

## ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ В ФИЗИКЕ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

© 2016 А. П. Преображенский

Воронежский институт высоких технологий

*Данная работа посвящена обсуждению вопросов, связанных с физикой конденсированного состояния. Описываются перспективные направления, которые представляют интерес для исследователей: спиновый лед, сверхпроводники 1 и 2 рода, квантовые вихри.*

*Ключевые слова: сверхпроводимость, спиновый лед, физика конденсированного состояния.*

Особый интерес представляют некоторые, иногда даже самые обычные вещества, обладающие необычными свойствами. Ярким примером является графен: пленка углерода, толщиной всего в один атом, обладает такой прочностью, которой больше нет ни у одного из всех известных в настоящее время веществ.

Кроме этого он является лучшим проводником тепла и обладает высокой подвижностью зарядов. Сейчас про графен написано очень много, и мне хотелось бы остановиться на других, менее известных веществах, изучением которых сейчас занимается физика конденсированного состояния.

Термин спиновый лед (Spin ice) ввели в 1997 году для обозначения материалов, в которых магнитные моменты атомов (спины) расположены точно так же как и протоны в обычном льду из воды.

Они даже описываются похожими уравнениями. Анализ показывает, что спины располагаются в углах соединённых между собой тетраэдров.

При этом часть спинов смотрит внутрь ячейки кристалла, а часть наружу.

Если мы перевернем один спин, то соседние спины под действием магнитных сил начнут переворачиваться и перемагничивание начинает распространяться дальше по кристаллу, этот процесс напоминает падение фишек домино.

Все мы знаем, что, сколько бы мы не разбивали постоянный магнит, в нём всегда будут два полюса – северный и южный. Даже на микроскопических масштабах нам не удастся разделить эти полюса.

В 1931 году, английский ученый Поль Дирак, предсказавший существования позитрона, теоретически показал, что для магнетизма так же, как и для электричества, должны существовать два заряда – положительный и отрицательный.

Эти заряды получили название магнитных монополей.

Вплоть до недавнего времени все попытки обнаружить монополи Дирака не увенчивались успехом.

Однако в веществах типа титаната диспрозия, который при температурах близких к абсолютному нулю является спиновым льдом, в 2009 году удалось наблюдать квазичастицы, которые ведут себя точно также, как и предсказанные частицы.

Когда мы переворачиваем спин, в магнитной решетке возникает пара дефектов, ведущих себя как магнитные монополи с противоположными знаками.

Если мы приложим внешнее магнитное поле, эти дефекты начнут разбегаться в разные стороны, оставляя между собой связь в виде перевернутых спинов.

Если мы отключим магнитное поле движение квазимонополей остановится, и они окажутся заморожены в спиновый лед. Сейчас активно ведутся исследования с целью научиться управлять движением монополей по решетке спинового льда.

Магнитные моменты в спиновом льде расположены упорядоченно, кроме того они могут переворачиваться.

А теперь представьте себе вещество, где ориентации спинов разбросаны беспорядочно, как атомы в обычном стекле, а сами спины неподвижны.

Данные вещества называются спиновыми стеклами (Spin glass). В этих материалах существуют одновременно и конкури-

руют ферромагнитные и антиферромагнитные взаимодействия.

Если мы начнем нагревать спиновое стекло, приложив к нему магнитное поле, спины начнут поворачиваться в направлении магнитного поля. В результате происходит намагничивание.

Теперь мы обратно понизим температуру, не убирая магнитного поля – спины застынут в своих положениях. А если при охлаждении мы отключим магнитное поле, то все вернется на свои места.

Тем самым мы по желанию можем заставить один и тот же материал обладать разной степенью намагниченности.

Это свойство может использоваться для создания новых материалов магнитной памяти.

Уже более чем сто лет прошло со дня открытия сверхпроводимости. Несмотря на такой давний срок обнаружения данного явления, многие моменты до сих пор остаются не ясными. В частности, на сегодняшний день так и не удается объяснить высоко-температурную проводимость.

Особое место занимает изучение поведения квантовых вихрей в этих материалах.

