

О статье
PARTICLE CONDUCTIVITY IN A TWO-DIMENSIONAL RANDOM POTENTIAL
L.P. Gor'kov, A.I. Larkin, D.E. Khmel'nitskii
JETP LETTERS 30, 228 (1979)

Д.Е. Хмельницкий
*Кавендишская лаборатория, Университет Кембриджа,
ул. Дж.Дж. Томсона, Кембридж, Великобритания*

Аннотация

Приведены воспоминания о тех обстоятельствах, при которых была написана статья, и обсуждение дальнейшего развития начатых ею исследований.

I. Первоапрельская история.

Эта история началась в конце марта 1979 года. В Черноголовке появился очередной номер журнала Physical Review Letters со статьей Абрахамса с соавторами [1] и я ее прочел. Статья производила очень сильное впечатление. Всего на четырех страницах авторы рисовали широкую и универсальную картину. Не удивительно что их повествование содержало ряд пропусков, возбуждавших желание эти пропуски заполнить.

Я обсуждал соответствующие вопросы отдельно с Л.П. Горьковым и А.И. Ларкиным. В конце концов, это и привело к появлению нашей общей статьи, единственной статьи, в которой Л.П. Горьков и А.И. Ларкин были соавторами. После того, как простейшая часть - вычисление квантовых поправок к проводимости - была проделана, возник вопрос, что делать дальше. Толя Ларкин предложил вычислить вклад в проводимость на низких частотах ω , который должен бы быть пропорционален $\log^2 \omega t$. Если ренормализационная группа, предложенная авторами работы [1] правильна, тогда коэффициент перед $\log^2 \omega t$ должен обратиться в нуль. Вычисления оказались длинными и утомительными. Они заняли добрых пару месяцев. Наконец, после устранения многочисленных ошибок, я нашел отсутствовавший член и полная сумма всех поправок обратилась в нуль. Результат был показан Ларкину и убедил его, о чем Толя сообщил Горькову. Наступал период летних отпусков и мы решили написать текст статьи, для чего я еще раз тщательно проверил все коэффициенты.

Вернувшись после летнего похода в Саяны я обнаружил, что рукопись нашей статьи, написанной месяц назад, только на прошлой неделе отправлена в редакцию журнала "Письма в ЖЭТФ". Как объяснил мне Толя, Горьков был занят. Когда же у него образовалось свободное время, он взял несколько листов чистой бумаги и воспроизвел все вычисления, чтобы проверить формулы, вписанные нами в текст. Все коэффициенты совпали и рукопись была отправлен к машинистке и далее в журнал. Статья начиналась сакральными словами, что целью авторов было удостовериться в справедливости утверждений, сделанных авторами работы [1].

II. Быстрое развитие.

Для нас развитие стартовало вместе с Советско-Американским симпозиумом, состоявшемся 1-21 сентября 1979 на озере Севан в Армении. Это был ответ на подобный симпозиум в Аспене, штат Колорадо летом 1977 года. В американскую делегацию входили J.R. Schrieffer, J. Sak, A. Lüther, C. Pethick, T.C. Lubensky, P.A. Lee, D.S. Fisher, S. Kirkpatrick, M.J. Stephen, K. Maki, G. Mazenko, J. Hertz, W.F. Brinkman. Советская группа была гораздо больше и включала в себя как ветеранов, так и совсем юных теоретиков. Среди самых юных был, тогда еще аспирант из Ленинграда, Борис Альтшулер. К сожалению, не смог приехать Аркадий Аронов.

Все участники симпозиума жили в пустом отеле, расположенном на берегу озера и принадлежавшем Совету министров Армении. Вокруг не было никого. Ранняя осень Армении - сухая и теплая, голые холмы вокруг и озеро, на 2000 метров над уровнем моря, возможность неформальных контактов, - все создавало совершенно уникальную атмосферу, которую я не могу забыть даже сейчас, 35 лет спустя.

Из разговоров с американцами (на моем очень плохом английском) я понял, что результат вычисления квантовых поправок к проводимости, сообщенный в нашей статье, им уже известен, хотя соответствующая статья [2] еще не опубликована¹. Тем не менее, среди американских теоретиков

¹ Я думаю, что если бы Горьков, Ларкин и я знали бы об этом, наша статья никогда не была бы написана.

не было согласия относительно справедливости ренормализационной группы, предложенной в работе [1]. Наиболее откровенным критиком был Патрик Ли, доложивший на Севане результаты своего численного исследования [3]. Патрик утверждал, что результаты этих вычислений свидетельствуют об ошибочности догадки "банды четырех"². В свете этих сомнений вычисления членов с \log^2 в поправке к проводимости и утверждение, что эти члены уничтожают друг друга в соответствии с гипотезой банды четырех, приобрело особое звучание.

