковки атомов, невозможно направленное движение электронов, которые оставались бы свободными. Даже в металлах, продвижение электронов к аноду происходит в режиме «ротации кадров» между свободными и связанными электронами. Чтобы диэлектрик стал проводником, в нём тоже следует создать возможность для такой «ротации кадров». Потому что в диэлектрике этой возможности нет. Например, кристалл со стационарными химическими связями, где совсем нет свободных валентностей – хороший диэлектрик. Есть и другие диэлектрики, например, оксиды металлов. Не странно ли это? – ведь в их состав входят атомы металла, которые испытывают валентные переключения! Нет, не странно: при хорошей упорядоченности этих переключений, ни одна валентность не остаётся свободной так долго, чтобы стать ловушкой для постороннего электрона – так что режим «ротации кадров» здесь тоже исключён. Вывод: для электронной проводимости требуются долгоживущие (по атомным меркам) свободные валентности. А для этого надо делать с диэлектриком что? Правильно: рвать в нём химические связи!

И зарядовые разбалансы, при пробивном напряжении, с этой задачей отлично справляются. Напоминаем: внешнее электрическое «поле» в диэлектрике ослабляется из-за того, что разноимённые зарядовые разбалансы индуцируются на его противоположных поверхностях – в нескольких атомных слоях. При этом, в самом внешнем атомном слое индуцируются самые сильные зарядовые разбалансы, в следующем под ним слое – зарядовые разбалансы немного послабее, и т.д. Это называется «градиенты зарядовых разбалансов». Чем сильнее внешнее «поле», тем сильнее индуцированные зарядовые разбалансы, и тем сильнее их градиенты – в этом и секрет фокуса. Дело в том, что химическая связь стабилизируется циклическими перебросами кванта тепловой энергии из одного из связанных атомов в другой, и обратно. А зарядовые разбалансы тоже имеют энергию. И если, в условиях градиента зарядовых разбалансов, разность соответствующих энергий у связанных атомов становится такой же, как энергия теплового кванта – химическая связь

оказывается нестабильна. Всё! В этом и смысл пробивного напряжения. Формула для него, полученная на основе этой модели, неплохо работает. Заметьте: химические связи начинают рваться там, где градиенты зарядовых разбалансов самые сильные – т.е., на поверхности. Вот почему канал электрического пробоя всегда начинается с поверхности. Можно спросить: как же этот канал развивается в толще диэлектрика, ведь там зарядовых разбалансов нет? Смотрите: игольчатая оконечность растущего канала проводимости является источником «сильно неоднородного поля» и сама способна разрывать химические связи. Всё честно! На основе этой модели предложена технология создания мультислойного металл-диэлектрического супер-изолятора – который, при толщине в 100 микрон, держал бы постоянное напряжение, которое держат лучшие твёрдые диэлектрики, имея толщину в сантиметры!

Да уж, постоянное напряжение! Говоря про электрический пробой твёрдых диэлектриков, мы имели в виду именно постоянное пробивное напряжение. В случае же переменного напряжения, диэлектрики и пробивать-то не надо – они прекрасно проводят переменный электрический ток с помощью волн зарядовых разбалансов. Более того: они его проводят прекраснее, чем металлы – ведь здесь не путаются под ногами свободные электроны, и нет потерь на Джоулево тепло. Используя источник достаточно высокочастотного и достаточно высоковольтного напряжения, можно передавать «электрическую энергию» по чисто диэлектрическому проводу. Кто не верит – проверьте!

А мы пока окунёмся в ещё одну дивную область – учение о полупроводниках. Это – полный балдёж. Главное, полупроводниковые устройства работают! А теоретики бьются-бьются – да так и не понимают, как такое получается. Но, чтобы никто об этом не догадался, они нагромодили мощные теоретические дебри – с капканами, ловушками, перешibaющими хребет брёвнами и волчьими ямами. Чужак сунется – сильно пожалеет.

