Особенности движения электронов под действием электрического поля в твердых телах, в том числе и при переходе проводника в сверхпроводящее состояние

Владимир Васильевич Харченко,
канд. техн. наук

Постановка проблемы: использование понятий о модели молекулы, предполагающей взаимодействие всех электронов и ядер ее атомов, позволяет дать единые представления об электрическом токе в веществах, находящихся в твердой фазе. Целью работы является исследование возможности перемещения электронов в твердых телах под действием электрического поля.

Результаты: выявлены особенности перемещения электронов в твердых телах, приведены условия, удовлетворение которых обеспечивает возможность перемещения электронов, как при наличии сопротивления, так и при его отсутствии.

Практическая значимость: установленные представления обеспечивают возможность создания высоко проводящих материалов.

Ключевые слова — электрон, ядро, атом, молекула, электричество, поле, тело

Представления о молекуле, якобы создаваемой взаимодействием магнитных полей электронов атомов, и веществе, которое образуется молекулами с отсутствующими у них физическими свойствами и характеризуется таковыми свойствами при неопределенном количестве самих молекул, [1] привели к ряду понятий о движении электронов в твердых телах. Такие тела разделяются на виды по материалу, каждому из которых приписываются различные абстрактные свойства. Однако предпринятые действия не обусловили прогресс в создании высоко проводящих материалов, поскольку в основе понятий о твердых телах лежат представления, отсутствующие в природе и причисляемые образуемым молекуле и веществу. Это привело к противоречиям при объяснении природных явлений между принятыми представлениями, в частности, таких разделов физики как электричество и квантовая механика. Например, для таких представлений: часть энергии электронов проводимости при соударениях с ионами кристаллической решетки превращается в энергию их колебаний [2]; в теории молекул электронное движение рассматривают при неподвижных ядрах в силу того, что массы ядер очень велики по сравнению с массой электронов [3]. Указанный тип противоречий не единственный, т.к. они имеются между принятыми представлениями и результатами экспериментов. В частности, при соединении источника тока с проводником переход его электронов от беспорядочного к упорядоченному движению должен сопровождаться выделением энергии и охлаждением, поскольку электроны теплового движения обладают кинетической энергией на 18 порядков большей, чем электроны упорядоченного движения. Однако охлаждение не наблюдается. Если в области математики корректировка абстрактных представлений может улучшать методы расчета, то в области естественных наук она не допустима, поскольку приводит к новым абстрактным понятиям, также не отвечающим природным явлениям [4]. Учитывая приведенные доводы, рассмотрим особенности перемещения электронов в твердых телах под действием электрического поля, используя новые представления о молекуле [5–6] или зерне [7].

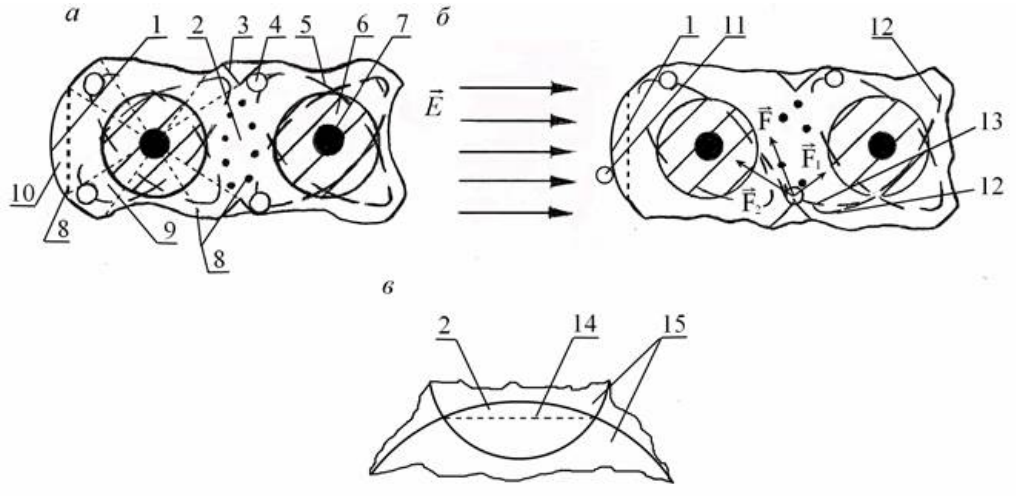


Рис. 1. Фрагмент поверхности тела с возможным расположением атомов, содержащих по два электрона на внешних орбитах, (*а*) и он же в один из моментов внесения тела в электростатическое поле напряженностью $\vec{E}$ (*б*), фрагмент тела с атомами различного объема (*в*):

