Влияние релаксации спиновых корреляций на проводимость органических полупроводников с прыжковым транспортом

Шумилин А.В., Бельтюков Я.М.

ФТИ им А.Ф. Иоффе, 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26

DOI 10.34077/Semicond2019-312

В течении длительного времени большинство теоретических работ посвященных прыжковой проводимости основывались на приближении среднего поля. В рамках этого приближения среднее произведение двух чисел заполнения $\overline{n_i n_j}$ заменяют на произведение средних $\overline{n_i} \overline{n_j}$. Таким образом, не учитываются корреляции чисел заполнения $\overline{n_i n_j} - \overline{n_i} \overline{n_j}$. Несмотря на то, что такое приближение очень удобно и позволило получить большое количество правильных результатов, оно не является контролируемым и не может быть обосновано в реальных веществах.

Недавно возникла серьезная причина вернуться к изучению корреляций в прыжковой проводимости и построить теорию, выходящую за рамки среднего поля. Во многих органических полупроводниках было обнаружено сильное магнетосопротивление ($\sim 10\%$) в слабых полях 10-100 Гс. Этот эффект получил название «органическое магнетосопротивление» или «OMAR». Форма зависимости

проводимости от поля позволила связать это магнетосопротивление с влиянием поля на спиновую релаксацию. Тем не менее, при комнатной температуре магнитное поле 100 Гс не может приводить к сколь-нибудь заметной намагниченности, и было неясно, как связать скорость спиновой релаксации и проводимость.

В работе [1] было показано, что такая связь возникает в теории при выходе за пределы приближения среднего поля. Вне равновесия за счет электрического поля могут возникать спиновые корреляции, влияющие на электрический ток. В органических полупроводниках основным механизмом релаксации спина (и спиновых корреляций) является сверхтонкое взаимодействие с ядерными спинами. Внешнее магнитное поле 10-100 Гс может сильно замедлить подобную спиновую релаксацию и таким образом повлиять на проводимость даже при комнатных температурах. В работе [1] было показано, что выход за рамки среднего поля даже при очень грубых приближениях позволяет описать этот эффект.

Тем не менее, законченная картина OMAR-а может быть основана только на последовательной теории неравновесных корреляций в прыжковой проводимости. В рамках нашей работы мы строим такую теорию. Основываясь на цепочке уравнений Боголюбова, мы выводим систему кинетических уравнений, связывающих средние числа заполнения и корреляции различных порядков, как зарядовые, так и спиновые. Во многих случаях наша система уравнений может быть сведена к эквивалентной электрической схеме, обобщающей сетку сопротивлений Миллера-Абрахамса (см. рис. 1). Эту схему мы изучаем с помощью численного решения уравнений Кирхгофа. С помощью нашего подхода мы строим теорию органического магнетосопротивления, а также изучаем влияние зарядовых корреляций на проводимость и распределение токов в веществах с прыжковой проводимостью в режиме закона Мотта.

Рис. 1. – связь тока и корреляций в рамках эквивалентной схемы.