

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Татарского Дмитрия Аркадьевича  
«Рассеяние тепловых нейтронов некомпланарными магнитными системами»

представленную на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

**Актуальность работы.** Исследование конденсированных сред с помощью тепловых нейтронов является в настоящее время стандартным методом. Благодаря тому, что диапазон длин волн тепловых нейтронов лежит в интервале от 1 до 10 Å, становится возможным изучение атомной структуры вещества. Дополнительно стоит отметить, что нейтрон, являясь электрически нейтральной частицей, обладает магнитным моментом, следовательно, нейтронография даёт широкие возможности по исследованию магнитных структуры различных материалов.

Известно, что магнитные структуры с неоднородным, некомпланарным распределением намагниченности могут демонстрировать необычные электронные транспортные свойства. Однако, в области магнитной нейтронографии ранее почти не рассматривался вопрос особенностей рассеяния нейтронов, которые возникают благодаря именно некомпланарности распределения магнитного поля. В этой связи необходимо заметить, что при этом материалы с таким распределением полей (например, силицид марганца и др.) активно исследуются с помощью нейтронов.

Таким образом, тема диссертационной работы, безусловно, является актуальной для современной магнитной нейтронографии.

**Структура и содержание диссертации.** Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения и трёх приложений. Во введении автор отмечает актуальность, степень новизны и достоверность результатов, полученных в диссертационной работе. Приводит данные об апробации работы. Формулирует основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан обзор литературы о современном состоянии дел в исследованиях магнитных материалов методами магнитной нейтронографии. Приведены некоторые примеры методов получения неоднородных распределений магнитного поля. Проводятся рассуждения об аналогии рассеяния нейтронов и транспорта электронов.

Вторая глава является оригинальной и разделена на три раздела. В первом приводится формулировка и доказательство, что необходимым условием невзаимности рассеяния неполяризованных нейтронов является некомпланарность пространственного распределения вектора магнитной индукции. Во второй части главы получено общее выражение для дифференциального сечения рассеяния по теории возмущений за рамками борновского приближения и показано, что некомпланарность распределения магнитного поля даёт дополнительный вклад в рассеяние. В третьей части рассматривается точный расчёт рассеяния нейтронов в двух случаях: отражение в системе трёх магнитных зеркал и дифракция на магнитном геликоиде на примере кристалла MnSi.

Третья глава содержит описание проведённого эксперимента. В ней выполнен расчёт прохождения нейтронов через систему двух магнитных зеркал, находящихся во внешнем магнитном поле. Сделана оценка влияния на эксперимент различных факторов, таких как случайные слабые магнитные поля, расходимость пучка нейтронов, однородность и точность установки поля в зазоре между зеркалами и др. Приведена методика получения и аттестации магнитных зеркал. Наконец, описаны статистические методы обработки результатов измерений. На основе всех полученных данных сделан вывод, что

система двух зеркал во внешнем поле является невзаимной в случае некомпланарного распределения вектора магнитной индукции.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы. В приложениях приведены теоретические коэффициенты рассеяния нейтронов на геликоидальном распределении намагниченности, текст компьютерной программы для расчёта прохождения нейтронов через систему двух зеркал во внешнем поле и результаты обработки экспериментальных данных.

**Новизна, достоверность и апробация работы.** Новизна работы заключается в следующем: впервые указано, что упругое рассеяние неполяризованных тепловых нейтронов на системах с некомпланарным распределением магнитного поля может быть невзаимным. Отмечено, что некомпланарность распределения магнитного поля является необходимым, но не достаточным условием. Помимо этого, предложены и теоретически рассчитаны несколько систем, в которых может наблюдаться невзаимность: система трёх магнитных зеркал и геликоидальное распределение намагниченности в кристалле структуры типа В20 (силицид марганца).

Наконец, необходимо отметить факт, что Д.А. Татарский выполнил не только теоретические предсказания эффекта невзаимности, но, также, предложил и провёл успешное измерение эффекта невзаимного прохождения неполяризованных нейтронов через систему двух магнитных зеркал, помещённых во внешнее магнитное поле.

Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью применяемых Татарским Д.А. стандартных методов для расчёта рассеяния тепловых нейтронов на структурах с пространственно неоднородным магнитным полем.

Достоверность полученных экспериментальных данных обосновывается анализом факторов, которые могли бы оказать негативное влияние на измерения. Дополнительно измерения сравниваются с расчётом прохождения нейтронов с

учётом параметров пучка нейтронов. При этом расчёт находится в хорошем согласии с экспериментом.

Результаты работы опубликованы в ведущих научных журналах, также они докладывались на ряде международных и российских конференций. Таким образом, результаты Татарского Д.А. достоверны и прошли необходимую апробацию.

### **Замечания по диссертации.**

Диссертационная работа не лишена некоторых недостатков.

1. Задача о невзаимности сформулирована в диссертации для определенного частного случая, когда при обращении направления распространения нейтронов не происходит обращения направления магнитных полей. Экспериментальное исследование данной проблемы происходит на системе из двух магнитных зеркал – отражателей и области прецессии между ними. Невзаимность в этой системе достаточно очевидна и выполненный эксперимент, несмотря на свою виртуозность и сложность, не добавляет глубины понимания проблемы. В экспериментальном исследовании хотелось бы видеть не столь простое проявление эффекта невзаимности если это возможно.
2. В обосновании работы справедливо упоминается об аналогиях между движением поляризованных нейтронов в неоднородных магнитных полях и электронов в ферромагнетиках. Однако нет конкретных примеров какие задачи электронного транспорта можно решить, используя эту аналогию.
3. На стр. 53 во второй строке снизу в формулах пропущен квадрат постоянной Планка.
4. стр. 55. Цитата: «Как следует из выражения (2.53), если подобрать такой материал, что  $k_b = 1$ , то нейтроны со спином, направленным по магнитному полю, будут проходить сквозь зеркало, не испытывая отражения». Это утверждение неверно. В действительности все наоборот: для нейтронов со спином, направленным против магнитного поля потенциал среды есть разность между ядерной и магнитной составляющими и такие нейтроны проходят внутрь среды, практически не отражаясь по сравнению с нейтронами, спины которых

направлены вдоль магнитного поля. Для последних оптический потенциал есть сумма ядерной и магнитной компоненты потенциала взаимодействия.

5. В формуле (3.13), определяющей длину волны нейтрона по времени пролета используется абсолютное значение номера временного канала, в котором происходит вспышка источника. Но это число зависит от ширины временного канала  $\Delta t$ . Предпочтительнее пользоваться значением временной задержки между запуском временного кодировщика и вспышкой источника в 3.2 мс.

6. В главе 3.2. (**Подготовка магнитных зеркал для эксперимента**) используется обозначение точки измерения на образце («точка №1») без пояснения какому конкретно месту образца эта точка соответствует.

7. До главы 3.2 (**Подготовка магнитных зеркал для эксперимента**), для обозначения магнитной индукции используется стандартное обозначение «В». Начиная с главы 3.2 магнитная индукция обозначается буквой «Н», которой принято обозначать напряженность магнитного поля, что при рассмотрении магнитного поля в среде является некорректным. При этом во всей диссертации поле магнитной индукции приводится в Эрстедах - единицах, характеризующих напряженность магнитного поля, что приводит к некоторой путанице в понятиях.

8. В диссертации есть целый ряд орфографических ошибок и опечаток

Тем не менее, отмеченные недостатки не снижают общего высокого уровня диссертационной работы Татарского Д.А.

В целом работа заслуживает положительной оценки. Татарским Д.А. получен ряд важных и новых результатов. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполнена на высоком уровне и соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней №842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Татарский Дмитрий Аркадьевич заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент  
заместитель начальника  
отдела комплекса спектрометров  
Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка  
Объединённого института ядерных исследований  
кандидат физико-математических наук



В.И. Боднарчук

«21» декабря 2018 г.

Адрес: 141980, Московская обл., Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6  
Телефон: +7 (496) 216-59-25  
Электронный адрес: bodnarch@nf.jinr.ru

Подпись В.И. Боднарчука удостоверяю  
Учёный секретарь ЛНФ ОИЯИ



Д. М. Худоба