1 — поверхность тела; 2 — запрещенная для электронов область; 3 — условный контур внутренней границы тела; 4 — электрон; 5 — вероятная траектория движения электрона; 6 — область, в которой располагаются внутренние электроны атома; 7 — ядро; 8 — границы областей; 9 — область, в которой частично располагаются внутренние и внешние электроны атома; 10 — закрытая для электронов область; 11 — оторванный внешним электростатическим полем от поверхностного атома электрон; 12 и 13 — части траекторий движения электрона соответственно до и после внесения тела в электростатическое поле; 14 — вспомогательная линия, обеспечивающая наглядность асимметрии области 2; 15 — атомы различного объема. Тогда как $\vec{F}$ — результирующая сила векторной суммы электрических сил, действующих на внешний электрон атома со стороны его других заряженных частиц $\vec{F}_1$ и со стороны иона $\vec{F}_2$

При внесении в электростатическое поле твердых тел имеется возможность изменения движения электронов атомов, прежде всего расположенных на обращенной к полю поверхности (рис. 1). В зависимости от величины сил, связывающих электроны с ядрами, и напряженности внешнего поля может происходить как изменение формы траекторий движения электронов, так и прекращение их движения вокруг ядра и перемещение на поверхность тела (рис. 1, *б*) или отрыв от него и движение вдоль поля. Отрыв внешних электронов для диэлектриков может сопровождаться их пробоем, который происходит в электрическом поле с напряженностью, превышающей определенное значение, что в свою очередь может приводить к их разрушению [8]. Такие результаты обусловлены изменением взаимодействий между электронами и ядрами атомов под действием внешнего поля. Развития ускорения таких изменений можно достичь, подогревая тело или увеличивая частоту колебаний его молекул [6]. Возрастанию частоты излучения молекул предшествует удлинение орбит электронов [9] и уменьшение сил, связывающих их с ядрами на наиболее удаленных от них участках орбит, что будет способствовать их отрыву. После отрыва электронов внешнее поле, вероятно, сдвинет вдоль него траектории движения электронов и ядер относительно друг друга, по крайней мере, в поверхностном слое атомов и создаст условия для перемещения электронов соседних атомов на место вырванных. Отрыв электронов от атомов обусловит увеличение частоты колебаний ядер и изменит их взаимодействия с оставшимися электронами. Увеличение частоты колебаний ядер вызовет возрастание частоты инфракрасного излучения молекул диэлектрика, что принято характеризовать понятием о его нагреве. Ослаблению взаимодействий электронов и ядер будет способствовать и смещение траекторий их движения относительно друг друга. По мере нагревания диэлектрика количество электронов, отрываемых от атомов, будет возрастать, что увеличит ток. Такой же эффект даст и увеличение напряженности внешнего поля, вызывающее

возрастание указанного смещения и ускоряющее нагрев диэлектрика за счет возрастания количества вырываемых электронов. Тогда как эксперименты с проводящими телами показывают, что перемещение электронов вдоль тела возможно, если они с источником тока образуют замкнутую цепь. Из изложенного следует, что после соединения проводящего тела с одной, например, положительной клеммой источника тока, и последующего замыкания цепи будет происходить как корректировка формы траекторий движения электронов и ядер [9], так и смещение их относительно друг друга. После замыкания цепи в месте соприкосновения атомов положительной клеммы с атомами проводника по крайне мере по одному электрону из проводника переместятся в атомы клеммы. Так как точки пространства, в которые это перемещение состоится, будут иметь потенциалы электрического поля большие, чем в точках атомов, с которых перемещение состоялось. Тогда в месте контакта образовавшегося иона и соседнего атома проводника с него в силу наличия положительной разности потенциалов, возникшей благодаря указанному смещению, произойдет перемещение электрона на ион. Такое движение электронов происходит вдоль всего проводника, а созданное смещение траекторий различно заряженных частиц обеспечивает и перемещение электронов и с атома на атом, а не только с атома на ион. Созданные разности потенциалов приводят к возникновению результирующих сил, перемещающих электроны вдоль проводника. На один из электронов атома, например, расположенного за ионом (рис. 1, *б*), будет действовать результирующая сила $\vec{F}$, которую можно определить как

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2. \quad (1)$$

В зависимости от направления действия результирующей силы на рассматриваемый электрон последний сможет или не сможет переместиться на соседний ион. Если значение проекции этой силы $\vec{F}$ на направление к положительной клемме источника тока вдоль замкнутой цепи будет положительным, то указанное перемещение состоится, это приведет к аналогичному действию для более глубоко расположенных электронов, и по цепи будет протекать электрический ток.

