

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

5881/2-80

8/12-80
P3-80-629

И.М.Франк

КРАТКИЙ ОБЗОР
НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ЛАБОРАТОРИИ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ
В 1979 ГОДУ

1980

В моей статье об итогах деятельности Лаборатории нейтронной физики за 1978 год отмечалось, что в ходе работ по реактору ИБР-2 после его физического пуска была введена в действие система приготовления очищенного натрия, который будет служить для отвода тепла из активной зоны реактора. Работой с этой системой начался первый этап подготовки к энергетическому пуску ИБР-2. В минувшем 1979 году* было приготовлено несколько кубометров жидкого натрия и были заполнены баки третьего и частично второго контура. Началась реальная работа с натрием в системах охлаждения реактора. К концу года лаборатория приступила ко второму этапу пусковых работ - подготовке к эксплуатации первого натриевого контура реактора, в состав которого входит активная зона ИБР-2.

Перехожу к изложению научных результатов. В последние годы в отчетных докладах Лаборатории нейтронной физики^{/2/} сообщалось о развотой в лаборатории методике измерения малых сдвигов нейтронных резонансов /на величину, много меньшую их ширины/. Сдвиг возникает, когда ядро находится в сильном магнитном поле, и позволяет измерять магнитный момент ядра в высоковозбужденном состоянии. В последние два года методика измерения малых сдвигов резонансов была использована для определения формы ядра при большом возбуждении. Сейчас уже можно подвести некоторый итог этой работы.

Электростатическое взаимодействие между атомным ядром и электронной оболочкой атома приводит к сверхтонкому сдвигу ядерного уровня. На этом основан предложенный в ЛНФ в 1973 г. метод, позволяющий наблюдать изменения среднеквадратичного радиуса заряда $\langle r^2 \rangle$ при возбуждении ядра до энергии связи нейтрона. Разность энергии нейтронного резонанса изучаемого ядра в двух химических соединениях можно записать в виде

$$\Delta E_0 = \frac{2\pi}{3} Z e^2 \Delta |\Psi(0)|^2 \langle r^2 \rangle,$$

где $\Delta |\Psi(0)|^2$ - разность плотности электронов на месте ядра для этих соединений и $\Delta \langle r^2 \rangle$ - изменение среднеквадратичного радиуса возбужденного состояния ядра по сравнению с основным состоянием ядра-мишени. Измеряя ΔE_0 , можно получить значение

* В основу статьи положен текст отчетного доклада, представленного Лабораторией нейтронной физики 47 сессии Ученого совета ОИЯИ 8 января 1980 года.

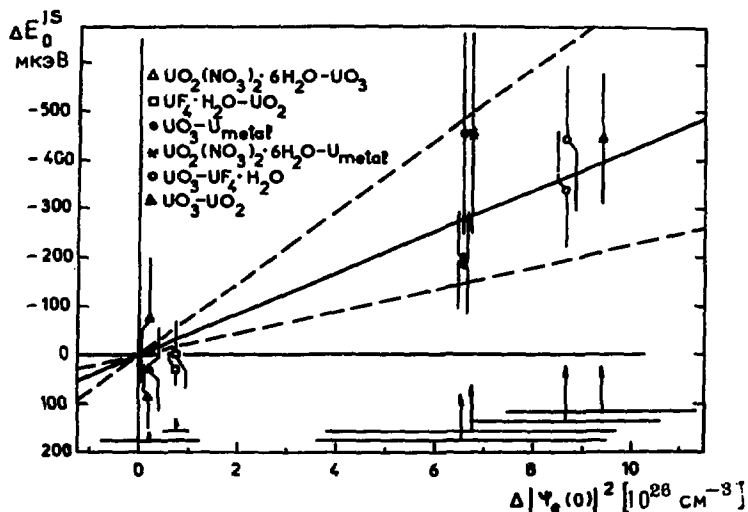


Рис. 1. Зависимость изомерного сдвига ΔE_0^{15} /в микроэлектрон-вольтах/ резонанса урана-238 от разности электронной плотности $\Delta |\Psi_0|^2$ /в ед. 10^{26} см^{-3} /. Каждая точка соответствует определенной паре химических соединений, как обозначено на рисунке.

$\Delta \langle r^{-2} \rangle$, если известна величина $\Delta |\Psi_0(0)|^2$. Такие измерения проводились по методу времени пролета на импульсном реакторе ИБР-30 в Дубне. Измерялось пропускание нейтронов для 5 химических соединений урана-238 в окрестности резонанса 6,67 эВ.

Сложность эксперимента обусловлена малостью эффекта и влиянием колебаний кристаллической решетки на форму резонанса. На рис. 1 приведены экспериментальные данные о сдвигах уровня для различных пар химических соединений. Разности плотности электронов получены из данных о химическом сдвиге рентгеновских линий, мессбауэровском изомерном сдвиге и плотности электронов в свободных ионах. Подробнее методика расчетов и экспериментов изложена в ряде работ, см., например, ^{3,4}.

Обработка данных по сдвигу резонанса 6,67 эВ ^{238}U дает $\Delta \langle r^{-2} \rangle = -1,7^{+1,2}_{-0,8} \cdot 10^{-28} \text{ см}^2$ /интервал ошибок для доверительной вероятности 95%/ для изменения $\langle r^{-2} \rangle$ возбужденного состояния ^{239}U /энергия возбуждения около 4,8 МэВ/ относительно основного состояния ^{239}U . Такое уменьшение среднеквадратичного радиуса получается, если предположить, что деформированное ядро становится сферическим при возбуждении.

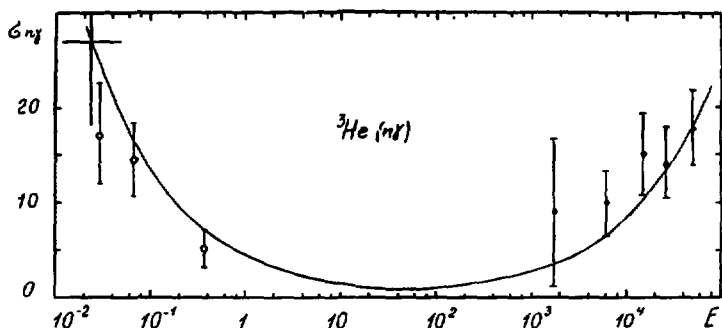


Рис.2. Эффективное сечение радиационного захвата нейтронов ядрами гелия-3 $\sigma_{n\nu}$ /в мкб/ в зависимости от энергии нейтронов E /в эВ/.

