

## Отчет М.Н. Поткиной по НИР в 2020 г. (аспирантура 3 г.)

### 1. Устойчивость скирмионов и антискирмионов в ферромагнитных и антиферромагнитных материалах.

Расчеты времени жизни и динамики антискирмионов в ферромагнитных (ФМ) и антиферромагнитных (АФМ) пленках представлены в работе [1]. Предложено преобразование спиновых состояний, переводящее скирмион в соответствующий антискирмион при неизменной энергии системы. Оно сохраняет все члены в гамильтониане, а также вид уравнения движения Ландау-Лифшица-Гилберта (ЛЛГ) в отсутствие внешних спин-поляризованных токов. Это позволило доказать, что время жизни антискирмиона совпадает со временем жизни соответствующего скирмиона. Для топологических магнитных структур в ФМ и АФМ в нулевом внешнем магнитном поле также было найдено преобразование, переводящее одну систему в другую, без изменения энергии. Однако, как показали расчеты, время жизни скирмионов в ФМ и АФ материалах различно [2]. Причина заключается в разной динамике скирмионов в этих системах, приводящей к разным вкладам в предэкспоненциальный фактор при расчете частот магнитных переходов. В статье [1] представлены расчеты времени жизни антискирмионов микронного масштаба, которые наблюдались экспериментально при комнатной температуре в сплавах Гейслера Mn-Pt-Sn (A. K. Nayak et al., Nature, 548:561-566, 08 (2017)). Расчет проводился с использованием скейлингового подхода для оценки энергии активации. Предэкспоненциальный фактор рассчитывался в рамках гармонического приближения теории переходного состояния. Показано, что высокая устойчивость антискирмионов, наблюдаемых в эксперименте, обусловлена большим барьером, который необходимо преодолеть для аннигиляции антискирмиона, тогда как предэкспоненциальный фактор имеет типичное значение  $10^{12} \text{ с}^{-1}$  и не растет существенно с размером системы.

### 2. Устойчивость скирмионов в зависимости от параметра взаимодействия Дзялошинского-Мория и константы анизотропии.

Расчет предэкспоненциальных факторов и энергетических барьеров для коллапса скирмиона в зависимости от параметра взаимодействия Дзялошинского-Мория и константы анизотропии был выполнен в работе [3]. Показано, что устойчивость изолированных скирмионов в ультратонких ферромагнитных пленках может быть повышена за счет согласованного изменения этих параметров при сохранении размера скирмиона. Увеличение устойчивости достигается за счет появления мод, локализованных на скирмионе, и, как следствие, уменьшения на несколько порядков предэкспоненциального фактора в законе Аррениуса. Стабилизирующий эффект энергетического барьера оказывается незначительным при высокой температуре.

### 3. Туннелирование скирмионов

В работе [4] был описан метод оценки температуры кроссовера  $T_c$  от надбарьерных переходов к квантово-механическому туннелированию в мультиспиновой магнитной системе. Найдена область в пространстве параметров, при которых время жизни скирмионов при температуре кроссовера находится на лабораторной шкале времени, что позволяет идентифицировать возможные материалы-кандидаты для экспериментального наблюдения макроскопического туннелирования скирмиона. По нашим оценкам для системы PdFe/Ir (111) туннелирование скирмионов может наблюдаться, если внешнее поле превышает 6Т при температуре порядка 1К.

### Направленные в печать работы в 2019-2020 гг.

[1]. M. N. Potkina, I. S. Lobanov, O. A. Tretiakov, H. Jónsson, V. M. Uzdin, "Antiskyrmions in Ferromagnets and Antiferromagnets: Stability and Dynamics", <https://arxiv.org/abs/1906.06383>

- [2]. M. N. Potkina, I. S. Lobanov, H. Jónsson, V. M. Uzdin, “Skyrmions in antiferromagnets: thermal stability and the effect of external field and impurities”, <https://arxiv.org/abs/2004.00095>
- [3]. A. S. Varentsova, S. von Malottki, M. N. Potkina, G. Kwiatkowski, S. Heinze, and P. F. Bessarab, “Towards room temperature nanoscale skyrmions in ultrathin films”, <https://arxiv.org/abs/2002.05285>
- [4]. S. M. Vlasov, P. F. Bessarab, I. S. Lobanov, M. N. Potkina, V. M. Uzdin, H. Jónsson “Calculations of Magnetic Skyrmion Annihilation by Quantum Mechanical Tunneling”, <https://arxiv.org/abs/1906.00196>

### **Публикации**

1. V. M. Uzdin, M.N. Potkina, I.S. Lobanov, P.F. Bessarab, H. Jónsson, «The effect of confinement and defects on the thermal stability of skyrmions», *Physica B*, 549, 6-9 (2018), DOI:10.1016/j.physb.2017.09.040, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921452617306361>
2. V. M. Uzdin, M.N. Potkina, I.S. Lobanov, P.F. Bessarab, H. Jónsson, «Energy surface and lifetime of magnetic skyrmions», *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 459-, 236-240 (2018), DOI:10.1016/j.jmmm.2017.10.100, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304885317333590>
3. I.S. Lobanov, M.N. Potkina, H. Jónsson, V. M. Uzdin, «Truncated minimum energy path method for finding first order saddle points», *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*. 8 (5), P. 586–595 (2017), DOI: 10.17586/2220-8054-2017-8-5-586-595, <http://nanojournal.ifmo.ru/en/articles-2/volume8/8-5/physics/paper06/>
4. A.S. Varentsova, M.N. Potkina, S. von Malottki, S. Heinze, P.F. Bessarab, «Interplay between size and stability of magnetic skyrmions», *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*. 9 (3), P. 356–363 (2018), DOI:10.17586/2220-8054-2018-9-3-356-363, <http://nanojournal.ifmo.ru/en/articles-2/volume9/9-3/physics/paper08/>
5. K. S. Denisov, I. V. Rozhansky, M. N. Potkina, I. S. Lobanov, E. Lähderanta, and V. M. Uzdin, «Topological Hall effect for electron scattering on nanoscale skyrmions in external magnetic field», *Physical Review B* 98, 214407 (2018), DOI:10.1103/PhysRevB.98.214407, <https://journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.98.214407>