

## В В Е Д Е Н И Е

Вниманию читателя предлагается отчет Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка за 1992 год, а также за последний квартал 1991 года, поскольку предыдущий годовой отчет включал период с 1 октября 1990 года по 1 октября 1991 года

Структура отчета отражена в оглавлении. Соответствующие разделы были подготовлены начальниками отделов и затем приведены к единому виду ученым секретарем лаборатории Ю. В. Тараном.

В прошедшем году был получен целый ряд весомых результатов как в развитии установок, так и в физических исследованиях.

### Нейтронные источники

Реактор ИБР-2 по-прежнему остается самым светосильным нейтронным источником в мире. Его полезная светимость составляет  $10^{16}$  нейтр. см<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>, что в 2-5 раз выше, чем на лучших импульсных источниках нейтронов на базе протонных ускорителей. В прошедшей кампании 1991-92 гг. реактор работал достаточно устойчиво: потери времени на физический эксперимент составили менее 7%.

Главная задача годовой программы развития ИБР-2 - создание и физический пуск криогенного замедлителя на основе твердого метана - выполнена. Пуск замедлителя осуществлен в начале ноября на мощности реактора до 1 МВт включительно. Поток холодных нейтронов увеличился приблизительно в 5-10 раз по сравнению со штатным теплым замедлителем, что близко к расчетному значению. Ввод в эксплуатацию криогенного замедлителя в первой половине 1993 г. позволит существенно расширить возможности исследований на пучках № 4, 5, 6, особенно в области малоуглового рассеяния нейтронов. В 1993 году по программе развития реактора ИБР-2 главной задачей будет изготовление и испытания нового подвижного отражателя.

Бустер ИБР-30 устойчиво отработал прошедшую кампанию, главным образом, на ядерно-физические эксперименты.

Продолжалась разработка проекта нового нейтронного источника на базе мощного линейного ускорителя и активной зоны из плутония. Он должен заменить бустер ИБР-30. В предыдущем годовом отчете ЛНФ этот источник имел название НИВР. Более тщательная проработка проекта показала, что при сужении энергетического диапазона выхода нейтронов до представляющего наибольший интерес интервала резонансных нейтронов можно создать источник на мировом уровне в своем классе, при этом на порядок дешевле, чем западные аналоги. Эта установка получила новое наименование ИРЕН - источник резонансных нейтронов. Разработка ИРЕН в Институте ядерной физики Сибирского отделения РАН (Новосибирск) и НИКИЭТ (Москва) идет в соответствии с календарным планом.

### Физические установки

Несомненным успехом лаборатории и института в целом явилось создание фурье-дифрактометра высокого разрешения. Первые эксперименты были выполнены в июне 1992 года, в сентябре они уже получили высокую оценку на прошедшей в Дубне Международной конференции по структурным исследованиям на импульсных источниках нейтронов. В первой половине 1993 года дифрактометр будет сдан в эксплуатацию, но уже сейчас видно, что это будет прибор с лучшими в мире параметрами. Это очень важно, поскольку исследование любой задачи в физике твердого тела начинается с изучения кристаллической структуры.

Создание фурье-дифрактометра имеет также важное методическое значение при использовании реактора ИБР-2. Теперь для физических исследований мы имеем не только самый высокий в мире среди импульсных источников поток нейтронов, но и лучшее структурное разрешение. На очереди использование корреляционного фурье-анализа в задачах неупругого рассеяния, что может дать значительное улучшение энергетического разрешения.

Закончены конструкторские работы и начато изготовление уникальной установки для накопления ультрахолодных нейтронов на реакторе БИГР в Арзамасе-16 с расчетной плотностью  $10^5$  нейтронов/см<sup>3</sup>. Это на два порядка выше, чем на установке в Гренобле. Численное моделирование показывает, что возможно измерение времени жизни нейтрона с рекордной точностью.

## Исследовательская программа

Действующие на реакторе ИБР-2 установки имеют широкий круг возможностей для исследований современных проблем физики конденсированных сред. Комплекс из четырех дифрактометров и установки малоуглового рассеяния дает уникальные возможности для изучения структуры твердых тел и жидкостей, а также магнитных структур. С помощью трех спектрометров неупругого рассеяния проводятся исследования структурных и магнитных возбуждений конденсированных сред. На спектрометре поляризованных нейтронов имеются хорошие возможности исследования структуры и магнитных свойств поверхностей твердых тел и пленок, а также деполяризационных явлений в магнитных и сверхпроводящих материалах.

