

Приложение к Лекции 14. Цветовое взаимодействие электронов

А. А. Кецарис
(9 августа 2011)

В этом Приложении мы рассматриваем короткодействующее притяжение между электронами, необходимость введения которого вытекает из анализа симметрий волновых функций фундаментальных частиц.

I. ЦВЕТОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОНОВ

В Лекции 14 в качестве алгебраической основы для описания фундаментальных частиц, прежде всего лептонов и кварков, рассматриваются симметрии компонент волновой функции. На нерелятивистском уровне для частиц со спином имеем два типа волновых функций, одна из которых является вектором алгебры Клиффорда и соответствует лептонам. Естественно второй тип волновой функции отождествить с кварками. На релятивистском уровне волновая функция кварков разделяется на три разновидности, которые также естественно отождествить с кварками трёх цветов. Однако, на этом же уровне волновая функция лептонов разделяется на две разновидности и ничего не остаётся, как предположить, что лептоны (в частности, электрон) двухцветны.

Таким образом, математическая природа волновых функций электронов двух видов и волновых функций кварков трех видов одинакова. Но с кварками трех видов - синим, красным и желтым - мы связываем сильное взаимодействие (или цветовое притяжение), превосходящее силы электромагнитного взаимодействия. Отсюда следует, что электроны двух видов - белые и черные - нужно наделять силами цветового притяжения. У нас нет оснований считать силы цветового притяжения между электронами соизмеримыми с силами цветового притяжения между кварками, но мы можем предположить, что силы цветового притяжения между электронами являются короткодействующими и на некотором расстоянии превосходят кулоновские силы отталкивания. Так, как это имеет место для цветового взаимодействия кварков.

Квантовая механика фактически, в неявном виде описывает притяжение электронов, используя понятие *обменной энергии*. Однако, с нашей точки зрения, *непосредственное* введение короткодействующего притяжения между электронами сообщит нашим представлениям ясность и определенность.

Возможно, что изучение цветового взаимодействия электронов поможет при реконструкции цветового

взаимодействия кварков.

Представление о цветовом притяжении электронов активно воспринято В. Б. Щербатским и его сотрудниками*. Далее мы будем широко использовать высказанные ими соображения.

II. МУЛЬТИЭЛЕКТРОН

На рис. 1. показаны силы, действующие на разноцветные электроны, в зависимости от расстояния между ними. Среди них сила цветового притяжения (1), сила отталкивания – сила Кулона (2) и результирующая сила (3).

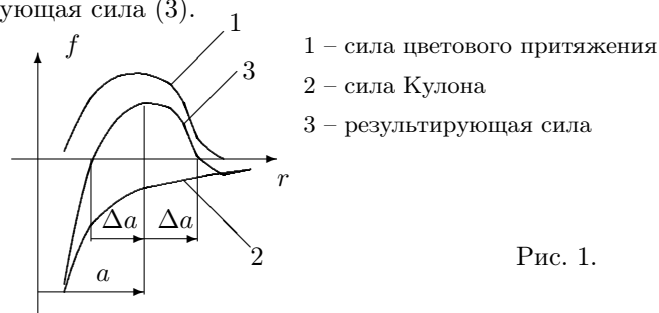


Рис. 1.

Из рисунка видно, что два электрона разного цвета – белый и черный, оказавшись на определенном расстоянии друг от друга, притягиваются друг к другу и образуют единый объект – электронную пару. Символически она показана на рис. 2.

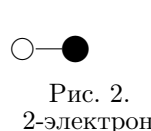


Рис. 2.
2-электрон

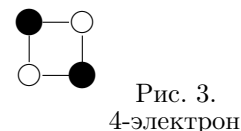


Рис. 3.
4-электрон

Указанное расстояние мы назовем *характерным* и обозначим a . Диапазон расстояний, в пределах которых сила цветового притяжения больше кулоновской силы отталкивания, обозначим $2\Delta a$. При расстоянии между электронами меньше $a - \Delta a$ кулоновская сила отталкивания больше силы цветового притяжения и электроны удаляются друг от друга. При увеличении

*Хорошавин Л. Б., Щербатский В. Б., Якушина Е. В. *Мультиэлектрон – основа сверхпроводимости*. Объединенный научный журнал, №2, 2007, с. 68-76.

Щербатский В. Б. *Цветовой заряд электронов, химическая связь и сверхпроводимость*.
<http://viktor19451.narod.ru>

расстоянии между электронами больше $a + \Delta a$ кулоновская сила отталкивания также становится больше силы цветового притяжения и электронная пара разваливается.

Существует несколько областей, исследуя которые, физики столкнулись с необходимостью введения электронной пары. Это

- порядок заполнения электронами орбиталей атомов;
- химическая связь при соединении атомов в молекулы;
- кристаллическая структура вещества;
- явление сверхпроводимости.

