

# Взаимодействие сверхпроводящих вихрей и скирмионов в гетероструктурах сверхпроводник–киральнй ферромагнетик

В последние годы произошло значительное экспериментальное развитие в реализации гетероструктур сверхпроводник–ферромагнетик (ГФС), в которых могут наблюдаться нетривиальные топологические конфигурации магнитных скирмионов и сверхпроводящих вихрей. Эта область исследований стала актуальной в связи с теоретическим предсказанием того, что такие конфигурации могут быть носителями майорановских возбуждений и, тем самым, использоваться в топологических квантовых вычислениях.

Традиционно при анализе майорановских мод в парах скирмион-вихрь игнорируется влияние магнитных полей рассеяния. Однако, как было показано в недавних исследованиях<sup>1</sup>, учёт полей рассеяния приводит к существенным эффектам, таким как изменение размера, формы и даже киральности скирмиона, см. рис. 1 для примера. Поэтому эти эффекты необходимо учитывать для того, чтобы проектировать кубиты на основе пар скирмион-вихрь.

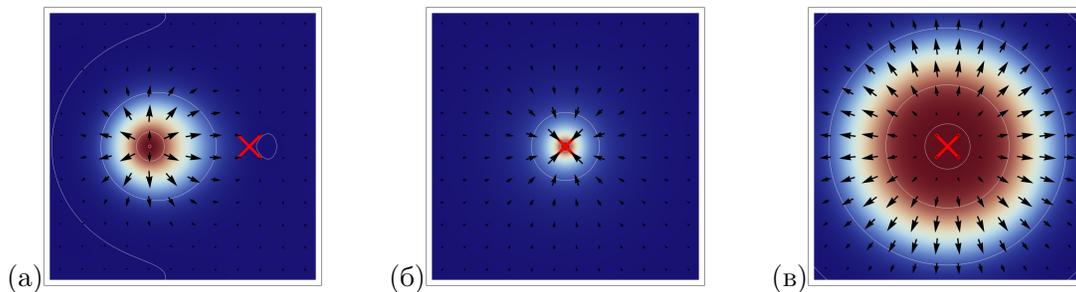


Рис. 1. Связанные состояния скирмионов в магнитном поле рассеяния вихря: (а) эксцентрическое состояние, (б,в) соосные состояния различных киральностей. Положение центра вихря обозначено красным крестом, цветовой градиент и стрелки показывают величины проекций вектора намагниченности на нормаль и плоскость ГФС. Масштаб и параметры ГФС одинаковы для всех панелей.

В исследовательском проекте планируется изучить электрическую поляризацию<sup>2,3</sup> магнитного скирмиона, находящегося в поле вихря, как для соосного, так и для эксцентрического состояния, а также проанализировать связанные магнитоэлектрические явления. В частности, предполагается исследовать возможность управления формой и

положением скирмионов с помощью электрического поля.

Рекомендованная литература для начального чтения: учебник [4] параграфы §40, §43, §44, §47, §52 и [5] Гл I, Гл III §1 и §2. После этого можно читать статьи [1–3].

- 
- <sup>1</sup> S. S. Apostoloff, E. S. Andriyakhina, P. A. Vorobyev, O. A. Tretiakov, and I. S. Burmistrov, *Phys. Rev. B* **107**, L220409 (2023).
  - <sup>2</sup> I. Dzyaloshinskii, *EPL (Europhysics Letters)* **83**, 67001 (2008).
  - <sup>3</sup> A. P. Pyatakov, A. S. Sergeev, E. P. Nikolaeva, T. B. Kosykh, A. V. Nikolaev, K. A. Zvezdin, and A. K. Zvezdin, *Uspekhi Fizicheskikh Nauk* **185**, 1077 (2015).
  - <sup>4</sup> L. Landau and E. Lifshitz, *Electrodynamics of continuous media*, Vol. 8 (FIZMATLIT, 2005).
  - <sup>5</sup> P. De Gennes, *Superconductivity of metals and alloys* (1968).