

11824

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



11824

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА  
РЗ - 11824

И.М. Франк

КРАТКИЙ ОБЗОР  
НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
ЛАБОРАТОРИИ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ  
В 1977 ГОДУ

**1978**

РЗ - 11824

И. М. Франк

КРАТКИЙ ОБЗОР  
НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
ЛАБОРАТОРИИ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ  
В 1977 ГОДУ

ОИЯИ  
БИБЛИОТЕКА

Франк И.М.

P3 - 11824

Краткий обзор научной деятельности Лаборатории нейтронной физики в 1977 году

Работа является обзором основных результатов научной деятельности Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ в 1977 г. в области ядерной физики, физики конденсированных сред, изучения свойств ультрахолодных нейтронов, а также свойств переходного излучения и эффекта Вавилова-Черенкова. Сообщается о физическом пуске нового реактора - ИБР-2. Это событие, состоявшееся 30.11.77 г., проиллюстрировано тремя фотографиями. Приводятся и обсуждаются результаты изучения спиновой зависимости нейтронных эффективных сечений редкоземельных ядер, выполненного с помощью поляризованных нейтронов. Сообщаются результаты эксперимента по поиску сверхплотных ядер в процессе деления ядер материала активной зоны реактора ИБР-30 и результаты исследования поведения ультрахолодных нейтронов в сосудах с очень чистыми стенками. Подробно, с привлечением рисунков, анализируются итоги работ, посвященных свойствам черенковского и переходного излучений. Сообщается об использовании разработанного в лаборатории сверхпроводящего квантового интерферометра для поиска электрического дипольного момента электрона. Демонстрируется дальнейшее развитие методов малоуглового рассеяния и дифракции нейтронов на импульсном источнике. Обзор содержит обширный список публикаций работ ЛНФ ОИЯИ в 1977 г.  
Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Frank I.M.

P3 - 11824

Review of Scientific Activity of Neutron Physics Laboratory in 1977

The main results of scientific activity of the JINR Neutron Physics Laboratory in 1977 are reviewed. They are in the fields of nuclear physics, physics of condensed matter, ultracold neutron properties, and in the fields of transition radiation and the Vavilov-Cherenkov effect. The report is given on physical start up of new pulsed IBR-2 reactor. The results of spin-dependence of neutron cross-sections study for the Rare Earth nuclei obtained in experiments with polarized neutrons and polarized nuclei are given. The results of the search for superdense nuclei in fission process in the IBR-30 reactor core are reported, as well as ones for behaviour of ultracold neutrons in a container with very pure walls. The investigation of transition and the Vavilov-Cherenkov radiations are analyzed in detail. The report of the upper limit measurement of the Electron Electric Dipole moment (performed with the help of a quantum superconducting interferometers) is given. The further development of small angle scattering and diffraction techniques at the pulsed source is demonstrated. The review contains an extensive list of publications of the Laboratory in 1977.

The investigation has been performed at the Neutron Physics Laboratory, JINR.

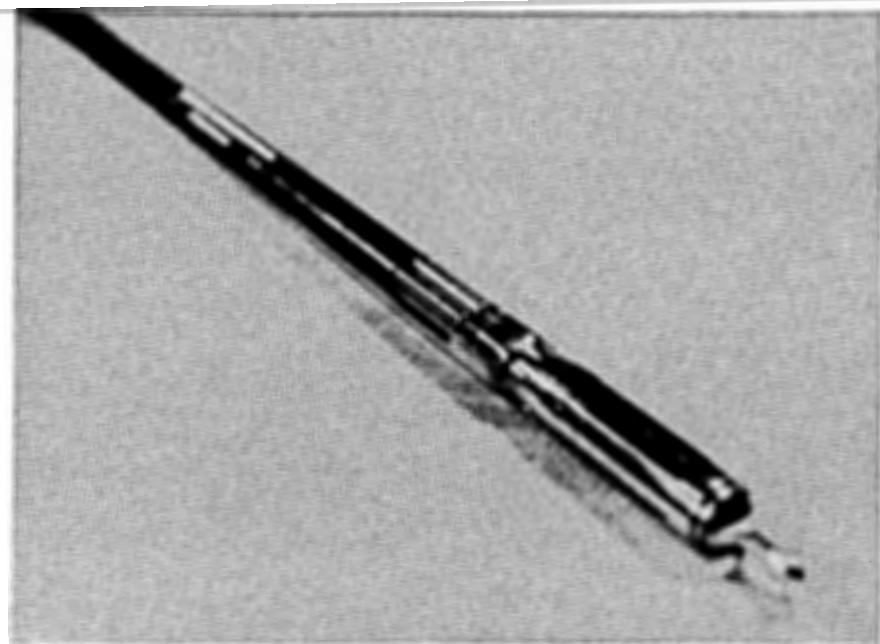
Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

В моем обзоре о научной деятельности ЛНФ за 1976 год отмечалось, что начавшиеся в 1970 году строительные, а затем и монтажные работы по ИБР-2 вступили в завершающую фазу<sup>1/</sup>. Они были закончены в 1977 году, и 30 ноября в 16 часов 20 минут на реакторе ИБР-2 был впервые осуществлен незатухающий цепной ядерный процесс\*. Это было не просто рождение реактора, но начало первого и совершенно необходимого этапа его освоения - он носит название физического пуска. Без физического пуска последующий ввод реактора в эксплуатацию невозможен. Только на опыте проверяется величина критической массы, удачность конструкции систем управления и защиты реактора. Для стационарного режима реактора эта работа была закончена в декабре. На основании данных по физическому пуску в различные конструкции систем реактора будут внесены необходимые уточнения и коррективы.

Это существенный этап работы, успех которого был обеспечен усилиями строителей и монтажников, многих проектных институтов и предприятий атомной промышленности, Дирекции и различных служб ОИЯИ и, конечно, коллектива Лаборатории нейтронной физики. В Польской Народной Республике изготовлена электронная аппаратура систем управления и защиты реактора. Физическому пуску предшествовала сложная и напряженная подготовка. Коллективу лаборатории пришлось взять

\* Использован текст отчетного доклада ЛНФ, представленного на XLIII Сессии Ученого совета ОИЯИ 11 января 1978 года.

на себя прецизионную работу по сборке кассет из плутониевых элементов, изготовленных атомной промышленностью. Каждая кассета, конструкция которой видна на *рис. 1*, содержит 7 плутониевых элементов. Все сложное оборудование реактора ИБР, кроме системы натриевого охлаждения, было смонтировано, налажено и прошло



*Рис. 1. Кассета реактора ИБР-2, содержащая плутоний.*

испытания. *Рис. 2* показывает, как выглядит пульт управления ИБР-2. Особенно много внимания было уделено подвижному отражателю. Это - сложная высокоскоростная и очень прецизионная машина, спроектированная и изготовленная Научно-исследовательским и конструкторским институтом энерготехники<sup>1/2</sup>. Как вы знаете, она несколько лет испытывалась на специальном стенде, затем была перенесена на свое рабочее место у корпуса реактора и снова длительно испытывалась.



*Рис. 2. Пульт управления реактором ИБР-2.*

27 октября Государственная комиссия под председательством А.М.Петросьянца после тщательной проверки всех систем управления и документации подписала разрешение начать физический пуск и мы начали к нему готовиться. 14 ноября приступили к критической сборке реактора. На *рис. 3* показана сборка активной зоны. В декабре реактор ИБР пускался неоднократно. Было проделано большое количество различного рода измерений, в которых проверялась эффективность быстрой и медленной аварийной защиты, ценность отражателей, управляющих реактором. Была отградуирована абсолютная мощность реактора, причем она была ограничена величиной от 100 до 300 Вт, поскольку система охлаждения реактора еще не введена в действие. Расчеты, лежащие в основу всех конструкций, в общем неплохо оправдались, но теперь они имеют уже не качественный, а строго количественный характер. Примерно с 20 декабря началась подготовка к пуску реактора в импульсном режиме. Здесь также предстоит\* выполнить значительный комплекс исследований /определение длительности нейтронной вспышки, величины флуктуации мощности и др./, завершение программы планируется на первую половину 1978 года. Затем требуется ряд месяцев для монтажа натриевой системы, освоение которой - также непростая задача: достаточно сказать, что система должна быть заполнена более чем десятью кубометрами жидкого натрия. Этот натрий из транспортных контейнеров должен быть перегнан путем дистилляции с помощью специальных аппаратов в стандартные баки, откуда будет поступать в технологические системы реактора. После завершения этих работ состоится энергетический пуск реактора с постепенным повышением его мощности до проектной. Для реактора с высоким потоком это всегда занимает большое время. Вместе с тем, для обеспечения физических экспериментов также предстоит сделать еще многое. Сейчас завершается строительство павильона для спектрометра

\* Пуск реактора в импульсном режиме состоялся 13 января 1978 г.



