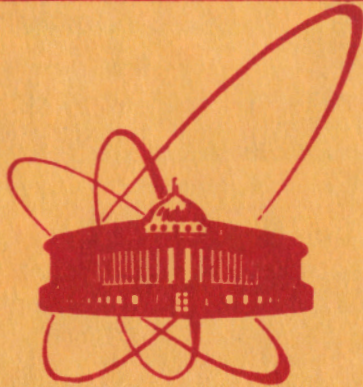


1507/82
20/11-82



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

843-81

P3-81-843

Э.В.Васильева, Б.В.Васильев, В.М.Назаров,
Чан Хань Май

НАБЛЮДЕНИЕ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕЙТРОНОВ
НА ОСТАТОЧНУЮ НАМАГНИЧЕННОСТЬ
ФЕРРИТА

Направлено в ЖЭТФ

1981

ВВЕДЕНИЕ

Традиционная схема изучения воздействия нейтронов на материалы предполагает продолжительный процесс облучения исследуемого образца нейтронами и последующее измерение его характеристик. При такой схеме значительные изменения параметров образца, возникающие в момент взаимодействия нейтронов с атомами, не регистрируются. Для того, чтобы заметить изменение свойств образца после облучения, приходится набирать дозу нейтронов, которая часто составляет заметную долю от полного числа атомов в образце. Так, в ферромагнетиках при такой схеме измерения может быть замечено изменение коэрцитивной силы^{/1/} и других структурно чувствительных параметров^{/2,3/} после изохронного отжига дефектов, созданных нейтронной дозой порядка 10^{-4} нейтронов на атом образца.

Значительный интерес представляет регистрация изменений свойств образца непосредственно в момент нанесения радиационных повреждений.

В настоящей работе исследовалось изменение намагниченности ферромагнетика, возникающее во время акта взаимодействия высокоэнергетической частицы с ферритом.

ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА

При подготовке эксперимента мы исходили из того, что высокоэнергетичный нейтрон деления вызовет некоторое кратковременное изменение остаточной намагниченности ферромагнетика за счет создания радиационных дефектов, которые затем отожгутся за короткое время. Было бы интересно сравнить это воздействие нейтрона с аналогичным воздействием других частиц, например, α -частиц. Поэтому в качестве образца был выбран феррит-гранат лития $\text{Li}_{0,5}\text{Fe}_{2,5}\text{O}_4$. Быстрые нейтроны в таком образце воздействуют на решетку, рассеиваясь на любом из атомов. Резонансные и медленные нейтроны имеют значительные сечения захвата на ядре ${}^6\text{Li}$ и создают радиационные дефекты через продукты (n, α)-реакции.

Образец, изготовленный из литиевого феррита, представлял собой стерженек длиной ~6 мм и диаметром около 1 мм. Предварительно намагниченный стерженек закреплялся в одном из отверстий двухиндуктивного /циммермановского/ сквида^{/4/}, являющегося датчиком высокочувствительного сверхпроводящего квантового интерферометра^{/5/}. Сквид с образцом помещался в криостат с жидким гелием. От внешних магнитных полей сквид экранировался сверхпроводящим экраном^{/6/}.

Эксперимент проводился на пучке нейтронов импульсного реактора ИБР-30 Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ. Криостат был помещен на расстоянии ~10 м от активной зоны реактора;

ОБЩЕУЧЕБНИЙ ЦЕНТР
УЧЕБНИКОВ
БИБЛИОТЕКА

регистрирующая часть интерферометра располагалась за защитой примерно в 20 м от криостата. Длительность вспышки нейтронов составляла ~90 мкс, частота - 4 Гц.

Независимые измерения показали, что на 10-метровой базе реактора поток быстрых нейтронов в интервале от 10÷50 кэВ до 10 МэВ составляет примерно $3,6 \cdot 10^6$ н/см² на одну вспышку. Поток медленных нейтронов имеет максвелловский спектр с характерной температурой $T \approx 450$ К и интенсивностью $3,8 \cdot 10^6$ н/см² на одну вспышку.

Квантовый сверхпроводящий интерферометр работал в традиционной схеме с замкнутым магнитным потоком^{/4/}.

