

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМЫ

53(048)

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ
И АСТРОНОМИИ АКАДЕМИИ НАУК СССР
(24 апреля 1991 г.)**

24 апреля 1991 г. в Институте физических проблем им. П.Л. Капицы АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

1. Л.С. Левитов. Числа Фибоначчи в ботанике и физике (филлотаксис).

2. В.Л. Аксенов. Исследование высокотемпературных сверхпроводников на высокопоточном импульсном реакторе ИБР-2.

Краткое содержание одного доклада публикуется ниже.

538.945(048)

В.Л. Аксенов. Исследование высокотемпературных сверхпроводников на высокопоточном импульсном реакторе ИБР-2. Импульсный быстрый реактор ИБР-2 относится к классу импульсных реакторов периодического действия. Он был введен в эксплуатацию в Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований в Дубне в 1984 г. и является единственным в мире реализованным проектом импульсного реактора большой мощности из серии проектов, предложенных в 60 — 70-х годах [1].

В отличие от обычного ядерного реактора, в котором процесс деления происходит непрерывно, реактор типа ИБР выделяет мощность короткими периодическими импульсами с большими интервалами между ними. Это достигается механическим изменением коэффициента размножения нейтронов. В реакторе ИБР-2 модуляция реактивности осуществляется с помощью подвижного отражателя, состоящего из двух частей: основной и вспомогательной. Эти две части вращаются с разными скоростями около активной зоны. Когда они оказываются одновременно напротив зоны, происходит генерация импульса.

Теплофизические характеристики и кинетика импульсного и стационарного реакторов отличаются мало. Однако из-за низкой средней мощности (на три порядка меньшей соответствующей импульсной мощности) импульсный реактор проще в эксплуатации и существенно дешевле из-за низкой активации оборудования и медленного выгорания активной зоны. При режиме работы реактора ИБР-2 2500 часов в год ресурс активной зоны (92 кг PuO_2) составляет 20 лет, а ресурс подвижного отражателя — 5 лет.

Реактор ИБР-2 является в настоящее время самым высокопоточным им-

пульсным источником нейтронов в мире: при средней мощности 2 МВт поток тепловых нейтронов с поверхности замедлителя составляет 10^{16} н/см²с. Такой поток обеспечивается высокой пиковой мощностью, которая составляет 1500 МВт. В таблице приведено сравнение основных параметров ИБР-2 с лучшими источниками: ISIS (Лаборатория им. Резерфорда—Эпплтона, Великобритания), LANSCE (Национальная лаборатория в Лос-Аламосе, США) и KENS (Национальная лаборатория физики высоких энергий, Япония).

Сравнение импульсных источников нейтронов для физики конденсированных сред (T — тепловые нейтроны ($E_n = 5 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-1}$ эВ), X — холодные нейтроны ($E_n = 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-3}$ эВ))

		ISIS, RAL, GB 1990	LANSCE, LANL, USA 1990	KENS-1, KEK, JAPAN 1990	ИБР-2, ОИЯИ 1990/1992	ИБР-2, ОИЯИ, ПО-2РМ 1993	ИБР-3, ОИЯИ (проект) 2000
$I_n \cdot 10^{-15}$, н/с	T	0,05	0,03	0,02	5	5	7
	X	0,03	0,02	0,017	$\frac{0,05}{0,6}$	0,6	3
Δt , мкс	T	20	20	100	300	150	100
	X	200	200	150	$\frac{300}{240}$	160	130
$Q \cdot 10^{-10} =$ $\frac{I_n}{(\Delta t)^2}$	T	12,5	7,5	0,2	5,6	22,2	70
	X	0,08	0,05	0,08	$\frac{0,06}{1,04}$	2,3	17,8
В таблице в качестве основных характеристик выбраны: \bar{I}_n — интегральный выход нейтронов с поверхности замедлителя в секунду, Δt — длительность импульса нейтронов и параметр Q , играющий роль "параметра качества" источника							

По сравнению с другими источниками нейтронов возможности ИБР-2 несколько ограничены большой шириной импульса для тепловых нейтронов. В то же время для холодных нейтронов при большой интенсивности импульс имеет практически такую же ширину, как и на других импульсных источниках. Таким образом, реактор ИБР-2 в области холодных нейтронов может иметь заметные преимущества по сравнению с другими источниками нейтронов. С учетом этого обстоятельства в Лаборатории в 1987 г. были начаты работы по созданию холодного замедлителя на основе твердого метана. В настоящее время эти работы вступили в завершающую стадию. Установка замедлителя на реакторе намечена в 1992 г.

Для уменьшения ширины импульса в 1993 г. будет установлен новый подвижный отражатель. Он будет отличаться от ныне действующего тем, что основная и вспомогательная части будут двигаться навстречу друг другу. В результате ожидается сокращение длительности импульса для тепловых нейтронов в два раза.

В таблице показаны также параметры обсуждаемого в настоящее время проекта модернизации реактора, который получил название ИБР-2. Необходимость такой модернизации вызвана тем, что к 1996 — 1997 гг. основные узлы реактора ИБР-2 выработают установленный радиационный ресурс и потребуют замены. В связи с этим представляется возможность улучшить основные характеристики реактора.