Из большого числа работ по изучению структурных и динамических свойств конденсированных сред, выполненных в 1992 году, выделяются исследования спектра элементарных возбуждений в  $^4\text{He}$  в сверхтекучей фазе с помощью неупругого рассеяния нейтронов. Хотя явление сверхтекучести имеет многолетнюю историю, оно содержит в себе фундаментальную проблему связи сверхтекучести и бозе-конденсации. Интерес к этой проблеме усиливается еще и тем, что прямое наблюдение бозе-конденсации остается одной из важнейших проблем современной физики. В ЛНФ проблемой динамики  $^4\text{He}$  занимается группа ЛНФ-ФЭИ (Обнинск) - ХФТИ (Харьков) под руководством А.В.Пучкова. Последние эксперименты с рекордным энергетическим разрешением показывают расщепление ветви возбуждений в максон-ротонной области при переданных импульсах от 0,48 до 1,6  $\text{\AA}^{-1}$ . Этот результат может быть интерпретирован как прямое наблюдение бозе-конденсации в  $\text{He-II}$ , хотя окончательные выводы можно будет сделать после повторных измерений.

Получены интересные результаты в изучении проблемы высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП). Поскольку ВТСП-материалы состоят из элементов с большой разницей атомных весов (кислород - иттрий), то нейтронография оказалась наиболее эффективным методом для определения их структуры. Однако до сих пор сохраняются неясности в определении структуры висмутовых сверхпроводников. Результаты экспериментов в группе А.И.Бескровного, выполненные с монокристаллом  $\text{Bi-2212}$  размером  $2 \times 2 \times 0,3$  мм с заменой кальция на иттрий, весьма убедительно показывают наличие

дополнительной сверхструктуры. Этот результат может служить основой для объяснения электронной структуры висмутовых ВТСП и механизма сверхпроводимости.

Завершен цикл работ, дающий весомый вклад в исследование весьма интересной проблемы сосуществования сверхпроводимости и магнетизма. Удобным объектом является сверхпроводник Y123 с частичной заменой меди на железо. Ранее это соединение использовалось для изучения вопроса о роли плоскостей и цепочек в иттриевых ВТСП. Благодаря нейтронным исследованиям (в значительной степени в Дубне в группе А.М. Балагурова) этот вопрос получил свое разрешение. Однако при этом оказалось, что замена меди на железо приводит к целому кругу более интересных физических явлений, связанных с магнитными свойствами. В настоящее время установлена фазовая диаграмма в зависимости от концентрации железа и кислорода, которая может служить основой для дальнейших исследований.

Следует отметить измерения с помощью поляризованных нейтронов глубины проникновения магнитного поля в классический сверхпроводник ниобий. В результате этих исследований группой Д.А. Корнеева наблюдается аномальное поведение диамагнитного профиля сверхпроводника, которое можно связать с подавлением параметра порядка на границе сверхпроводник-вакуум. Установлена роль шероховатостей поверхности пленки при отражении поляризованных нейтронов от магнитной среды, что позволило устранить неточности в измерениях других авторов и обосновать прямой микроскопический метод измерения такой фундаментальной характеристики сверхпроводников как глубины проникновения магнитного поля.

На спектрометрах бустера ИБР-30 продолжались исследования структуры возбужденных ядер и характеристик их распада по доступным каналам (фотонному, протонному, деления и т.д.). В развитии программы исследования свойств возбужденных состояний методом  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений, предложенным в ЛНФ, были обнаружены первичные  $\gamma$ -переходы между состояниями компаунд-ядер вблизи энергии связи нейтрона, интенсивность которых более чем на порядок превосходит расчетные значения, сделанные в рамках статистической модели  $\gamma$ -каскада. Этот эффект наблюдался для ядер  $^{156,158}\text{Gd}$ ,  $^{150}\text{Sm}$  и  $^{164}\text{Dy}$ . Он может быть связан с аномальной энергетической зависимостью плотности возбужденных уровней ядер. Новые неожиданные возможности развитого метода открылись в измерениях спектров  $^{170}\text{Yb}$ , образующегося после

$\beta$ -распада  $^{170}\text{Lu}$ . Схема уровней  $^{170}\text{Yb}$ , полученная в результате более чем десятилетних исследований методами традиционной ядерной спектроскопии, оказалась существенно ревизована - около четверти уровней не нашли своего подтверждения и примерно столько же было обнаружено новых. Этот эксперимент открывает новые возможности в исследовании структуры ядер, образующихся в цепочках радиоактивных превращений.

