

**ВОЗНИКНОВЕНИЕ ДУАЛЬНОГО АКСИОННОГО ОТКЛИКА В
АНТИФЕРРОМАГНИТНЫХ СТРУКТУРАХ****Кокурина Э. А. (ИТМО)****Научный руководитель — кандидат физико-математических наук Горлач М. А. (ИТМО)**

Введение: Недавние исследования предсказали существование двух различных типов невязанного магнитоэлектрического отклика[1]. Первый из них — это хорошо известный аксионный отклик, описывающий связь между электрическим и магнитным полями в средах, нарушающих пространственную чётность и обращение времени по отдельности, но сохраняющих их комбинацию[2], [3]. Второй, получивший название дуального аксионного отклика, представляет собой более экзотическое явление. В отличие от обычного аксионного отклика, его дуальный аналог описывается в рамках электродинамики с магнитными зарядами и приводит к модифицированным граничным условиям для электрического поля. Хотя дуальный аксионный отклик был предсказан для метаматериалов с гиротропными слоями, его существование в твердом теле оставалось под вопросом. Целью данной работы является исследование модели конденсированной среды, представляющей собой систему спинов с антиферромагнитным обменным взаимодействием, что должно проявлять вышеуказанный дуальный аксионный отклик.

Основная часть: В качестве модели мы рассматриваем одномерную решётку спинов, связанных антиферромагнитным обменным взаимодействием. Такая система имитирует поведение реальных материалов, таких как MnV_2Te_4 и Cr_2O_3 . Под воздействием внешнего переменного магнитного поля спины начинают прецессировать вокруг оси лёгкого намагничивания. Мы провели теоретический анализ линейного отклика системы, решив линеаризованное уравнение Ландау–Лифшица совместно с уравнениями Максвелла. Применяя теорию в метаматериальном пределе (когда период решётки много меньше длины волны), нам удалось вывести эффективные параметры среды. Ключевым результатом стало аналитическое выражение для константы дуального аксионного отклика, которая возникает благодаря вкладу колеблющихся спинов. Важно отметить, что в нашей модели стандартный аксионный отклик отсутствует. Для проверки теоретических предсказаний мы провели численное моделирование конечной цепочки спинов. Сравнение коэффициентов отражения и прохождения, полученных из численного эксперимента, с предсказаниями эффективной модели с дуальным аксионным откликом[4] показало превосходное согласие в пределе метаматериала. Чтобы окончательно подтвердить природу отклика, мы смоделировали ситуацию с источником, помещённым внутрь среды. Плоская волна не позволяет различить два типа аксионного отклика. Однако излучение от внутреннего источника даёт различные сигналы в кросс-поляризованной компоненте для аксионного и дуального случаев. Результаты нашего моделирования однозначно соответствуют дуальному аксионному отклику.

Выводы: В данной работе мы впервые продемонстрировали, что дуальный аксионный отклик может реализовываться в модельной системе конденсированного состояния — антиферромагнитной спиновой решётке. Теоретический анализ и численное моделирование подтвердили наличие этого эффекта и его соответствие предсказаниям электродинамики с магнитным зарядом. Наши результаты показывают, что дуальный аксионный отклик может быть столь же фундаментальным свойством магнитных структур, как и обычный аксионный отклик. Это открывает путь к поиску данного явления в известных антиферромагнетиках и расширяет понимание топологических эффектов в физике конденсированного состояния. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение возможности квантования дуального аксионного отклика и на выяснение роли эффективных магнитных зарядов в таких системах.

Список используемых источников:

1. Seidov T. Z. et al. Dual origin of effective axion response //Nature Communications. – 2025. – Т. 16. – №. 1. – С. 5942.

2. Nenno D. M. et al. Axion physics in condensed-matter systems //Nature Reviews Physics. – 2020. – T. 2. – №. 12. – C. 682-696.
3. Asadchy V. S. et al. Tutorial on electromagnetic nonreciprocity and its origins //Proceedings of the IEEE. – 2020. – T. 108. – №. 10. – C. 1684-1727.
4. Shaposhnikov L. et al. Emergent axion response in multilayered metamaterials //Physical Review B. – 2023. – T. 108. – №. 11. – C. 115101.