А всё – почему? Опыт подсказывает: происходящее в полупроводниках просто объясняется при допущении мобильных зарядов, которые остаются связанными – а при допущении только свободных зарядов, придётся множить маразм и доводить его до абсурда. Ох, как же благодарны теоретики опыту за эту подсказку! Без неё они могли докатиться до простых объяснений! Вот был бы позор на всю науку...

Короче, теоретики зарубили себе на носу: переносить электричество в полупроводниках могут только свободные носители заряда. В случае с металлами, вполне обходились балладами о свободных электронах. А, в случае с полупроводниками, пришлось пополнять балладный запас. Всё – из-за Холла, которого что-то торкнуло так, что он свой эффект открыл. Смотрите: направление тока через образец определяется внешней разностью потенциалов. Если ток создаётся отрицательными носителями, то в поперечном магнитном поле они сносятся к той же боковой грани образца, к которой сносятся и

положительные носители, если ток создаётся ими. Поэтому холловская разность потенциалов однозначно говорит о знаке заряда доминирующих носителей. И оказалось, что в доброй половине полупроводниковых материалов доминируют носители положительного электричества. Шайтан какой-то!

Думали-думали теоретики, что же это за свободные носители положительного заряда, да так ничего и не придумали. Но, для порядка, они назвали этих носителей «дырками» и принялись развивать теорию электронно-дырочной проводимости. Спросим эту теорию – а, всё-таки, что такое «дырка»? Спой, светик, не стыдись! «Сначала я молчать хотела, - начнёт издали эта теория. – Потом я к выводу пришла...» Короче, если пропустить рассказ про изгибы психики этой теории, то вывод поначалу был такой: дырка – это отсутствие внешнего электрона в атоме кристаллической решётки. Очаровательно! При виде дырочки, у электрончика в соседнем атоме глазёнки-то загораются, и он без разбега «легко перескакивает» в неё – позабыв, что в прежнем атоме его удерживала энергия связи. Ну, всё как у людей! Электроны тоже «кое-где у нас порой» чихают на высокую мораль. В результате цепочки таких аморалок (дурной пример-то заразителен), дырка способна перемещаться из атома в атом и мигрировать по образцу, подчиняясь внешним «полям». Складно? Да где там! Во-первых, здесь всё-таки движутся электроны – но так, как будто во встречном направлении движется положительный заряд. А ведь холловская методика одним пинком расшвыривает все эти «как будто», «как бы», «вроде бы». В холловской методике ток электричества одного знака никоим образом не сводится к противотоку электричества другого знака. Во-вторых – какие же это свободные носители, ваши «дырки», если они принципиально локализованы в атомах? «Потом я всё пересмотрела, - продолжает петь теория. – И вывод сделала иной...» Короче, если опять отбросить чешую и шелуху, то дырка – это незанятое электроном состояние в энергетической зоне. О, как! Во-первых, бессмысленно говорить о том, где такая дырка находится, ведь энергетическая зона «работает» во всём кристалле, и любое в ней состояние – тоже. Во-вторых, свободное квантовое состояние не обладает электрическим зарядом. Как переносится электричество беззарядовыми штучками, о локализации и движении которых говорить бессмысленно – это только больше теоретики понимают. Точнее, они делают вид, что понимают. А полупроводниковые устройства работают независимо от того, насколько сильно эти дяди щёки надувают.

Тут теоретики обидятся. «Опыт показывает, что у дырки даже масса есть, - заявят они. – Про циклотронный резонанс, небось, не слышали?» Вот те раз! Да в нашей деревне про него частушки поют:

Дырки, глянь, в магнитном поле
Хороводы водят, что ли?
Получили, стервы, шанс –

Циклотронный резонанс!

