

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка

Объединенного института ядерных исследований



В. Н. Швецов

« 18 » мая 2016 г.

М. П.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Объединенного института ядерных исследований, Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка

на диссертацию Чубовой Надежды Михайловны

«Магнитная структура кубического моносилицида марганца MnSi и соединений на его основе»,

представленную к защите на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.07 — физика конденсированного состояния

Представленная диссертационная работа имеет своей целью исследование магнитной структуры моносилицида марганца MnSi и соединений на его основе, который является геликоидальным кубическим магнетиком без центра инверсии со структурой типа B20. Данное соединение и родственные ему составы, имеют сложную магнитную структуру, изучение которой на сегодняшний день занимает заметное место в физике конденсированного состояния и магнетизма. Многочисленные эксперименты и теоретические расчёты, проведённые в последнее десятилетие, не привели к полному пониманию природы магнитных явлений в геликоидальных кубических магнетиках со структурой типа B20. Большинство экспериментальных исследований сфокусировано на небольшой области (H-T)-фазовой диаграммы этих соединений вблизи T_C , которую принято

называть А-фазой. Структура А-фазы определена в экспериментах по нейтронному рассеянию как статическая магнитная модуляция, распространяющаяся перпендикулярно к приложенному магнитному полю. Позже А-фаза была определена как гексагональная спиновая решетка с $\mathbf{k}_{h(1,2,3)} \parallel \mathbf{B}$ в магнитном поле, наблюдаемая в различных соединениях переходных металлов моносилицидов Mn/FeSi, Mn/CoSi, Fe/CoSi и в FeGe. Предложены несколько концепций, объясняющих гексагональную структуру А-фазы и природу её возникновения. Одна из них опирается на теорию индивидуальных скирмионов или скирмионной решётки. Скирмионные решётки были обнаружены в реальном пространстве в тонких плёнках с использованием Лоренцевской электронной микроскопии в таких соединениях как MnSi, Fe/CoSi, и FeGe. Однако для объёмных кристаллов вопрос существования индивидуальных скирмионов остается открытым и не получившим однозначного подтверждения.

Из вышеизложенного следует, что в представленной диссертационной работе исследуется интересная тема, раскрытие которой позволит расширить понимание природы магнитной структуры и физических явлений моносилицида марганца MnSi и соединений на его основе, актуальность которой не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы.

Во введение приводятся основные данные по работе, формулируются цели и задачи, отмечается новизна и сформулированы четыре защищаемых положения.

Первая глава посвящена обзору литературы по исследованиям кубических гелимагнетиков без центра инверсии со структурой типа B20 (пространственная группа $P2_13$). В этой главе представлены сведения о результатах в области исследований температурного фазового перехода в MnSi. Описаны исследования магнитной структуры эпитаксиальных тонких плёнок MnSi, в которых температура упорядочения изменяется за счёт варьирования параметра элементарной решётки при приложенном давлении. Также в данном разделе обсуждается вопрос о наблюдении А-фазы, которой соответствует небольшая область (Н-Т)-фазовой диаграммы вблизи температуры перехода. В связи с этим автором особое внимание уделено описанию двух конкурирующих теорий, которые объясняют природу происхождения А-фазы: теория спиралей и теория скирмионов.

Во второй главе описан синтез образцов и методики исследования. Исследуемые материалы, геликоидальные магнетики без центра инверсии MnSi и твёрдые растворы MnSi(Ge) с химически индуцированным

отрицательным давлением. Для синтеза образцов был использован метод Чохральского. Аттестация проводилась с помощью метода рентгеноструктурного анализа. В главе описаны установки, на которых проводились эксперименты по малоугловой дифракции поляризованных нейтронов, и экспериментальные методы, в частности, теория рассеяния поляризованных нейтронов на геликоидальных магнетиках. Основные результаты получены методом исследования малоуглового рассеяния холодных поляризованных нейтронов (установки: SANS-2 в научно-исследовательском центре GKSS, Геестхахт, Германия и D22 - научно-исследовательский центр ILL, Гренобль, Франция).

В рамках третьей главы обсуждается вопрос о природе А-фазы в кубическом геликоидальном магнетике MnSi . Описана постановка и реализация эксперимента на высокоинтенсивной установке MUR D22 в ILL (Франция) с целью обнаружения индивидуальных (единичных) скирмионов или их скоплений в границах А-фазы и за её пределами. Анализируя данные, полученные в ходе эксперимента, построена фазовая диаграмма магнитное поле - температура для MnSi , которая демонстрирует все магнитные состояния системы в зависимости от величин магнитного поля и температуры. В результате анализа особенностей температурной и магнитной картин рассеяния сделан вывод, что структура А-фазы в монокристалле MnSi должна рассматриваться не как совокупность квазичастиц, а в виде суперпозиции волн. А именно трех спиралей, чьи волновые векторы образуют равносторонний треугольник. Учитывая тройную симметрию шестиугольника А-фазы, установлен факт, что А-фаза имитирует скирмионную решетку, являясь в действительности еще одним примером проявления сложной магнитной структуры. Сложность структуры подчеркивается двумерным характером ее модуляций, которые отличаются от одномерных модуляций простой спирали или конического состояния.

