Стабильные конфигурации и взаимодействие нескольких магнитных скирмионов, управляемых неоднородными магнитным и электрическим полями

Апостолов С. С.

Магнитные скирмионы привлекли значительный научный интерес в последнее время, поскольку они представляют собой перспективный объект для использования в будущих нанотехнологиях, особенно в области хранения и обработки классической информации, а также имеют потенциал для реализации топологически устойчивых квантовых вычислений. Для управления скирмионами могут быть использованы различные воздействия, например, неоднородные внешние поля, дефекты структуры, пропускание электрического или спинового тока и др. В этой связи использование внешних магнитных и электрических полей представляется достаточно перспективным методом, поскольку позволяет управлять отдельными скирмионами. Кроме того, в последние годы произошло значительное экспериментальное развитие в реализации гетероструктур сверхпроводник–ферромагнетик, в которых могут наблюдаться нетривиальные топологические конфигурации магнитных скирмионов и сверхпроводящих вихрей, возникающие вследствие взаимодействия этих объектов через неоднородные магнитные поля. Эта область исследований стала актуальной в связи с теоретическим предсказанием того, что такие конфигурации могут быть носителями майорановских возбуждений.

Традиционно при анализе статических конфигураций или динамики скирмионов во внешних полях предполагается, что их форма сохраняется, однако в недавних исследованиях [1 and 2] было показано, что даже относительно слабые магнитные поля могут приводить к существенным эффектам, таким как изменение размера, формы и даже киральности скирмиона. Поэтому эти эффекты необходимо учитывать, например, для того, чтобы проектировать кубиты на основе пар скирмион-вихрь. Аналогичные эффекты могут возникать при влиянии неоднородного электрического поля на скирмион, что вызвано магнито-электрическим эффектом, который был сначала предсказан теоретическими, а потом продемонстрирован экспериментально [3 and 4].

В реальных экспериментах скирмионы создаются не поодиночке, а группами или даже в форме кристалла из скирмионов. В связи с этим представляется важным научится анализировать поведение нескольких скирмионов в неоднородном внешнем поле. Это

позволит разработать инструмент, который даст возможность сепарировать отдельные скирмионы от группы, либо позволит корректно манипулировать несколькими скирмионами и вихрями при выполнении квантовых вычислений с майорановскими возбуждениями.

В исследовательском проекте планируется изучить конфигурации нескольких скирмионов во внешних магнитном и/или электрическом полях. Для этого предполагается разработать аналитический вариационный подход, основанный на использовании стереографической проекции. Такой подход уже был разработан ранее для скирмионных кристаллов [5], где за счёт периодичности он приводил фактически к вычислениям для одного скирмиона. В проекте же планируется рассмотреть непериодические и, возможно, несимметричные конфигурации из нескольких скирмионов.

Рекомендованная литература для начального чтения: учебник [6] параграфы §40, §43, §44, §47, §52, учебник 7 параграфы §1-3. После этого можно читать статьи.

---

[1] S. S. Apostoloff, E. S. Andriyakhina, P. A. Vorobyev, O. A. Tretiakov, and I. S. Burmistrov, Phys. Rev. B **107**, L220409 (2023).

[2] S. S. Apostoloff, E. S. Andriyakhina, and I. S. Burmistrov, Phys. Rev. B **109** (2024).

[3] I. Dzyaloshinskii, EPL (Europhysics Letters) **83**, 67001 (2008).

[4] A. P. Pyatakov, A. S. Sergeev, E. P. Nikolaeva, T. B. Kosykh, A. V. Nikolaev, K. A. Zvezdin, and A. K. Zvezdin, Uspekhi Fizicheskih Nauk **185**, 1077 (2015).

[5] В. Е. Тимофеев, А. О. Сорокин, and Д. Н. Аристов, Письма в ЖЕТФ **109**, 200–205 (2019).

[6] Л. Д. Ландау and Е. М. Лифшиц, *Теоретическая физика. Том 8. Электродинамика сплошных сред* (М.:Физматлит, 2001) p. 656.

[7] А. И. Ахиезер, В. Г. Барьяхтар, and С. В. Пелетминский, *Спиновые волны* (М.:Наука, 1967) p. 368.