Нашенские частушки – это не абы что, это пласт народной мудрости! Кстате, хотите частушку про коллайдер? Её, правда, почти всю придётся «запикивать», лишь четыре слова и останется... Ну, хорошо, в другой раз. Вернёмся к вашим дыркам и посмотрим, что там циклотронный резонанс «показывает». Действительно, в магнитном поле свободные заряженные частицы выписывают окружности, ортогональные вектору магнитной индукции. Выписывают они их с циклотронной частотой, в выражение для коей входит масса частицы. Как же нам везёт: узнав циклотронную частоту, мы узнаем эту массу! А частота находится по резонансному поглощению СВЧ-волны. Ну, вот, помещают в магнитное «поле» твёрдый диэлектрик и полагают, что свободные электроны и дырки начинают в нём хороводы водить, аки в вакууме. Куды ж, мол, деваться – пики-то резонансного поглощения СВЧ конкретно наблюдаются! Только эти пики немного чудные: для электронов и для дырок получается не по одному пику, а по целому набору. Приходится классифицировать электроны и дырки по массовым категориям – почти как боксёров. Представляете – вот дырки легчайшей массовой категории! А вот дырки с первой полусредней массой! А вот – дырки-супертяжеловесы! Но ведь опыт «показывает» ещё больше – если бдительно присмотреться. Оказывается, при повороте образца относительно вектора магнитной индукции, пики резонансного поглощения СВЧ сдвигаются, и все те разношёрстные массы дырок получают плавающими. Узнав об этом, теоретики пришли в неопикуемый восторг и сделали вывод: массы свободных электронов и дырок в полупроводниках являются тензорными величинами. Это означает, белочки и зайчики, что масса той же полусредней дырки не равна какому-то одному значению, а зависит от направления. Нет, не от направления движения, и не от направления действия силы – а просто от направления. Непонятно? Сейчас Буратино вам пояснит. Помните, Мальвина давала ему урок арифметики: «У вас в кармане два яблока...» А он бы ей в ответ: «Врёте! У меня в кармане – ха-ха! – на север – одно яблоко, на восток – три, а вверх – аж три с половиной!» А она: «Ах!.. Артемон, Артемон! Отведи этого Дуремара... то есть, этого гадкого мальчишку в чулан!»

Высокая наука, что с неё взять... Даже детям, которые «академиев не кончали», понятно, что не могут свободные электроны выписывать кренделя в диэлектрическом кристалле! А вот зарядовые разбалансы – могут. Причём, как отрицательные, так и положительные. В условиях магнитного «поля», они мигрируют себе по замкнутым цепочкам атомов. Если атомы образуют кристаллическую решётку, эти цепочки миграций могут иметь дискретные длины, к тому же зависящие от ориентации кристалла относительно вектора магнитной индукции – с соответствующими частотами кручения-верчения по этим цепочкам. Вот вам и набор плавающих пиков поглощения СВЧ. И тензорными массами не надо маяться. Лепота!

Ну, у кого-то – лепота, а у кого-то – слепота. Если образец демонстрирует отрицательную холловскую разность потенциалов, то считается, что в нём доминируют свободные электроны. А если положительную, то – «свободные дырки». В первом случае говорят: «полупроводник *n*-типа», а во втором – «*p*-типа». Хорошо известно, что электропроводность полупроводников растёт с увеличением температуры. «Это потому, - объясняют теоретики, - что свободных носителей становится больше». Свежо страдание, а лечится с трудом! Честный процент термической ионизации атомов в образце на порядок меньше того, который обеспечивал бы электропроводность чистых полупроводников. Пришлось опять прибегать к методам высокой науки. Нас уверяют, что у атомов, образующих полупроводник, энергия ионизации на порядок меньше, чем у тех же атомов в свободном состоянии. Такой ход мысли понятен. Только, любезные, у вас получается, что, при образовании полупроводникового кристалла из отдельных атомов, бесследно исчезает почти вся энергия связи самых внешних атомарных электронов – по несколько электрон-вольт на атом. Это гораздо больше, чем, например, превращения энергии при детонации. И никто не возражает!