При соединении части твердых тел, называемых проводниками, с источником тока и создании замкнутой цепи из них будет наблюдаться движение электронов с большей или меньшей средней скоростью вдоль проводника. Эта скорость зависит от указанной результирующей силы, размеров области 9, и в соответствии с ее размерами — вероятности попадания электрона на орбиту, с которой он может переместиться на соседний атом. Такие обстоятельства позволяют использовать для характеристики электрических взаимодействий движущихся направленно электронов более удобное общепринятое понятие об электрическом сопротивлении. Нарушение и восстановление электрических взаимодействий между заряженными частицами (для каждого из атомов) по мере направленного движения электронов вдоль проводника приведет к увеличению частоты колебаний ядер. Такое воздействие на частоту колебаний ядер увеличит частоту инфракрасного излучения проводника и изменит межатомные взаимодействия, уменьшающие запрещенную область 2. Сокращение области 2 будет увеличивать длину пробега электрона. Одновременно с сокращением области 2 возрастут размеры области 9, а вероятность попадания электрона на орбиту, с которой он может быть оторван от атома, уменьшится. Эти факторы приведут к снижению скорости его направленного движения. Величина изменения указанных взаимодействий зависит от химического состава материала тела и взаимного расположения атомов относительно друг друга в нем. Причем часть тех или иных отличий в движении электронов может наблюдаться как у различных однородных проводящих материалов, так и у их сплавов, имеющих асимметричные области 2 (рис. 1, *в*). Например, уменьшение таких областей 2 будет по-разному сказываться на изменении областей 9 для отличающихся атомов.

В обсуждаемых проводниках материя располагается в занимаемых ею пространствах неоднородно. Материя с наименьшей плотностью содержится в пространствах между границами атомов, поскольку в них отсутствуют частицы, а напряженность электрического поля соответствует

результирующим значениям, создаваемым ядрами атомов вне их границ [6]. Это подтверждается проникновением масла при сильном его сжатии через стенки стального цилиндра, т. е. через его кристаллическую структуру. Значит, можно утверждать, что электроны с одной орбиты атома против направления действия поля переходят на орбиту соседнего иона и не пересекают внутренние границы тела. Это реализуется в месте соединения границ атомов или атома и иона с их совместной зоной 2 (рис. 1, *б*). Так как именно в этой области для иона будет находиться ближайшая точка с большим потенциалом электрического поля будущей траектории, на которую перейдет электрон с траектории соседнего атома, имеющей в точках этой же области для атома меньшие потенциалы. Таким образом, при соединении проводника с источником тока и перемещении его электронов, они будут двигаться по участкам со спиральными траекториями, переходя с одного атома на соседний ион.

Образование замкнутой цепи диэлектрика с источником тока, который не вызывает его пробой, не приводит к движению электронов вдоль цепи, как это наблюдается у проводников. Отсутствие тока в цепи свидетельствует об отрицательном значении проекции силы $\vec{F}$. Можно утверждать, что для пар соседних атомов разности потенциалов электрических полей для ближайших точек пространства атома, в которые мог бы переместиться по направлению к положительной клемме электрон соседнего атома, и точек, с которых это перемещение могло бы состояться, будут отрицательны. В некоторых случаях материал диэлектрика можно трансформировать в проводящий материал. Это происходит при создании нового энергетического состояния тела [10], когда за счет механического воздействия устанавливаются новые силы, действующие между заряженными частицами атомов, изменяются траектории их движения [9] и создаются новые соотношения между потенциалами полей соседних атомов в местах возможного перехода электронов с атома на соседний атом.

Рассмотрим поведение электронов и условия, которым они должны подчиняться, при переходе проводника в сверхпроводящее состояние, когда его удельное сопротивление скачком падает до нуля. Отметим, что в таком состоянии сопротивление у проводников все же фиксируется (экспериментально установлено, что сопротивление, во всяком случае, не выше 10^{-23} *омсм*) [8], а, следовательно, существуют и все характеристики области 9, связанные с электрическими свойствами. При уменьшении частоты инфракрасного излучения проводника размеры области 2 между взаимодействующими атомами вещества увеличиваются. Это будет приводить к уменьшению объема областей 9, в которых располагаются частично внешние и внутренние электроны, а, следовательно, увеличению плотности их заряда и увеличению сил отталкивания между ними. Далее еще учтем то, что в отличие от атомов потенциал ионизации молекул, образованных из них, изменяется от значения первого потенциала ионизации отдельного атома до некоторого меньшего значения. Тогда можем предполагать, что в пространствах атомов, где располагаются электроны, наименее связанные с ядром, и где возможен переход с одного атома на другой атом (рис. 1, *б*), при определенных энергетических состояниях вещества, из которого изготовлен проводник, возможна реализация для таких электронов условия:

$$F_{01i} = F_{02i} = F_{03i} = \ldots = F_{0Ni} \to 0 \quad (2)$$

где $F_{01i}, F_{02i}, \ldots, F_{0Ni}$ — проекции результирующих электрических сил, действующих на электроны в указанных пространствах, на направление их движения вдоль проводника при создании тока. Индексы 1, 2, ..., N — номера атомов, образующих наименьшую замкнутую цепочку из них вдоль проводника для каждого *i*-го атома его любого поперечного сечения (i = 1, 2, 3, ...). Атом с индексом 1 выбирается произвольно. Такое предположение соответствует утверждению о возможности создания сверхпроводящих материалов за счет снижения потенциальных энергий взаимодействия электронов с ядрами [5], т.к. перемещение электрона с одного атома на другой осуществляется из области 9 одного атома в область 9 соседнего атома. Тогда, например, при

помещении кольца из такого материала в магнитное поле некоторой напряженности *H* и последующего его выключения возникает вихревое электрическое поле. Воздействие таких полей на электроны и ядра проводника будут смещать их траектории движения относительно друг друга и создавать в местах возможного перехода электрона с атома на соседний атом в направлении, противоположном действию электрического поля, большие и меньшие потенциалы (рис. 1, *б*), обеспечивая возможность их перемещения в атомных цепочках. При этом в сверхпроводнике возникший ток остается неизменным, а внутри него магнитный поток не меняется со временем. Это реализуется из-за отсутствия влияния на возможность изменения частот межатомных колебательных систем разрывов и образований электрических взаимодействий по мере направленного движения электронов при их переходах с атома на атом. Следует отметить, что созданное состояние сверхпроводимости в проводнике без внешнего воздействия не изменяется, а, следовательно, и разности потенциалов между соседними атомами также не изменяются и фактически являются источниками тока с неограниченным сроком действия. Обратив внимание на то, что в веществах уменьшить объем областей 9 (рис. 1, *а*) можно не только при охлаждении, но и при нагревании их вплоть до начала процесса рекристаллизации, придем к выводу о возможности реализации повышения электропроводности в условиях, отличающихся от общеизвестных условий.

В квантовой физике по электрическим свойствам из твердых тел выделяют особый класс тел — полупроводники. Однако их свойства, связанные с изменением электропроводности и зависящие как от внешних воздействий, так и от внедренной в них примеси, объясняются, как и для рассмотренных тел, изменениями взаимодействий между частицами атомов. Например, в соответствии с рассмотренным механизмом образования молекулы взаимодействие атомов полупроводникового материала с атомами различных примесей должно приводить к созданию во вновь образовавшихся молекулах областей с различной плотностью электронов, что может обуславливать при их соединении создание *p*—*n*-перехода, обеспечивающего пропускание тока только в одном направлении.

Полученные результаты исследований возможностей модели молекулы, основанной на взаимодействии всех ее образующих частиц, позволяют отказаться от аксиоматических представлений, присущих общепринятым понятиям для модели молекулы и электронной теории. Кроме того, они дают новые непротиворечивые представления о движении электронов в твердых телах под действие электрического поля и открывают пути по созданию сверхпроводящих и с повышенной электропроводностью материалов, как это уже отмечалось в [5].

Список литературы

1. Некрасов Б.В. Курс общей химии. М.: Госхимиздат, 1962. 976 с.
2. Калашников С.Г. Электричество. М.: Физматгиз, 1970. 668 с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика (нерелятивистская теория). М.: Физматгиз, 1963. 704 с.
4. Мрочек Ж.А., Харченко В.В. В сб.: Международная научно-техническая конференция ″Инновационные технологии в машиностроении″: Тенденции развития электрофизических способов обработки материалов. Новополоцк: ПГУ, 2011. С. 61–63.
5. Макушок Е.М., Харченко В.В. Теория и практика машиностроения. Мн. 2003. № 2. С. 17-20.
6. Харченко В.В. Евразийский научный журнал. 2015. № 12. С. 146-150 (journalpro.ru/archive/).
7. Харченко В.В., Макушок Е.М., Мрочек Ж.А. Технологии и оборудование для прессования и штамповки. Мн.: Новое знание. 2008. 255 с.
8. Физический энциклопедический словарь: в 5 т. М.: Советская Энциклопедия. Т. 4. 1965. 592 с.
9. Харченко В.В. Евразийский научный журнал. 2016. № .9. С. 51–54 (journalpro.ru/archive).
10. Харченко В.В. Евразийский научный журнал. 2016. № 4. С. 204-209 (journalpro.ru/archive/).