Представление о цветовом притяжении электронов дает опору для введения такого объекта, как электронная пара. И наоборот существование электронной пары является косвенным подтверждением существования электронов двух типов.

Используя потенциал Юкавы для описания короткодействующего цветового взаимодействия электронов, В. Б. Щербатский с сотрудниками получили следующее значение для характерного размера электронной пары

$$a \approx 15 \cdot 10^{-12} \text{ м} \quad \text{и} \quad \Delta a \approx 5 \cdot 10^{-12} \text{ м}.$$

Далее они справедливо указали, что в общем случае под действием цветового притяжения любое число пар разноцветных электронов может образовать единый объект. Они назвали его *мультиэлектрон*. В частности, две электронные пары, оказавшись вблизи друг друга, соединяются силами цветового притяжения в единый объект, содержащий четыре электрона – два белых и два черных электрона (рис. 3).

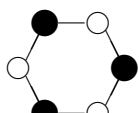


Рис. 4.
6-электрон

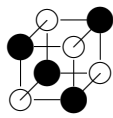


Рис. 5.
8-электрон

Из условия симметрии можно предположить, что 6-электрон состоит из электронов, находящихся в углах шестиугольника (рис. 4). А 8-электрон можно представить состоящим из электронов, находящихся в углах куба (рис. 5). Можно предположить, что электроны в мультиэлектроне могут располагаться вдоль линии (в частности, вдоль замкнутой линии) или вдоль поверхности.

Мультиэлектрон *бесцветен*, то есть содержит одинаковое число белых и черных электронов.

Характерный размер мультиэлектрона может меняться в зависимости от конфигурации и величины цветовых, электрических и магнитных полей как

собственных, так и внешних, а также от движения мультиэлектрона. Возбуждение мультиэлектрона или электронной пары, то есть сообщение им кинетической энергии, может привести к разрушению мультиэлектрона или электронной пары. И наоборот уменьшение кинетической энергии электронов приводит к образованию электронных пар и мультиэлектронов.

III. ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА АТОМОВ. ПРИНЦИП ПАУЛИ. ПРАВИЛО ХУНДА

Электронная структура атомов определяется

- квантовыми условиями, накладываемыми на действие электронов;
- принципом Паули;
- правилом Хунда.

Цветовое притяжение электронов позволяет предсказать механизм, приводящий к выполнению принципа Паули. Разноцветные электроны, оказавшиеся в силу квантовых условий на характерном расстоянии друг от друга, притягиваются друг к другу. Магнитные моменты электронов вступают в магнитное взаимодействие и разворачиваются друг по отношению к другу. Вследствие этого спины электронов приобретают противоположное направление. Указанный механизм приводит к тому, что электронная пара и мультиэлектрон являются бозонами с нулевым спином.

Рассмотрим последовательность заполнения электронами орбиталей некоторого, условно первого атомного энергетического подуровня. Первый электрон располагается на *внутренней* (первой) орбитали подуровня, следующий электрон располагается на второй орбитали и так далее, пока последний электрон не займет *внешнюю* (последнюю) орбиталь подуровня.

Появление электрона на следующем, условно втором подуровне приводит к сжатию пространственной области, занимаемой первым подуровнем. В результате первая и последующая орбитали сближаются настолько, что расстояние между первым и вторым электронами уменьшается до характерного. Второй электрон притягивается к первому и перескакивает на первую орбиталь. Вторая орбиталь освобождается и все неспаренные электроны смещаются на одну орбиталь внутрь первого подуровня. При этом электрон второго подуровня оказывается на внешней орбитали первого подуровня. При новом появлении электрона на втором подуровне по этому же алгоритму происходит заполнение второй орбитали двумя электронами, связанными между собой силой цветового притяжения. И так далее, пока последняя орбиталь не заполнится двумя электронами. Рассмотренный здесь процесс соответствует *правилу Хунда* – правилу заполнения электронами орбиталей энергетического подуровня.

При возбуждении атома и сообщении внешней электронной паре кинетической энергии электроны этой пары удаляются друг от друга настолько, что выходят из зоны цветового притяжения. Один из электронов, отталкиваясь от другого, переходит на соседнюю внешнюю орбиталь. При этом все неспаренные электроны смещаются на одну внешнюю орбиталь.

IV. ОРГАНИЗАЦИЯ МОЛЕКУЛ

Атомы притягиваются друг к другу и образуют молекулы. Механизм образования молекул таков. Разноцветные электроны разных атомов притягиваются друг к другу и образуют центральный мультиэлектрон – отрицательно заряженный центр, к которому притягиваются положительные ионы атомов. Таким образом, в основе химической связи лежит цветовое притяжение между электронами. Цветовое притяжение электронов не только удерживает электроны друг около друга, но и преодолевает кулоновские силы отталкивания между ионами атомов. Цветовое притяжение осуществляется между электронами, находящимися на внешних орбиталях атомов. Число электронов, отдаваемых атомом в мультиэлектрон (или несколько мультиэлектронов), есть валентность атома.