Традиционными для лаборатории и, соответственно, моих докладов являются сообщения об исследованиях легчайших ядер. В прошлом году^{1/} сообщалось о радиационном захвате резонансных нейтронов в ^3He . Было показано^{5/}, что сечение захвата растет с энергией нейтронов, притом так, как следует ожидать для p -волновых нейтронов. Такой захват разрешен правилами отбора и осуществляется через дипольный электрический переход. Однако это невозможно для тепловых нейтронов, когда все взаимодействие связано с s -волной. В этом случае возникают условия для проявления дипольного магнитного перехода, ослабленного, однако, правилом отбора по симметрии волновых функций He-3 и He-4 . В 1979 г. было выполнено изучение радиационного захвата тепловых нейтронов ядрами ^3He , и оно представляет существенный интерес, т.к. позволило сделать заключение о волновых функциях основных состояний ^3He и ^4He . Основная трудность эксперимента - очень малое сечение исследуемого процесса /порядка 10^{-4} - 10^{-5} барна/, сопровождаемого сильной конкурирующей реакцией $^3\text{He}(n,p)$ /сечение $5 \cdot 10^3$ барн/. Измерения, выполненные на ИБР-30 с газовой мишенью ^3He , дали величину $\sigma_{n\nu} = 29 \pm 9$ мкб. Ход сечения радиационного захвата в ^3He показан на рис.2. Наряду с экспериментальными данными была получена теоретическая оценка сечения с использованием гауссовых волновых функций основных состояний ^3He и ^4He . Сравнение экспериментальных и теоретических величин для сечения $\sigma_{n\nu}(^3\text{He})$ привело к оценке примеси состояния^{11/} смешанной симметрии^{11/} в ^4He , оказавшейся равной примерно 0,14%.

На протяжении ряда лет в ЛНФ ведутся совместно с ФЗИ /г. Обнинск/ исследования делящихся веществ, имеющие в первую

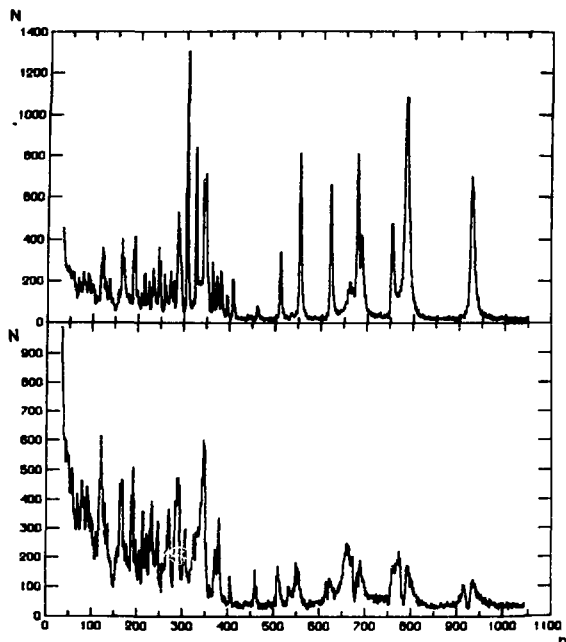


Рис.3. Экспериментальные спектры по времени пролета, полученные с помощью плутониевой камеры деления: в открытом пучке /рис. сверху/ и при толщине пропускающего образца плутония-239 толщиной 0,00412 ядер/барн /рис. снизу/.

энергий 2 эВ – 2 кэВ, полученные с плутониевой камерой деления без пропускающего образца в пучке /вверху/ и с образцом /внизу/. На рис.4 показан энергетический ход ослабления числа нейтронов и числа делений, вызванных нейтронами, с увеличением толщины проходимого слоя плутония-239. Видно, что для разных энергетических групп этот ход различен и везде не является экспонентой. Тщательно выполненные измерения на пучках реактора ИБР-30 для большого диапазона толщин исследованных материалов позволили получить набор групповых констант и факторы резонансного самоэкранирования для ^{235}U и ^{239}Pu .

Изучение процесса деления, разумеется, представляет большой интерес и для ядерной физики. Одной из важных задач является поиск сверхплотных ядер в уране и плутонии, о чем уже сообща-

очередь прикладное значение. Одна из таких работ, выполненная в Дубне физиками Вьетнама, Болгарии и СССР, посвящена изучению эффектов резонансного самоэкранирования в полном сечении и сечении деления $\text{Pu}-239$ и $\text{U}-235$ ¹⁷. Для расчетов реакторов недостаточно иметь более или менее аккуратные значения полного сечения, сечений деления и захвата как функции энергии нейтронов. В области плохого разрешения, где нельзя полностью разрешить все резонансы, усредненное сечение, даже измеренное с высокой точностью, не позволяет надежно рассчитать прохождение нейтронов через толстые слои. Это связано с эффектом резонансной блокировки, нарушающим экспоненциальную зависимость. На рис.3 приведены экспериментальные спектры в интервале

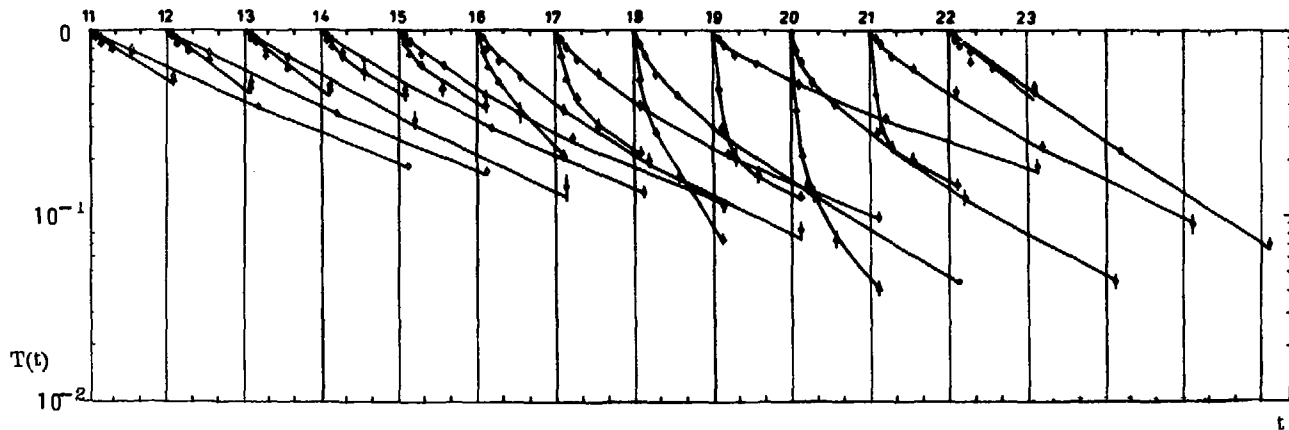


Рис. 4. Значения обычного /открытые точки/ и делительного /сплошные треугольники/ пропускания T плутония-239 в зависимости от толщины образцов x в диапазоне от 0,0022 до 901234 ядер/барн для 12 энергетических групп.