В настоящее время на реакторе ИБР-2 работают 11 спектрометров для физических исследований, 4 из них предназначены для исследований атомной и магнитной структуры, 4 — для изучения атомной, молекулярной и магнит-

ной динамики. Отдельную группу составляют спектрометры, использующие поляризованные и ультрахолодные нейтроны, а также прецизионный дифрактометр для нейтронной оптики. Характеристики существующих спектрометров на реакторе ИБР-2 и их возможности для физических исследований обсуждаются в статьях [2, 3]. В 1992 г. будет введен в эксплуатацию фурье-дифрактометр высокого разрешения [4], который даст возможность проводить структурные исследования с пространственным разрешением $\Delta d/d = 5 \cdot 10^{-4}$.

Использование реактора ИБР-2 позволяет получать обширную информацию о структуре, динамике и магнитных свойствах высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП).

Из многочисленных исследований структуры ВТСП отметим несколько наиболее интересных результатов. Недавно завершился цикл исследований на дифрактометре ДН-2 по замещению меди в иттриевых керамиках на изотопы железа [5]. Эти исследования позволили решить вопрос о распределении железа в цепочках и плоскостях в зависимости от его концентрации. Вместе с тем появился новый вопрос о характере магнитной фазы при концентрациях железа больше 0,5. Интересные результаты были получены в серии экспериментов на ДН-2 по изучению процесса синтеза ВТСП-керамик.

В работах [6] опубликованы данные об изучении на дифрактометре ДН-2 структуры висмутовых соединений "2-3-2". Исследовались керамики и монокристалл (размером $1,5 \times 1,0 \times 0,03$ мм), приготовленные в ФИ АН ЧСФР и Политехническом институте в Праге. В данных соединениях в атомной структуре имеется избыточный по сравнению с формальной валентностью кислород, который приводит к локальным искажениям и, как следствие, через упругие силы к модуляции кристаллической решетки. Поскольку наличие сверхпроводимости в ВТСП критическим образом связано с содержанием кислорода, то казалось, что возможна корреляция появления сверхпроводимости и сверхструктур. В данных исследованиях, проведенных в интервале температур от 8 до 920 К, такой корреляции не обнаружено.

Большой цикл работ был выполнен на спектрометре КДСОГ по исследованию фононных спектров ВТСП-керамик [7]. Наиболее интересный результат состоит в обнаружении температурных аномалий в низкочастотной области: при 6 мЭВ для лантановых соединений и в интервале от 20 до 40 мЭВ для иттриевых и висмутовых керамик. Недавно были проведены эксперименты по изучению спектров с изотопным замещением меди. При этом выделены парциальные вклады колебаний меди и остальных элементов решетки.

Весьма интересные данные были получены в экспериментах с поляризованными нейтронами на спектрометре СПН. Изучение отражения от поверхности ВТСП-пленок [8] позволило устранить разногласие в измерении разными методами глубины проникновения магнитного поля и установить его значение, близкое к 1000 \AA . Предложена методика [9] изучения деполяризации нейтрона после прохождения его сквозь образец. Появляется новая возможность изучения распределения магнитных полей внутри ВТСП и релаксации магнитных характеристик.

Исследования параметров кристаллического электрического поля позволяют определить величину энергетической щели Δ_0 и оценить константу взаимодействия ρ локализованных электронов с электронами проводимости. Такие измерения проводились на спектрометре КДСОГ и на источнике ISIS (ЛРЭ, Великобритания) на ВТСП разного типа, допированных тулием [10].

Обнаружено уменьшение ширины линий переходов между уровнями КЭП, скоррелированное с возникновением сверхпроводимости. Оценки дают $\Delta_0 \geq 14,2$ мэВ, $\rho = 0,025 \pm 0,005$.

Более детальное изложение этих и других результатов можно найти в книге [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шабалин Е.П. Импульсные реакторы на быстрых нейтронах. — М.: Атомиздат, 1976.
2. Belushkin A.V.// Neutron News, 1991. V. 2, No. 2.
3. Aksenov V.L.//Proceedings of International Conference on Neutron Scattering. Bombay, 21 — 25 January 1991. Physica. Ser. B. 1991.
4. Аксенов В.Л., Балагуров А.М., Воронов Б.И., Серочкин Е.В., Симкин В.Г., Хорват И., Трунов В.А., Кудряшев В.А., Муратов В.Г., Булкин А.П., Фролушкин В.М., Пинчук Ю.А., Хиисмяки П., Тиитта А., Антсон О., Пеюрю Х.// Сообщение ОИЯИ РЗ-91-172. — Дубна, 1991.
5. Балагуров А.И., Миронова Г.М., Любутин И.С., Терзиев В.Г., Шаниро А.Я.//СФХТ. 1990. Т. 3. С. 615.
6. Beskrovnyi A.I., Dlouha M., Jirak Z., Vratislav S.//Physica. Ser. C. 1990. V. 166. P. 79; V. 171. P. 171.
7. Belushkin A.V., Goremychkin E.A., Natkaniec I., Sashin J.L., Zajac W.// Ibidem. 1988. V. 156. P. 259.
8. Гапонов С.В., Докукин Е.Б., Корнеев Д.А., Клюенков Е.Б., Лебнер В., Пасюк В.В., Петренко А.В., Ржаны Х., Черненко Л.П.//Письма ЖЭТФ. 1989. Т. 49. С. 277.
9. Dokukin E.B., Korneev D.A., Petrenko A.V.// JMMM. 1990. V. 91.
10. Горемычкин Е.А., Осборн Р., Тейлор А.Д.//Письма ЖЭТФ. 1989. Т. 50. С. 351.
11. Progress in High Temperature Superconductivity. V. 21/Eds. V.L. Aksenov, N.N. Bogolubov, N.M. Plakida. — Singapore, New Jersey, London, Hong Kong: World Scientific, 1990.