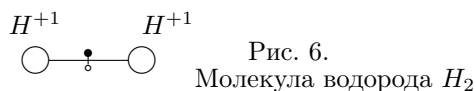
1. Двухатомные молекулы

Здесь полезно вспомнить, что различают два вида молекулярной химической связи:

- гетерополярную, осуществляющуюся, например, в молекуле поваренной соли $NaCl$ и
- гомеополярную или ковалентную, осуществляющуюся, например, в молекуле H_2 .

Эти связи имеют разное объяснение. В первом случае связь вызвана *отдачей* электрона щелочным металлом и *захват* его галогеном, в результате чего образуется два разных по знаку иона, которые затем притягиваются благодаря силе Кулона и образуют молекулу. Ковалентная связь не может быть объяснена иначе, чем образованием электронной пары, когда каждый электрон пары атомов принадлежит обоим атомам. Указанные два объяснения противоречат той точке зрения, что химическая связь должна иметь универсальное объяснение. Противоречие снимается, если считать, что электронная пара или мультиэлектрон образуются в любом случае, но гетерополярная связь отличается от ковалентной тем, что электронная пара или мультиэлектрон смещены к одному из атомов. Величина смещения определяет молекулярную связь, занимающую промежуточное положение между гетерополярной и гомеополярной связями.

1. Молекула водорода H_2



При сближении атомов водорода с электронами разного цвета электроны притягиваются друг к другу и образуют электронную пару, к которой в свою очередь притягиваются ядра атомов (рис. 6). Атом водорода в молекуле H_2 , отдав электрон, превращается в положительно заряженный ион H^+ . Поэтому со стороны иона H^+ молекула водорода содержит положительный заряд. Этот заряд при достаточно низких кинетических энергиях может притягиваться к электронной паре соседней молекулы водорода. При этом возникает новая связь между молекулами, которую можно назвать *водородной*. Эта связь определяет кристаллические свойства водорода при низких температурах.

2. Молекула кислорода O_2

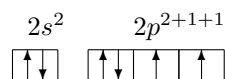
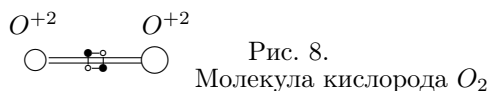


Рис. 7. Внешний энергетический уровень атома кислорода

Электронная структура внешнего уровня атома кислорода показана на рис. 7. Из нее видно, что в образовании молекулы O_2 участвуют два неспаренных электрона $2p^{1+1}$, которые каждый атом кислорода отдает в центральный мультиэлектрон. В результате в центре молекулы O_2 находится 4-электрон, состоящий из двух электронных пар (рис. 8).



Из того факта, что газ O_2 парамагнитен, то есть молекулы O_2 содержат неспаренные электроны, следует, что после того, как два электрона $2p^{1+1}$ отданы атомом кислорода в 4-электрон, внешняя электронная пара $2p^2$ разваливается, что и вызывает парамагнетизм кислорода.

3. Молекула азота N_2

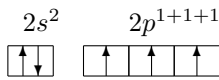


Рис. 9. Внешний энергетический уровень атома азота

Электронная структура внешнего уровня атома азота показана на рис. 9. При соединении в молекулу N_2 каждый атом азота отдает в центральный мультиэлектрон три электрона. В результате ионы азота группируются около 6-электрона (рис. 10).

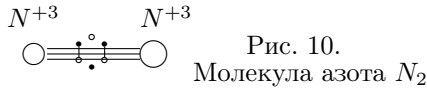


Рис. 10. Молекула азота N_2

Нужно заметить, что притяжение между положительным ионом, входящим в состав одной молекулы, и мультиэлектроном другой молекулы особенно ярко проявляется по отношению к иону водорода, так как он не содержит остаточной электронной оболочки. Для других ионов, например N^{+3} в рассматриваемом случае, положительный заряд закрыт (экранирован) зарядами внутренней (остаточной) электронной оболочки. Поэтому следует считать, что указанная связь, которую мы назовем *ионной*, слабее водородной связи.

2. Трехатомные молекулы.

1. Молекула воды H_2O

Установлено, что в молекуле воды атом кислорода находится в вершине, а атомы водорода находятся в углах равнобедренного треугольника. Уже этот факт доказывает существование мультиэлектрона, в этом случае 4-электрона. Действительно, если бы молекулярная связь в H_2O обеспечивалась бы двумя не связанными между собой электронными парами, то геометрическая структура молекулы H_2O была бы другой. Все три атома находились бы на одной прямой. В 4-электрон молекулы воды атом кислорода отдает два неспаренных электрона, а атомы водорода соответственно по одному.

