

Коллективные возбуждения одномерных электронов со спин-орбитальным взаимодействием, создаваемым зарядами изображения

Я.В. Гиндикин, В.А. Саблик*^{*}

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, пл. Академика Введенского, 1, Фрязино, Московской обл., 141190.

* sablikov@gmail.com

Изучены коллективные моды спин-зарядовых возбуждений в одномерной электронной системе при наличии спин-орбитального взаимодействия, создаваемого зарядами изображения, образующимися на близко расположенном металле. Установлено, что при достаточно сильном спин-орбитальном взаимодействии частота одной из двух мод сильно уменьшается при малых волновых векторах и мода становится неустойчивой, если параметр спин-орбитального взаимодействия превышает критическую величину. Исследована спиновая и зарядовая структура мод.

Введение

Доклад посвящен эффектам спин-орбитального взаимодействия, вызванного зарядами изображения, которые электроны изучаемой низкоразмерной системы наводят в близко расположенном проводнике. В таких условиях спин-орбитальное взаимодействие, как оказывается, приводит к новым нетривиальным эффектам [1]. В настоящей работе изучаются коллективные моды в одномерной системе взаимодействующих электронов при наличии такого спин-орбитального взаимодействия.

Интерес к спин-орбитальному взаимодействию под действием сил изображения возник в связи с недавними исследованиями спин-орбитального взаимодействия в поверхностных состояниях, формирующихся в потенциале сил изображения [2,3].

Основные результаты

Детально рассматривается одномерная или квазиодномерная электронная система, связанная электростатически с расположенным вблизи проводником. Одномерные электроны наводят в проводнике заряды изображения. Обычно считается, что заряды изображения частично экранируют взаимодействие между электронами. Мы обращаем внимание на то, что заряды изображения создают также спин-орбитальное взаимодействие в изучаемой одномерной системе, которое может быть значительным, если толщина зазора между одномерной системой и проводником мала. Спин-орбитальное взаимодействие в таких системах имеет важное отличие от обычно рассматриваемого, так как оно существенно

зависит от электронной плотности и поэтому изменяется вместе с плотностью. В докладе показано, что это обстоятельство приводит к качественно новым эффектам, относящимся к структуре основного состояния и коллективным возбуждениям. При этом оказываются важными два аспекта проявления спин-орбитального взаимодействия, индуцированного зарядами изображения.

Один состоит в появлении механизма обратной связи между флуктуациями электронной плотности и нормальной компоненты электрического поля, которая при определенных условиях приводит к неустойчивости системы. Спонтанная флуктуация увеличения плотности приводит к увеличению электрического поля, которое в свою очередь вызывает понижение энергии электронов вследствие возрастания энергии спин-орбитального взаимодействия. В результате увеличивается поток электронов в область флуктуации и поэтому первоначальная флуктуация электронной плотности увеличивается дополнительно. Найдено критическое значение константы спин-орбитального взаимодействия α , при котором этот процесс приводит к неустойчивости системы в условиях, когда химический потенциал системы фиксирован.

Другой аспект проявления спин-орбитального взаимодействия, индуцированного зарядами изображения, состоит в том, что оно влияет также на парное взаимодействие электронов, которое таким образом приобретает компоненту, зависящую от спина. Благодаря этому существенно перестраивается структура электронных корреляций.

Мы изучили этот эффект в ситуации, когда фиксировано количество электронов в системе. Рассчитаны линейные отклики, найдены коллективные моды и изучена их спин-зарядовая структура, которая характеризуется параметром спин-зарядового разделения $\xi = (n_+ + n_-) / (n_+ - n_-)$, где n_+ и n_- – флуктуации плотности электронов с противоположными спинами.

Имеются две моды, которые не разделяются на чисто зарядовую и чисто спиновую. Одна из них (а именно, та мода, которая в предельном случае отсутствия спин-орбитального взаимодействия является чисто спиновой, $\xi = 0$) при увеличении константы спин-орбитального взаимодействия сильно смягчается. При некотором пороговом условии ее частота обращается в ноль, и она теряет устойчивость.

Неустойчивость возникает, когда эффективный параметр спин-орбитального взаимодействия α^* превышает критическое значение, которое зависит от потенциала электрон-электронного взаимодействия и по величине порядка единицы. Эффективный параметр спин-орбитального взаимодействия зависит от расстояния $2a$ между одномерной системой и затвором: $\alpha^* = 4ate / (\pi \hbar^2 \epsilon a)$, где a – параметр спин-орбитального взаимодействия Рашбы, m – эффективная масса, ϵ – диэлектрическая проницаемость. Когда α^* превышает критическое значение, неустойчивыми становятся возмущения с малым волновым вектором q .

Интересно, что на пороге неустойчивости состав рассматриваемой моды становится чисто зарядовым, $\xi = \infty$.

Это поведение иллюстрирует рис. 1, на котором показана зависимость фазовой скорости коллективных возбуждений неустойчивой моды, ω/q от нормированного параметра спин-орбитального взаимодействия. Одновременно на пороге неустойчивости обращается в ноль жесткость зарядовой подсистемы.

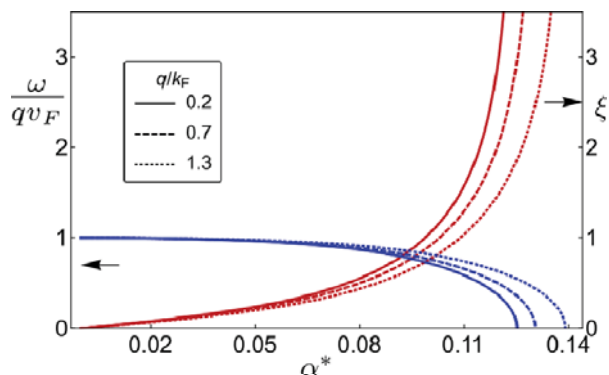


Рис. 1. Зависимость фазовой скорости (левая вертикальная ось) и параметра спин-зарядовой структуры ξ (правая ось) неустойчивой моды от величины α^* для разных значений волнового вектора q , v_F – фермиевская скорость.

Обсуждаются механизмы стабилизации неустойчивости.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 17-02-00309) и РАН.

Литература

1. Yasha Gindikin, V.A. Sablikov // Phys. Rev. B, V. 95, (2017) accepted for publication.
2. T. Nakazawa, N. Takagi, M. Kawai et al // Phys. Rev. B V. 94, 115412 (2016).
3. S. Tognolini, S. Achilli, L. Longetti et al // Phys. Rev. Lett. V. 115, 046801 (2015).