*Рис. 3. Сборка активной зоны реактора ИБР-2.*

ДИН-2, который сооружается совместно с Физико-энергетическим институтом. Я полагаю, что в 1979 году он будет подготовлен для начала работы. Изготавливается установка для работ с ультрахолодными нейтронами и для измерения электрического дипольного момента нейтрона с помощью ультрахолодных нейтронов. Значительный задел имеется по изготовлению установки для малоуглового рассеяния и дифракции нейтронов. Очень большая заинтересованность со стороны физиков Советского Союза, Польши и ГДР имеется в реконструкции установки КДСОГ. Перенесенная на расстояние 100 м от реактора, эта установка будет иметь рекордную величину разрешающей способности. Для этого необходимо строительство павильона 117/2. Это - небольшая работа, но все же ее предстоит начать и кончить. Все экспериментальные установки требуют радикального усовершенствования Измерительного центра лаборатории. На смену устаревшим многоканальным временным анализаторам типа Тензор должны придти малые управляющие машины, удобно и оперативно связанные с большим процессором в ЛВТА. План развития Измерительного центра разработан и утвержден дирекцией, но осуществление его потребует еще больших усилий. К сожалению, новое здание Измерительного центра недостроено, и мы вынуждены размещать оборудование в то помещение, которое не может обеспечить дальнейшее развитие работ. В связи с этим остро стоит вопрос о завершении строительства Измерительного центра.

Реактор ИБР - это только часть комплекса ИБР-2. Чтобы обеспечить работу, требующую высокого разрешения для резонансных и быстрых нейтронов, необходим инжектор ЛИУ-30. Это - тоже новая и уникальная установка, которая не повторяет ни то, что существует, ни даже то, что предполагается осуществить в других местах. Сейчас в мире имеется ясное понимание, что стационарные реакторы достигли своего практического предела, и поэтому дальнейшее развитие нейтронной физики, так же как и в ОИЯИ, ориентируется на использование импульсных источников нейтронов.

Перехожу к краткому обзору научных работ, выполненных в лаборатории в 1977 году. Начну с работ сек-

тора Л.Б.Пикельнера и В.П.Алфименкова с поляризованными нейтронами на поляризованных ядрах. Если поляризованными нейтронами облучать поляризованные ядра, то можно возбуждать в отдельности каждую из двух серий резонансов, отличающихся по спину на единицу, возникающих при поглощении  $s$ -нейтронов. Разность сечений поглощений нейтронов при двух поляризациях, усредненная по многим резонансам, пропорциональна разности силовых функций для двух спиновых состояний. Понятие силовой функции, в сущности говоря, требует уточнения. Ее можно определить как величину суммарной нейтронной ширины резонансов, расположенных на единичном интервале энергии нейтронов. Так как ширина нейтронных резонансов и расстояние между ними сильно флуктуируют, то эта величина непостоянна. Таким образом, нужно говорить о некоторой средней величине, при этом возникает вопрос о том, в каком интервале энергий надо брать эту среднюю. Однако если производить измерения в широком диапазоне энергии, то такие местные колебания силовой функции должны сглаживаться и будет видно, существуют ли в силовой функции какие-то закономерности, зависящие от спина и энергии. Именно такие эксперименты в интервале энергий от тепловых до 100 кэВ и были выполнены для четырех ядер: празеодима, тербия, гольмия и туллия<sup>/3/</sup>. На *рис. 4* показана разность сечений поглощения для двух знаков поляризации нейтронов как функция энергии нейтронов. Видно, что эта зависимость индивидуальна для каждого ядра, причем имеются довольно медленные ее изменения. Конечно, и здесь сказывается флуктуация ширины отдельных резонансов; если предположить, что эти флуктуации чисто статистические, то это увеличит ошибку измерений силовой функции в каждой из точек. Результат для силовой функции показан на *рис. 5*. Видно, что качественно картина не изменилась и имеются систематические изменения силовой функции, зависящие от спинов резонансов, причем очень небольшие, не выходящие за пределы 10%. Из этих результатов следуют два вывода. Первый: в среднем силовая функция для двух спиновых состояний одинакова; второй: в отдельных участках энергетического спектра

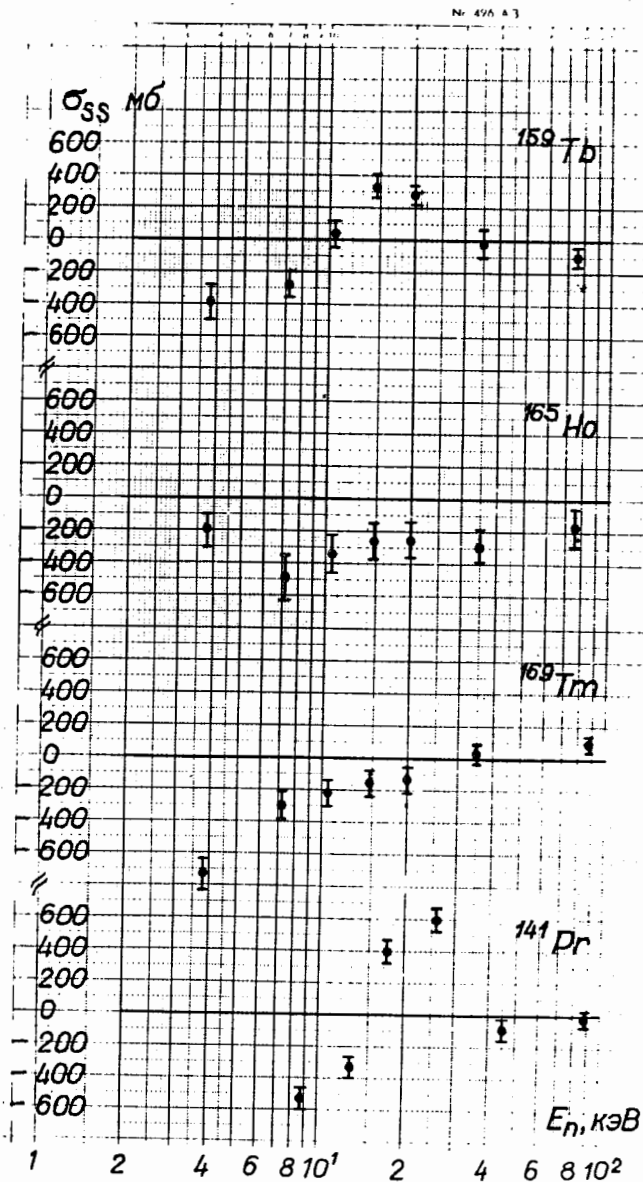


Рис. 4. Спин-спиновое эффективное сечение редкоземельных элементов в зависимости от энергии нейтронов.

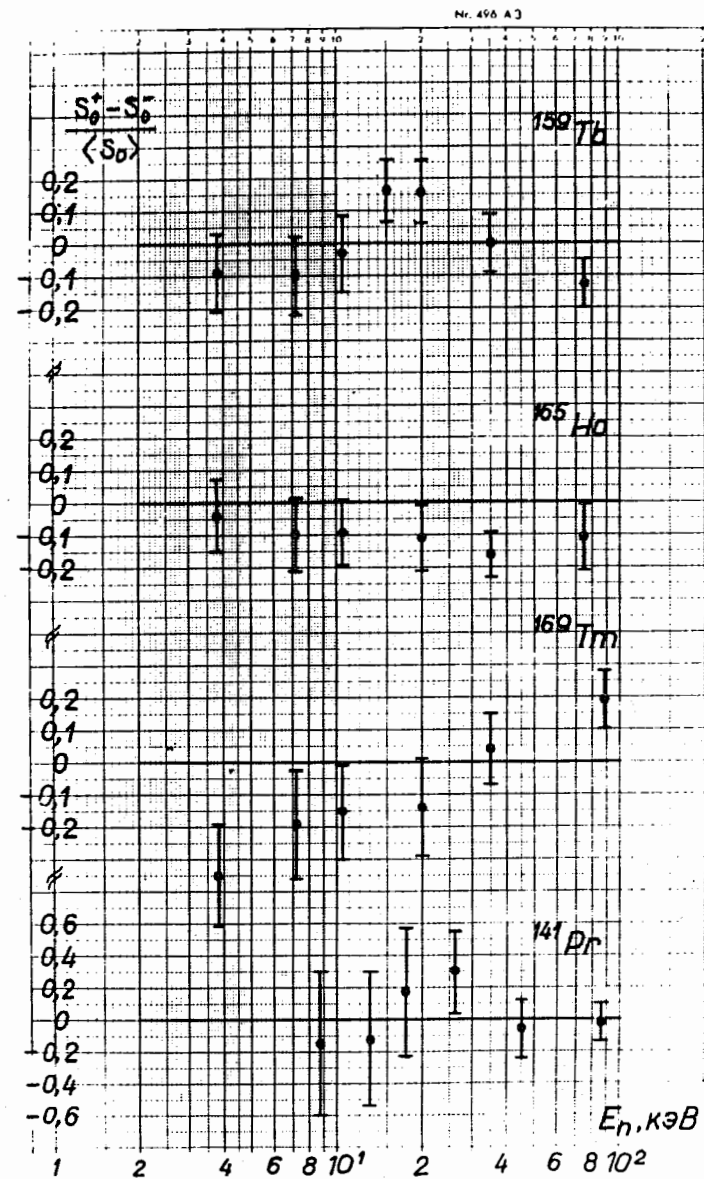


Рис. 5. Относительная разность нейтронных силовых функций редкоземельных ядер для двух спиновых состояний /+, -/ в зависимости от энергии нейтронов.