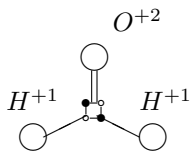


Рис. 11. Молекула воды

Ионы кислорода и водорода окружают центральный 4-электрон, притягиваясь к нему и отталкиваясь

друг от друга (рис. 11). Именно этим объясняется вышеуказанная конфигурация молекулы воды.

Ионы водорода одной молекулы воды могут притягиваться к 4-электрону другой молекулы воды. Кроме того, оказавшись достаточно близко к остаточной электронной оболочке иона кислорода другой молекулы воды, ион водорода притягивается к ней. Так проявляется водородная связь в молекулах воды. Эта связь определяет свойства воды и ее кристаллов.

2. Молекула окиси серы SO_2

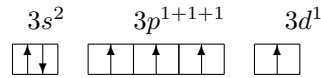


Рис. 12. Внешний энергетический уровень атома серы

Электронная структура внешнего энергетического уровня атома серы в молекуле SO_2 показана на рис. 12. При соединении в молекулу атом серы отдает в центральный мультиэлектрон четыре неспаренных электрона. Атомы кислорода отдают в центральный мультиэлектрон по два неспаренных электрона. Таким образом, в центре молекулы SO_2 находится 8-электрон

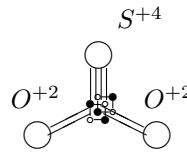


Рис. 13. Молекула окиси серы

Ионы серы и кислорода окружают центральный 8-электрон, притягиваясь к нему и отталкиваясь друг от друга (рис. 13). Указанное обстоятельство соответствует установленному факту, что в молекуле SO_2 атом серы находится в вершине, а атомы кислорода в углах равнобедренного треугольника. В свою очередь, этот факт доказывает существование 8-электрона.

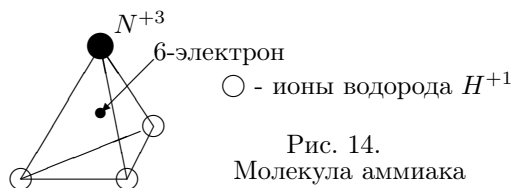
Таким образом, представление о мультиэлектроне позволяет объяснить планиметрию трехатомных молекул.

3. Четырехатомные молекулы

Четырехатомную молекулу рассмотрим на примере молекулы аммиака NH_3

Электронная структура внешнего энергетического уровня атома азота показана на рис. 9. При соединении в молекулу аммиака NH_3 атом азота отдает в центральный мультиэлектрон три неспаренных электрона. Атомы водорода отдают в центральный мультиэлектрон по одному электрону. Таким образом, в

центре молекулы NH_3 находится 6-электрон. Ионы азота и водорода окружают центральный 6-электрон, притягиваясь к нему и отталкиваясь друг от друга (рис. 14).



Указанное обстоятельство соответствует установленному факту, что в молекуле NH_3 атом азота находится в вершине, а атомы водорода в углах основания пирамиды. Представление о мультиэлектроне (в настоящем случае о 6-электроне) позволяет объяснить стереометрию четырехатомных молекул.

4. Пятиатомные молекулы

Пятиатомную молекулу рассмотрим на примере молекулы метана CH_4 . Электронная структура внешнего энергетического уровня атома углерода в этом соединении показана на рис. 15. Из нее видно, что атом углерода отдает в связующие мультиэлектроны четыре неспаренных электрона.

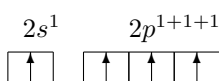
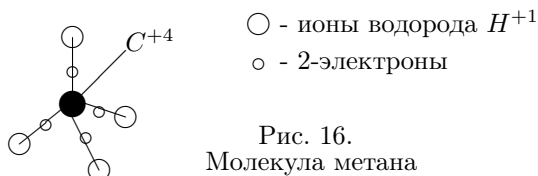


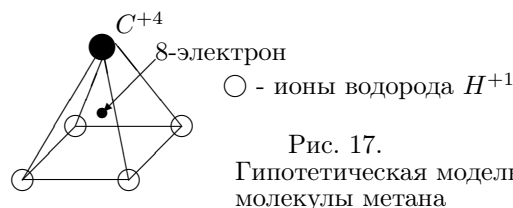
Рис. 15. Внешний энергетический уровень атома углерода

Установлено, что в молекуле метана атомы водорода расположены в вершинах тетраэдра, а атом углерода в центре тетраэдра (рис. 16). Это означает, что химическая связь в молекуле метана обеспечивается четырьмя электронными парами, в которые атом углерода отдает четыре электрона, а атомы водорода по одному.