Использование повышенной частоты модуляции /50 кГц/ и быстрой обратной связи в интерферометре дало возможность регистрации сигналов в полосе до 10 кГц с чувствительностью $\sim 10^{-9}$ Гс/ $\sqrt{\text{Гц}}$. Для улучшения отношения сигнал/шум на выходе устройства использовалась методика накопления сигнала: напряжение выхода интерферометра записывалось в память многоканального анализатора через интервалы времени в 10 мкс последовательно в 1024 канала. Запись в анализатор каждый раз начиналась примерно на 100 мкс раньше вспышки реактора. На рис.1 показано изменение остаточной намагниченности феррита, приведенное к одной вспышке реактора. Для уменьшения шумов использовалось накопление по $2 \cdot 10^4$ вспышкам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При расчете воздействия высокоэнергетичной частицы удобно исходить из простейшей модели, полагая, что изменение намагниченности ферромагнетика, вызываемое созданием дефектов, пропорционально той части энергии, которую частица оставляет в образце.

За одну вспышку реактора через образец проходит примерно $2,2 \cdot 10^6$ быстрых нейтронов /т.е. порядка 10^{-15} нейтронов на атом образца/. При этом создаваемая в акте рассеяния энергия $E \approx 4 \frac{E_n M_n}{M_{\text{я}}}$, где E_n - средняя энергия нейтрона в спектре, $E_n \sim 7 \cdot 10^5$ эВ, $M_{\text{я}}$ - масса ядра-рассеивателя, M_n - масса нейтрона. Учитывая, что сечение рассеяния нейтронов в этой области составляет единицы барн, получим, что основной вклад дает рассеяние нейтронов на ядрах кислорода, и полная энергия, оставляемая быстрыми нейтронами в образце за одну вспышку реактора, составит примерно 200 МэВ.

Медленные и резонансные нейтроны не могут оказать заметного прямого воздействия на образец, но, будучи захвачены ядрами ⁶Li, вызовут реакцию ⁶Li(n, α)³H. Продукты этой реакции, длина пробега которых невелика, выделяют всю свою энергию /4,78 МэВ/ и создадут так называемый тепловой пик^{/7/}.

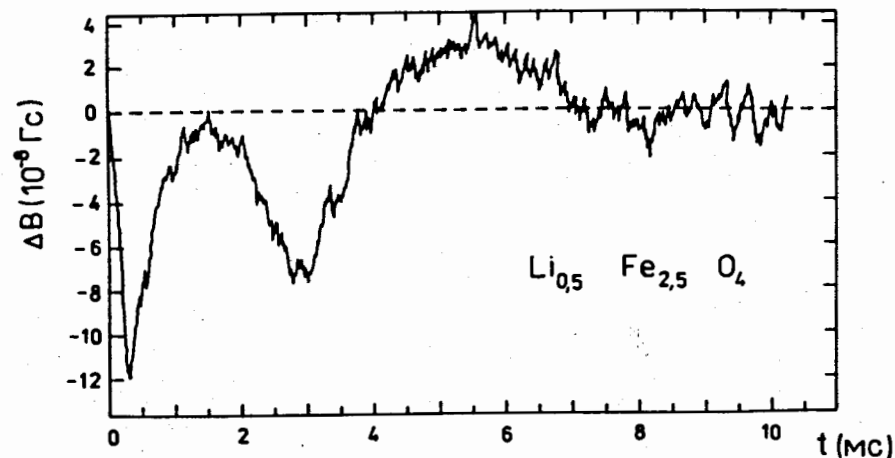


Рис.1. Временная зависимость действия нейтронного потока на остаточную индукцию литиевого феррита.