проявляются какие-то особенности структуры ядра, зависящие от спина.

Перехожу к другой работе. В последнее время активно обсуждается вопрос о возможности существования ядер в сверхплотном состоянии. Возможно это или нет, в конечном итоге решит эксперимент. В связи с этим представляет интерес работа, проведенная в 1977 году В.Г.Николенко, А.Б.Поповым, Г.С.Самосватом и Хван Чер Гу<sup>4/</sup> по обнаружению сверхплотных ядер, которые могут возникать в процессе деления ядер. Идея эта не нова, были уже сделаны экспериментальные попытки обнаружить сверхплотные ядра в этом процессе, но точность их не велика. Реактор ИБР-30 является очень удобным объектом для такого рода экспериментов. Материалом, в котором могут проводиться поиски сверхплотных ядер, является вся активная зона реактора ИБР-30, т.е. около 20 килограммов плутония и 4 килограммов урана-235. Если в процессе деления образуется сверхплотный осколок, то можно ожидать большого выделения энергии, а это приведет к тому, что нейтроны деления будут иметь энергию порядка десятков МэВ. Кроме того, если такие сверхплотные ядра существуют стабильно в плутонии, уране или окружающих их конструкционных материалах, то при захвате нейтронов также должна выделяться большая энергия и должны появляться гамма-лучи с энергией десятки миллионов электронвольт. Методом времени пролета показано отсутствие очень быстрых нейтронов с энергией  $40 \pm 200$  МэВ /рис. 6/. Отсюда была сделана оценка, что выход сверхплотных ядер на один акт деления не превышает  $10^{-6}$ . Не привели к положительным результатам и поиски жестких гамма-лучей /рис. 7/. На рисунке верхняя кривая получена при пороге детектора 10 МэВ. Хорошо видна вспышка реактора. На нижней кривой - порог 30 МэВ, и видно, что счет не выходит за пределы фона. На основании этого можно утверждать, что атомные концентрации сверхплотных ядер не превышают  $2 \cdot 10^{-12}$  в водяном замедлителе,  $2 \cdot 10^{-8}$  в вольфраме и  $5 \cdot 10^{-7}$  в самом делящемся материале. Из отрицательного результата этого опыта, разумеется, не следует, что существование сверхплотных ядер невозможно, ско-

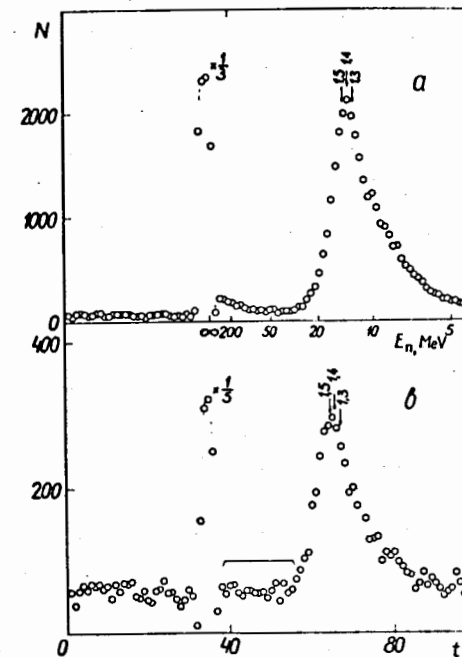


Рис. 6. Спектры быстрых нейтронов деления в зависимости от времени пролета при низком /а/ и высоком /б/ порогах регистрации.

рее можно утверждать, что их следует искать не таким методом или в других элементах. Может случиться, что они обнаружатся не в земных объектах, а в сверхплотных звездных образованиях.

Традиционным для лаборатории является изучение легчайших ядер. Широкой известностью пользуются теоретические работы В.Н.Ефимова по взаимодействию нейтронов с дейтонами<sup>5/</sup>. В свое время группой Ф.Л.Шапиро с использованием поляризованных нейтронов и поляризованных ядер дейтерия были определены длины pd-рассеяния<sup>6/</sup>. Другим объектом изучения является взаимодействие нейтронов с ядром гелия-3. Здесь также имеются известные работы Ф.Л.Шапиро<sup>7/</sup>. Исследование рассеяния тепловых нейтронов в гелии-3 - очень трудная задача, поскольку основным процессом



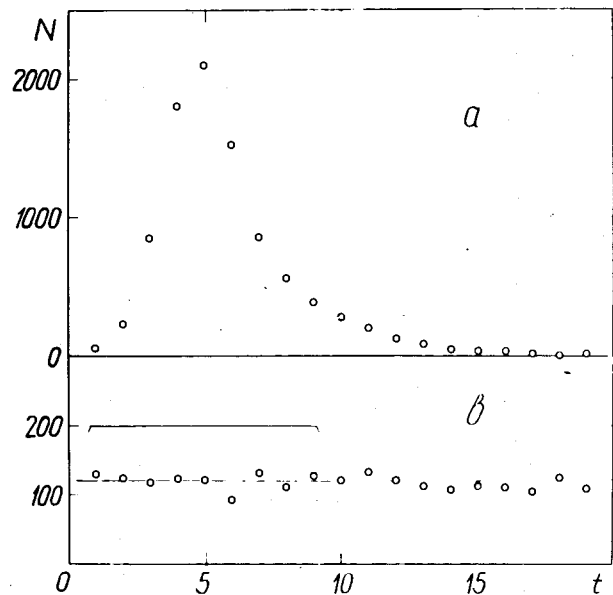


Рис. 7. Спектры гамма-лучей во время импульса мощности реактора ИБР-30, измеренные с порогом 10 МэВ /а/ и 30 МэВ /б/.

является поглощение, имеющее очень большое сечение. Тем не менее эта работа выполнена по инициативе Э.И.Шарапова, и я о ней уже вкратце упоминал в прошлом году<sup>/8/</sup>. В минувшем году измерено полное сечение рассеяния в широком интервале энергий, а также сечение поглощения. Из них получено спин-некогерентное сечение. На рис. 8 ему соответствует прямая с коридором ошибок, а сечению рассеяния тепловых нейтронов - окружность. Далее графическим методом, как пересечение окружности и прямой, можно определить обе длины рассеяния - синглетную и триплетную /они в определенном масштабе отложены по осям координат на рис. 8/. На рисунке имеется еще прямая  $a_c$ , которая проходит практически через ту же точку пересечения. Она построена на основании измерения когерентного рассеяния в гелии-3, проведенного в Гренобле. Данные существовали и ранее, но были неточными, и в 1977 году

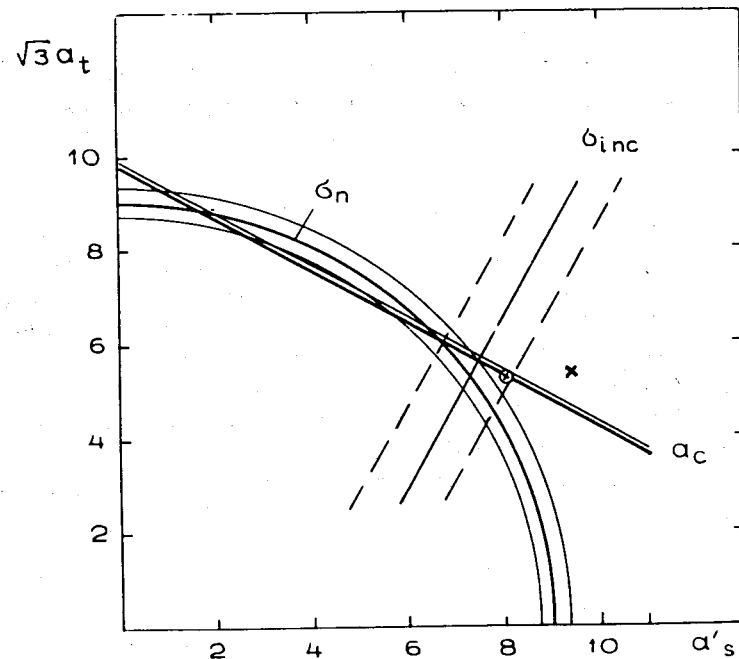


Рис. 8. Совокупность результатов для триплетной  $a_t$  и действительной части синглетной  $a'_s$  длин рассеяния нейтрона на  $^3\text{He}$ :  $\times \times$  - расчет группы Института теоретической физики /Киев/;  $\sigma_n$  - полное сечение рассеяния тепловых нейтронов,  $a_c$  - когерентная длина,  $\sigma_{inc}$  - спин-некогерентное сечение.