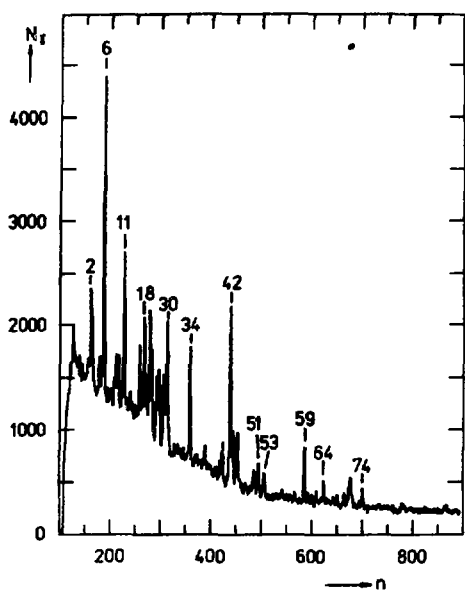


Рис.5. Амплитудный спектр мягких Гамма-лучей из резонанса 12,35 эВ в реакции $^{152}\text{Gd}(n,\gamma)^{153}\text{Gd}$. n - номер амплитудного канала, N_γ - число отсчетов в канале.

До последнего времени данные об этой реакции отсутствовали как ввиду малого /0,2%/ содержания изотопа ^{152}Gd в естественном гадолинии, так и из-за подавляющей конкуренции радиационного захвата на изотопах гадолиния-155 и -157, тепловое эффективное сечение которых примерно в 300 раз превышает исследуемое. Пример полученных спектров для мягких гамма-лучей дан на рис.5, где цифрами пронумерованы гамма-линии с энергией от 80 до 700 кэВ. Исследовано большое число гамма-переходов. Получены новые спектроскопические данные о спинах и четностях уровней ядра ^{153}Gd , существенно дополняющие прежние результаты исследований в ядерных реакциях с заряженными частицами.

Еще одним направлением, возникшим в лаборатории, которое будет развиваться и в последующие годы, является исследование ультрахолодных нейтронов. С вводом в действие ИБР-2 работы этого направления, которые в настоящее время выполняются

лось /см., например, $^{1/1}$ /. Наличие таких ядер могло бы проявиться благодаря возникновению в процессе деления нейтронов с энергией в десятки МэВ. Такие нейтроны не были обнаружены. В 1979 г. чувствительность измерений была повышена еще на два порядка с помощью освоения методики пороговой реакции $^{209}\text{Bi}(n,5n)$. Порог реакции составляет 30 МэВ. В экспериментах с нейтронами от реактора ИБР-30 эта реакция не была обнаружена. На основании этого можно утверждать, что вероятность образования сверхплотных ядер в делении, сопровождаемом испусканием нейтронов с энергией до $40\text{--}60$ МэВ, не превышает $4 \cdot 10^{-10}$ /8/ .

Интересные данные получены в "классической" нейтронной спектроскопии ядер при изучении альфа- и гамма-распада нейтронных резонансов. Удалось изучить реакцию радиационного захвата нейтронов на изотопе гадолиний-152.

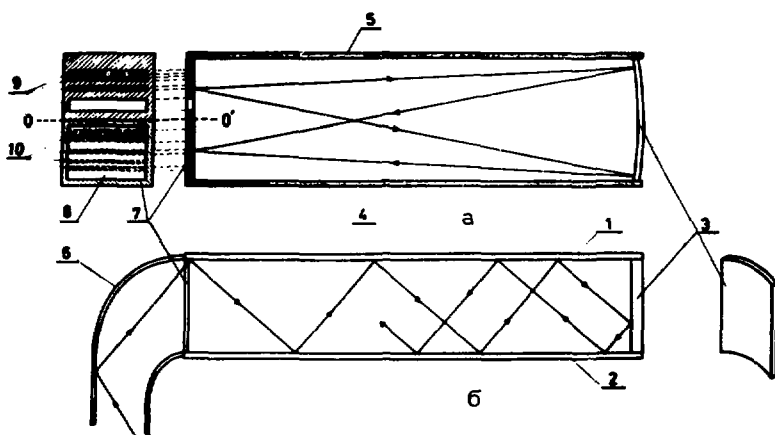


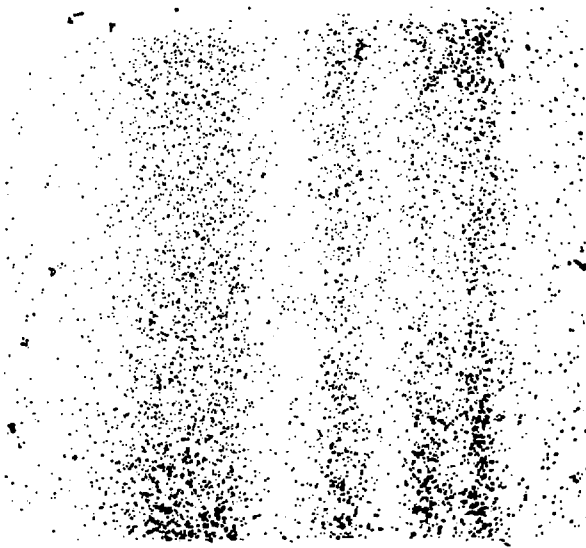
Рис.6. Схема экспериментальной установки для получения оптического изображения при помощи ультрахолодных нейтронов: а - вид сбоку, б - вид сверху. Обозначения в тексте.

совместно сотрудниками ЛНФ и других ядерных центров, станет возможным проводить в Дубне. Сейчас развивается своеобразная оптика ультрахолодных нейтронов, в которой можно применять зеркала, как плоские, так и изогнутые, для получения оптических изображений с помощью нейтронов. Такого рода эксперимент выполнен в работе ^{10/}.

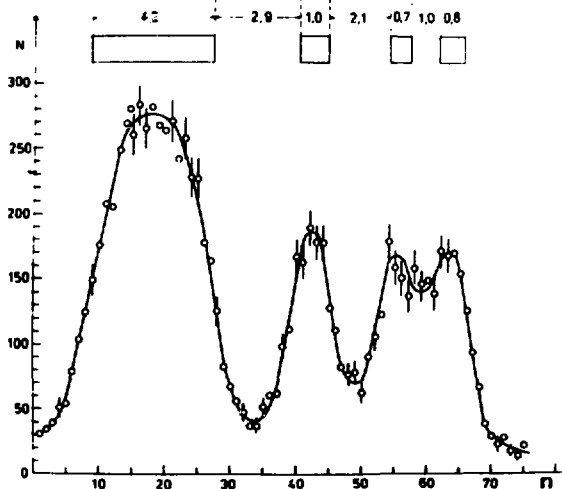
Измерения проводились на реакторе СМ-2 НИИАР /г.Димитровград/. Схема экспериментальной установки показана на рис.6. Источник 9 /система 4-х щелей/ и трековый детектор 8 /уран-титановый радиатор и фотостекло/ располагались рядом. Ультрахолодные нейтроны сходились на поверхности детектора после отражения цилиндрическим зеркалом 3 и многократных отражений от двух плоскопараллельных горизонтальных зеркал 1 и 2. После обработки стекла плавиковой кислотой на его поверхности выявилось изображение в виде параллельных полос, сфотографированных на рис.7а. На рис.7б показан полученный в результате обработки под микроскопом график изменения плотности треков в поперечном направлении. Ширины щелей и расстояния между ними даны в миллиметрах.