Важные результаты получены в исследовании деления  $^{239}\text{Pu}$ , вызванного резонансными нейтронами. Прямое измерение характеристических  $\gamma$ -квантов осколков деления для набора компаунд-состояний  $^{240}\text{Pu}$  подтвердило гипотезу о связи каналов и мод деления, предложенную ранее в ЛНФ на основе анализа данных по делению ядра  $^{236}\text{U}$ . А именно, как и предсказывалось, для случая одноканального деления  $^{240}\text{Pu}$  не наблюдается (в пределах экспериментальных погрешностей) флуктуации (от резонанса к резонансу) относительно выхода различных фрагментов деления.

Результаты исследований, выполненных в лаборатории, были представлены на многих международных и национальных конференциях.

На конкурсе работ ОИЯИ за 1992 г. цикл работ В. Ю. Беззаботнова, А. Б. Кунченко, Ю. М. Останевича, И. Плештила, Л. Чера, И. Н. Сердюка "Малоугловое рассеяние нейтронов как метод исследования надмолекулярной структуры вещества" получил первую премию по разделу научно-методических и научно-технических работ; цикл работ В. А. Весны, Ю. М. Гледенова, Н. С. Окуновой, С. С. Паржицкого, Е. В. Шульгиной, Ю. П. Попова "Исследование р-нечетных корреляций в реакциях на легких ядрах при захвате тепловых поляризованных нейтронов с вылетом заряженных частиц" - поощрительную премию по разделу научно-исследовательских экспериментальных работ.

### Прикладные исследования

Помимо исследования чисто физических свойств конденсированных сред, нейтронные пучки на реакторе ИБР-2 весьма эффективно используются для изучения процессов, важных для материаловедения. Обширный материал был получен с помощью текстурной нейтронографии в группе Й. Хайнитца, на дифрактометре ДН-2 в режиме реального времени (Г. М. Миронова),

с помощью малоуглового рассеяния в группе Ф.Хойсслера и Н.Горского, с помощью неупругого рассеяния в группах И.Натканца и А.В.Пучкова, а также в группе поляризованных нейтронов.

На ИБР-30 систематически реализуется программа прикладных исследований реакторных конструкционных материалов, а в последнее время проводятся и измерения ядерных констант, важных для проблемы трансмутации радиоактивных отходов. В частности, в широком интервале энергий нейтронов проведены прецизионные измерения сечений деления  $^{237}\text{Np}$ , стоящие в первоочередном перечне данных, необходимых для реализации программы трансмутации отходов.

В лаборатории накоплен достаточно большой потенциал технических идей и разработок, который может быть полезен для решения актуальных задач народного хозяйства стран-участниц ОИЯИ. С этой целью в июне 1991 года при ОИЯИ на базе Лаборатории нейтронной физики был создан Научно-производственный центр "АСПЕКТ" (атомная спектрометрия). В 1992 г. основной деятельностью НПЦ "АСПЕКТ" был выпуск мелких серий разработанной им аппаратуры для народного хозяйства: гамма-спектрометров, анализаторов на 1024 и 4096 каналов, датчиков и защит к ним.

Общий объем заключенных договоров по выпуску такой аппаратуры составил в 1992 г. свыше 46 млн.рублей. Главными потребителями изделий НПЦ "АСПЕКТ" являются Главчернобыль Минсельхоза России, В/О "Изотоп" и комбинаты Министерства атомной энергии, воинские части, государственные структуры санитарного надзора.