Можно представить себе другую модель молекулы метана (рис. 17), когда атом углерода отдает четыре электрона в центральный мультиэлектрон. Атомы водорода отдают в центральный мультиэлектрон по

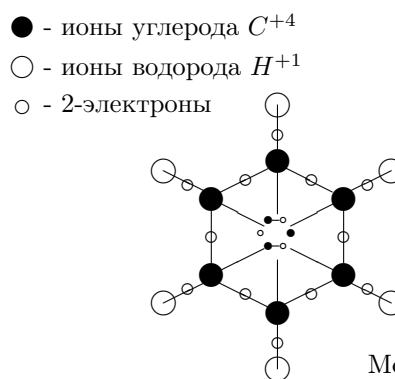
одному электрону. Таким образом, в этой модели в центре молекулы находится 8-электрон.



Ионы углерода и водорода, притягиваясь к центральному 8-электрону и отталкиваясь друг от друга, располагаются в углах пирамиды с квадратным основанием. Остается неясным почему эта модель молекулы метана не реализуется в природе.

5. Молекула бензола

Цветовое притяжение электронов позволяет представить молекулу бензола C_6H_6 следующим образом (рис. 18). В ее организации участвуют четыре электрона внешнего уровня каждого из атомов углерода (рис. 15) и один электрон каждого атома водорода. Все атомы лежат в одной плоскости. Электроны каждого атома углерода распределены по связующим мультиэлектронам следующим образом. Один электрон направляется в центральный 6-электрон. Ионы углерода притягиваются к центральному 6-электрону и располагаются в углах шестигранника. Два электрона направляются в два 2-электрона между соседними ионами углерода. И четвертый электрон участвует в 2-электроне вместе с электроном атома водорода.



Построенная таким образом молекула бензола обосновывает модель молекулы бензола, предложенную Л. Полингом.

Можно представить себе другую – объемную – модель молекулы бензола, когда каждый атом углерода отдает три электрона в центральный 18-электрон.

Ионы углерода, притягиваясь к центральному 18-электрону и отталкиваясь друг от друга, располагаются в углах октаэдра. Как и прежде, четвертый электрон углерода и электрон водорода образуют связующий 2-электрон между ионом углерода и ионом водорода. Остается неясным почему эта модель молекулы бензола не реализуется в природе.

V. КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ РЕШЕТКА

Прочность и устойчивость кристаллической решетки, а также ее конфигурация определяются тремя факторами:

1. притяжением разноцветных электронов, расположенных вдоль ребер решетки;
2. квантовыми условиями, накладываемыми на действие электронов, ионов атомов и атомов, участвующих в формировании кристалла;
3. силами Кулона между электронными парами и ионами атомов, расположенными в узлах кристаллической решетки.

1. Поваренная соль $NaCl$

Электронная структура внешних энергетических уровней атома натрия в этом соединении показана на рис. 19.

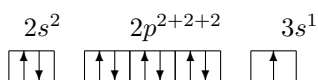


Рис. 19. Внешние энергетические уровни атома натрия

В формировании кристалла поваренной соли участвуют семь электронов атома натрия $2p^{2+2+2}3s^1$. Электронная структура внешнего энергетического уровня атома хлора в этом соединении показана на рис. 20.

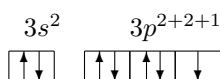


Рис. 20. Внешний энергетический уровень атома хлора

В формировании кристалла поваренной соли участвуют пять электронов атома хлора $3p^{2+2+1}$. В кубической решетке поваренной соли каждый атом натрия связан с шестью атомами хлора, и, напротив, каждый атом хлора связан с шестью атомами натрия. Каждая связь соответствует двум электронам, объединенным в электронную пару силами цветового притяжения. Общее число электронов, участвующих в образовании кристаллической решетки, приходящихся на два атома, равно двенадцати. Семь из них предоставляет атом натрия ($2p^{2+2+2}3s^1$), пять – атом хлора ($3p^{2+2+1}$)

2. Металлическая связь

Внешние электроны в кристаллической решетке металлов можно разделить на две группы. Электроны первой группы объединяются в электронные пары, которые располагаются на ребрах решетки и обеспечивают прочность и устойчивость решетки. Эти электроны не перемещаются под действием внешнего электрического поля и обеспечивают устойчивость решетки до температуры плавления металла. Электроны другой группы – электроны проводимости – имеют возможность перемещаться под действием внешнего электрического поля и обеспечивают электропроводность металла. Они составляют так называемый электронный газ.

1. Натрий

Натрий имеет объемноцентрированную кристаллическую решетку, то есть атомы натрия располагаются в углах и центре элементарного куба. Отсюда формирование кристаллической решетки натрия можно представить себе следующим образом. Шесть электронов подуровня $2p^{2+2+2}$ каждого атома натрия, находящегося в углах куба, принимают участие в организации кристаллической решетки. Атомы натрия, расположенные в центре кубов, попадают туда благодаря квантовым условиям, накладываемым на действие электронов, ионов атомов и атомов, участвующих в формировании решетки. Неспаренные внешние электроны ($3s^1$) всех атомов натрия образуют электронный газ, обеспечивающий электропроводность натрия. Движение электронного газа под действием внешнего поля не разрушает кристаллическую решетку. И вообще кристаллическая решетка не разрушается до тех пор, пока не разрушены электронные пары ребер кубов.