специально уточнены для сопоставления с тем, что получено в Дубне. Из всей совокупности данных было получено<sup>/9/</sup>:

$$a_t = 3,2 \pm 0,5 \text{ Фм}, \quad a_s = (7,5 \pm 0,7) - i4,45 \text{ Фм}.$$

Этот результат активно изучается теоретиками. Данные теоретических расчетов, полученные в Киеве В.Ф.Харченко<sup>/10/</sup> для двух разных видов потенциала, показаны на графике крестиками. Один из них для потенциала с фактором Юкавы хорошо совпадает с экспериментом.

Продолжались эксперименты с ультрахолодными нейтронами. В совместной работе Лаборатории нейтронной

физики и НИИАР в Димитровграде исследовалось время хранения нейтронов в сосуде с очень чистыми стенками <sup>711</sup>. Это достигалось распылением в вакууме исследуемого материала на стенки сосуда, притом так, что после этой процедуры и до наполнения его ультрахолодными нейтронами ловушка не сообщалась с атмосферой. Оказалось, что время хранения нейтронов в самом деле улучшилось по сравнению с теми ловушками, которые использовались ранее и до наполнения нейтронами сообщались с воздухом. Однако оно оказалось все же меньше расчетного, даже при хранении УХН непосредственно после напыления. Геометрия ловушки обеспечивала наиболее благоприятные условия хранения в ней нейтронов. Схема установки показана на рис. 9. Видно, в частности, что нейтроны не могут

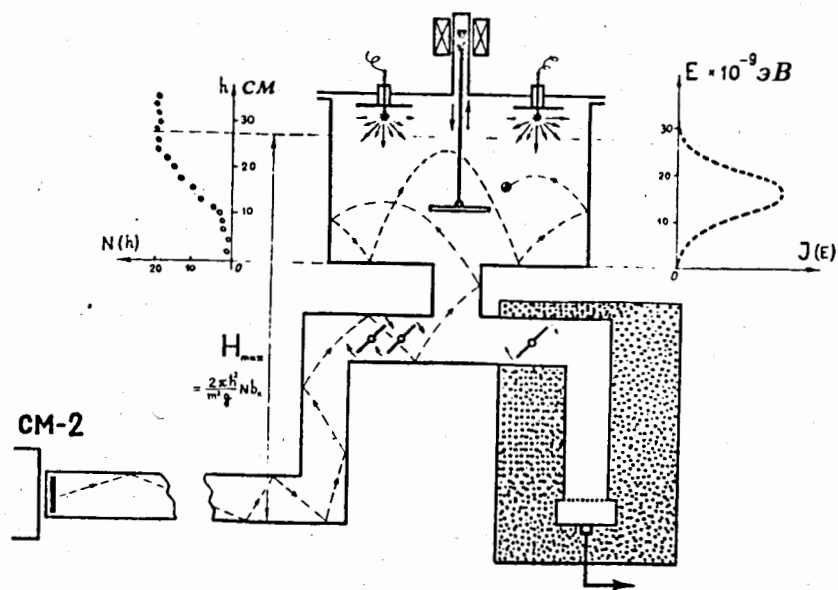


Рис. 9. Схема эксперимента и установки для измерения времени хранения УХН.

“допрыгнуть” до верхней стенки ловушки. Таким методом было получено рекордное время хранения нейтронов в ловушке из бериллия, равное 645 с /рис. 10/.

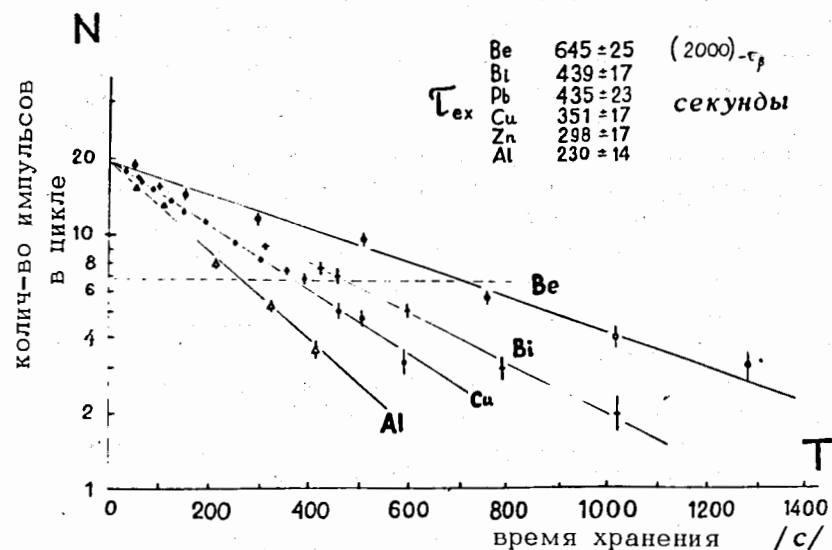


Рис. 10. Результаты измерения времен хранения ультрахолодных нейтронов /УХН/ в сосудах из различных материалов.

В этом времени основную роль играет естественный  $\beta$ -распад нейтрона. Существенно, что в этих экспериментах удалось сравнить время хранения нейтронов в ловушках из разных материалов, изготовленных по одинаковой технологии, имеющих одну и ту же геометрию и наполняемых УХН с одинаковым спектром.

В отличие от моих предшествующих обзоров я хотел бы уделить некоторое время рассказу о работах на электростатическом генераторе, хотя эта установка не является базовой для нашей лаборатории и затраты на ее эксплуатацию составляют менее процента от бюджета ЛНФ. Мировой опыт использования электростатических генераторов показывает, что они чрезвы-

чайно полезны для решения прикладных задач, а в некоторых случаях незаменимы и для работ большого принципиального значения. Электростатический генератор полезен, в частности, при решении многочисленных задач по определению элементного состава в поверхностном слое различных материалов, необходимость в котором возникает очень часто. Здесь существуют два взаимно дополняющих друг друга метода. Один - обратное рассеяние протонов и ионов гелия-3 от поверхности материала - особенно удобен в тех случаях, когда ведется поиск тяжелых примесей в легких элементах. Лабораторией нейтронной физики этот метод используется давно, в том числе при решении задач других лабораторий Института<sup>12</sup>. Другой метод - очень перспективный для обнаружения элементов среднего и тяжелого веса - успешно развивался в истекшем году в ЛНФ. Это - метод рентгенолюминесцентного анализа, в котором характеристические рентгеновские лучи возбуждаются пучком, падающим на поверхность исследуемого вещества. Использование протонов по сравнению с электронами имеет то преимущество, что отсутствует фон, создаваемый тормозным излучением. На рис. 11 показан результат исследования загрязнений воздуха в одном из помещений лаборатории, осажденных на фильтре в результате прокачки через него воздуха. Количество загрязнений, которые могут быть обнаружены таким образом, - порядка  $10^{-9}$  г. На рис. 11 вверху показаны результаты анализа примесей в обычной водопроводной воде, также пропущенной через фильтр. Видно, что мы дышим совсем не чистым воздухом и пьем воду, в которой содержится много примесей. Этим методом можно определять наличие микроэлементов на очень малых участках поверхности. В ряде случаев это необходимо.

Расскажу вкратце о работах, которые продолжают в течение ряда лет под моим руководством, но о которых в обзорах работ лаборатории не сообщалось. Речь идет об изучении так называемого переходного излучения и эффекта Вавилова-Черенкова. Хорошо известно, что черенковские счетчики широко применяются в физике высоких энергий. В последнее время все большие надежды

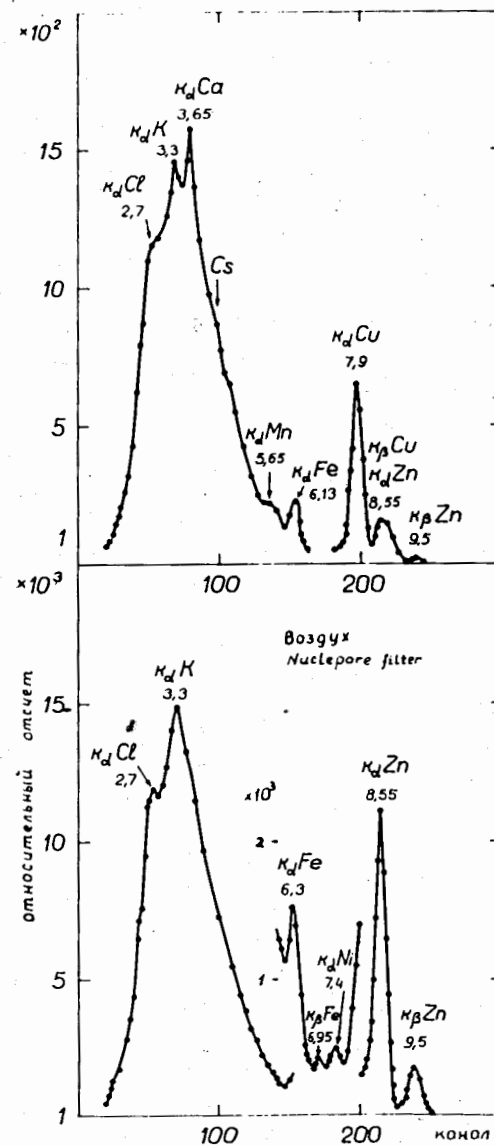


Рис. 11. Рентгенолюминесцентные спектры загрязнений воды /вверху/ и воздуха /внизу/, полученные с помощью протонного пучка ускорителя ЭГ-5.