Качество полученного нейтронно-оптического изображения хорошее. В ближайшее время эти эксперименты будут использованы для поиска у нейтрона электрического заряда с помощью смещения изображения источника УХН под действием электрического поля ^{11/}.

Обширна программа лаборатории и в области исследований конденсированных сред и молекулярной биологии. Она также содержит



а



б

Рис. 7. Нейтронно-оптическое изображение источника УХН в виде щелей, обозначенных прямоугольниками: а - фотография поверхности трекового детектора, б - график изменения плотности треков в поперечном направлении.

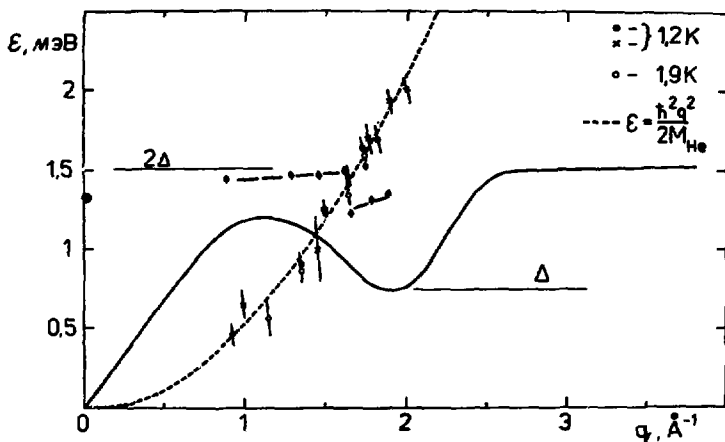


Рис. 8. Спектры возбуждений /энергия ϵ в мэВ/ в сверхтекучем гелии в зависимости от переданного импульса q /в ед. \AA^{-1} /. Пояснения в тексте.

ряд направлений, в которых лаборатории принадлежит почетное место. Существенные новые результаты получены в 1979 г. в области динамики конденсированных сред. Остановлюсь подробнее на двух работах. Первая из них относится скорее к числу фундаментальных и посвящена изучению сверхтекучего гелия. Исследования этой квантовой жидкости ведутся уже в течение ряда лет. К числу предыдущих результатов относятся изучение характеристик ротонной ветви и наблюдение атомов гелия в состоянии с нулевым импульсом /т.н. бозе-конденсат/ ^{12,13}. В истекшем году исследовалось двухротонное связанное состояние, на существование которого указывали результаты оптической спектроскопии. На рис. 8 отдельная точка на оси ординат как раз соответствует оптическим данным. Результаты нейтронных экспериментов в ЛНФ /точки на пунктирной линии/ подтверждают существование двухротонного состояния. Более того, показано, что это состояние может существовать с отличным от нуля полным импульсом. Как видно из рисунка, ветвь двухротонного состояния обладает некоторой дисперсией и достигает энергии 2Δ при $q = 1,65 \text{\AA}^{-1}$. При больших импульсах ротонны отталкиваются и связанного состояния не возникает. Из этих данных извлечен ряд параметров, необходимых для теоретического описания двухротонного состояния. В частности, константа ротонного взаимодействия оказывается порядка $-0,5 \cdot 10^{-38} \text{эрг} \cdot \text{см}^{3/14}$.

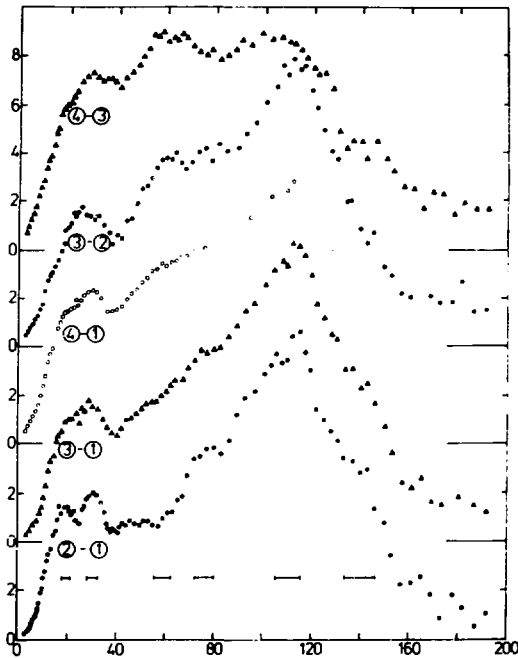


Рис.9. Плотность энергетических состояний атомов водорода /в произвольных единицах/ в зависимости от переданной нейтронам энергии $h\omega$ /в мэВ/ для различных толщин адсорбированного слоя.

явлением бозе-конденсата. Проверке этой возможности будут посвящены дальнейшие исследования, проводимые, как и прежде, совместно с Физико-энергетическим институтом /г.Обнинск/ на спектрометре ДИН реактора ИБР-30.

Другим весьма интересным результатом в области динамики конденсированных сред является исследование динамических свойств водорода, адсорбированного на поверхности никеля. Интерес к этой системе, с одной стороны, связан с развитием физики поверхностей твердых тел, с другой - восходит к пониманию процессов катализа химических реакций, механизма работы топливных элементов и т.д. В сотрудничестве с Институтом физики твердого тела /Юлих, ФРГ/ на спектрометре КДСОГ были получены/рис.9/

Другой важный результат этих экспериментов состоит в наблюдении при низких энергиях ветви одноатомного рассеяния ¹⁵. Этой ветви соответствует параболический закон дисперсии /крупный пункт на рис.8/, отвечающий рассеянию на почти свободном покоящемся атоме гелия. Существование этой ветви при передаваемых энергиях, меньших энергии роторных степеней свободы /жирная кривая на рисунке/, является новым и неожиданным экспериментальным фактом, который существующие теоретические модели не предсказывают и не объясняют. Температурная зависимость интенсивности этого одноатомного рассеяния соответствует измеренной в предыдущих опытах температурной зависимости плотности бозе-конденсата. Вполне возможно, что эта ветвь является еще одним про-

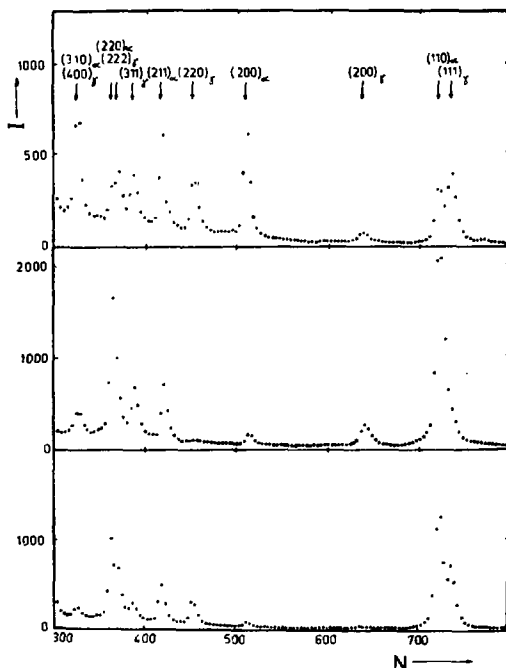


Рис. 10. Дифракционные спектры текстурированного образца стали при разных ориентациях последнего. I - интенсивность, N - канал временного анализатора.

