

ГЕОМЕТРИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБОЛОЧЕК

М. ПРОТОДЬЯКОВ,
доктор технических наук
Рис. В. КАЩЕНКО

Всем хорошо известна так называемая планетарная модель строения атома. В центре атома находится положительно заряженное ядро, и вокруг него по замкнутым орбитам, подобно планетам солнечной системы, вращаются электроны. Здесь не учитывается взаимное отталкивание одинаково заряженных частиц и положение электронов определяется исключительно взаимодействием с ядром.

А между тем силы отталкивания велики, поэтому пренебрегать ими нельзя. Доказательством этому — полученные на опыте значения ионизационных потенциалов. Ядро притягивает к себе электрон, и чтобы оторвать последний от атома, необходимо затратить определенную работу. Она-то и называется потенциалом ионизации (в результате отрыва образуется ион, то есть положительно заряженный атом).

Пусть у атома на какой-нибудь оболочке находятся два электрона. В «планетарной модели» для удаления каждого электрона из атома мы должны были затратить одну и ту же работу. А из опыта известно, что для первого электрона работа отрыва значительно меньше, чем для второго. В чем же дело? Когда мы отрываем один электрон, второй отталкивает его от ядра, как бы помогая нам, и поэтому мы затрачиваем меньшую работу. Когда же дело доходит до второго электрона, то помощи нам ждать неоткуда (другого электрона уже нет), и для ионизации необходима гораздо большая работа. Отсюда ясно, что при расчете электронных оболочек атомов необходимо учесть взаимодействие электронов (силы отталкивания между ними).

Квантовая механика позволила точно решить вопрос о строении одноэлектронной оболочки атома водорода. Обычно считают все многоэлектронные оболочки «водородоподобными» и не учитывают взаимодействия между электронами.

Квантовая механика создала и более точные методы расчета, но и у них есть существенные недостатки. Расчет по этим методам сложен и громоздок. Поэтому зачастую химики и кристаллографы вынуждены обходиться без методов квантовой теории атомов.

Предлагаемая гипотеза пытается представить строение электронных оболочек атомов простым и наглядным способом. Рассмотрим движение электронов вокруг положительно заряженного ядра. Одноименно заряженные электроны

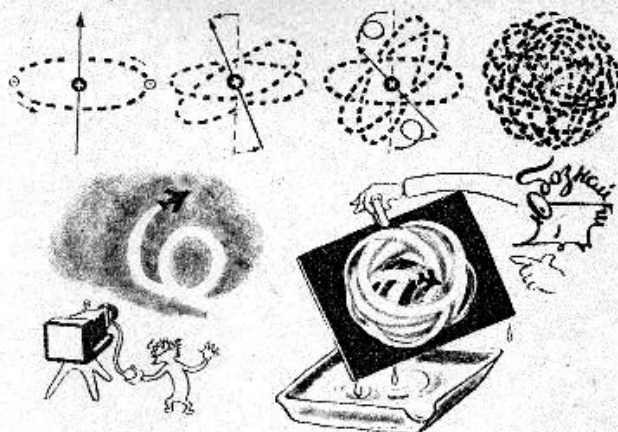


Рис. 3. За счет прецессии и нутации тороид «размазывается» в полый шар.

отталкиваются друг от друга. При движении они будут располагаться как можно дальше один от другого, чтобы меньше «мешать» друг другу. Это неизбежно приводит к симметричному их расположению. Наиболее удаленные положения будут устойчивыми, то есть при каждом отклонении электронов от таких положений они будут стремиться вернуться назад. Поэтому за основу построения гипотезы берется принцип «наименьшей помехи» и симметричного расположения электронов относительно ядра.

Как известно, в кристаллографии успешно используются модели кристаллических решеток, построенные из шарообразных атомов. При этом за радиус атома принимается половина расстояния между центрами соседних атомов. Используем аналогичную модель для «упаковки» (то есть пространственного расположения) электронов вокруг ядра.

В атоме гелия по принципу «наименьшей помехи» электроны, двигаясь вокруг ядра, расположатся по концам диаметра — симметрично относительно ядра (рис. 1). Мгновенная форма электрического поля может быть приблизительно представлена в виде двух соприкасающихся шаров, радиусы которых равны радиусу средней орбиты электронов. При движении по круговой орбите общее поле отталкивания от других электронов «размажется» и примет вид тороида (тороид по форме похож на обыкновенный бублик, наш же вместо дырки имеет небольшое углубление) (рис. 2).

