

Продолжение страницы 2:

В период 1988 – 1991 гг. коллектив лаборатории проводил исследования в соответствии с планом научно-исследовательских работ ПИЯФ по теме «Исследование высокотемпературной сверхпроводимости» в рамках проектов «ШКАЛА» и «МЮОН» Государственной программы по исследованию ВТСП. Эксперименты, выполненные на мюонном канале синхроциклотрона ПИЯФ с использованием модернизированной установки «МЮОНИЙ» и вновь созданной μ SR-установки для исследований, показали, что в высокотемпературных сверхпроводниках имеет место образование достаточно регулярной вихревой решетки вихрей Абрикосова. Впервые экспериментально было обнаружено отклонение вихрей от направления внешнего поля, обусловленное анизотропией ВТСП. Независимо и практически одновременно с зарубежными группами проведены систематические экспериментальные исследования магнитных свойств монофазных керамических образцов соединения $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ ($0.06 < x < 0.95$). В этот период времени впервые мюонным методом исследованы свойства текстурированного монофазного сверхпроводника $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$. В керамических сверхпроводниках YBaCuO ($x > 0.40$) обнаружена зависимость измеряемых характеристик распределения локальных полей от условий изготовления образцов, наиболее вероятной причиной, которой является изменение глубины проникновения под влиянием неоднородности среды. Исследовался вопрос сосуществования сверхпроводимости и магнетизма в YBaCuO .

С 1996 года в лаборатории МФКС были начаты исследования марганецсодержащих соединений типа $\text{Cu}_{1-x}\text{Mn}_x$, $\text{La}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{MnO}_3$, $\text{Pt}_3(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)$ и $\text{Pd}_{95}(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)$. Особенность этих соединений состоит в том, что благодаря конкурирующему взаимодействию в них наблюдается сложная фазовая диаграмма и ряд необычных эффектов. Например, в сплаве $\text{Cu}_{1-x}\text{Mn}_x$ при больших концентрациях Mn ($x > 0.7$) наблюдается 6% эффект памяти формы. При более низких концентрациях ($x < 0.7$) этот эффект значительно уменьшается, но тем не менее остается на уровне 0.1%. При этих концентрациях соединение $\text{Cu}_{1-x}\text{Mn}_x$ при температурах $100 \div 150$ К переходит из состояния парамагнетика (PM) в состояние типа спинового стекла (СС). Однако, ниже порога перколяции ($x = 0.25 \div 0.4$) наблюдаются большие неопределенности в определении температуры фазового перехода, указывающие на появление каких-то особенностей. Впервые использован μ SR-метод для исследования магнитных характеристик гомогенных сплавов $\text{Cu}_{1-x}\text{Mn}_x$. В образцах с $0,2 < x < 0,7$ обнаружено возникновение специфической магнитной фазы, характеризующейся, по-видимому, отсутствием дальнего порядка и сильной спиновой динамикой в диапазоне температур от 10 К до 330 К. Таким образом, полученные данные позволяют существенно дополнить магнитную фазовую диаграмму гомогенных медно-марганцевых сплавов $\text{Cu}_{1-x}\text{Mn}_x$, которая принимает вид, характерный для систем с конкурирующим обменным взаимодействием. Также, анализ полученных экспериментальных данных позволяет предположить, что в бинарных сплавах $\text{Cu}_{1-x}\text{Mn}_x$ при сравнительно больших концентрациях магнитных атомов Mn (x) в диапазоне температур от 250 К до 20 К могут реализоваться две фазы магнитоупорядоченного состояния. При более высоких температурах (выше 100 К) возникает состояние с повышенной спиновой динамикой с флуктуирующими случайными полями. В этой фазе параметры λ_D и Δ одного порядка. При температуре ~ 70 К для всех исследованных концентраций наблюдается переход в фазу спинового стекла без флуктуирующих случайных полей, т.е. в фазу обычного спинового стекла.

В соединениях типа PdFeMn и PtFeMn при концентрациях вблизи тройной точки в ферромагнитной области наблюдаются сильные эффекты необратимости, указывающие на возможный переход внутри ферромагнитной фазы в состояние асперомагнетика. Основные исследования этих материалов были выполнены либо макроскопически, либо нейтронным методом и полностью отсутствовали измерения μ SR –методом. Что касается соединений $(\text{Pd}_{0.984}\text{Fe}_{0.16})\text{Mn}_{0.05}$, то в соответствии с нейтронными исследованиями в этом сплаве

наблюдается переход в ферромагнитную фазу при 40 К, а при температуре ниже 35 К найдены сильные необратимые эффекты, но никаких дополнительных фазовых переходов. Тем не менее, явление необратимости при температурах (25÷30) К указывает на возможность существования перехода в асперомагнетик при этих температурах. На основании ранее выполненных нами μ SR исследований переходов в асперомагнитное состояние в сплавах FeNiCr и PdFeMn можно сделать заключение что μ SR-метод обладает уникальной чувствительностью к подобного рода переходам.