плотности энергетических состояний атомов водорода, образующих 0,25 моноатомного слоя /кривая 2 - 1/; 0,5 моноатомного слоя /кривая 3 - 1/ и моноатомный слой водорода /кривая 4 - 1/. Наблюдаемые в этих спектрах полосы колебаний и их зависимость от количества адсорбированного водорода при некоторых предположениях позволили определить впервые силовые постоянные взаимодействия водород-никель $f_{H-Ni} = 8 \cdot 10^3$ дин/см и водород-водород $f_{H-H} = 4 \cdot 10^3$ дин/см^{1/16}.

Не имея возможности подробно остановиться на всех работах по физике конденсированных сред, ограничусь здесь кратким их перечислением. Вполне успешно продолжались нейтронографические структурные исследования, изучение антител методом малоуглового рассеяния, исследования электронной структуры металлов с помощью неупругого парамагнитного

рассеяния. Продуктивными были также исследования с помощью поляризующих зеркальных нейтронотодов, в импульсных магнитных полях и другие.

Хороший темп развития имеют текстурные исследования металлов. Получены первые экспериментальные результаты изучения текстур методом дифракции тепловых нейтронов по времени пролета. Текстура, т.е. наличие преимущественной ориентации кристаллов в металлическом образце, ранее изучалась с помощью рентгеновских лучей лишь для поверхностей металлов. Нейтроны позволяют увеличить исследуемый объем. На экспериментальных спектрах рисунка 10 для образца стали, измеренных при различных его положениях на 30-метровой пролетной базе ИБР-30, наглядно видно, как сильно меняются интенсивности разных дифракционных отражений в зависимости от ориентации образца.

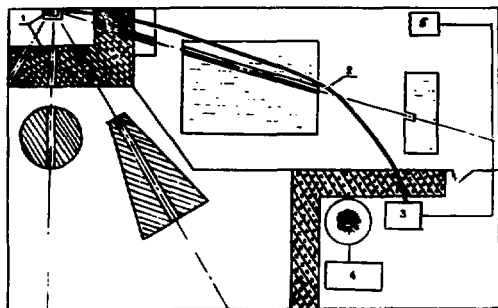


Рис.11. Схема пневмотранспортного канала и гамма-спектрометра в экспериментальном зале реактора ИБР-30: 1 - активная зона и биологическая защита реактора, 2 - канал, 4 - спектрометр.

Преимущество метода пролета состоит в возможности одновременного определения нескольких полюсных фигур исследуемого образца, что особенно существенно для веществ с низкой кристаллической симметрией. Исследования проводятся совместно с ЦИЯИ АН ГДР /г.Россендорф/, Техническим университетом /г.Дрезден/ и Центральным институтом физики твердого тела и металлургии АН ГДР /г.Дрезден/ /17/.

В последние годы на импульсном реакторе ИБР-30 расширена база для прикладных работ. Создан пневмотранспортный канал и под-

готовлена методика экспрессного нейтронно-активационного анализа с применением гамма-спектра высокого разрешения. Схема расположения пневмотранспортной системы и спектрометра в экспериментальном зале показана на рис.11. Используемый поток быстрых и тепловых нейтронов составляет $2-3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Гамма-кванты наведенной активности регистрируются Ge(Li) -детектором. На установке проведены измерения содержания макроэлементов: калия, натрия, кальция, магния, фосфора и хлора в пораженных опухолью и непораженных тканях и биологических жидкостях подопытных животных /крыс/ с целью изучения показателей водно-солевого обмена /18/. Опыт, получаемый на этой установке, имеет большое значение для будущих исследований на медико-биологическом канале реактора ИБР-2.

Интересной и многообещающей работой прикладного направления является опыт создания в лабораторных условиях установки для получения магнитокардиограмм. Магнитокардиография является сравнительно новым методом регистрации деятельности сердца, дополняющим распространенный метод электрокардиограммы. Магнитокардиограммы страдающих различными сердечными заболеваниями и здоровых людей могут различаться сильнее, чем электрокардиограммы. Экспериментальный образец магнитокардиографа Лаборатории нейтронной физики /19/, общий вид которого показан на рис.12, создан на основе разработанного ранее сверхпроводящего квантового интерферометра. Магнитокардиограмму удалось получить без применения магнитного экрана.

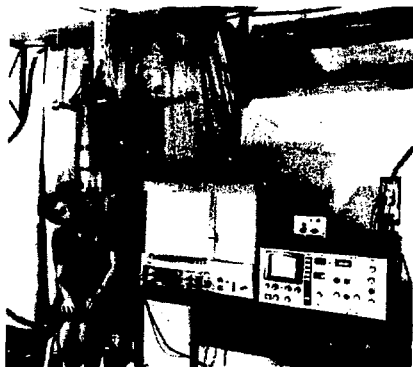


Рис.12. Общий вид магнитокардиографа в составе гелиевого криостата с датчиком интерферометра и электронно-измерительной аппаратуры.

Наряду с текущими исследованиями большое внимание и много сил было уделено в 1979 г. подготовке физических экспериментов на реакторе ИБР-2. Состояние дел с новыми установками сейчас в целом удовлетворительное. В полном соответствии с годовым планом заканчивается монтаж основных металлоконструкций первоочередных установок в экспериментальном зале №2 /рис.13/. Зал уже на 80% заполнен биологической защитой, полным ходом шли вакуумные испытания узлов установок. Большим событием явилось изготовление Высшей технической школой /Магдебург, ГДР/ основных металлоконструкций и точных механизмов для спектрометра поляризованных тепловых ней-

тронов на ИБР-2. Эти устройства прибыли в Дубну и уже смонтированы на 8-м пучке ИБР-2. Важной составной частью экспериментального оборудования, необходимого для работ на реакторе, является измерительный центр лаборатории. Его оснащение запланировано по линии создания иерархии измерительно-вычислительной техники. Нижней ступенью ее являются измерительные модули, управляющие экспериментом и воспринимающие информацию, а верхним - центральный процессор - машина PDP.

Лаборатория получила импортную машину PDP-11/70 /рис.14/. Вместе с ранее приобретенной машиной PDP-11/20 она образует прекрасный центральный процессор для измерительного центра. Одновременно шло оснащение измерительного центра малыми машинами. За основу были приняты машины SM-3 польского изготовления и частично машины SM-4. Четыре таких машины получены в 1979 г. и еще несколько будет получено в 1980 г. Таким образом, все необходимое для изготовления измерительных модулей и организации структуры измерительного центра, начиная от измерительных модулей до центрального процессора лаборатории и с выходом в случае необходимости на базовые машины ЛВТА, сейчас имеется.