А ведь с чистыми полупроводниками – это ещё пустячки, мелкие недоразумения. «По-взрослому» всё начинается у легированных полупроводников. Примеси, которыми их легируют, они – о-го-го какие! Они могут кардинально увеличить электропроводность образца! Как они это делают? Да возьмите первый попавшийся учебник по полупроводникам, и он сам откроется на нужной странице. Значит, так: если материал из четырёхвалентных атомов легировать пятивалентными атомами, то они встроятся в решётку, задействовав только по четыре своих валентных электрона. Оставшиеся же пятые могут быть «легко оторваны» и сделаны свободными носителями. Вот вам, мол, резкое увеличение проводимости *n*-типа. Стоп! После «лёгкого отрыва» электрона, в атоме-то остаётся дырка! Разве она не даёт вклада в проводимость *p*-типа? Это как в детских играх, что ли: новые свободные электроны «играют», а новые дырки – «не играют»? О, Господи, читаем дальше: если тот же материал из четырёхвалентных атомов легировать трёхвалентными атомами, то они встроятся в решётку, задействовав все свои валентные электроны, но при этом у них будет не хватать по одному электрону, чтобы образовать по четыре связи с соседями. Вот вам, мол, готовые дырки, которые дают резкое увеличение проводимости *p*-типа. Стоп! Какие же это «дырки», если все электроны – в атомах, и ни один атом не ионизован? Дяденьки, на кого рассчитана эта концепция примесной проводимости – на ваших бабушек, что ли? «Эта концепция, - с нордическим спокойствием парируют академики, - надёжно подтверждена опытом. Легирование кремния и германия пятивалентными элементами даёт резкое увеличение *n*-проводимости, а легирование их трёхвалентными элементами даёт резкое увеличение *p*-проводимости!» Ну, ну. Повезло же вам, что есть на свете такие аномалии: кремний да германий. С ними всё получается так, как в

учебниках написано. А про полную картину вы в курсе? Нехорошо внушать нам правило: примеси с большей валентностью, чем у главных атомов, дают проводимость n -типа, а с меньшей валентностью – p -типа. В доброй половине случаев это правило по-наглomu не работает!

А, знаете – почему? Для электропроводности полупроводника всё равно – легировать его атомами с большей или меньшей валентностью. Результат-то один и тот же: гарантированное наличие свободных валентностей. А на каких атомах эти свободные валентности висят – на примесных или на основных – это неважно. Важно лишь общее количество свободных валентностей: чем их больше, тем лучше электронная проводимость. А про дырочную проводимость лучше поскорее забыть. Потому что нет её в природе. Да и не нужна она совсем. Не верите? Ну, возьмите вы образец кремния, легированного бором или индием – со стопудовой p -проводимостью. Без дырок тут – никак, да? Ну, подайте постоянное напряжение на этот образец. Через него потечёт ток – не такой сильный, как через металл, но всё-таки. Теперь поменяйте полярность приложенного напряжения. Через образец снова потечёт такой же ток, только «в обратную». А теперь прикиньте: по металлическим проводам в вашей цепочке двигаются только электроны, правда ведь? И сила постоянного тока сквозь любое поперечное сечение замкнутой цепочки одна и та же, не так ли? Сколько входит электронов в ваш p -образец в единицу времени, столько же их и выходит. Значит, и в самом p -образце в данном случае проводимость электронная. Какой же ей ещё быть? Всё тот же режим – «ротации кадров» между свободными и связанными электронами!

Надо всё-таки сказать, почему электропроводность полупроводников лучше, чем у диэлектриков (непробитых), но хуже, чем у металлов. Дело – именно в количестве свободных валентностей – большем, чем у диэлектриков, но меньшим, чем у металлов. Спрашивается: откуда берутся свободные валентности при правильной кристаллической решётке у беспримесного полупроводника? Напрашивается ответ: химические связи здесь не вполне стационарны – они, чисто программными средствами, по очереди рвутся в принудительном порядке! Из-за цикличности этого процесса, имеет смысл среднее время, в течение которого валентности и остаются свободными. Отсюда немедленно следует наличие полосы оптического поглощения у полупроводников! При облучении даже образца p -типа светом, попадающим в его полосу поглощения, сопротивление образца для посторонних электронов резко уменьшается – так работают фоторезисторы. А всё потому, что возбуждённые свободные валентности шустрее управляются с «ротацией кадров» электронов, отчего для них увеличивается пропускная способность образца.