Поэтому в конце 2002 года были проведены первые пробные μ SR-исследования образца $(\text{Pd}_{0.984}\text{Fe}_{0.16})\text{Mn}_{0.05}$, которые подтвердили перспективность исследования данного сплава. Проведено исследование сплава $(\text{Pd}_{1-x}\text{Fe}_x)_{0.95}\text{Mn}_{0.05}$ со случайным конкурирующим взаимодействием. Изучение зависимости скорости динамической релаксации λ и характеристик распределения локальных статических полей позволило уточнить фазовые состояния исследуемого образца. В частности, показано, что ниже 25 К в образце одновременно сосуществуют два фазовых состояния: ферромагнитное и спинового стекла. При понижении температуры в образце на фоне коллинеарного ферромагнетика появляется фракция спинового стекла, задолго до перехода образца в спин-стекляное состояние. Совместные исследования образца μ SR-методом и методом деполяризации нейтронов позволили определить величину магнитных неоднородностей, равных $2 \div 6 \mu\text{m}$.

На μ SR-установке и сейчас проводятся интенсивные исследования, в частности, ведутся следующие исследования: магнетизм в материалах с памятью формы; сплавы со случайным конкурирующим взаимодействием; взаимодействие ферроэлектричества и ферромагнетизма; исследование наноструктурных материалов; исследование мультиферроиков и многое другое.

В частности, в настоящее время традиционная μ SR-методика используется для исследования нанодисперсных магнетиков с целью выяснения влияния размерного фактора на внутреннюю структуру. Таким образом, μ SR-установка на мюонном канале синхроциклотрона ПИЯФ позволяет повысить эффективность исследований в области физики конденсированных сред. Это, в свою очередь, является хорошим обстоятельством для НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, т.к. он является, безусловно, мировым лидером в области исследования вещества с помощью нейтронных методов, которые в ближайшее время получат мощный толчок в связи с предстоящим вводом в эксплуатацию в Гатчине реакторного комплекса ПИК.

В последние годы с помощью данной μ SR-установки были проведены следующие исследования и получены новые результаты:

Взаимодействие ферроэлектричества и ферромагнетизма (редкоземельные манганиты и манганаты, легированные манганиты, мультиферроики с близкими температурами магнитного и сегнетоэлектрического упорядочения). С помощью μ SR-метода было показано, что образец HoMnO_3 при температуре $T_N = 74 \text{ K}$ испытывает переход из парамагнитного в антиферромагнитное состояние ($P \rightarrow \text{AFM}$). Доказано, что манганит HoMnO_3 при температуре $T_{SR} = 42 \text{ K}$ испытывает спин-ротационный переход, т.е. спины марганца при этой температуре испытывают поворот на 90° . С помощью μ SR-метода было определено, что при температуре $T_N = 66 \text{ K}$ в образце YMnO_3 происходит фазовый переход парамагнетик–антиферромагнетик. Впервые было обнаружено для манганита YMnO_3 особенности вблизи температуры $\sim 50 \text{ K}$, что может соответствовать частичному повороту спинов ионов марганца. Показано, что в манганитах существуют два места локализации мюона с различными внутренними магнитными полями, причем второе магнитное поле по величине примерно в два раза меньше, чем первое.

При исследовании манганатов EuMn_2O_5 и GdMn_2O_5 μ SR-методом без внешнего магнитного поля обнаружено, что ниже температуры магнитного упорядочения 40 К теряется 20-25% поляризации мюонов. Это можно объяснить тем, что в антиферромагнитной матрице образуются отдельные ферромагнитные пары, в которых возможен обмен e_g -электронами через лиганд (кислород) между ионами Mn.

Ведутся исследования магнитных свойств наноструктурных материалов. μ SR-методом исследована феррожидкость на основе наночастиц Fe_3O_4 , диспергированных в тяжелой воде D_2O . Обнаружено, что наряду с прецессионным сигналом от мюонной (диамагнитной) компоненты наблюдается отчетливый сигнал от мюониевой компоненты. Найдено, что диамагнитная (мюонная) фракция образуется в феррожидкости приблизительно в той же пропорции, что и в D_2O , однако скорость релаксации спина мюона значительно выше в феррожидкости по сравнению с D_2O при температурах $T > 150$ К. Доля мюониевой фракции при этих температурах существенно меньше в феррожидкости, чем в D_2O .

Исследования ферритно-мартенситных сталей (Fe-Cr). В данной работе получены результаты магнитных свойств ферритно-мартенситной стали ЭК-181 с различными режимами термообработки. При изучении зависимостей скорости динамической релаксации поляризации λ , коэффициента асимметрии и характеристик распределения локальных статических магнитных полей от температуры образца было обнаружено их нерегулярное поведение в области хрупко-вязкого перехода, что может быть объяснено переходом части материала в состояние спинового стекла.