Если взять обыкновенный волчок и закрутить его, то ручка волчка двигается по конусу и одновременно малюко дрожит. В механике эти явления называются прецессией и нутацией.

Электронный тороид обладает свойствами волчка, поэтому аналогичные явления происходят и с ним. За счет очень сильной прецессии и нутации он «размажется» в полый шар (рис. 3). Диаметр тороида и шара не остается все время постоянным, а пульсирует вокруг своего среднего, наиболее устойчивого положения. Это и есть электронная оболочка инертного газа — гелия.

Электрон, двигающийся по весьма сложной траектории, создающейся при вращении, прецессии, нутации и радиальной пульсации, образует «электронное облако», плотность которого соответствует «густоте» расположения витков траектории в пространстве. Говоря о «положении» электрона, мы подразумеваем места с наибольшей плотностью электронного облака, где электрон бывает чаще всего. Маловероятные положения электрона рассматриваются как отклонения от устойчивых (наиболее вероятных) положений.

Рассмотрим «захват» третьего электрона «гелиеподобным» двухэлектронным ионом. Анализ сил, действующих на этот электрон, показывает, что трехэлектронный тороид из-за неустойчивости третьего электрона в таком положении образоваться не может. Притяжение ядра «затянет» третий электрон в «углубление» против центра уже имеющегося двухэлектронного тороида (рис. 4). Поэтому третий электрон не эквивалентен первым двум, расстояния его от ядра будут большими. А это и означает, что электрон попадет не в первую, а во вторую электронную оболочку атома. Значит, начало образования второй электронной оболочки атома совпадает с началом второго периода таблицы Менделеева.

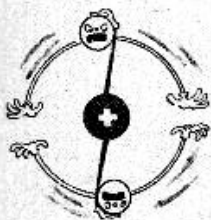
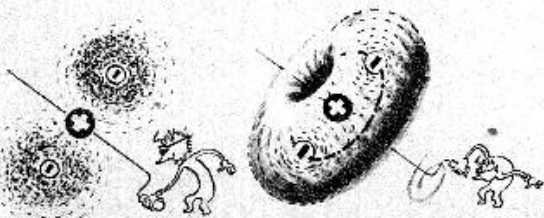


Рис. 1. Мгновенная форма электрического поля. Модель атома гелия.

Рис. 2. При движении по круговой орбите общее поле отталкивания электронов «размазывается» и принимает вид тороида.



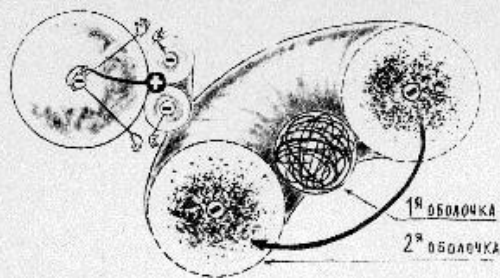


Рис. 4. Притяжение ядра «затягивает» третий электрон в «углубление» против центра уже имеющегося двухэлектронного тороида.

Четвертый электрон будет «затянут» в центр первого тороида, но с противоположной стороны от третьего электрона, как можно дальше от него. Третий и четвертый электроны, находясь на оси первого тороида и вращаясь вокруг ядра атома, образуют второй общий тороид. Он охватывает внутреннюю сферическую галияподобную электронную оболочку наподобие кольца Сатурна (рис. 4).

Исследования показывают, что прецессия наружного тороида будет менее интенсивной, чем для внутренней электронной оболочки, и потому внешний тороид в отличие от внутреннего в шар не превратится.

При одном электроном во втором тороиде образуется оболочка атома лития; подобен ему одинарный ион бериллия, двойной ион бора и т. д. Если же во внешнем тороиде два электрона, то получается электронная оболочка атома бериллия или подобные ему электронные оболочки ионов бора, двойного иона углерода и т. д.

При захвате различными ядрами одного и того же количества электронов получаются подобные по форме, но различные по размерам электронные оболочки. Причем чем больше заряд ядра, тем ближе к нему располагаются электроны и тем меньше будет размер электронной оболочки, состоящей из одного и того же числа электронов.

Рассуждая аналогично и последовательно добавляя по одному электрону, получим ряд форм электронных оболочек атомов (рис. 5).