возлагаются на использование для этой же цели переходного излучения. Теория этого явления была развита В.Л. Гинзбургом и мною свыше 30 лет тому назад, однако в течение ряда последующих лет внимания экспериментаторов это явление не привлекало. Только в 1959 г. была опубликована работа Гаудсмита и Джелли<sup>13/</sup>, в которой они наблюдали видимое свечение поверхности металлов, бомбардируемой быстрыми протонами. Они связывали это свечение с предсказанным нами переходным излучением. Однако геометрия опыта в этой работе была настолько неудачна, что, несмотря на качественное согласие с теорией, утверждение о наблюдении именно переходного излучения не вполне надежно. Теперь очевидно, что был неудачен и выбор протонов для обнаружения этого излучения. Как предсказывает теория, выход излучения пропорционален квадрату скорости частицы и квадрату заряда частицы. То, что наблюдается с протонами при энергии 1850 кэВ, должно наблюдаться с пучком электронов всего при энергии один киловольт. Первыми экспериментами с электронами, доказавшими, что последние в самом деле возбуждают переходное излучение, по-видимому, были опыты польского физика Станислава Михальяка, выполненные им в Московском университете<sup>14/</sup>. Однако диссертация Михальяка не была опубликована, и первой публикацией была работа физиков из Западного Берлина Берша и др.<sup>15/</sup> После этих работ уже не было сомнения в том, что быстрая заряженная частица, пересекающая границу вакуум-металл, в момент ее пересечения испускает свет, который и представляет собой переходное излучение. Были опасения, что наблюдать это явление помешает тормозное излучение, также возникающее в металле при попадании в него быстрого электрона. Однако здесь речь идет о видимой части спектра излучения, а в тормозном излучении ее мало. При этом оно возникает в толще металла и почти полностью поглощается. По-видимому, его даже меньше, чем предсказывает теория. По этой причине переходное излучение наблюдается практически в чистом виде. Первая поставленная нами задача состояла в определении

того, что если это в самом деле переходное излучение, то оно должно быть одинаково для протонов и электронов при одинаковых их скоростях и, стало быть, при энергиях, отличающихся почти в две тысячи раз. Поэтому такие эксперименты проводились с одними и теми же мишенями в одинаковой геометрии, но с источником протонов, получаемых от ЭГ, и электронов, ускоряемых от небольшой высоковольтной установки. Результаты<sup>16/</sup> представлены на следующих рисунках. На рис. 12 показан выход поляризованной части светового излучения /теоретически переходное излучение должно быть пол-

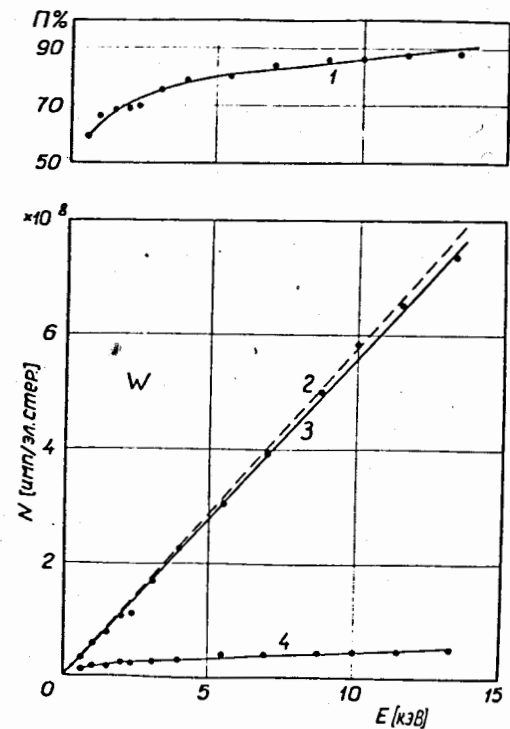


Рис. 12. Зависимости характеристик переходного излучения /  $\theta = 60^\circ$  / от энергии электронов: 1 - степень поляризации, 2 - расчетная интенсивность, 3 - выход поляризованной части излучения, 4 - выход неполяризованной компоненты.

ностью поляризовано, однако практически всегда имеется небольшая примесь неполяризованного света/. Прямые на рис. 12 показывают зависимость теоретически ожидаемой интенсивности излучения от энергии электронов. Расхождения с экспериментом лежат в пределах 10%. Однако им нельзя придавать значения, поскольку абсолютные величины выхода не могут быть рассчитаны с большей точностью. Качественное согласие достаточно хорошее. Обращает на себя внимание то, что это согласие хорошее также в области энергии ниже киловольт, где предсказания теории, в сущности, уже недостаточно надежны. На рис. 13 показана аналогичная

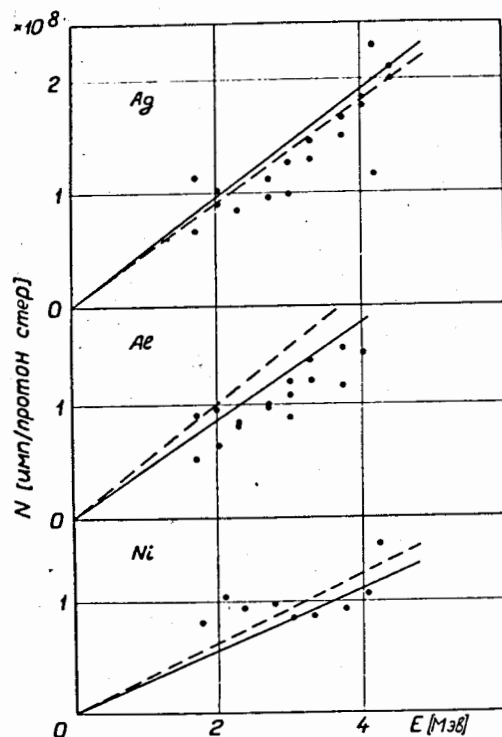


Рис. 13. Энергетическая зависимость поляризованной компоненты переходного излучения для протонов /точки/, электронов /сплошная прямая/. Пунктирные прямые - расчет.

зависимость для протонов. Видно, что и здесь получается такое же хорошее согласие с теорией, как и у электронов. Таким образом, как и ожидалось, переходное излучение не зависит от того, какая частица движется, оно определяется только ее скоростью и величиной заряда.

Следующая работа, о которой я хотел сказать, касается одновременно и излучения Вавилова-Черенкова, и переходного излучения. Переходное излучение наблюдается при любой скорости частицы, в то время как излучение Вавилова-Черенкова требует, чтобы скорость была выше некоторой пороговой. Если опыты производить с тонкой прозрачной мишенью, например со слюдой, то при энергии электронов ниже ~100 кэВ наблюдаются только переходные излучения, а при  $E > 150$  кэВ оба эти явления возникают одновременно. Как известно, для излучения Вавилова-Черенкова характерна направленность под вполне определенным углом, удовлетворяющим соотношению

$$\cos \theta = \frac{1}{\beta n}$$

Однако с самого начала развития теории этого явления было известно, что острая направленность должна проявляться только при достаточно большом пробеге в исследуемом веществе. Если толщина мишени сравнима с длиной волны, то острая направленность превращается в широкое угловое распределение и максимум его, в принципе, может не совпадать с  $\theta$  из приведенной здесь всем известной формулы. Как ни странно, эти элементарные соображения за 40 лет после появления теории так и не подверглись экспериментальному исследованию. Это было сделано только в 1977 году в работе А.П.Кобзева<sup>17/</sup>, использовавшего в качестве мишени слюду толщиной ~2,5 длин волн света. На рис. 14 показано угловое распределение для разных энергий электронов и на рис. 15 - наблюдаемое положение максимума. Видно, что элементарная формула здесь просто не применима. Далекое не все просто для электронов и в случае толщины мишени много больше длины волны, когда становится существенным многократное рассеяние электронов.