Однако в работе измерительного центра и всей лаборатории, испытывающей острейшую нужду в лабораторной площади, нерешенной



Рис.14. Электронно-вычислительная машина PDP-11/70.

ЛИТЕРАТУРА

1. Франк И.М. Краткий обзор научной деятельности Лаборатории нейтронной физики в 1978 году. Сообщение ОИЯИ, РЗ-12829, Дубна, 1979.
2. Франк И.М. Краткий обзор научной деятельности Лаборатории нейтронной физики в 1975 году. Сообщение ОИЯИ, РЗ-13041, Дубна, 1976.
3. Акопян Г.Г., Вагов В.А., Зайдель К., Майстер А., Пабст Д., Пикельнер Л.Б., Салаи Ш. Изомерный сдвиг нейтронных резонансов. Сообщение ОИЯИ, РЗ-11740, Дубна, 1978.
4. Зайдель К., Майстер А., Пабст Д., Пикельнер Л.Б. Изомерный сдвиг нейтронных резонансов. Proc. III Int. Symp. of Interaction of Fast Neutron with Nuclei, Gaussig, Rep. ZfK-382, 1979, p.169.
5. Алфименков В.П., Борзаков С.Б. Вержбицки Я., Овчинников О.Н., Пикельнер Л.Б., Шаратов Э.И. Радиационный захват нейтронов ${}^3\text{He}$ в интервале энергий 1-70 кэВ. Письма в ЖЭТФ, 1979, т.29, с.100.

6. Алфименков В.П., Борзаков С.Б., Бунатян Г.Г., Пикельнер Л.Б., Вежбицки Я., Шарапов Э.И. Радиационный захват тепловых нейтронов гелием-3. Препринт ОИЯИ, Е15-12380, Дубна, 1979.
7. Бакалов Т., Ваньков А.А., Григорьев Ю.В., Илчев Т., Темков С., Украинцев В.Ф., Чан Хань Май, Янева Н. Экспериментальное исследование эффектов резонансного самоэкранирования в полном сечении и сечении деления плутония-239. Сообщение ОИЯИ, РЗ-12404, Дубна, 1979.
8. Попов А.Б., Руденко В.Т., Самосват Г.С. Дальнейшие поиски высокоэнергетических нейтронов в делении. Препринт ОИЯИ, РЗ-13000, Дубна, 1980.
9. Бечварж Ф., Гонзатко Я., Кралик М., Нгуен Данг Нюан, Стадников Т., Тележников С.А. Изучение реакции $^{152}\text{Gd}(n,\gamma)^{153}\text{Gd}$ на резонансных нейтронах. Сообщение ОИЯИ, РЗ-12516, Дубна, 1979.
10. Кашукеев Н.Т., Чиков Н.Ф. Получение нейтронно-оптического изображения при помощи ультрахолодных нейтронов. Препринт ОИЯИ, РЗ-12666, Дубна, 1979.
11. Кашукеев Н.Т., Чиков Н.Ф. Метод определения верхней границы заряда нейтрона при помощи УХН. ОИЯИ, Б2-3-12379, Дубна, 1979.
12. Докукин Е.Б., Козлов Ж.А., Парфенов В.А., Пучков А.В. Температурная зависимость плотности бозе-конденсата в жидком ^4He . Письма в ЖЭТФ, 1976, т.23, с.497.
13. Франк И.М. Краткий обзор научной деятельности Лаборатории нейтронной физики в 1976 г. Сообщение ОИЯИ, РЗ-10924, Дубна, 1977.
14. Благовещенский Н.М., Докукин Е.Б., Козлов Ж.А., Парфенов В.А. Двухроторное связанное состояние в He-II. Письма в ЖЭТФ, 1979, 30, с.14.
15. Благовещенский Н.М., Докукин Е.Б., Козлов Ж.А., Парфенов В.А. Исследование одноатомного рассеяния нейтронов и ветви двухроторного связанного состояния в He. Письма в ЖЭТФ, 1980, 31, с.7.
16. Штокмаер Р., Сторник Г., Натканец И., Майер Я. Динамика водорода и воды, адсорбированных на никелевых катализаторах. *Ver. Bunsenges. Phys. Chem.*, 1980, v.84, p.79.
17. Айххорн Ф., Андреефф А., Бетцль М., Вальтер К., Клайнштюк К., Мюклих А., Тобиш И., Фельдманн К., Хенниг К., Шлефер Д. Исследование текстур материалов с помощью рассеяния импульсного пучка тепловых нейтронов. Сообщение ОИЯИ, 18-12217, Дубна, 1979.
18. Голованов В.М., Гундорин Н.А., Гундорина С.Ф., Отгоолой Б., Фронтасьева М.В., Чинаева В.П., Шиловцева А.С. Применение нейтронного активационного анализа для изучения некоторых показателей водно-солевого обмена. Сообщение ОИЯИ, 18-12262, Дубна, 1979.

19. Васильев Б.В., Колычева Е.В. Магнитокардиограф. Препринт ОИЯИ, 18-12193, Дубна, 1979.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Франк И.М. Воспоминания студенческих лет. В кн.: С.И.Вавилов. Очерки и воспоминания. "Наука", М., 1979, с.155.
2. Левшин В.Л., Теренин А.Н., Франк И.М. Развитие работ С.И.Василова в области физики. В кн.: С.И.Вавилов. Очерки и воспоминания. "Наука", М., 1979, с.47.
3. Кобзев А.П., Франк И.М. Спектральная зависимость полуширины угловых распределений излучения Вавилова-Черенкова. ОИЯИ, Р14-12653, Дубна, 1979.
4. Ананьев В.Д., Архипов В.А., Бабаев А.И. и др. Физический пуск импульсного исследовательского реактора ИБР-2. АЭ, 1979, т.46, с.393.
5. Франк И.М. Что мы хотим рассказать о Сергее Ивановиче Вавилове. В кн.: С.И.Вавилов. Очерки и воспоминания. "Наука", М., 1979, с.5.
6. Франк И.М. Эйнштейн и оптика. УФН, 1979, т.129, с.685.
7. Алфименков В.П., Борзаков С.Б., Вежбицкий Я., Овчинников О.Н., Пикельнер Л.Б., Шарапов Э.И. Радиационный захват нейтронов ^3He в интервале энергий $1 \div 70$ кэВ. Письма в ЖЭТФ, 1979, т.29, с.100.
8. Бунатян Г.Г. Зависимость π -конденсатной неустойчивости ядерной среды от температуры. ЯФ, 1979, т.30, с.258.
9. Бунатян Г.Г. О вычислении оболочечных поправок к полуэмпирическим формулам для масс ядер. ЯФ, 1979, т.29, с.38.
10. Бунатян Г.Г. О статистическом описании свойств компаунд-состояний. ЯФ, 1979, т.29, с.10.
11. Попов Ю.П., Салацкий В.И., Хуухэнхуу Г. Усредненное сечение реакции $^{143}\text{Nd}(n, \alpha)^{140}\text{Ce}$ в области энергий нейтронов 30 кэВ. ОИЯИ, 3-12095, Дубна, 1979.
12. Ефимов В.Н. Интегральное уравнение для волновой функции трех тождественных частиц в модели граничных условий. VIII. Уравнения Шредингера и Фаддеева для потенциалов конечного радиуса действия. ОИЯИ, Р4-12081, Дубна, 1979.
13. Ефимов В.Н. Интегральное уравнение для волновой функции трех тождественных частиц в модели граничных условий. IX. Трехчастичное уравнение Шредингера в модели граничных условий. ОИЯИ, Р4-12090, Дубна, 1979.
14. Козлова Е.П., Останевич Ю.М., Чер Л. Основные характеристики аксиально-симметричной геометрии малоуглового рассеяния. ОИЯИ, Р14-12073, Дубна, 1979.
15. Антонов А., Богдзель А.А., Гледенов Ю.М., Тишин В.Г.