Как известно, сверхпроводники выталкивают из себя магнитное поле, на этом основан опыт с левитацией сверхпроводника над магнитом и магнитные поезда.

В этом отношении сверхпроводники бывают двух типов: I и II рода.

Сверхпроводники I рода являются идеальными диамагнетиками, то есть полностью выталкивают из себя магнитное поле. При увеличении внешнего магнитного поля либо при повышении температуры, при некотором критическом значении сверхпроводимость резко и полностью разрушается. А вот в сверхпроводниках II рода сверхпроводимость разрушается постепенно.

Линии магнитного поля при некоторой температуре или напряженности магнитного поля начинают пробивать сверхпроводник, проходя через него в виде квантовых вихрей или вихрей Абрикосова.

Там, где магнитное поле прошло сквозь сверхпроводник, вещество перешло в нормальное состояние, в то время как весь остальной объем продолжает находиться в сверхпроводящем.

Каждый вихрь окружает кольцевой ток, несущий в себе квант магнитного потока, поэтому вихри, взаимодействуя между собой,

через отталкивание образуют треугольную, а иногда квадратную вихревую решетку.

Вихри в решетке сами по себе неподвижны, однако, если мы будем постепенно повышать температуру, мы сможем наблюдать «плавление» этой решетки.

Вихревая решетка превратится в вихревую жидкость. В состоянии вихревой жидкости вихри Абрикосова начинают разбегаться друг от друга, но при этом притягиваться к различным дефектам и примесям в сверхпроводнике.

Некоторые авторы предлагают управлять динамикой вихрей за счет локального нагрева лазером нужных точек в сверхпроводнике и форсировать перемещение вихрей, динамически нанося на него дефекты.

Особым фактом является то, что при обратном понижении температуры вихревая жидкость моментально застывает, превращаясь в вихревое стекло, причем вихри остаются в занятых ими положениях.

Таким образом, мы можем формировать нужные нам сложные вихревые структуры.

Предсказать динамику деформации всей вихревой решетки скорее всего невозможно, уж слишком большое влияние оказывает вероятность и случайность квантовой механики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мендельсон К. Физика низких температур. / К. Мендельсон. – М.: ИЛ, 1963. – 230 с.
2. Тилли Д. Р. Сверхтекучесть и сверхпроводимость. / Д. Р. Тилли, Дж. Тилли. – М.: Мир, 1977. – 304 с.
3. Рыжкин М. И. Неэкстенсивность энтропии и негауссово распределение намагниченности в двумерном спиновом льде / М. И. Рыжкин // Письма в ЖЭТФ. – Т. 98. – Вып. 9. – С. 602-607.
4. Швингер Ю. Магнитная модель материи. / Ю. Швингер // Успехи физических наук. – 1971. – Т. 103. – В. 2. – С. 355-365.
5. Коулмен С. Магнитный монополюль пятьдесят лет спустя. / С. Коулмен // Успехи физических наук, 1984, т. 144, с. 277.
6. Абрикосов А. А. О магнитных свойствах сверхпроводников второй группы / А. А. Абрикосов // ЖЭТФ. – 1957. – Т. 32. – С. 1442.
7. Сорокин П. Б. Полупроводниковые наноструктуры на основе графена / П. Б. Сорокин, Л. А. Чернозатонский // Успехи

физических наук. – 2013. – Т. 183. – С. 113-132.

8. Гейм А. К. Случайные блуждания: непредсказуемый путь к графену /

А. К. Гейм // Успехи физических наук. – 2011. – Т. 181. – С. 1284-1298.

9. Geim A. The rise of grapheme / A. K. Geim, K. S. Novoselov // Nature Materials. – 2007. – Vol. 6. – P. 183-191.

## ABOUT THE RESEARCH IN CONDENSED MATTER PHYSICS

© 2016 A. P. Preobrazhenskiy

*Voronezh Institute of high technologies*

*This paper is devoted to discussion of issues related to the physics of condensed matter. The promising directions that are of interest to researchers: spin ice, the superconductors 1 and 2 kind of quantum vortices are described.*

*Key words: superconductivity, spin ice, condensed matter physics.*