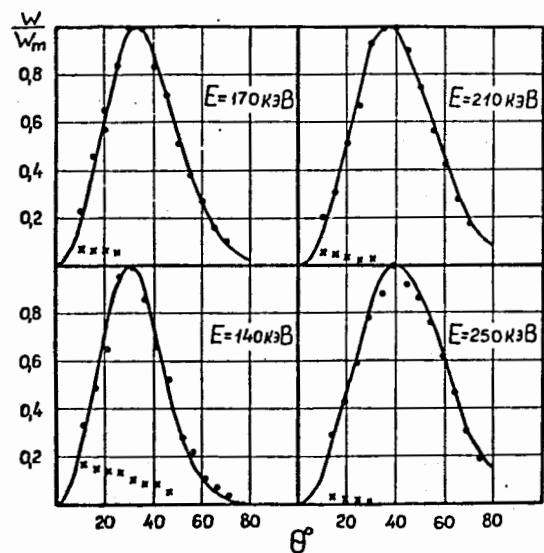


Рис. 14. Угловое распределение излучения Вавилова-Черенкова в тонкой слюдяной мишени для разных энергий электронов.

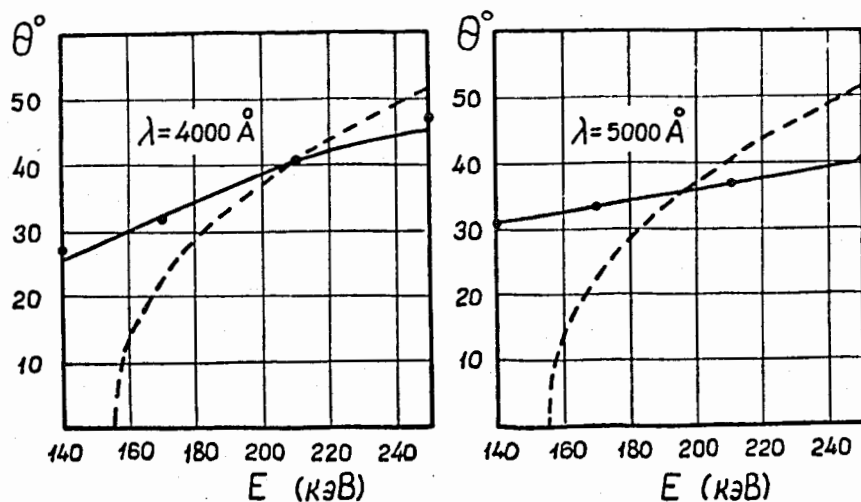


Рис. 15. Зависимость положения максимума углового распределения Вавилова-Черенкова от энергии электронов: точки - эксперимент, пунктирная и сплошная кривые - расчет по элементарной и точной формулам.

В 1977 году закончились эксперименты, целью которых была попытка обнаружить электрический дипольный момент электрона с помощью макроскопического опыта. Такой момент у электрона возможен при несохранении пространственной и временной инвариантности. Этот вопрос, как известно, очень актуален. В проведенном опыте исследуемое вещество, содержащее атомы с неспаренными электронами, помещалось в сильное электрическое поле. Если у атомов образца существует ЭДМ, то они должны выстраиваться вдоль направления приложенного поля, а вместе с ними должны выстраиваться и направления их спинов. В результате этого должен изменяться магнитный поток в образце. Этот опыт удалось осуществить благодаря разработке Б.В.Васильевым в ЛНФ высокочувствительного квантового сверхпроводящего интерферометра. Чувствительность этого прибора при достаточно большом времени измерения - примерно  $3 \cdot 10^{-11}$  Гс. Образец представлял собой таблетку никель-цинкового феррита, магнитная восприимчивость которого при гелиевой температуре оказалась удовлетворяющей требованиям эксперимента. Окончательный результат<sup>18/</sup> показывает, что ЭДМ электрона

$$d_e < 10^{-22} \text{ e} \cdot \text{см.}$$

Это хорошая точность, но она все же на три порядка меньше, чем хотелось бы теоретикам.

Другим экспериментом, завершенным в 1977 году, была проверка с помощью квантового интерферометра одного из выводов общей теории относительности<sup>19/</sup>. Эксперимент основан на том, что уравнения электродинамики видоизменяются при наличии гравитационного поля вращающихся тел. В присутствии электрического поля это должно приводить к возникновению магнитной индукции. Этот эффект может быть измерен с помощью разработанного прибора в электрических полях не слишком большой напряженности, если источником гравитационного поля служит вращение Галактики. Из теории следует, однако, что свободное движение лаборатории вместе с Землей в гравитационном поле Галактики должно приводить к исчезновению этого эффекта. Опыт показал, что если бы нарушение этой компенсации состав-

ляло величину, большую, чем десятая доля процента, то оно было бы экспериментально обнаружено. Разработанный квантовый сверхпроводящий интерферометр очень перспективен и для ряда работ прикладного характера.

Эксперименты по физике конденсированных сред в значительной степени были связаны с подготовкой к экспериментам на реакторе ИБР-2. В течение 1977 года продолжалось развитие экспериментальной аппаратуры и методики исследования малоуглового диффузного рассеяния нейтронов по методу времени пролета. Новым шагом было создание и освоение многоконтурного кольцевого детектора, наполненного гелием-3<sup>20</sup>, схема которого показана на рис. 16. Прямой пучок нейтронов

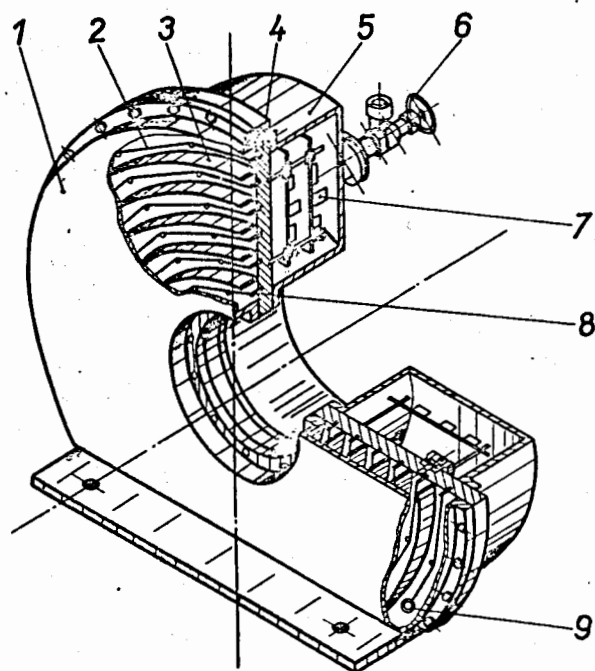


Рис. 16. Многоконтурной кольцевой детектор нейтронов для исследования малоуглового рассеяния нейтронов по методу времени пролета.

проходит через отверстие в центре детектора, а аксиально-симметричная картина рассеяния /гало в световой оптике/ регистрируется с помощью восьми независимых объемов, имеющих каждый форму кольца. В этой установке выигрыш в светосиле, по сравнению с первоначальным вариантом, достиг примерно 20. Помимо методических разработок проводились исследования некоторых белков, в частности исследовался раствор белка гистидин-декарбоксилазы /ГДК/<sup>21</sup>. Измерения проводились при разных концентрациях смеси тяжелой и легкой воды /рис. 17/. Результаты измерений нейтронографичес-

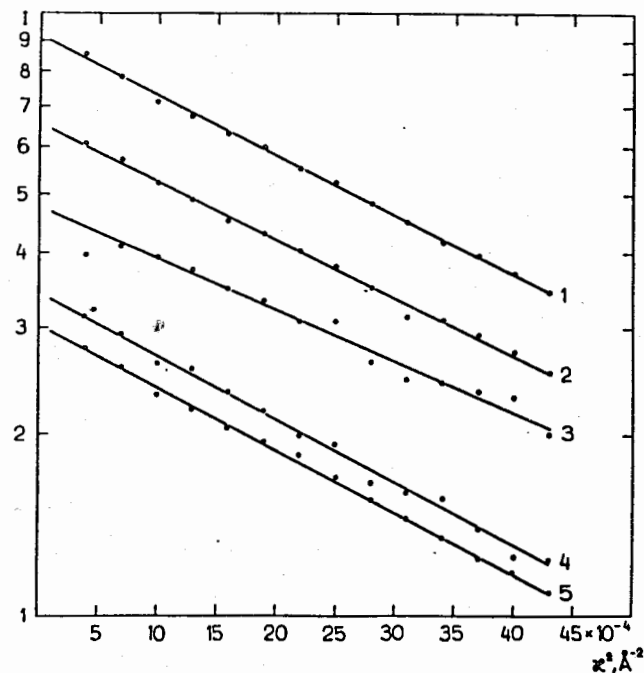


Рис. 17. Зависимости интенсивности малоуглового рассеяния нейтронов от квадрата переданного импульса, полученные в растворах с различным содержанием  $H_2O$  и  $D_2O$ . Образец - раствор белка гистидиндекарбоксилазы /ГДК/ из *Micrococcus s.p.n.* Различный наклон связан с изменением "радиуса инерции" белка в растворах с различным контрастом.