Предметом четвертой главы является исследование роли критических флуктуаций в формировании скирмионной решетки. Экспериментальные данные ясно показывают, что спиновые флуктуации в MnSi , дающие кольцо интенсивности рассеяния (характерное для критических флуктуаций спиральной структуры со случайно ориентированным волновым вектором $\mathbf{k}_f$) в Q-пространстве выше критической температуры, не связаны со структурой скирмионной решетки. Тем самым, показано, что скирмионная решетка есть двухмерная модулированная гексагональная спиновая структура, которая похожа на одномерно модулированную структуру конической фазы. Выше T_c наблюдается коническая структура и структура

скирмионной решетки, где эти две структуры не конкурируют, но сосуществуют и ограничены только корреляционной длиной флуктуаций.

В пятой главе представлены результаты исследования магнитного упорядочения в кристаллах MnSi с примесью Ge порядка 1 %. С помощью электронной микроскопии диссертантом было установлено, что в выбранной области дефицит Si или Mn как элементов в образце не превышает 10 %, а Ge практически не присутствует в составе и его следы в этих кристаллах не превышают значения в 1%. Постоянная решетки a для этих образцов при комнатной температуре имеет значение равное 4,575(1) Å, что отличается от параметра решетки $a = 4,558(1)$ Å идеального кристалла MnSi. Такое расширение решетки автор интерпретирует как отрицательное давление внутри образца. Магнитные свойства образцов были исследованы при помощи СКВИД магнитометрии и метода малоуглового рассеяния поляризованных нейтронов. Установлено, что критическая температура для легированного MnSi составляет 39 К, что на 30 % выше, чем для чистого MnSi. Таким образом автором установлено, что для легированного Ge образца MnSi диапазон температур существования А-фазы значительно шире (от 27 К до $T_c = 39$ К), чем для чистого MnSi (с 27 К до $T_c = 29$ К). Процедура охлаждения в поле приводит к расширению области существования А-фазы (при $k \perp H$) вплоть до низких температур.

Разделе основные результаты и выводы посвящён обсуждению итогов работы.

Следует отметить значительный объём проведённых исследований, высокое качество и количество экспериментальных данных, их публикацию в ведущих рецензируемых изданиях, в том числе рекомендованных ВАК РФ. Достоверность экспериментальных результатов основывается на высоком методическом уровне проделанной работы с применением современных нейтронных методов исследования.

Обоснованы положения, выносимые на защиту, основные результаты и выводы данной работы. Материалы диссертации апробированы на международных и всероссийских научных конференциях и семинарах.

Диссертационная работа Н.М. Чубовой не лишена некоторых недостатков и неточностей, а именно:

1. В диссертационном исследовании не нашел отражения вопрос о том, какую роль играет анизотропия в формировании А-фазы.
2. В главе 5 на рис. 5.2 на графике температурной зависимости интенсивности малоуглового рассеяния в легированном MnSi при температурах, немного превышающих температуру магнитного упорядочения T_c , видно дополнительное рассеяние, которое может иметь магнитную природу. Возможно, оно связано с критическими флуктуациями или ближним магнитным порядком. Этот эффект не обсуждается в тексте диссертации.
3. В формуле для описания температурной зависимости интенсивности малоуглового рассеяния (рис. 5.2) для определения T_c есть степенной коэффициент α . В тексте диссертации не приводится значение этого коэффициента, полученное из интерполяции экспериментальных данных.
4. В ряде разделов диссертации встречаются опечатки. Например, на с. 35 при ссылке на рисунок не указан его номер.

Указанные недостатки не уменьшают достоверности и важности полученных результатов, выводов и в целом проделанной работы.

Поставленная задача в диссертационной работе Н.М. Чубовой, изучение магнитной структуры кубического нецентросимметричного геликоидального магнетика чистого MnSi и соединения MnSi с примесью Ge порядка 1%, раскрыта в полном объеме.

Научная новизна, актуальность, практическая ценность полученных результатов, обоснованность и достоверность научных положений и выводов диссертационной работы не вызывает сомнений. Автореферат отражает содержание диссертации, а сама диссертация полностью соответствует специальности 01.04.07–физика конденсированного состояния.

Таким образом, диссертационное исследование Надежды Михайловны Чубовой «Магнитная структура кубического моносилицида марганца $MnSi$ и соединений на его основе» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07—физика конденсированного состояния.

Работа заслушана и поддержана на заседании НТС НЭО НИКС ОНИРКС ЛНФ ОИЯИ от 18.05. 2016.

Отзыв подготовил

Начальник Научно-экспериментального отдела
нейтронных исследований конденсированных сред
Отделения нейтронных исследований и разработок
в области конденсированных сред
Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка
Объединенного института ядерных исследований



д.ф.-м.н. Д.П.Козленко

Объединенный институт ядерных исследований
Лаборатория нейтронной физики им. И.М.Франка

Ул. Жолио-Кюри, д. 6

141980 г. Дубна Московской обл.

Тел. 8-496-216-37-83

E-mail: denk@nf.jinr.ru