В 1992 г. разработан и изготовлен опытный образец гамма-радиометра, который будет удобен в отдельных отраслях народного хозяйства, где не требуется сложного анализа по составу вещества. Спектрометр "Гамма-01с" модифицирован с заменой компьютера на Lap-Top. Разработан и выпущен опытный образец малогабаритного сварочного аппарата, который в настоящее время проходит испытания в мастерских ОИЯИ и может стать достаточно прибыльным изделием среди товаров народного потребления

В выпуске этих изделий значительное участие принимали сотрудники ОИЯИ, работающие по хоздоговорам. За 1992 г. этим сотрудникам ОИЯИ выплачено свыше 2 млн.рублей заработной платы.

## Учебная работа

В 1991-92 учебном году на кафедре ядерной физики конденсированных сред Учебно-научного центра при ОИЯИ преподавали В. Л. Аксенов, А. В. Белушкин, Б. В. Васильев, Ю. М. Останевич, Н. М. Плакида, Е. П. Шабалин. В 1992-93 учебном году преподавательский состав изменился (В. Л. Аксенов, Б. В. Васильев, В. Б. Злоказов, В. Л. Ломидзе, Н. М. Плакида, Ю. В. Таран) при сохранении курсов лекций. В отличие от предыдущего учебного года студенты начали работать в научных группах с начала 8-го семестра.

В сентябре 1992 года состоялась преддипломная защита курсовых работ студентов. В результате направлены заявки на распределение 10 студентов по тематике лаборатории: трех по нейтронной ядерной физике и семерых по физике конденсированных сред. Половина из этих студентов станут сотрудниками ЛНФ, остальные будут работать в институтах стран-участниц из СНГ, с которыми ЛНФ имеет общие исследовательские программы. В частности, два студента направлены в ИЯИ РАН (Троицк), но они будут стажироваться в Дубне для подготовки к работе на новом источнике нейтронов на Московской мезонной фабрике.

## Организационная деятельность

В связи с кончиной начальника отдела физики конденсированных сред Ю. М. Останевича произведена реорганизация отдела. Образовано четыре сектора: дифракции (А. М. Балагуров), малоуглового рассеяния (И. Н. Сердюк), неупругого рассеяния (И. Натканец), нейтронной оптики (Д. А. Корнеев). С 1 января 1993 г. руководителем темы "Исследование конденсированных сред с помощью рассеяния нейтронов" и и.о. начальника отдела назначен А. М. Балагуров.

На основе сектора физики низких температур ЛНФ создан Институт физико-технических проблем Министерства атомной энергии РФ. Директором назначен Б. В. Васильев.

Численность сотрудников лаборатории в отчетном году уменьшилась до 522 против 580 в 1991 г. Около 70% сотрудников переведены на работу по контрактам, что позволило стабилизировать обстановку в коллективе в условиях ухудшающейся экономической ситуации в стране местонахождения ОИЯИ.

Финансирование в 1992 году сохранилось примерно на уровне прошлого года (с учетом инфляции). Из поступлений в бюджет ОИЯИ лаборатория получила только 17,5% против 21,7%, установленных решениями Ученого совета и Комитета Полномочных Представителей, что, несомненно, несколько замедлило развитие лаборатории.

В 1992 г. регулярно работали лабораторный и отдельные семинары, которые имеют тематический характер. Лабораторией было проведено 4 конференции в Дубне и совместно с Лабораторией Леона Бриллюэна французско-российское рабочее совещание в Сакле по проблеме сильнокоррелированных электронных систем. Уже стали традиционными ежегодные собрания в Дубне Комиссии по исследованиям конденсированных сред ядерными методами РАН. Лаборатория активно участвует в координации научных программ России по тематике Комиссии. Надо отметить успешную работу лаборатории в рамках российской программы по физике высокотемпературной сверхпроводимости. В 1992 г. по этой программе в Дубне имело финансовую поддержку восемь проектов

Успешно развивалось сотрудничество с институтами Германии. В рамках двустороннего соглашения ОИЯИ-ФМИН ФРГ проведены обсуждения программы исследований на заседании Научно-координационного совета по исследованиям конденсированных сред ядерными методами в Дубне в январе и на заседании Нейтронного комитета ФРГ в Бад-Шандау в апреле 1992 г. По результатам сотрудничества в 1992 году и планам на 1993 год опубликован отчет.

Директор  
Лаборатории нейтронной физики  
им. И. М. Франка



В. Л. Аксенов