При заряде ядра свыше 10 положительных единиц электроны будут «затягиваться» в «углубления» второй неоподобной оболочки. Этих углублений имеется восемь. Четыре из них расположены на стыках тороидов, а четыре — в центрах тороидов, куда смогут «заскочить» только 8 электронов третьей электронной оболочки. Действительно, в третьем периоде таблицы Менделеева имеется как раз 8 элементов. Электроны 3-й оболочки уже не будут двигаться парами в тороидах, а будут колебаться возле положения равновесия против углублений 2-й электронной оболочки (рис. 6).

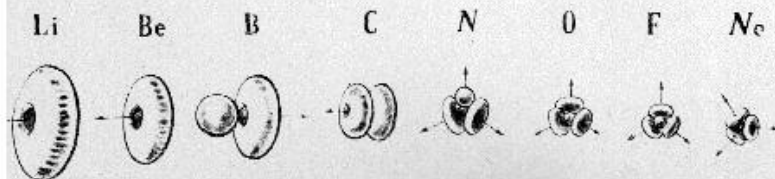
Внешние электронные оболочки четвертого периода аналогичны оболочкам третьего ряда таблицы Менделеева. Последняя замкнутая электронная оболочка инертного газа криптона будет аналогична электронной оболочке аргона (разница между ними будет только в том, что «выступающие» и «запавшие» углы поменяются местами), поэтому пятая электронная оболочка будет аналогична четвертой. И в той и в другой оболочках будет по $10 + 8 = 18$ электронов, что соответствует четвертому и пятому периодам.

Продолжая построения, можно произвести «упаковку» электронов всех известных элементов.

Если проделать упаковку для элементов по № 118 включительно (на сегодняшний день известны только элементы до № 103), то количество электронов в оболочках соответственно будет равно 2, 8, 8, 18, 18, 32, 32, что находится в поразительном соответствии с таблицей Менделеева.

Согласно развитой гипотезе заполнение электронных оболочек производится без пропусков, а для приведения гипотезы «водородоподобных» атомов в соответствие с таблицей Менделеева приходится искусственно вводить пропуски в заполнении электронных оболочек.

Рис. 5. Формы электронных оболочек атомов второго периода таблицы Менделеева.



ПО ПОВОДУ ГИПОТЕЗЫ

(Выдержка из рецензий)

НАУЧНОЕ ОТКРЫТИЕ БОЛЬШОЙ ВАЖНОСТИ

Ученый совет Института геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского АН СССР

Ученый совет Института геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского АН СССР считает возможным отнесение работы профессора М. М. Протодьяконова «Гипотеза о строении электронных оболочек атомов и молекул» к научным открытиям большой важности.

РЕШЕНИЕ РЕШЕННОГО ВОПРОСА

Академик И. Е. ТАММ, член-корр. АН СССР
В. Л. ГИНЗБУРГ, профессор Е. Л. ФАЙНБЕРГ

Вопрос о строении атомов и молекул стоял в центре внимания физики в течение длительного периода времени и в результате созданной нерелятивистской квантовой механики (1925—1927 гг.) в принципиальном отношении был полностью решен.

Современная квантовая химия объяснила закономерности образования молекул из атомов. Существующая квантовая теория твердых тел объясняет механические свойства твердого вещества. Поэтому проблема строения атомов может считаться в основном решенной и ее принципиальное содержание уже более двадцати лет не вызывает никаких сомнений. В свете сказанного гипотеза М. М. Протодьяконова вызывает крайнее удивление. Не приводя для этого никаких оснований, не делая попытки указать на какие-либо несовершенства современной теории, автор возвращается к решенному вопросу и пытается его решить вновь.

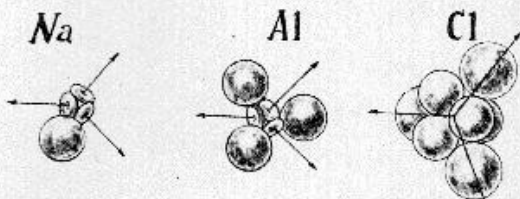


Рис. 6. Формы электронных оболочек атомов третьего периода таблицы Менделеева. Когда во втором электронную оболочку будет «затянуто» 8 электронов, то образуется устойчивая, состоящая из 4 расположенных по тетраэдру (тетраэдр — значит четырехгранник) тороидов, внешняя электронная оболочка инертного газа — неона. Эта вторая оболочка настолько плотно экранирует ядро, что одиннадцатому электрону негде уместиться возле ядра на том же расстоянии, что и предыдущим 8 электронам. Следовательно, одиннадцатый и последующие электроны должны положить начало третьей электронной оболочке, что полностью соответствует периодической системе Менделеева, начиная в ней третий период.

СТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБЛОЧЕК МОЛЕКУЛ

Зная строение электронных оболочек атомов, можно найти наиболее вероятные формы электронных оболочек молекул. При этом необходимо учитывать, что при сближении нескольких атомов электроны наружных оболочек будут отталкиваться друг от друга и притягиваться к ядрам соседних атомов. Произойдет перестройка формы оболочек.

Электроны будут стремиться образовать вокруг каждого из ядер замкнутую электронную оболочку, аналогичную электронным оболочкам инертных газов, при этом некоторые электроны внешних оболочек будут одновременно принадлежать двум соседним атомам (рис. 7).

СТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБЛОЧЕК В КРИСТАЛЛАХ

Каждый из нас наверняка сталкивался с такими различными по своим физическим свойствам веществами, как алмаз и графит. Если графит мягок и легко расплавляется, то твердость алмаза даже вошла в пословицу. Но алмаз и гра-

М. М. ПРОТОДЬЯКОНОВА

ИНТЕРЕСНОЕ СОВПАДЕНИЕ

Доктор химических наук Е. С. МАКАРОВ

Как кристаллохимик, я склонен высоко оценить работу М. М. Протодьяконова. Наиболее ценной и новой является идея симметрии атомов — симметрии в распределении электронов вокруг ядра.

Совпадения «магических» чисел электронно-атомной модели Протодьяконова и периодической системы Менделеева, по моему мнению, являются не случайными и отражают один и тот же закон природы.

Конечно, слабой стороной работы М. М. Протодьяконова является отсутствие квантомеханической интерпретации его результатов, тем более что в современной атомной физике иной подход считался бы святотатством и невежеством.

Однако едва ли было бы сейчас справедливым огулюно отрицать значение работы М. М. Протодьяконова только потому, что она еще не получила квантомеханической разработки. Это дело времени.

Самым главным в работе М. М. Протодьяконова, по крайней мере для химиков, как мне кажется, является перспектива возможности количественной трактовки химического состава и химического строения молекул, особенно для неорганических и металлических соединений.

Я считаю, что эта гипотеза должна развиваться в области химии по пути нахождения законов корреляции между «симметрией атомов» (электронных многогранников атомов) и симметрией молекул и кристаллов неорганических соединений, для которых в настоящем времени накоплен огромный экспериментальный материал по пространственному расположению атомов. Если эта задача увенчается успехом, то независимо от скепсиса физиков, ценность гипотезы будет доказана, и теоретической квантовой физике поневоле придется ею заняться.

фит являются различными кристаллическими модификациями одного и того же вещества — углерода. Гипотеза хорошо объясняет различие в свойствах этих веществ (рис. 8).

Неспаренные в тороидах электроны будут выступать из графитовой решетки вверх и вниз. При наложении плоских решеток друг на друга выступающие электроны одной решетки попадут против центров шестиугольников другой и тем самым соединят их друг с другом. Таким образом, между двумя атомными решетками образуется слой из электронов, слабее связанных с ядрами, чем спаренные электроны тороидов. Поэтому сдвинуть одну решетку относительно другой легче, чем раздавить ее. Вдоль слоя из неспаренных электронов решетка должна обладать электропроводностью, связанной с возможностью перехода электронов из одних углублений между тороидами в другие. В направлении, перпендикулярном к плоскости решетки, электроны перемещаться некуда, и потому в этом направлении электропроводности быть не должно. Опыт подтверждает, что графит действительно обладает указанными свойствами.

На вышеприведенных примерах показано, что предлагае-

Рис. 8. Формы электронных оболочек кристаллов графита и алмаза. При сближении 6 атомов углерода, имеющих в наружных оболочках 12 электронных тороидов, образуется плоская гексагональная (шестиугольная) молекула, в которой 6 тороидов располагаются по радиусам молекулы, связывая между собой атомы углерода, а остальные 6 размещаются по периферии молекулы. В этом случае каждое ядро углерода будет окружено только 6 электронами вместо 8, то есть