Будучи удалены от библиотек мы не знали о статье Вегнера [4]³, в которой он построил новую полевою теорию локализации - нелинейную σ - модель. К этому времени было известно, что модели такого типа ренормируемы и что уравнения ренорм-группы совпадают с предложенными бандой четырех.

Статья Вегнера, тем самым, снизила значение нашей попытки проверить справедливость гипотезы банды четырех до обычной банальности. Тем не менее, умение вычислять квантовые поправки принесло немало пользы. Прежде всего, на Севане было обнаружено, что квантовая поправка к проводимости исключительно чувствительна к магнитному полю. В результате, хотя квантовая поправка мала по сравнению с полной величиной проводимости, ее зависимость от магнитного поля определяет зависимость всей проводимости, что приводит к отрицательному магнетосопротивлению. Позднее этот результат был опубликован в статье [5] в соавторстве с Борисом Альтшулером, Патриком Ли, и Ларкиным.

В следующем месяце, во время визита в Японию, Ларкин вместе с Хиками и Нагаока исследовал влияние спин-орбитального взаимодействия. Ими было показано [6], что спин-орбитальное взаимодействие приводит к смене знака квантовой поправки к проводимости и трансформации отрицательного магнетосопротивления в положительное. Оказалось, что изучение магнетосопротивления при низких температурах является наилучшим способом наблюдения квантовых поправок. Оно также дает новый метод спектроскопии разных скоростей релаксации: релаксации спина и релаксации фазы электронной волновой функции.

Другим результатом сделанного нами на Севане открытия стала короткая статья [7], написанная Ларкиным и мной, в которой был найден сдвиг критической концентрации примесей для перехода металл-изолятор в слабом магнитном поле.

Необходимость представить результаты теории широкому сообществу экспериментаторов потребовало разработки другого языка, который был создан не сразу. Мною были сделаны несколько докладов по этому поводу [8], в которых был представлен новый качественный язык. Качественная картина оказалась очень полезной и для теоретической работы. Я хотел бы специально упомянуть здесь наши статьи [9] с Аркадием Ароновым и Борисом Альтшулером о влиянии высокочастотного электромагнитного поля на проводимость и о скорости потери фазы электронной волной в разупорядоченном проводнике.

В заключение, вывод из приведенного выше текста сводится к тому, что если у вас есть вопрос на который вы не знаете ответа, попытайтесь отыскать ответ. Непосредственный результат может оказаться не очень впечатляющим. Тем не менее, он позволит вам увидеть более широкую картину и поставить новые вопросы.

Список литературы

- [1] E. Abrahams, P.W. Anderson, D.C. Licciardello & T.V. Ramakrishnan, *Phys Rev Lett*, **42**, 673, (1979)
- [2] E. Abrahams, P.W. Anderson & T.V. Ramakrishnan, *Phil Mag*, **42**, 827, (1980)
- [3] P.A. Lee, *J. Non-Cryst. Sol.* **35**, 21 (1980)
- [4] F. Wegner, *Z.f Phys.*, **B 35**, 207 (1979)
- [5] B.L. Altshuler, D.E. Khmel'nitskii, A.I. Larkin, P.A. Lee *Phys Rev B*, **B22**, 5142 (1980)

²Патрик начал свой доклад на Севане тем, что изобразил нескольких китайских иероглифов и объяснил, что эта надпись означает "Долой банду четырех". Отсюда и пошло название "Банда четырех" для авторов работы [1].

³Следует напомнить современному читателю, что в 1979 году еще не было ни персональных компьютеров, ни электронной почты, ни интернета и тому подобного.

- [6] S. Hikami, A.I. Larkin & Y. Nagaoka, *Progr. Theor. Phys.*, **63** , 707 (1980)
- [7] D.E. Khmel'nitskii & A.I. Larkin, *Solid State Comm.*, **39**, 1069 (1981)
- [8] A.I. Larkin & D.E. Khmel'nitskii, *Sov. Phys. Uspekhi*, **136**, 536 (1981); D.E. Khmel'nitskii, *Physica B+C*, **126B**, 235 (1984)
- [9] B.L. Altshuler, A.G. Aronov & D.E. Khmel'nitskii, *Sol.St.Comm.*, **39**, 1069 (1981); *J. Phys.C*, **C15**, 7367 (1982)