



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Luttinger liquid on a lattice

Zakharov, V.

Citation

Zakharov, V. (2025, September 23). *Luttinger liquid on a lattice*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/4261489>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/4261489>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Резюме

Описание взаимодействий в квантовых многочастичных системах остаётся одной из самых глубоких и сложных задач физики конденсированного состояния. Если проблему системы свободных частиц можно решить с помощью одночастичных методов, то добавление взаимодействий делает задачу поистине многочастичной и быстро неразрешимой. Размер гильбертова пространства растёт экспоненциально, и стандартные подходы становятся неприменимыми.

Обычно, для решения таких задач, прибегают к численным методам, дискретизируя систему на решётке. Такой подход хорошо работает для многих одномерных задач, в том числе описываемых уравнением Шрёдингера. Однако, при рассмотрении проблемы безмассовых фермионов Дирака с защищённой хиральностью, ситуация усложняется. Любой прямолинейный метод дискретизации неизбежно сталкивается с проблемой удвоения фермионов, которая была формально описана теоремой Нильсена—Ниноми, запрещающей локальную реализацию одного хирального фермиона на пространственной решётке без нарушения симметрии или введения нефизических степеней свободы.

Главная мотивация моей диссертации заключается в необходимости описания одномерных сильно коррелированных систем и сложности реализации численного подхода, вызванной фундаментальными ограничениями. Основной фокус этой работы – это разработка и исследование численных методов на решётке для сильно взаимодействующих одномерных хиральных фермионов, с жидкостью Латтинджера, выступающей в качестве основного примера.

В первой части диссертации выдвигается и валидируется новый численный подход, основанный на тангенсных фермионах. Во второй главе мы используем его в форме локального евклидова действия на дискретном пространстве-времени, что позволяет нам применить метод квантового Монте-Карло (QMC) без проблемы знака при усло-

вии наполовину заполненной зоны. Этот метод точно воспроизводит результаты континуальной теории для геликальной жидкости Латтинджера без подгоночных параметров и представляет собой первую успешную численную реализацию этой системы на решетке.

В третьей главе мы расширяем подход тангенсных фермионов на методы тензорных сетей, в частности DMRG. Что позволяет нам преодолеть ограничения QMC и исследовать более общие ситуации, с наличием потенциального поля и нестандартных взаимодействий, в том числе вне половинного заполнения. Продемонстрировано, что тангенсные фермионы допускают компактное и эффективное представление в терминах тензорных сетей, и хорошо согласуются с результатами бозонизации жидкости Латтинджера. Это подтверждает универсальность и согласованность нашего метода.

Во второй части диссертации фокус исследовательской работы смещается на двумерную одночастичную физику, охватывая два различных направления. Глава 4 посвящена тепловым Майорана-металлам в беспорядочных хиральных сверхпроводниках. Мы применяем спектральный локализатор как инструмент топологического ландшафта в координатном пространстве и показываем, что переход в металл из изолятора происходит в следствие перколяции границ топологических доменов.

Наконец, Глава 5 исследует квантование Ландау в системах с обобщёнными особенностями Ван Хофа. Мы разрабатываем общий метод расчёта магнитного пробоя в таких материалах и показываем, как когерентные орбитальные сети формируют минизоны, которые обеспечивают объёмную проводимость в магнитном поле — порой даже превышающую краевую. Эти особенности позволяют установить экспериментально различимые сигналы, связанные со структурой седловых точек в зоне Бриллюэна.