кого радиуса инерции /рис. 18/ характеризуют пространственную структуру белка. Они представляют интерес для биологов и показывают перспективность этого метода, особенно в сочетании с реактором ИБР-2.

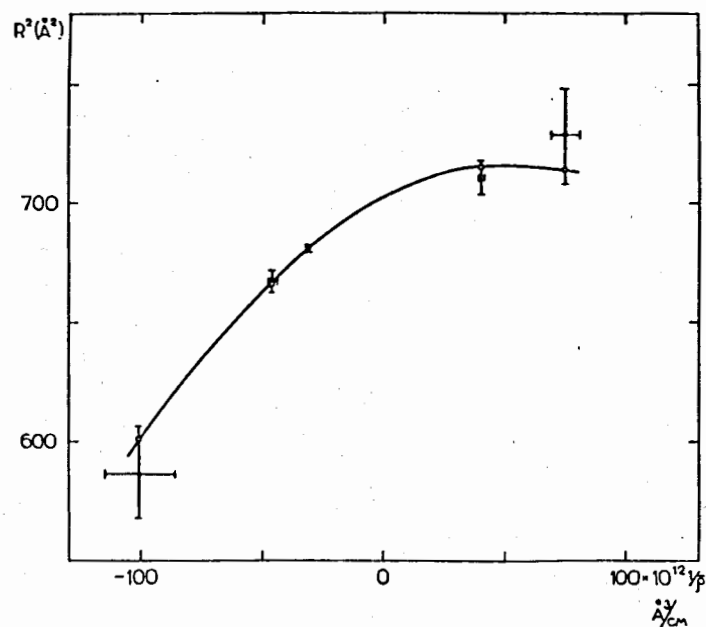


Рис. 18. Зависимость квадрата нейтронографического радиуса инерции от обратной величины контраста для ГДК.

Дальнейшее развитие получил и метод дифракции нейтронов. Проведены пробные эксперименты по исследованию доменной структуры сегнетоэлектрика<sup>/22/</sup>. Результаты продемонстрировали преимущество нейтронографии по методу времени пролета. Эксперименты выполнены для дигидро-дейтерофосфата калия в пара- /  $T = 293 \text{ K}$ / и сегнето /  $T = 77 \text{ K}$ / электрических фазах. На рис. 19 по оси абсцисс отложена длина волны. Видно, что в сегнетоэлектрической фазе дифракционный пик расщепляется, величина расщепления и интенсивность компонент позволяют сделать вывод о доменной структуре

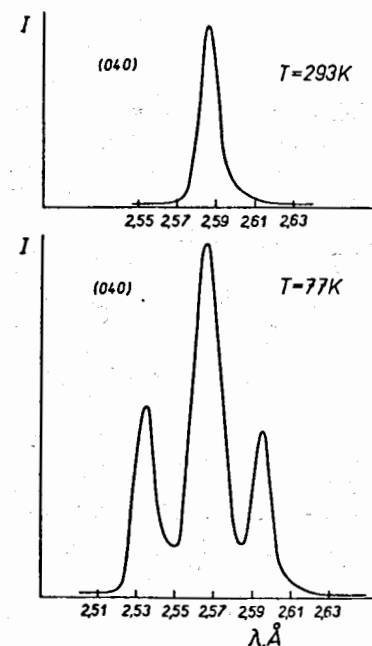


Рис. 19. Нейтронограммы для дейтерофосфата калия в пара-/вверху/ и сегнетоэлектрической /внизу/ фазах, полученные методом дифракции по времени пролета.

кристаллов. В методическом плане продолжалась работа по созданию трехосного гониметра<sup>/23/</sup> для установки на реакторе ИБР-2, велось проектирование и изготовление месточувствительного детектора.

В целом эксперименты, выполненные на реакторе ИБР-30, самым тесным образом связаны с развитием методов, которые будут использованы на будущем реакторе ИБР-2.

Автор благодарен Э.И.Шарапову за ряд замечаний и помощь в подготовке рукописи к печати.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Франк И.М. Краткий обзор научной деятельности Лаборатории нейтронной физики в 1976 г. Сообщение ОИЯИ, РЗ-10924, Дубна, 1977.
2. Морохов И.Д. 25-летие Научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники. Атомная энергия, 1978, 44, с.273.
3. Акоюн Г.Г., Алфименков В.П., Борзаков С.Б., Вежбицки Я., Иваненко А.И., Ласонь Л., Марев Ю.Д., Овчинников О.Н., Пикельнер Л.Б., Шарапов Э.И. Спиновая зависимость полного сечения  $^{169}\text{Tm}$  и  $^{141}\text{Pr}$  в области энергий нейтронов до 100 кэВ. Сообщение ОИЯИ, РЗ-10835, Дубна, 1977.
4. Николенко В.Г., Попов А.Б., Самосват Г.С., Хван Чер Гу. Поиски сверхплотных ядер в активной зоне реактора. Препринт ОИЯИ, Р6-11030, Дубна, 1977.
5. Ефимов В.Н. К теории рассеяния нейтронов на дейтонах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук. ЛНФ ОИЯИ, 2816, Дубна, 1966.  
Ефимов В.Н., Шульц Г. Модель граничных условий в задаче двух и трех частиц. ЭЧАЯ, 1976, 7, с.875.
6. Alfimenkov V.P., Luschnikov V.I., Nikolenko N.G., Taran Yu.V., Shapiro F.L. Choice of the Proper Set of Neutron-Deuteron Scattering Lengths... Phys.Lett., 1967, 24B, p.151.
7. Бергман А.А., Исаков А.И., Попов Ю.П., Шапиро Ф.Л. Измерения с нейтронным спектрометром по времени замедления в свинце. Возбужденный уровень  $^4\text{He}$ . ЖЭТФ, 1957, 33, с.9.
8. Алфименков В.П., Акоюн Г.Г., Вежбицки Я., Говоров А.М., Пикельнер А.Б., Шарапов Э.И. Длины рассеяния нейтрона на ядре  $^3\text{He}$ . ЯФ, 1977, 25, с.1145.
9. Шарапов Э.И. Изучение четырехнуклонной системы в реакциях с нейтронами при низких энергиях. Материалы III Школы по нейтронной физике. ОИЯИ, ДЗ-11787, Дубна, 1978.
10. Харченко В.Ф., Левашев В.П. Исследование свойств системы четырех нуклонов с сепарабельными нуклон-нуклонными потенциалами. ИТФ, 77-85Р, Киев, 1977.
11. Косвинцев Ю.Ю., Кушнир Ю.А., Морозов В.И., Стойка А.Д., Стрелков А.В. Хранение ультрахолодных нейтронов низких энергий в сосудах с конденсированными металлическими стенками. Препринт ОИЯИ, РЗ-11594, Дубна, 1978.
12. Бух Ю., Балалыкин П.И., Осетинский Г.М., Ван

- Сын Чан. Микрохимический анализ тонких пленок методом упругого рассеяния. ПТЭ, 1977, №5, с.60.
13. Goldsmith P., Jelley J.V. Optical Transition Radiation from Proton Entering Metal Surfaces. Phil. Mag., 1959, 4, p.836.
14. Михалек С. Экспериментальное исследование переходного излучения. ЯФ, 1966, 3, с.89.
15. Boersch H., Radeloff C., Sauerbrey G. Über die an Metallen durch Elektronen ausgeloste sichtbare und ultraviolette strahlung. Zeitschrift fur Physik., 1961, 165, p.464.
16. Кобзев А.П., Михалек С., Рутковски Е., Франк И.М. Оптическое излучение, возбуждаемое нерелятивистскими заряженными частицами на поверхности металлов. Препринт ОИЯИ, Р4-5957, Дубна, 1971; ЯФ, 1972, 15, с.326.
17. Кобзев А.П. К вопросу о направленности излучения Вавилова-Черенкова. Препринт ОИЯИ, Р14-10925, Дубна, 1977; ЯФ, 1978, 27, с.1256.
18. Васильев Б.В., Колычева Е.В. Измерение электрического дипольного момента электрона с помощью квантового сверхпроводящего интерферометра. Препринт ОИЯИ, Р8-10948, Дубна, 1977.
19. Васильев Б.В. Об экспериментальной проверке принципа относительности. Препринт ОИЯИ, Р8-9905, Дубна, 1976.
20. Ананьев Б.Н., Кунченко А.Б., Лазин В.И., Остаевич Ю.М. Кольцевой многоконтурной детектор медленных нейтронов с гелием-3. Сообщение ОИЯИ, З-11502, Дубна, 1978.
21. Гладких И.А., Кунченко А.Б., Остаевич Ю.М., Чер Л. Исследование малоуглового рассеяния нейтронов в аксиально-симметричной геометрии. Сообщение ОИЯИ, РЗ-11487, Дубна, 1978.
22. 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. Препринт ОИЯИ, Р14-12343, Дубна, 1978.
23. Шимане Ч., Шульц В., Ондreichка К. Гониометр НГ-3 для нейтронной дифрактометрии с управлением от ЭВМ. Сообщение ОИЯИ, 13-10931, Дубна, 1977.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов Ю.П. О возможном влиянии одночастичных возбуждений на гамма-распад компаунд-состояний. Сообщение ОИЯИ, Р14-10805, Дубна, 1977.

