



МАГНИТЫ, РАДИО, ЭЛЕКТРОНЫ и ЯДРА

Окончание. Начало в «Квантике» № 1, 2021

– Оставалось непонятным самое главное: как устроены сами атомы. До тех пор, пока – почти век спустя – Джозеф Томсон не открыл электрон.

– А как можно было его открыть? Он его увидел?

– Нет, он исследовал его «поведение», и этого оказалось достаточно. Он изучал так называемые катодные лучи – по сути, электрический ток в разреженном газе. «Лучи» – то есть что-то похожее на свет, какое-то электромагнитное излучение, так долго думали. А он смог измерить их скорость, и она оказалась намного меньшей скорости света – значит, это не электромагнитное излучение, а поток частиц. Эти частицы несли электрический заряд, и их свойства не зависели от того, из какого вещества они вылетают. А значит, они есть в любом веществе. И появилась первая серьёзная модель атома: атом – как пудинг (то есть пирог), по которому «размазан» положительный заряд, а в нём, как изюминки, плавают отрицательно заряженные электроны. Её так и назвали – моделью пудинга, или моделью Дж. Томсона.

– В физике бывают и съедобные модели!

– Да только эта долго не продержалась. В те же годы Анри Беккерель открыл радиоактивность, а Эрнест Резерфорд обнаружил в составе радиоактивного излучения положительно заряженные частицы – он назвал их альфа-частицами. И, облучая ими металлическую фольгу, увидел, что иногда (хотя и очень редко) частицы не проходят через неё, а отражаются. Но если вещество состоит из атомов-пудингов, это невозможно! Представьте, что в пирог попадает пуля; конечно же, через рыхлое тесто она пройдёт без проблем. Отскочить назад она сможет, лишь наткнувшись на какое-то плотное препятствие – например, монетку, запрятанную в пудинг. Выходит, вещество в атоме не может быть «размазано» в пространстве как тесто; оно собрано в очень маленькие плотные «ядра». Положительные ядра и отрицательные электроны – вот из чего состоит вещество.

– То есть вместо пудинга получается смесь гороха и чечевицы, как у Золушки?

– Не совсем. Уже тогда хорошо знали, что если собрать вместе несколько заряженных частиц, они не смогут просто так удержаться вместе неподвижно – либо разлетятся в разные стороны, либо будут вращаться друг вокруг друга. А раз атомы стабильны, то есть не распадаются сами по себе на ядра и электроны, в них электроны должны вращаться вокруг атомов – примерно как планеты вокруг Солнца.

– А, так это и есть планетарная модель атома?! Мы такие на картинках видели. А ещё скульптуру – помнишь, Вить, на каком-то большом шоссе?

– Точно! Шарик, а вокруг него орбиты с шариками поменьше. Только забыл, где это было.

– Такие памятники есть в Москве, Обнинске, Зеленограде, Волгодонске, Каменске-Уральском, Новосибирске и во многих других местах, связанных с ядерной физикой. А теперь вспомните, о чём мы с вами говорили чуть раньше: электрический ток, бегущий по кругу, ведёт себя как магнит. Но ведь электрический ток – это движение заряженных частиц. А значит, заряженный электрон, вращающийся вокруг ядра, – это кольцевой электрический ток, и он превращает атом в маленький магнит! А как ведут себя магниты, оказавшиеся рядом?

– Притягиваются!

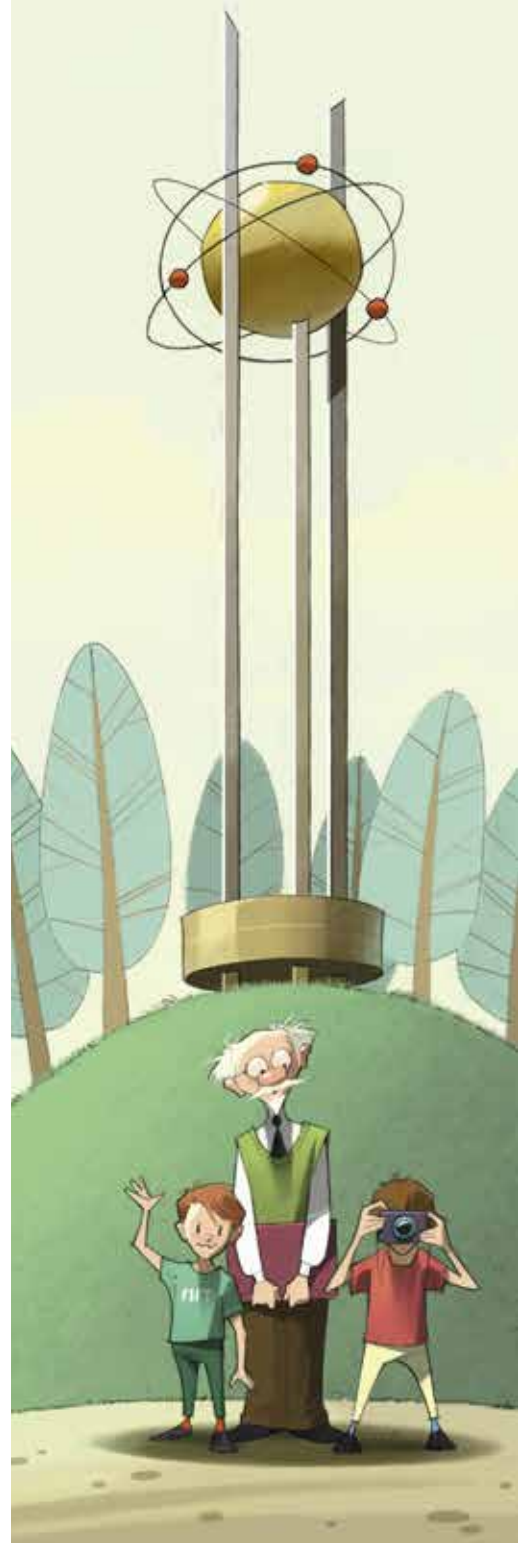
– Разве только притягиваются?

