

Статья "Magnetic-flux quantization in a cylindrical film of a normal metal" D.Yu. Sharvin and Yu.V. Sharvin 1981 г.

Работа [1] является одной из последних работ периода романтической физики. В это время для успеха экспериментатору было необходимо не только удачно поставить задачу, не только тщательно и грамотно провести измерения, но и своими руками, без применения высоких технологий приготовить объект исследования. Цель эксперимента состояла в проверке предсказания теории Альтшулера-Аронова-Спивака [2], в которой было обращено внимание на важность вклада интерференционных эффектов в транспортные свойства электронных систем при низких температурах.

Представим себе цилиндр из изолятора, покрытый тонкой пленкой нормального металла. Амплитуда вероятности для электрона вернуться в какую-либо точку пленки может быть представлена как сумма амплитуд по всем диффузионным путям, стартующим и оканчивающимся в этой точке. Среди таких путей есть группа выделенных траекторий, состоящая из пар, в каждой из которых электрон последовательно рассеивается на одних и тех же примесях, но в обратном порядке. Изменение фазы электронной волновой функции при движении по каждому из путей пары одинаково, поэтому для таких пар для определения вклада в вероятность вернуться нужно вначале суммировать модули амплитуд вероятностей и лишь затем по суммарной амплитуде вычислить вероятность. Как результат, вероятность для электрона вернуться на исходную позицию возрастает, что означает увеличивает электрическое сопротивление пленки.

Теперь введем магнитное поле, ориентированное вдоль оси цилиндра. Оно приводит к появлению дополнительного изменения фазы у электронной волновой функции, пропорционального магнитному потоку, пронизывающему замкнутую электронную траекторию. Изменения фазы на двух траекториях пары равны по модулю и противоположны по знаку. Поэтому разность фаз набранных на траекториях пары будет равна целому числу n , умноженному на 2π всякий раз, когда магнитный поток через сечение цилиндра будет равен $\phi_0 = nhc/2e$. Появятся квантовые осцилляции с совершенно нетипичным для нормального металла периодом. Для наблюдения предсказанного эффекта необходимо, чтобы диаметр цилиндра был существенно меньше, чем то расстояние, на котором электронная волновая функция теряет память о фазе, в результате рассеяния на фононах, например.

Авторам прежде всего предстояло изготовить цилиндр из изолятора с диаметром масштаба микрона, чтобы при гелиевой температуре иметь траекторию с памятью о фазе, превышающую по длине диаметр цилиндра. Эта задача была решена с помощью арбалета, стрела которого после выстрела растягивала предварительно расплавленный кварц до состояния нити требуемого диаметра. Поиск нити или ее частей после выстрела представлял собой следующую нелегкую задачу.

В качестве нормального металла был выбран магний, про пленки которого было известно, что они не переходят в сверхпроводящее состояние по мигшей мере до температуры в $50mK$. То, что пленка остается в нормальном состоянии при температуре измерений $1.12K$ было существенно, поскольку появление квантовых осцилляций с магнитным потоком, определяемым двойным электронным зарядом (соответствующим заряду куперовской пары) не удивительно в сверхпроводнике.

Пленки были изготовлены испарением магния в вакуумной камере с охлаждаемыми жидким азотом стенками в атмосфере чистого гелия с давлением $10^{-3}mmHg$. Две из них, длиной $1cm$, были использованы для двухконтактных измерений сопротивления в магнитном поле. На этих образцах были обнаружены осцилляции сопротивления в слабых $H \leq 50Oe$ магнитных полях. У одного из исследованных образцов с помощью электронного микроскопа был измерен диаметр цилиндра, равный $1.58\mu m$, и показано, что период осцилляций действительно соответствует удвоенному заряду электрона.

Эксперимент [1] породил большую серию работ по исследованию аналога эффекта Ааронова-Бома в пленках и двумерных электронных системах. Объекты исследования изготавливались гораздо более современными методами, электронно-лучевой литографией, например.

[1] D. Yu. Sharvin and Yu. V. Sharvin Письма в ЖЭТФ 34, 285 (1981).

[2] B.L.Alt'shuler, A.G. Aronov, B.Z. Spivak Письма в ЖЭТФ 33, 101 (1981).