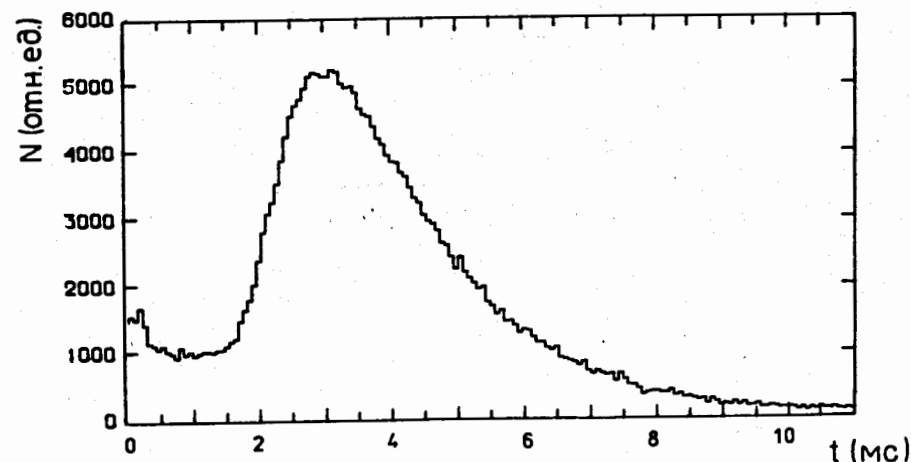


Рис.2. Временная зависимость счета нейтронов кремниевым детектором с литиевым конвертором, полученная на 10-метровой базе импульсного реактора ИБР-30.

Полагая, что в феррите существует естественный изотопный состав лития, получим, что за вспышку реактора в образце энерговыделение за счет реакции захвата составит $\sim 4 \cdot 10^4$ МэВ.

На рис.2 представлена временная зависимость счета кремниевго детектора с литиевым конвертором. Как видно, здесь площадь под первым пиком, за возникновение которого ответственны,

в основном, захваченные резонансные нейтроны, примерно в 100 раз меньше площади пика от тепловых нейтронов. Поэтому можно было ожидать, что в измеряемом эффекте роль резонансных нейтронов также будет невелика.

Однако экспериментально наблюдалось уменьшение намагниченности в литиевом феррите в момент прихода в образец как тепловых, так и резонансных и быстрых нейтронов. Для контроля было проведено измерение реакции интерферометра на пучок нейтронов - в этом случае феррит из датчика был удален. Никакого воздействия нейтронов обнаружено не было.

Оценка действия медленных нейтронов /через (n, α) реакцию/, которая может быть проведена однозначно, показывает, что уменьшение намагниченности, связанное с этим действием, эквивалентно кратковременному переходу в немагнитное состояние объема образца, содержащего примерно 10^{12} атомов. Считая, что за счет теплового пика от высокоэнергетической частицы происходит локальный нагрев некоторой области образца до температуры Кюри $/10^3\text{K}/$, получаем, что при этом суммарно в образец должна быть внесена энергия $\sim 10^5$ МэВ, что по порядку величины совпадает с приведенной выше оценкой. С другой стороны, изменение намагниченности в момент прихода в образец быстрых и резонансных нейтронов получилось того же порядка, как и при действии тепловых нейтронов, что не согласуется с приведенными выше оценками энерговыделения. Завышение эффективности быстрых нейтронов, вероятно, связано с наличием фона от их термализации в окружающей образец защите и изоляции криостата.

Необходимо отметить, что в рамках простой модели не может найти объяснения тот факт, что экспериментально после вызванного действием медленных нейтронов уменьшения намагниченности наблюдается ее рост, продолжающийся примерно 3 мс. Это явление обратного перемагничивания для объяснения требует дополнительного исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обнаружено непосредственное изменение остаточной намагниченности ферромагнетика под действием продуктов (n, α) -реакции, что открывает возможность исследования процесса рождения радиационных дефектов и кинетики их исчезновения.

Наблюдаемое уменьшение намагниченности во времени качественно совпадает с временным ходом энерговыделения в образце.

Можно предполагать, что значительный интерес представит проведение подобного эксперимента на пучке высокоэнергетических ядер из ускорителя.

Авторы глубоко благодарны Ю.М.Останевичу за интересные и очень полезные обсуждения полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Б.В. ФММ, 1967, т.24, с.807.
2. Васильев Б.В., Горелов А.П. Письма в ЖЭТФ, 1966, т.4, с.413.
3. Васильев Б.В. ОИЯИ, 3-3436, Дубна, 1967; Васильев Б.В. ОИЯИ, 3-3418, Дубна, 1967.
4. Silver A.H., Zimmerman J.E. Josephson Weak-Link Devices. In: Applied Superconductivity, N.Y., 1975.
5. Кларк Дж. Сверхпроводящие квантовые интерференционные приборы для низкочастотных измерений. В кн.: Слабая сверхпроводимость. "Мир", М., 1980.
6. Васильев Б.В. и др. ЖЭТФ, 1978, т.48, вып.9, с.1934-1940.
7. Динес Дж., Винкард Дж. Радиационные эффекты в твердых телах. "ИЛ", М., 1960.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 декабря 1981 года.