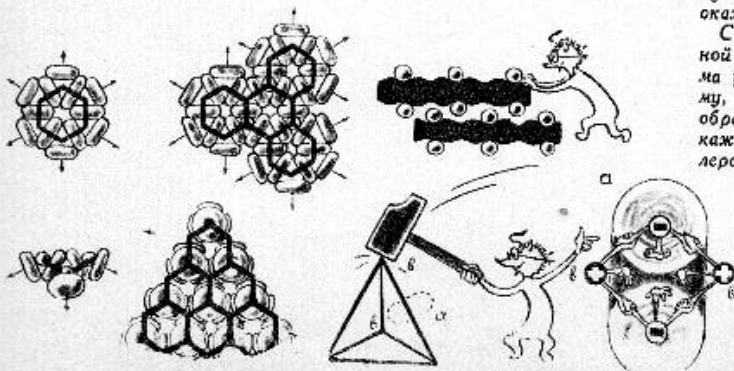
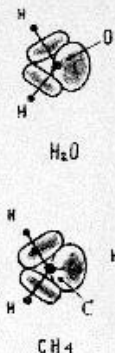


Рис. 7. Формы электронных оболочек молекул воды и метана. Как построены молекулы воды? 2 электрона атома водорода совместно с 6 электронами наружной оболочки атома кислорода образуют вокруг ядра кислорода замкнутую неополобную оболочку. При этом ядра водорода располагаются против центров 2 из 4 тороидов этой оболочки. Из построенной схемы молекулы воды следует, что валентный угол между линиями, соединяющими ядра водорода с ядром кислорода, равен 109° , то есть всего на 4° отличается от опытного его значения в 105° . Это является дополнительным подтверждением правильности отражения в предлагаемой гипотезе объективно существующих свойств электронных оболочек атомов и молекул.

В молекуле хорошо известного болотного газа метана CH_4 4 электрона внешней оболочки углерода и 4 электрона от водородных атомов образуют вокруг ядра углерода неополобную замкнутую оболочку. При этом ядра водорода располагаются против центров тороидов этой оболочки под тетраэдрическими углами в 109° . Опыт подтверждает такую форму молекулы метана.



мая гипотеза позволяет строить электронные оболочки атомов и молекул, химические и физические свойства которых хорошо согласуются с опытом. Пользуясь предложенным методом, можно строить оболочки значительно более сложных соединений, в частности кристаллическую структуру металлов, которая позволяет понять природу их пластических свойств и высокой электропроводности. Замечательно, что все следствия этой гипотезы строения электронных оболочек атомов, молекул и кристаллов полностью подтверждаются опытом.

ТАБЛИЦА ГРУППИРОВКИ ЭЛЕКТРОНОВ ПО СИММЕТРИЧНЫМ ФИГУРАМ

№ электронной фигуры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Полуряды	2	8	4	4	6	4	4	4	6	4	4	12	12	4	4	12	12	4	4	4
Ряды	2	8	8	10	8	10	8	8	24	8	24	8								
Периоды	2	8	8	18	18	32	32													

Цифры в последней строке таблицы полностью соответствуют наиболее четкому и ровному подразделению элементов таблицы Менделеева на периоды. В предпоследней строке таблицы получилось подразделение на ряды таблицы Менделеева. Концы четных полурядов совпадают с концами рядов таблицы Менделеева, а нечетные полуряды соответствуют полупроводникам, что в таблице Менделеева в явном виде не фигурирует.

Не следует пугаться того, что в мир столь сложных явлений автор вводит простые и наглядные методы. В науке известно много примеров, когда их применение существенно облегчило путь человека в еще не изведенное и не познанное.

его оболочка окажется незавершенной, а потому шестиатомное молекулярное кольцо будет способно к дальнейшим химическим соединениям. Из таких шестиатомных молекул можно образовать неограниченную плоскую решетку. При соединении каждых двух смежных колец решетки на их стыках окажется по 4 электрона вместо 2, достаточных для образования соединительного тороида. Поэтому 2 «лишних» электрона займут места по торцам треугольных промежутков между тороидами. При этом из шести свободных промежутков окажутся заполненными только три.

Совсем по-другому устроены электронные оболочки алмазной модификации углерода. В ней вокруг каждого ядра атома углерода, кроме 2 тороидов, принадлежащих данному атому, размещаются еще 2 тороида от двух смежных атомов, образуя оболочку, подобную оболочке неона. В этом случае каждый атом углерода будет окружен 4 другими атомами углерода и каждая пара ядер связывается при помощи одного электронного тороида. Получающаяся кристаллическая решетка представляет пространственную «ферму». В ней нет неспаренных электронов. Следовательно, алмаз должен обладать высокой механической прочностью и не проводить электрического тока.