- Система пропорциональных камер для исследования реакции (n, α) на резонансных нейтронах. ОИЯИ, Р3-12146, Дубна, 1979.
16. Ишмухаметов М.З., Пепельшев Ю.Н. Анализатор формы импульсов мощности реактора. ОИЯИ, 11-12153, Дубна, 1979.
 17. Кроо Н., Насоди Л., Рубин Д., Симкин В.Г., Чер Л. Многодетекторная система измерений для корреляционного спектрометра. ОИЯИ, Р3-12118, Дубна, 1979.
 18. Кроо Н., Насоди Л., Рубин Д., Симкин В.Г., Чер Л. Функция пропускания статистического прерывателя и ее применение в обработке спектров. ОИЯИ, Р3-12180, Дубна, 1979.
 19. Ломидзе В.Л., Пепельшев Ю.Н., Рогов А.Д., Шабалин Е.П. Физический пуск реактора ИБР-2. Корреляционный анализ флукутаций мощности и вибраций подвижного отражателя. ОИЯИ, Р3-12195, Дубна, 1979.
 20. Намсрай Ю., Савватеев А.С., Саламатин И.М. Организация работы мини-ЭВМ типа М-400 с оборудованием в стандарте КАМАК. ОИЯИ, Р10-12206, Дубна, 1979.
 21. Бакалов Т.П., Богдзель А.А., Илчев Г.Л., Лефтеров Д.П., Маринов М.Г., Заргова Е.Й., Тишин В.Г., Тощков С.А., Украинцев В.Ф., Чан Хань Май, Чиков Н.Ф., Янева Н. Применение поверхностно-барьерных кремниевых детекторов для измерения кинетических энергий осколков деления в нейтронных резонансах. ОИЯИ, 3-12231, Дубна, 1979.
 22. Швец В.А. Длительность фронта стационарной ударной волны в многоканальной обостряющей линии. ОИЯИ, 13-12269, Дубна, 1979.
 23. Ломидзе В.Л., Мелихов В.В., Пепельшев Ю.Н., Рогов А.Д., Шабалин Е.П. Физический пуск реактора ИБР-2. Измерение формы импульса мощности. ОИЯИ, Р3-12194, Дубна, 1979.
 24. Каипов М.Д., Стойка А.Д., Стрелков А.В., Хетцельт М. Вращающийся пропорциональный счетчик для регистрации ультрахолодных нейтронов низких энергий. ОИЯИ, Р3-12271, Дубна, 1979.
 25. Бакалов Г.П., Ваньков А.А., Илчев Г., Тощков С., Украинцев В.Ф., Чан Хань Май. Байесовский метод обработки измеренных функций пропускания нейтронов для определения факторов резонансного самоэкранирования и других средних характеристик. ОИЯИ, Р3-12230, Дубна, 1979.
 26. Корнеев Д.А. Спин-флиппер с протяженной рабочей областью для немонаохроматических пучков нейтронов. ОИЯИ, Р3-12362, Дубна, 1979.
 27. Саввин В.А. Эффект вихревых токов в пластине из проводящего ферромагнетика с прямоугольной петлей гистерезиса. ОИЯИ, Р9-12377, Дубна, 1979.

28. Бунатян Г.Г. О спектре π -мезонов в ядерной среде при большой плотности и температуре. ОИЯИ, P2-12518, Дубна, 1979.
29. Франк И.М. Эйнштейн и проблемы оптики. К столетию со дня рождения Альберта Эйнштейна. ОИЯИ, P2-12429, Дубна, 1979.
30. Бабаев А.И., Гудовский В., Мелихов В.В., Пепельшев Ю.Н., Шабалин Е.П. Физический пуск реактора ИБР-2. Распределение плотности делений в активной зоне. ОИЯИ, P3-12051, Дубна, 1979.
31. Зимин Г.Н., Ермаков В.А., Северьянов В.М. Блок диагностического контроля мини-связи КАМАК-ЭВМ. ОИЯИ, 11-12391, Дубна, 1979.
32. Барабаш И.П., Губарев Е.Ю., Елизаров О.И., Киссиг К., Новожилов В.В., Локотилковский Ю.Н., Шибает В.Д. Автономная система корреляционного анализа УХН с использованием микропроцессорного контроллера КАМАК. ОИЯИ, 11-12423, Дубна, 1979.
33. Гусев В.В., Гудовский В., Дмитриенко В.В., Ефанов А.И., Ломидзе В.Л., Лаврухин В.С., Мелихов В.В., Пепельшев Ю.Н., Рогов А.Д., Фоминых Ю.В., Шабалин Е.П. Физический пуск реактора ИБР-2. Измерения среднего времени жизни поколения нейтронов. ОИЯИ, P3-12449, Дубна, 1979.
34. Гладких И.А., Новотны И., Останевич Ю.М., Франек Ф., Чер Л. Измерения расстояния между центрами связывания в молекуле антитела. Подход, использующий малоугловое рассеяние рентгеновских лучей и нейтронов. ОИЯИ, P14-12477, Дубна, 1979.
35. Анджеевски Ю., Во Ким Тхань, Втюрин В.А., Корейво А., Стэмпиньски М. Светосильный α -спектрометр для работы в импульсных полях излучений. ОИЯИ, 13-12458, Дубна, 1979.
36. Ананьев В.Д., Анцупов Н.П., Бабаев А.И., Бунин Б.Н., Воробьев Е.Д., Дмитриенко В.В., Едунов Л.В., Кульпин Ю.В., Лаврухин В.С., Ломидзе В.Л., Мелихов В.В., Пепельшев Ю.Н., Пластинин В.П., Смирнов В.С., Фоминых Ю.В., Шабалин Е.П. Физический пуск реактора ИБР-2. Критическая сборка и измерение эффективности блоков системы управления и защиты. ОИЯИ, P13-12465, Дубна, 1979.
37. Гудовский В., Зацепин А.Ф., Ломидзе В.Л., Рогов А.Д., Смирнов В.С., Титков В.К., Хрястов Н.А., Шабалин Е.П. Физический пуск реактора ИБР-2. Измерения эффектов реактивности подвижного отражателя. ОИЯИ, P13-12483, Дубна, 1979.
38. Ананьев В.Д., Архипов В.А., Бабаев А.И., Блохинцев Д.И., Булкин Ю.М., Бунин Б.Н., Воробьев Е.Д., Доллежалъ Н.А., Едунов Л.В., Лаврухин В.С., Ломидзе В.Л., Мелихов В.В., Митяев Ю.Н., Пепельшев Ю.Н., Пластинин В.П., Рогов А.Д., Смирнов В.С., Франк И.М., Хрястов Н.А., Шабалин Е.П.,