2. Литий

Особенно интересно представить формирование кристаллической решетки лития. Дело в том, что кристаллическая решетка лития, как и решетка натрия, является объемноцентрированной. Но число электронов в атоме лития равно трем (рис. 21).

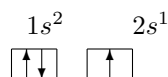


Рис. 21. Энергетические уровни атома лития

Из сравнения с вышерассмотренным случаем кристаллической решетки натрия следует, что количества электронов лития не хватает для формирования кристаллической решетки и электронного газа.

Отсюда порядок формирования кристаллической решетки лития представляется следующим образом. Восемь атомов лития участвуют в формировании элементарного куба. Они располагаются по углам куба и предоставляют для этого все электроны. Их число $8 \cdot 3 = 24$. Эти электроны образуют двенадцать электронных пар, расположенных на ребрах куба и обеспечивающих его прочность и устойчивость. Такие кубы обеспечивают прочность и устойчивость кристаллической решетки в целом.

Квантовые условия, накладываемые на действие электронов, ионов атомов и атомов, участвующих в формировании решетки, приводят к

1. дискретному расположению кубов друг относительно друга (рис. 22);
2. расположению атомов лития в центрах кубов и между ними.

Вышеуказанные факторы в результате приводят к формированию объемноцентрированной кристаллической решетки лития*.

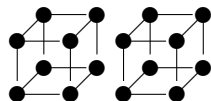


Рис. 22.

К образованию кристаллической решетки лития

Таким образом, следует считать, что, в отличие от натрия, электроны атомов лития, находящихся в узлах кристаллической решетки (углах кубов), не участвуют в электропроводности лития. Назначение этих электронов состоит в строительстве кристаллической решетки. А электропроводность лития обеспечивается внешними электронами $1p^1$ центральных атомов. Движение электронного газа под действием внешнего поля не разрушает кристаллическую решетку.

3. Графит

Кристаллическую решетку графита можно представить состоящей из плоских элементов двух видов. Первый элемент состоит из двух слоев – условно верхнего и нижнего. Один из слоев, например верхний, показан на рис. 23. Он состоит из шестигранников, в углах которых располагаются ионы углерода. Каждый атом углерода отдает по одному электрону в электронную пару с каждым из трех соседних атомов. В

*Следует считать, что квантовые условия, приводящие к дискретному расположению кубов друг относительно друга и расположению атомов в центре кубов, имеют место и для других металлов (например, натрия) с объемноцентрированной кристаллической решеткой.

результате вдоль ребер шестигранников располагаются электронные пары, в которых электроны связаны цветовым притяжением и которые обеспечивают жесткость слоя в целом. Второй слой, например нижний выполнен точно также. Слои располагаются параллельно друг другу, причем над каждым атомом углерода нижнего слоя располагается атом углерода верхнего слоя. Эти атомы отдают последний валентный электрон в связывающую их электронную пару. В следствие этого слои жестко соединены между собой и образуют самостоятельную единицу кристаллической решетки графита.

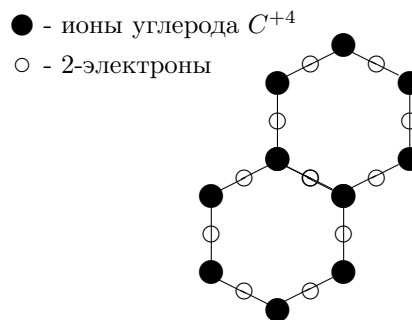


Рис. 23.

Верхний слой первого элемента решетки графита

Второй элемент кристаллической решетки графита является однослойным. Он показан на рис. 24. Он состоит из шестигранников, в углах которых располагаются 6-электроны. Вдоль ребер шестигранников располагаются атомы углерода, они отдают по два электрона в соседние 6-электроны.

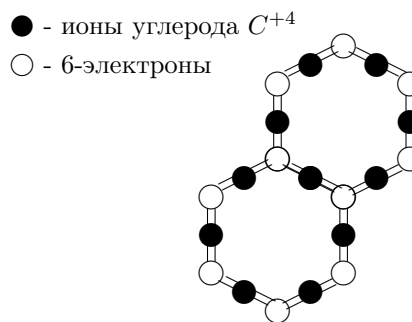


Рис. 24.

Второй элемент решетки графита

Вышеуказанные элементы – двухслойный и однослойный – располагаются параллельно и удерживаются друг около друга силами Кулона. Ионы углерода двухслойного элемента притягиваются к 6-электронам однослойного элемента, а ионы углерода однослойного элемента притягиваются к электронным парам двухслойного элемента. В результате графит представляет собой своего рода многослойный пирог из перемежающихся между собой элементов первого и второго рода.