И ещё один секрет – для полупроводников программно обеспечена возможность превращения энергии возбуждения атомов в энергию зарядовых разбалансов! Для одних элементов предписано, чтобы зарядовые разбалансы получались отрицательные, а других – чтобы положительные. Собственно,

потому и существуют полупроводники *n*-типа и *p*-типа. Мобильное электричество в виде зарядовых разбалансов, отрицательных и положительных, играет ключевую роль при работе полупроводниковых диодов, т.е. пар образцов *p*- и *n*-типа, контактирующих друг с другом весьма плотно, через химические связи – и образующих, таким образом, *p-n*-переход.

Вот, например, для выпрямления переменного тока широко используется то свойство *p-n*-перехода, что он хорошо пропускает ток при прямом напряжении, т.е. при подключении *p*-области к «плюсу», а *n*-области к «минусу», и плохо пропускает ток при обратном напряжении. Почему? Смотрите: при прямом включении, отрицательные зарядовые разбалансы в *n*-области мигрируют от «минуса», т.е. к *p-n*-переходу. С другой стороны, положительные заряды в *p*-области мигрируют от «плюса» - тоже к *p-n*-переходу. В итоге, в области *p-n*-перехода те и другие, практически, компенсируют друг друга. И напряжённость «поля» в материале диода определяется, практически, разностью потенциалов на его электродах. Если эту разность потенциалов поделить на сопротивление материала диода, то получится сила тока посторонних электронов через диод. При обратном же включении, картина совсем другая. Теперь отрицательные зарядовые разбалансы в *n*-области мигрируют к положительному электроду, а положительные заряды в *p*-области – к отрицательному электроду. Концентрируясь в приэлектродных областях, они ослабляют напряжённость «поля» в материале диода, создаваемую внешним источником напряжения. Сопротивление материала диода остаётся прежним, а напряжение – по сравнению со случаем прямого включения – становится меньше. Поэтому и ток через диод при этом меньше. До смешного просто.

Ой, а ещё смешнее полупроводниковый диод с *p-n*-переходом работает как солнечная батарея. При облучении светом, попадающим в полосу оптического поглощения, он создаёт электродвижущую силу, способную поддерживать слабый постоянный ток в замкнутой цепи. Здесь ток – это, опять же, ток посторонних электронов, которые входят в *p*-область и выходят из *n*-области. Почему так получается? Академики полагают, что свет обладает волшебным свойством: действуя на *p*- и *n*-области, он увеличивает в них количество «свободных носителей». В *n*-области, якобы, от света увеличивается количество свободных электронов, а в *p*-области – увеличивается количество «свободных дырок». Как такое получается в электрически нейтральных кусочках – об этом академиков лучше не спрашивать, чтобы не расстраивать их до слёз. Хотя – тока-то всё равно не получится. Свободные электроны из участка внешней цепи, прилегающей к *p*-области, будут, конечно, ломиться в эту область. Но в эту область будут ломиться и свободные электроны из *n*-области. А встречные токи в фотодиоде – это не то, что нам нужно. Чтобы фотодиод работал как насос, перекачивающий электроны, какие-то силы и в *p*-области и в *n*-области должны двигать электроны в одну и ту же сторону. Эти силы берутся вот

откуда. Свет, из полосы оптического поглощения, продуцирует не свободные носители электричества, а зарядовые разбалансы – положительные в p -области и отрицательные в n -области. Они мигрируют навстречу друг другу, нейтрализуя друг друга в области p - n -перехода, а их энергия превращается в другие формы (например, в тепло). Теперь, внимание: свободные электроны в фотодиоде должны двигаться так, чтобы, по возможности, компенсировать эти токи зарядовых разбалансов. Значит, в p -области электроны должны двигаться попутно с положительными зарядовыми разбалансами, а в n -области – навстречу отрицательным зарядовым разбалансам. Вот и получается сквозное движение свободных электронов через освещаемый фотодиод!

