

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

539.126(063)

КОНФЕРЕНЦИЯ μ SR-83 В ЯПОНИИ

С 18 по 22 апреля 1983 г. в г. Симода в Японии состоялась Третья международная конференция по исследованию вещества методом вращения мюонного спина и смежным проблемам.

Организатором конференции выступала Мезонная научная лаборатория при Токийском университете, возглавляемая проф. Т. Ямазаки.

В основе метода вращения спина мюона, который кратко обозначается μ SR (muon spin rotation), лежат два явления. Это, во-первых, асимметрия углового распределения электронов (позитронов) $\mu^\pm \rightarrow e^+\nu\nu$ распада относительно спина мюона, характеризуемая параметром $a = a_0 P$, где P — степень поляризации мюона в момент его распада, $a_0 = 0,33$. И, во-вторых, прецессия спина мюона, а вместе с ним и углового распределения электронов (позитронов) в поперечном относительно спина мюона внешнем магнитном поле. В эксперименте измеряется зависимость числа электронов (позитронов) распада от времени. При $P \neq 0$ эта зависимость оказывается модулированной частотой ω_μ , равной частоте прецессии магнитного момента свободного мюона, амплитуда модуляции $A \sim P$. Взаимодействие магнитного момента и спина мюона со средой приводит к изменению частоты прецессии и амплитуды модуляции. Масштаб времени, в течение которого возможно изучение динамики взаимодействия мюона со средой μ SR-методом определяется величиной его времени жизни τ_μ ($\tau_{\mu^+} \approx 2$ мкс, $\tau_{\mu^-} \approx 0,1 - 2$ мкс) и разрешающей способностью аппаратуры.

Более подробно о μ SR-методе см. обзор Ю. М. Беляева, В. Н. Горелкина и др. в УФН, 1979, т. 120, с. 3.

В полупроводниках и изоляторах положительно заряженный мюон образует атом мюония ($\text{Mu} = \mu^+e^-$), являющийся легким изотопом водорода. Исследование динамики поведения мюония в веществе дает сведения о поведении водорода. Отрицательный мюон, замедлившись в веществе, захватывается атомом вещества и за короткое время ($< 10^{-10}$ с) переходит на соответствующую его массе K -оболочку. Малые размеры оболочки приводят к тому, что на мезоатоме ($\mu^- + \text{ядро } Z$) формируется электронная оболочка атома с порядковым номером $Z - 1$ («мюонуклонный атом»). Это позволяет изучать взаимодействие меченого примесного атома $Z - 1$ с его окружением.

Метод вращения мюонного спина впервые начал применяться в нашей стране для исследования вещества в семидесятых годах. В тот же период в работах советских теоретиков начала развиваться теория метода. В последние годы исследования вещества μ SR-методом интенсивно развиваются.

На конференцию μ SR-83 в Японии было представлено 130 докладов (в основном экспериментальных) о работах, выполненных на мезонных фабриках SIN (Швейцария), TRIUMF (Канада), LAMPF (США), а также на синхротроне в ЦЕРНе и в мезонной лаборатории при ускорителе КЕК (Япония). От нашей страны было представлено 5 докладов, посвященных исследованию полупроводников, изучению диффузии и фазовых перехо-

дов в антиферромагнитное состояние, исследованию мюонклонных атомов, а также результатам μ SR-исследований на мюезонном канале синхротронного ЛИЯФ АН СССР. Конференция происходила в г. Симода в ~ 170 км от Токио в гостинице, хорошо приспособленной для проведения небольших конференций. В заседаниях участвовало примерно 200 ученых, половина из них составляли физики из стран Европы, США, Канады, Китая. μ SR-83 конференция была очень представительной, в ней приняли участие, по существу, все известные специалисты в этой области.

Основные вопросы, рассмотренные на конференции μ SR-83

1. Диффузия и локализация мюонов в веществе. Квантовая диффузия. Захват μ^+ -мезонов на примеси и дефектах и освобождение мюонов из этих ловушек.

2. Локальные поля на μ^+ - и μ^- -мезонах; мюон как индикатор локальных магнитных полей (исследование ферромагнетиков и неупорядоченных магнетиков типа спиновых стекол и металлических стекол).

3. Мюониевоподобные состояния в твердом теле (μ^+ , нормальный мюоний, аномальный мюоний в полупроводниках и изоляторах).

4. Мюонная химия.

5. Сверхтонкое взаимодействие в свободном мюонии и в мюонклонных атомах.

6. Смежные физические проблемы:

а) $\pi^+/\mu^+/e^+$ -каналирование;

б) проблема электрослабого взаимодействия и измерения поляризации мюонов;

в) новые разработки в области аппаратуры для μ SR-экспериментов.

Интересные сообщения об изучении нормального и аномального мюония были сделаны Ведингером (ФРГ) и Паттерсоном (Швейцария). Эти работы дополняют результаты исследований состояний (Mu) и $(Mu)^*$ в кремнии, облученном нейтронами, выполненных в ЛИЯФ АН СССР и доложенных С. П. Кругловым. В настоящее время доказано, что аномальный мюоний $(Mu)^*$ является связанной системой, расположенной на расстоянии $1,6 \text{ \AA}$ от атома кремния с осью симметрии (111) . Нормальный мюоний (Mu) — быстро диффундирующий в веществе атом. В начальный момент времени (остановка μ^+ -мезона) образуются атомы и нормального и аномального мюония. Как кулоновская система атомы (Mu) и $(Mu)^*$ существуют в широком интервале температур. Однако наблюдать их по сверхтонкому взаимодействию оказывается возможным лишь в ограниченном интервале температур (для $(Mu)^*$ при $T < 140 \text{ K}$, для (Mu) при $T \leq 300 \text{ K}$).