VI. СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

Условие сверхпроводимости состоит в том, что электроны проводимости должны быть объединены в коллектив, а квантовые условия должны запрещать отбрасывать от этого коллектива (рассеивать) энергию. Тогда такой коллективный носитель заряда движется беспрепятственно, без сопротивления, обеспечивая явление сверхпроводимости.

Представление о существовании электронов двух видов и о короткодействующем притяжении между ними заставляет отказаться от электрон-фононового механизма притяжения между электронами. При этом нужно считать, что расстояние между взаимодействующими электронами равно характерному расстоянию $\sim 10 \cdot 10^{-12}$ м, а не длине когерентности $\sim 10^{-9} \div 10^{-6}$ м.

Силы цветового притяжения не только приводят к образованию электронных пар, но и объединяют их в гигантский мультиэлектрон – тот самый коллектив электронов, о котором шла речь выше. А длина когерентности, по видимому, является линейным размером этого мультиэлектрона. Мультиэлектрон представляет собой коллективное когерентное состояние электронов, вводимое в теории Бардина-Купера-Шриффера.

Диамагнетизм сверхпроводника вызван тем, что под действием внешнего магнитного поля в сверхпроводнике в соответствии с правилом Ленца возникает вращающийся кольцевой мультиэлектрон, который и представляет собой мейснеровский ток.

VII. ШАРОВАЯ МОЛНИЯ

Основываясь на представлении о цветовом притяжении электронов, можно построить модель шаровой молнии – модель, которая достаточно разумно отвечает на вопросы, возникающие при анализе свидетельств очевидцев шаровой молнии.

Согласно этим свидетельствам.

- Молния имеет, как правило, форму шара диаметром от нескольких сантиметров до метра. Наиболее часто встречаются шаровые молнии диаметром от десяти до тридцати сантиметров. Отсюда возникает вопрос: чем обеспечивается шаровая форма молнии. По видимому, должно существовать достаточно сильное поверхностное натяжение на границе, отделяющей шаровую молнию от окружающей среды. Природа такого натяжения остается неясной, если учесть, что оно должно существовать в газовой среде.
- Время существования шаровой молнии составляет от одной секунды до двух минут. Если предположить, что шаровая молния состоит из вещества, находящегося в состоянии плазмы, то

для столь долгого ее существования необходима внешняя энергетическая подпитка, которая, по видимому, отсутствует.

- Шаровая молния имеет холодную поверхность, не излучает тепло.
- Шаровая молния светится. Мощность свечения составляет 100–200 Вт.
- Движение шаровой молнии сопровождается шипением и потрескиванием.
- Шаровая молния может двигаться вдоль металлических предметов и прилипать к ним. По оценкам шаровая молния либо нейтральна, либо имеет небольшой положительный заряд.
- Шаровая молния способна проходить сквозь вещество, например, стекло.
- Шаровая молния заканчивает свое существование либо взрывом, либо постепенно угасает, уменьшаясь в диаметре, издавая шипение и потрескивание.
- Шаровая молния взрывается либо при прикосновении к предметам, либо самопроизвольно. По оценкам энергия взрыва составляет от нескольких десятков до нескольких сотен килоджоулей.
- При взрыве шаровой молнии повреждаются и выгорают металлические предметы, диэлектрические части остаются целыми.

Предлагаемая модель шаровой молнии выглядит следующим образом. Основополагающей частью шаровой молнии является сферическая оболочка, подобная оболочке надувного шарика. Эта оболочка состоит из разноцветных электронов, уложенных на сферической поверхности в шахматном порядке. Силы, разрывающие шарик, это силы Кулона, действующие на каждый из электронов со стороны остальных электронов. Силы "натяжения", удерживающие оболочку шарика от разрыва, это силы цветового притяжения между соседними разноцветными электронами. Иначе говоря, основополагающей частью шаровой молнии является гигантский мультиэлектрон. Внешне оболочка шарика проявляет себя как отрицательно заряженная сфера. Поэтому к ней притягиваются положительные ионы атмосферных газов, прежде всего азота и кислорода, образуя внешнюю положительно заряженную сферу. В результате образуется объект, который можно идентифицировать как шаровую молнию.

Таким образом, шаровую молнию можно представить как сферический конденсатор, внутренняя оболочка которого заряжена отрицательно, а внешняя положительно. После того, как шаровая молния возникла, она не требует энергетической подпитки для

своей сохранности. Энергия, сосредоточенная в шаровой молнии, есть энергия электрического поля, заключенного между оболочками. Подобно конденсатору, шаровая молния не излучает тепло. Вместе с тем можно представить, что разноименные заряды динамически рекомбинируют. Отсюда свечение шаровой молнии и звуковые эффекты (шипение и потрескивание).

Шаровая молния движется в атмосфере подобно надутному шару. При встрече с препятствием натяжение внутренней оболочки нарушается и электроны разлетаются под действием сил Кулона. Они соединяются с окружающими ионами, образуя сначала атомы, а затем молекулы азота и кислорода. Такие соединения сопровождаются выделением тепловой энергии, сжигающей само препятствие и его окружение.