Ну, и ещё один фотоэлектронный прикол: работа полупроводникового лазера. Если прямой ток через p - n -диод превышает пороговое значение, то зона p - n -перехода излучает свет с длинами волн из полосы оптического поглощения. Теоретики долго думали – как бы объяснить это чудо, да посмешнее. В итоге, успех пришёл. Дескать, свет здесь рождается в результате излучательной рекомбинации электронов и дырок. Это – по-научному. А по-простому это так: свободный электрон плюхается в дырку и становится связанным. При этом, вроде, и вправду должен излучаться свет – как при рекомбинации положительных ионов с электронами. Только, позвольте, при такой генерации света уменьшалось бы число свободных носителей электричества! А откуда брались бы новые, им на смену, чтобы в цепи поддерживался постоянный ток?! Источник тока – он ведь не впрыскивает в цепь всё новые и новые электроны, он всего лишь перекачивает электроны с анода на катод. Ну, дела... Да, и ещё, позвольте заметить: «рекомбинация электронов с дырками» возможна не только в зоне p - n -перехода, но и во всём объёме p -области. Увы – похоже, в объёме p -области «дырки» какие-то ненастоящие, потому что светит только зона p - n -перехода. Да и вообще: пускайте ток через монообразец p -типа – пусть там электроны всех дырок до смерти зарекомбинируют. То-то свету будет! Но, нет, здесь электронам для полного счастья категорически не хватает p - n -перехода – без него ни фига не получается. Грустно, дяденьки...

А не вспомнить ли нам опять про зарядовые разбалансы? Да с удовольствием. Когда, при сильном прямом токе, посторонние электроны продираются сквозь материал полупроводникового диода, они ударно возбуждают атомы. В p -области, энергии возбуждения превращаются в энергию положительных зарядовых разбалансов, а в n -области – в энергию отрицательных зарядовых разбалансов. Эти превращения особенно эффективны для энергий возбуждения, соответствующих полосе оптического поглощения. Дальше получается вот что: подчиняясь приложенному прямому напряжению, зарядовые разбалансы мигрируют к p - n -переходу. И некоторые тамошние атомы оказываются в состоянии, которое по-простому называется «ни то, ни сё». А именно: в одной из атомарных связок «протон-электрон», со стороны p -области, оказывается положительный зарядовый разбаланс, а в

другой, со стороны n -области – отрицательный зарядовый разбаланс. Это – непорядок. Он быстренько исправляется: делается сброс энергии этих противоположных зарядовых разбалансов – через превращение её в световую энергию. Отполировать две боковые граньки кристалла, чтобы получился резонатор – и свет будет не простой, а лазерный. Делов-то!

Опять же, это речь шла про постоянные токи в полупроводниках, когда подвижки посторонних электронов играют заметную роль. При переменных же напряжениях, подвижки электричества в полупроводниках, начиная с некоторых частот, обеспечиваются только зарядовыми разбалансами. Не подозревая об этом, исследователи приходят к выводу о сумасшедших подвижностях свободных носителей. Доходит до того, что при попытке объяснить эти сумасшедшие подвижности, у теоретиков захватывает дух, и они затрудняются сделать выбор – то ли петь про туннельный эффект, то ли про сверхпроводимость. Версии-то – одна другой краше! Одна другой высоконачнее!