Обращают на себя внимание μ SR-исследования облученных металлов при различных концентрациях радиационных дефектов. Так, в работе физиков из ФРГ был впервые наблюден захват мюонов на вызванные облучением вакансии и на пары вакансии — примесь. В сплавах железа в каждом из этих состояний наблюдаются различные частоты прецессии.

Большое число докладов было посвящено исследованию квантовой диффузии в Al, Nb, Cu, Bi. Доклады были представлены учеными из Швейцарии, Канады, ФРГ и СССР. В настоящее время вопрос о существовании квантовой диффузии в чистых металлах в области температур $T < 4 \text{ K}$ не вызывает сомнений. Однако существует несколько теоретических подходов для объяснения наблюдаемых на опыте экспериментальных данных.

Ряд докладов был посвящен новым возможностям использования отрицательных мюонов в μ SR-методе. Ю. П. Добрецовым был представлен обзор экспериментальной ситуации с формированием и наблюдением свободных мюонклонных атомов. В докладе Орта (ФРГ) представлены результаты измерения сверхтонкого (hf) расщепления в мюонклонном водороде

($\mu\text{H} = \mu^{-4}\text{He}1e^{-}$), системы, аналогичной в плане hf -расщепления мюонию. Сравнение hf -расщеплений в обоих атомах представляет большой интерес с точки зрения проверки КЭД, тождественности электромагнитных взаимодействий μ^{\pm} -мезонов, измерения магнитного момента и массы μ^{-} -мезона еще одним независимым способом.

Впервые μSR -методом была наблюдена прецессия μ^{-} -мезона в ферромагнетике Ni и измерено внутреннее магнитное поле. Мезоатом $\mu^{-}\text{Z}$ представляет собой псевдоядро с зарядом $Z-1$, которое имеет специфическое зарядовое и магнитное распределение и должен иметь существенно другое hf -взаимодействие с электронами по сравнению с ядром атома $Z-1$, находящимся в том же материале. Наблюдение hf -аномалии является новым методом определения распределения электронной спиновой плотности вблизи ядра. Работа была выполнена в SIN и представлена К. Нагамине (Япония).

В докладах Дж. Бревера (Канада) представлены результаты наблюдения прецессии спина μ^{-} -мюона в мезоатомах с отличным от нуля спином ядра. Работа выполнена на ядрах Li, Be, Cl, Na, K, P, Al, Ca, V, Nb, Co, Cu. Были наблюдаемы состояния $F^{\pm} = i_{\text{я}} \pm (1/2)$, где $i_{\text{я}}$ и $1/2$ — спины ядра и мюона соответственно, а также переходы $F^{+} \rightarrow F^{-}$.

Из результатов экспериментов, не связанных прямо с μSR -тематикой, представляет большой интерес измерение параметра η для $\mu \rightarrow e$ -распада, представленное Кроу (США). Новое ограничение $\eta < 0,03$, что примерно на порядок меньше прежнего результата.

Обсуждение методических вопросов показало, что техника и аппаратура для μSR -исследований, применяемая за рубежом, находится на высоком уровне и постоянно совершенствуется. Особенно важно для сохранения высокого уровня научных исследований в СССР создание криостатов для работы при температурах до 0,05 К и сверхпроводящих катушек Гельмгольца для получения магнитных полей до 50 кГс.

На конференции обсуждались вопросы использования импульсных пучков мюонов для проведения μSR -исследований. Доклады японских физиков и доктора Кокса (Англия) требуют самого тщательного изучения в связи с сооружением Московской мезонной фабрики. Методы, разработанные японскими физиками, не имеют, в принципе, ограничений на интенсивность мюонного пучка.

Все материалы конференции будут опубликованы в специальном номере журнала «Hyperfine Interaction» в конце 1983 г.

На заседании международного оргкомитета конференции было решено провести следующую конференцию в 1986 г.

После завершения μSR -83 конференции участники посетили лабораторию мезонной физики при ускорителе КЕК (UTMSL). Для получения пучка мюонов используется часть протонного пучка от протонного синхротрона на 500 МэВ, являющегося инжектором для ускорителя КЕК (энергия протонов 12 ГэВ). В лаборатории сооружен сверхпроводящий соленоид, который служит для фокусировки мюонного пучка. Для μSR -экспериментов выделяется 4000 часов в год. Имеются три одновременно функционирующих мюонных пучка: пучок поверхностных мюонов с энергией ~ 4 МэВ; пучок сепарированных мюонов с импульсом ~ 100 МэВ/с и пучок «неочищенных» мюонов с импульсом ~ 200 МэВ/с. Всего в лаборатории пять μSR -установок. Особенно интересной является установка со сверхпроводящими кольцами Гельмгольца, позволяющая проводить исследования в продольных магнитных полях до 40 кГс. Исследования в лаборатории ведутся очень широким фронтом, причем используются как μ^{+} -мезоны, так и μ^{-} -мезоны (исследование диффузии, магнетизм; спиновые стекла, μSR в ферромагнетиках; исследование химических соединений). На μSR -83 конференцию японские физики представили более 20 докладов о результатах своих исследований. Конференция была хорошо организована и прошла в точном соответствии с программой.

Ю. П. Добрецов, С. П. Круглов