Рассматривая шаровую молнию как сферический конденсатор, вычислим энергию, сосредоточенную в шаровой молнии, предполагая, что вся эта энергия при взрыве преобразуется в тепло.

- Пусть радиус шаровой молнии равен

$$R = 0,1 \text{ м},$$

а характерное расстояние цветового притяжения электронов равно $a = 2 \cdot 10^{-11} \text{ м}$.

- Отсюда площадь внутренней оболочки шаровой молнии равна $S = 4\pi R^2$, а площадь, приходящаяся на один электрон, равна

$$s = \frac{\pi a^2}{4}.$$

- Число электронов на внутренней оболочке равно

$$n = \frac{16\pi R^2}{\pi a^2} = 4 \cdot 10^{20}.$$

- Если учесть, что заряд электрона равен

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл},$$

то заряд, сосредоточенный на внутренней оболочке, равен

$$q = n \cdot e = 64 \text{ Кл}.$$

- Емкость сферического конденсатора равна

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0 R^2}{\Delta},$$

где ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}}{\text{В} \cdot \text{м}},$$

Δ – это расстояние между сферическими оболочками шаровой молнии. Мы будем принимать Δ равным радиусу Бора

$$\Delta = 53 \cdot 10^{-12} \text{ м}.$$

- Вычислим величину, обратную емкости сферического конденсатора

$$\frac{1}{C} = \frac{\Delta}{4\pi\epsilon_0 R^2} = 47 \frac{\text{В}}{\text{Кл}}.$$

- Далее вычислим напряжение между обкладками сферического конденсатора

$$U = \frac{q}{C} = 3000 \text{ В}.$$

- И, наконец, вычислим энергию электрического поля, сосредоточенного между обкладками сферического конденсатора. Эту энергию мы отождествим с энергией шаровой молнии.

$$W = \frac{Uq}{2} = 96 \text{ кДж}.$$

Эта величина вполне согласуется с существующими оценками энергии шаровой молнии.

Так как заряды оболочек шаровой молнии противоположны по знаку и одинаковы по величине, то издали шаровая молния нейтральна. Вблизи она имеет слабый положительный заряд, так как внешняя оболочка заряжена положительно. При приближении к проводнику шаровая молния своим внешним положительным зарядом наводит в проводнике отрицательный заряд, к которому притягивается.

Приближаясь к диэлектрику, шаровая молния поляризует его. Можно представить, что при соприкосновении шаровой молнии и диэлектрика отрицательный заряд поляризованного слоя диэлектрика компенсирует положительный заряд участка внешней оболочки шаровой молнии и разрушает его. Однако, дефектный участок шаровой молнии закрывается положительными зарядами поляризованного слоя диэлектрика. В результате шаровая молния сохраняет свою устойчивость и продвигается внутрь диэлектрика. Также отрицательные заряды поляризованного слоя диэлектрика служат заплатой разрушенного участка внутренней оболочки шаровой молнии. Аналогично можно объяснить выход шаровой молнии из диэлектрика и прохождение шаровой молнии через препятствия, например, через стекло.

Постепенное угасание шаровой молнии означает, что компенсация зарядов оболочек происходит постепенно. При этом раздается характерное потрескивание. Притяжение оставшихся разноцветных электронов обеспечивает шаровую форму молнии, но меньшего диаметра. Укрошенная шаровая молния может представлять собой источник энергии более эффективный, чем аккумуляторная батарея. “Укрошенная” – означает, что использование электрической энергии шаровой молнии, сопровождающееся разрывом цветовых связей между разноцветными электронами, не должно сопровождаться взрывным уничтожением шаровой молнии, а только уменьшением ее размеров.

VIII. ВЫВОДЫ

- В основе формирования электронной структуры атомов лежит цветное притяжение электронов внутренних орбиталей энергетических подуровней, приводящее к выполнению принципа Паули и правила Хунда.
- В основе химической связи лежит цветное притяжение электронов.
- В основе кристаллической структуры вещества лежит цветное притяжение электронов, обеспечивающее прочность и устойчивость кристаллической решетки.
- Сверхпроводимость объясняется тем, что силы цветового притяжения не только приводят к образованию электронных пар, но и объединяют их в гигантский мультиэлектрон, представляющий собой коллективное когерентное состояние электронов, вводимое в теории Бардина-Купера-Шриффера.
- Явление *шаровая молния* объясняется цветовым притяжением электронов, объединяющим электроны атмосферных газов в гигантскую сферу.
- Следует согласиться с В. Б. Щербатским, прогнозирующим новую двухцветную электронику и новый источник энергии, использующий энергию мультиэлектрона. Не исключено, что таким источником будет своего рода укрощенная шаровая молния.