6. Artemenko S. N., Volkov A. F., Zaitsev A. V.— Ibid., 1978, v. 30, p. 487.
7. Ivlev B. I., Kopnin N. B.— Ibid., 1981, v. 44, p. 453.
8. Ивлев Б. И., Копнин Н. Б., Маслова Л. А.— ЖЭТФ, 1980, т. 78, с. 1963.

537.311.33(048)

К. Б. Ефетов. Теоретико-полевое описание андерсоновской локализации и проводимость двумерных неупорядоченных металлов. При описании свойств неупорядоченных металлов обычно используется теория возмущений, применимая при достаточно малых концентрациях примесей таких, что $\tau\varepsilon_0 \gg 1$, где τ — время свободного пробега, ε_0 — энергия Ферми. В этом пределе существует хорошо разработанная диаграммная техника [1]. Диаграммы конструируются из электронных и примесных линий. В последние годы стало ясно, что для широкого круга задач (проводимость двумерных металлов, толстых проволок, вычисление корреляций между уровнями в ограниченном объеме и т. д.) суммирование стандартных диаграмм оказывается чрезвычайно сложным из-за возникающих при малых частотах ω расходимостей типа [2]

$$\int \frac{d\mathbf{K}}{DK^2+i\omega}. \tag{1}$$

К этим расходимостям приводит существование диффузионных мод, формально появляющихся при суммировании определенной бесконечной последовательности диаграмм.

Для решения перечисленных выше задач предлагается метод суперсимметрии, позволяющий выйти за рамки обычной теории возмущений. В этом методе можно сразу же проинтегрировать по электронным линиям и свести задачу к исследованию лагранжиана, описывающего только диффузионные моды. Основой для всех предлагаемых вычислений служит описание взаимодействия электронов со случайным потенциалом с помощью теоретико-полевого лагранжиана

$$L = \int \left[-i\bar{\psi}H_0\psi + \frac{1}{2\pi\nu\tau}(\bar{\psi}\psi)^2 + \frac{i(\omega-i\delta)}{2}\bar{\psi}\Lambda\psi \right] dr. \tag{2}$$

В (2) ψ — восьмикомпонентный вектор, имеющий бозонные и фермионные компоненты, ν — плотность состояний, H_0 — кинетическая энергия,

$$\Lambda = \begin{pmatrix} I & 0 \\ 0 & -I \end{pmatrix},$$

где I — единичные матрицы с размером 4×4. При разложении по взаимодействию лагранжиан L (2) дает обычный ряд теории возмущений [1]. Использование как бозонных, так и фермионных компонент приводит к необходимому сокращению поправок к примесным линиям (бозонные и фермионные петли имеют разные знаки). Лагранжиан L (2) похож на лагранжианы, возникающие, например, в теории сверхпроводимости. Анализ (2) показывает, что так же, как и в сверхпроводимости, симметрия в (2) спонтанно нарушается и появляются средние [3]

$$Q_{\alpha\beta} = \langle\psi_\alpha\bar{\psi}_\beta\rangle \tag{3}$$

Матрица Q в (3) содержит как бозонные, так и фермионные элементы. Такие матрицы принято называть суперматрицами. Определение и свойства можно найти в обзоре [4].

Основное состояние лагранжиана (2) при $\omega = 0$ сильно вырождено. Любая суперматрица Q вида

$$Q = \bar{u}_\Lambda u, \quad \bar{u}u = 1 \tag{4}$$

удовлетворяет условию самосогласования (3). Вырождение (4) приводит к появлению голдстоуновских (при $\omega = 0$) возбуждений. Эти возбуждения описываются эффективным лагранжианом

$$L_{\text{eff}} = \frac{\pi\nu}{8}\int \mathrm{SSp}\,[D(\nabla Q)^2 - 2i(\omega - i\delta)\Lambda Q]\,dr. \tag{5}$$

Определение суперследа SSp см. [4]. Эффективный лагранжиан L_{eff} является обобщенной нелинейной суперсимметричной σ-моделью. Симметрия матрицы Q может изменяться под действием магнитных и спин-орбитальных взаимодействий.

К настоящему времени лагранжиан (5) исследован в двух задачах:

1. Проводимость в двумерных металлах. В этой задаче градиент в (5) — двумерный. Написаны и решены уравнения ренормализационной группы, связывающие эффективный коэффициент диффузии D_{eff} с частотой. Показано, что при понижении частоты величина D_{eff} падает для рассеяния на обычных и магнитных примесях. Если магнитные взаимодействия отсутствуют, но имеются спин-орбитальные, D_{eff} растет.

2. Корреляции между уровнями в металле с ограниченным объемом[5]. Эта задача соответствует нульмерному пределу в (5). Членом с градиентом можно пренебречь. Вместо функциональных интегралов с энергией (5) вычисляются простые интегралы. Показано, что корреляционная функция уровней зависит от присутствия или отсутствия магнитных и спин-орбитальных взаимодействий и совпадает в трех возможных случаях с результатами, полученными Дайсоном[6] в феноменологической теории уровней сложных систем для ортогонального, унитарного и симплектического ансамблей. Проведенный расчет[5] является первой прямой проверкой статистических гипотез Дайсона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрикосов А. А., Горьков Л. П., Дзялошинский И. Е. Методы квантовой теории поля в статистической физике.— М.: Физматгиз, 1963.
2. Горьков Л. П., Ларкин А. И., Хмельницкий Д. Е.— Письма ЖЭТФ, 1979, т. 30, р. 248.
3. Ефетов К. Б.— ЖЭТФ, 1982, т. 82, с. 872.
4. Березин Ф. А.— ЯФ, 1979, т. 29, с. 1670.
5. Ефетов К. Б. ЖЭТФ, 1982.
6. Дайсон Ф. Статистическая теория уровней сложных систем.— М.: ИЛ, 1963.

539.12.01(048)