– Ну, могут и отталкиваться, смотря как повернёшь. Но только, оттолкнувшись, они развернутся и всё равно притянутся друг к другу.

– Вот это ты, Витя, очень точно заметил: магнит, если ему «неуютно» (физики говорят: энергетически невыгодно) быть повернутым к другому магниту одной стороной, повернётся другой. Но ведь его можно развернуть и обратно, приложив для этого небольшое усилие. К тем магнитам, что висят у нас на холодильнике, его можно приложить руками, а к микроскопическим атомным магнетикам – с помощью радиоволн.

– То есть атомом можно управлять почти как машинкой на радиоуправлении!

– Точно! И каждый атом – как такая машинка, или, лучше сказать, как миниатюрный радиоприёмник – настроен на свою частоту. И частота эта зависит от того, что это за атом, в какой молекуле или в каком



ОГЛЯНИСЬ ВОКРУГ



кристалле он находится, какое магнитное поле его окружает. Иногда это примерно такие радиоволны, какие ловят наши коротковолновые радиоприёмники, а иногда – такие, которые используются у нас на кухнях в микроволновых печах. А кроме того, оказалось, что магнитом может быть не только атом в целом, но и его ядро. Ядерные магнитики слабее, и они ловят радиосигнал на других частотах. Но и их частоты зависят от их соседей в молекуле. А значит, облучая их радиоволнами разной частоты, можно узнать, что за атомы входят в состав вещества и как они между собой связаны, то есть можно определить структуру молекулы. Вот только надо ещё исследуемое вещество поместить внутрь большого магнита, и чем сильнее магнитное поле он даёт, тем лучше. А само явление поворота микроскопических магнитиков в магнитном поле под действием радиоволны подходящей (физики говорят – резонансной) частоты называется магнитным резонансом. Если поворачиваются ядра, то это – ядерный магнитный резонанс, сокращённо ЯМР. А если атомы, точнее, их электроны, – то электронный парамагнитный резонанс, или ЭПР.

– А какой резонанс в МРТ?

– В магнитно-резонансной томографии используется поворот ядер в магнитном поле под действием радиоизлучения, то есть явление ЯМР. Как видите, с помощью радио можно прослушивать не только земную атмосферу или глубины космоса, но и глубины человеческого организма. В этом, Федя, ты имел возможность убедиться недавно.

– Да, здорово придумано! Эх, жаль только, что так недавно открыли этот магнитный резонанс! Мама рассказывала, насколько сложнее было пациентам в её детстве, когда томографов ещё не было.

– Нет, Федя, открыли магнитный резонанс очень давно. Явление ЭПР открыл в 1944 году Евгений Константинович Завойский, а в 1946 году Эдвард Парселл и Феликс Блох в Америке открыли ЯМР. Но от открытия этих явлений до создания МР-томографии был ещё долгий путь. Во-первых, чтобы получить пространственную картину обследуемого организма, придумали создавать изменяющееся в пространстве магнитное поле. Благодаря

этому в каждом маленьком участочке тканей пациента атомные ядра настроены на свою собственную частоту – то есть у каждого атома словно появляются свои собственные радиопозывные, которые он может передать прибору, чтобы «сообщить» о своём местоположении. Во-вторых, как я уже вам говорил, для исследования вещества с помощью магнитного резонанса нужно сильное магнитное поле. А человек ведь гораздо крупнее, чем какая-нибудь пробирка с веществом. Создать в большом объёме сильное магнитное поле оказалось возможным только с помощью сверхпроводящих магнитов. И хотя само явление сверхпроводимости было открыто ещё в начале XX века, основанная на нём техника стала развиваться намного позже. В-третьих, для применения МРТ в 1940-х годах ещё не «созрела» вычислительная математика – лишь два десятилетия спустя после открытий ЭПР и ЯМР появились необходимые методы для обработки измеряемых сигналов магнитного резонанса. Можно было бы назвать и в-четвёртых, и в-пятых, но, мне кажется, на сегодня с вас хватит новой информации.

– Да, Семён Ильич, для обработки всех сигналов, полученных от вас сегодня, у нас с Витей ещё точно не созрели подходящие методы! Спасибо большое за рассказ!

– Да, спасибо! Нам надо «переварить» всё услышанное, но если потом появятся новые вопросы...

– Конечно! И желаю, чтобы с МРТ вы чаще встречались как исследователи, а не как пациенты!

* * *

– Ну, Федя, что скажешь? – спросил Виктор, когда они вышли на улицу. – Ты узнал, что хотел?

– После томографа у меня гудело в голове от шума, а теперь – от новых слов и мыслей.

– Ну, это лучше, чем от шума, – Виктор улыбнулся. – А знаешь, у меня предложение: давай закрепим их практическими занятиями – сходим ко мне домой, разогреем в микроволновке обед. А потом – на реку, можно с радиоприёмником.

– Отлично! Но только – чур с радионаушниками!

– Чтобы не мешать окружающим?

– Нет, чтобы не прерывать практические занятия!