- Язвицкий Ю.С. Физический пуск импульсного исследовательского реактора ИБР. ОИЯИ, Р13-12482, Дубна, 1979.
39. Намсрай Ю. Драйвер накопителя на магнитной ленте для ЭВМ типа ТРА. ОИЯИ, Р10-12489, Дубна, 1979.
 40. Фрауенхайм Т., Репке Г. Температурный фазовый переход антиферромагнетик-ферромагнетик в двухзонной s-f модели Хаббарда. ОИЯИ, Р17-12521, Дубна, 1979.
 41. Балука Г., Саламатин И.М., Хрыкин А.С. Организация библиотеки перемещаемых программ для машин типа М-400. ОИЯИ, 10-12545, Дубна, 1979.
 42. Балука Г., Саламатин И.М., Хрыкин А.С. Программа-библиотекарь для машин программно-совместимых с ЭВМ М-400. ОИЯИ, 10-12546, Дубна, 1979.
 43. Длоугы З., Дука-Зойоми А., Криштиак Й., Пантелеев Ц. Исследование (п,γ) процесса на ядре ^{235}U . ОИЯИ, Р3-12562, Дубна, 1979.
 44. Ермаков В.А., Зимин Г.Н., Цитульский В.А. Блок управления микро-ЭВМ "Электроника-60". ОИЯИ, 11-12598, Дубна, 1979.
 45. Алфименков В.П., Борзаков С.Б., Вежбицки Я., Осипенко Б.П., Пикельнер Л.Б., Тишин В.Г., Шаратов Э.И. Радиационный захват тепловых нейтронов дейтронами. ОИЯИ, Р3-12667, Дубна, 1979.
 46. Бакалов Т., Ваньков А.А., Григорьев Ю.В., Илчев Г., Тошков С., Украинцев В.Ф., Чан Хань Май, Янева Н. Измерение пропусканий и самоиндикации на уране-235 и плутонии-239 в области энергий нейтронов 2 эВ - 20 кэВ. ОИЯИ, Р3-12796, Дубна, 1979.
 47. Елизаров О.И., Ержабек Я., Жуков Г.П., Ондричка К., Саламатин И.М., Хрыкин А.С. Автономная система управления гониометром. ОИЯИ, 10-12764, Дубна, 1979.
 48. Во Ким Тхань, Втюрин В.А., Корейво А., Попов Ю.П., Стэмпиньски М. Усредненные по резонансам сечения реакции (п,α). I. Методика измерений и обработки. ОИЯИ, Р3-12755, Дубна, 1979.
 49. Во Ким Тхань, Втюрин В.А., Корейво А., Попов Ю.П., Стэмпиньски М. Усредненные по резонансам сечения реакции (п,α). II. Исследование средних сечений реакций $^{147}\text{Sm}(n,\alpha)^{144}\text{Nd}$ и $^{128}\text{Te}(n,\alpha)^{120}\text{Sn}$ методом времени пролета. ОИЯИ, Р3-12756, Дубна, 1979.
 50. Попов Ю.П., Суховой А.М., Хитров В.А., Язвицкий Ю.С. Изучение флуктуаций интенсивностей гамма-переходов при захвате нейтронов в резонансах ^{95}Mo и ^{157}Gd . ОИЯИ, Р3-12750, Дубна, 1979.
 51. Александров Ю.А. О возможности улучшения экспериментальной оценки электрического дипольного момента нейтрона. ОИЯИ, Р3-12747, Дубна, 1979.

52. Лушиков В.И., Пикельнер Л.Б., Попов Ю.П., Франк И.М., Шарапов Э.И., Язвицкий Ю.С. Некоторые направления программы исследований на ИБР-2. ОИЯИ, ЕЗ-12740, Дубна, 1979.
53. Ермаков В.А., Зимин Г.Н. Оперативное запоминающее устройство динамического типа емкостью 4Кх16 бит. ОИЯИ, 13-12718, Дубна, 1979.
54. Андреефф А., Бетцель М., Клейнштюк К., Матц В., Фельдманн К., Хенниг К. Количественный нейтронографический текстурный анализ осевой текстуры стальной проволоки с помощью метода времени пролета. ОИЯИ, Р4-12690, Дубна, 1979.
55. Кобзев А.П., Франк И.М. Спектральная зависимость полуширины угловых распределений излучения Вавилова-Черенкова. ОИЯИ, Р14-12653, Дубна, 1979.
56. Матора И.М., Стрелина С.А. О сохранении свойства ламинарности потока электронов в ЛИУ. ОИЯИ, Р9-12673, Дубна, 1979.
57. Балагуров А.М., Новожилов В.Е., Останевич Ю.М., Шибачев В.Д. Сжатие информации в трехмерном нейтронном дифракционном эксперименте по методу времени пролета. ОИЯИ, Р14-12840, Дубна, 1979.
58. Никитенко Ю.В., Роганов А.Б., Таран Ю.В. Двухканальный стабилизатор магнитного поля с индукцией 1-10 мкТ. ОИЯИ, Р13-12847, Дубна, 1979.
59. Андрианов С.Н., Дымников А.Д., Осетинский Г.М. Система формирования протонных пучков микронных размеров. ОИЯИ, Р9-12873, Дубна, 1979.
60. Балука Г., Саламатин И.М. Программа редактирования магнитных лент для ЭВМ, программно совместимых с СМ-3. ОИЯИ, Р10-12917, Дубна, 1979.
61. Саламатин И.М., Яновский Г.Я. Использование модулей, написанных на ФОРТРАНе в системе САНПО для ЭВМ типа СМ-3. ОИЯИ, Р10-12971, Дубна, 1979.
62. Балагуров А.М., Георгиу З., Датт И.Д., Савенко Б.Н., Шувалов Л.А. Метод наблюдения доменной структуры сегнетоэлектриков на нейтронном дифрактометре по времени пролета. *phys.stat.sol.(a)*, 1979, v.51, p.367.
63. Попов А.Б., Самосват Г.С. Поиск нейтронов с энергией более 40 МэВ в делении. ЯФ, 1979, т.30, с.313.
64. Николенко В.Г., Самосват Г.С., Попов А.Б. Поиски относительной анизотропии скорости света и скорости нейтронов. ЖЭТФ, 1979, т.76, с.393.
65. Попов А.Б., Тшецяк К., Хван Чер Гу. Параметры нейтронных резонансов рутения. ЯФ, 1979, т.29, с.561.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 сентября 1980 года.