А у нас – всё по-крестьянски. Везде, где есть связанные заряды, электромагнитные явления становятся до неприличия понятными, если учитывать то, что вытворяют зарядовые разбалансы. Кстати, радиоволна, например, в воздухе – это не что иное, как волна зарядовых разбалансов в атомах. А в пространстве между атомами – от радиоволны ничего нет! Может, кому-то покажется, что мы под конец совсем свихнулись? Нет, мы-то свихнулись не совсем – по сравнению с теми, кто учит нас, что радиоволна, при распространении, вызывает колебания индуцируемых электрических диполей в молекулах, а также переориентации молекул с готовыми диполями. Такое было бы возможно, если частота радиоволны превышала бы среднюю частоту столкновений молекул в воздухе. Иначе, из-за столкновений, молекулярные диполи не успевали бы отрабатывать даже одного периода колебаний на радиочастоте – и воздушная среда не давала бы отклика на радиоволну. Однако, даже для низкочастотных радиоволн, отклик воздушной среды, безусловно, есть – поскольку скорость этих радиоволн зависит, в том числе, от температуры, давления и влажности этой среды. Значит, радиоволна проявляет себя в воздушной среде вовсе не через трепыхания молекулярных диполей.

Смотрите: если в воздухе находился бы уединённый шарик, заряд которого изменялся бы по синусоиде на некоторой радиочастоте, то происходило бы следующее. Изменяющийся заряд шарика индуцировал бы изменяющиеся зарядовые разбалансы в веществе окружающего воздуха – которые устанавливались бы с некоторым запаздыванием. Это запаздывание определялось бы быстродействием алгоритмов, которые рулят зарядовыми разбалансами. В результате, пока работал бы этот чудо-шарик, от него расходились бы волны знакопеременных зарядовых разбалансов в воздухе. Это и были бы радиоволны, Они, кстати, отнюдь не поперечны, потому что ничего в них не болтается поперёк направления распространения.

Нам возразят, что настоящие-то радиоволны как раз поперечны, и укажут на феномен поляризации радиоволн – который эту поперечность, якобы, доказывает. Увы: феномен поляризации радиоволн обусловлен тем, что реальные источники радиоволн принципиально отличаются от уединённого шарика с переменным зарядом. В реальных источниках дело не обходится без электрических токов. Вот, например – вертикальный штырь, по которому генератор гоняет сгустки электричества вверх-вниз. В окружающем воздухе подвижки зарядовых разбалансов будут иметь только вертикальные компоненты. Вертикальная штыревая антенна сможет дать на них отклик, а горизонтальная – нет. Вот и весь «феномен поляризации». Он не доказывает ни поперечности радиоволн, ни их самостоятельной сущности, не сводимой к процессам в веществе. Кстати, при колебаниях и подвижках зарядовых разбалансов не происходит колебаний и подвижек вещества – поэтому зарядовым разбалансам нипочём столкновения молекул. Вот почему в случае радиоволн нет частотного порога на отклик воздушной среды.

И ещё: как и при распространении света, при распространении радиоволны, т.е. волны зарядовых разбалансов, не происходит переноса энергии в пространстве. Происходят лишь перераспределения различных форм энергии в веществе – например, энергия связи атомарных электронов превращается в энергию зарядовых разбалансов, и обратно. Всё – по физическим законам, т.е. по программным предписаниям. Трудно поверить, что радиоволна не переносит энергию, правда? Понимаем. Слишком сильна иллюзия того, что свободные заряды в окружающем антенну пространстве начинают бегать оттого, что антенна излучает энергию, которую даёт ей генератор, который, в свою очередь, берёт её из энергосети, причём – что для некоторых особенно убедительно – за эти киловатт-часы приходится платить. Но до тех пор, пока физика будет цепляться за подобные иллюзии, будет актуальна старая студенческая хохмочка:

- Что такое электрический заряд? – спрашивает экзаменатор.
- Я знал, но забыл, - мямлит студент.
- Эх, какая потеря для науки! Один лишь человек знал, да и тот забыл!..

По материалам сайта «Наброски для новой физики», <http://newfiz.info>.