2. Втюрин В.А., Попов Ю.П., Салацкий В.И., Суховой А.М., Хуухэнхуу Г. Усредненные сечения реакции  $^{147}\text{Sm}(n, \alpha)^{144}\text{Nd}$  в области энергии нейтронов 30 кэВ. Сообщение ОИЯИ, РЗ-10733, Дубна, 1977.
3. Антонов А., Балабанов Н., Гледенов Ю.М., Пак Хон Чер, Попов Ю.П. Реакция  $(n, \alpha)$  и новая область  $\alpha$ -распада компаунд-состояний ядер. Препринт ОИЯИ, РЗ-10372, Дубна, 1977.
4. Втюрин В.А., Попов Ю.П. Силовые функции  $\gamma$ -переходов между компаунд-состояниями из реакций  $(n, \gamma \alpha)$  и  $(n, \gamma f)$ . Сообщение ОИЯИ, РЗ-10775, Дубна, 1977.
5. Алдея Л., Бечварж Ф., Гуинх Тхьонг Хьеп, Поспишил С., Тележников С.А. Изучение схем уровней ядер  $^{176, 177}\text{Lu}$  с помощью реакции  $^{175, 176}\text{Lu}(n, \gamma)^{176, 177}\text{Lu}$ . "Нейтронная физика". Материалы 4-й Всесоюзной конференции по нейтронной физике, ч.2. М., 1977, с.287.
6. Алдея Л., Бечварж Ф., Гонзатко Я., Тележников С.А. Изучение реакции  $^{50}\text{V}(n, \gamma)^{51}\text{V}$  на резонансных нейтронах. Там же, с. 290.
7. Попов Ю.П., Суховой А.М., Хитров В.А., Язвицкий Ю.С. Изучение распределения интенсивностей вторичных гамма-переходов в реакции  $(n, \gamma)$  на резонансных нейтронах. Там же, с.281.
8. Антонов А., Балабанов Н., Гледенов Ю.М., Пак Хон Чер, Попов Ю.П. Полные  $\alpha$ -ширины нейтронных резонансов  $^{67}\text{Zn}$ ,  $^{95}\text{Mo}$ ,  $^{99}\text{Ru}$ ,  $^{101}\text{Ru}$ . Там же, с. 305.
9. Вертебный В.П., Втюрин В.А., Долгов В.А., Кирилук А.Л., Попов Ю.П., Федорова А.Ф. Исследование реакции  $^{147}\text{Sm}(n, \alpha)^{144}\text{Nd}$  на нейтронах с энергией 2 кэВ. Там же, с.309.
10. Втюрин В.А., Попов Ю.П. Оценка вероятности реакции  $(n, \gamma, f)$  на основе экспериментальных данных о радиационной силовой функции мягких  $\gamma$ -переходов. Там же, ч. 3, с.268.
11. Войтов А.И., Паржицкий С.С., Попов Ю.П., Поярков В.А., Сизов И.В., Стрижак В.И. Интерференционные явления в тормозном спектре  $\gamma$ -квантов из реакции  $^{12}\text{C}(p, \gamma, p')^{12}\text{C}$ . Препринт ОИЯИ, Р15-11101, Дубна, 1977.
12. Войтов А.И., Паржицкий С.С., Попов Ю.П., Поярков В.А., Сизов И.В., Стрижак В.И. Прямой радиационный захват протонов ядрами  $^{12}\text{C}$ . Сообщение ОИЯИ, Р15-11087, Дубна, 1977.
13. Крафт О.Е., Наумов Ю.В., Петров Б.Ф., Паржицкий С.С., Сизов И.В. Гамма-распад резонансов  $^{59}\text{Cu}$ . Изв. АН СССР, сер. физ., 1977, 41, №1, с.82-87.
14. Крафт О.Е., Наумов Ю.В., Паржицкий С.С., Салех З., Сизов И.В. Угловые распределения  $\gamma$ -лучей, испускаемых при распаде аналогов в  $^{63}\text{Cu}$ . Изв. АН СССР, сер. физ., 1977, 41, №1, с.44-48.
15. Ван Сын Чан, Гриднев К.А., Кангрополь Ю.В., Мадея М., Осетинский Г.М. Спин-флип в реакции  $^{28}\text{Si}(pp', \gamma)^{28}\text{Si}$  в интервале энергий 3,5-3,8 МэВ. Препринт ОИЯИ, Р15-10487, Дубна, 1977.
16. Ван Сын Чан, Кангрополь Ю.В., Мадея М., Осетинский Г.М., Эль-Камхави А.А. Спин-флип при неупругом рассеянии протонов на  $^{24}\text{Mg}$  в интервале энергий 2,9-3,7 МэВ. Сообщение ОИЯИ, Р15-10460, Дубна, 1977.
17. Кобзев А.П., Рутковски Е. Переходное излучение частиц. Обзор. Acta Univers. Lodzianis, 1977, Ser. II, 12, p.15-33.
18. Барит И.Я., Высоцкий Г.Л., Кривоустов М.И., Слабоспицкий Р.П. Поляризационные явления в ядерных реакциях. Обзор. Физика элементарных частиц, 1977, 8, вып. 6, с.1290-1337.
19. Вильгельми З., Пиотровски Е., Шефлинска Г., Шефлински З. Исследования структуры ядра  $^{85}\text{Y}$  методом спектроскопии усредненных резонансов. Сообщение ОИЯИ, Р15-11026, Дубна, 1977.
20. Игнатович В.К. Нерасплывающиеся волновые пакеты в квантовой механике. Препринт ОИЯИ, Р4-10650, Дубна, 1977.
21. Игнатович В.К., Терехов Г.И. Стационарное и нестационарное течение газа ультрахолодных нейтронов по нейтронводам в диффузионном приближении. Препринт ОИЯИ, Р4-10548, Дубна, 1977.
22. Игнатович В.К. Рассеяние волн и частиц на одномерных периодических потенциалах. Препринт ОИЯИ, Р4-10778, Дубна, 1977.
23. Попов А.К., Ким Ун Чан, Омельяненко А.А., Соловьев Б.Н., Тишин В.Г., Жуков Г.П., Константинов В.И., Николаев С.К. Релейная система фазирования вращающегося дискового селектора с приводом от асинхронного электродвигателя. Сообщение ОИЯИ, 13-10640, Дубна, 1977.
24. Матора И.М., Меркулов Л.А. Осесимметричная пушка на энергию электронов 300 кэВ и ток 250 А с ламинарным потоком. Сообщение ОИЯИ, Р9-10670, Дубна, 1977.
25. Ананьев В.Д., Блохинцев Д.И., Булкин Ю.М., Бунин Б.Н., Воробьев Е.Д., Доллежалъ Н.А., Луци-

- ков В.И., Останевич Ю.М., Смирнов В.С., Франк И.М., Хрястов Н.А., Шабалин Е.П., Шаранов Э.И., Язвический Ю.С. ИБР-2 - импульсный реактор периодического действия для нейтронных исследований. Препринт ОИЯИ, РЗ-10888, Дубна, 1977.
26. Матора И.М., Меркулов Л.А. Формирование ламинарного потока в прехэлектродной сильноточечной осесимметричной электронной пушке. Препринт ОИЯИ, Р9-10504, Дубна, 1977.
  27. Попов А.К., Рогов А.Д. Переходные процессы импульсного реактора на быстрых нейтронах /результаты моделирования/. Сообщение ОИЯИ, З-10906, Дубна, 1977.
  28. Матора И.М., Меркулов Л.А. Влияние распределения плотности эмиссии катода на характер потока в сильноточечной электронной пушке. Сообщение ОИЯИ, Р9-10795, Дубна, 1977.
  29. Анцупов П.С., Андросов А.В., Божков В.М., Быков В.Н., Журавлев В.В., Заббаров В.Б., Кладницкий В.С., Комендантов Ю.Н., Матора И.М., Меркулов Л.А., Метелкин Ю.М., Петренко Ю.Д., Саввин В.А., Стрелина О.А., Харьюзов Р.В., Швеиц В.А. Экспериментальная электронная пушка ЭЭП-2. Препринт ОИЯИ, Р9-10999, Дубна, 1977.
  30. Браньковски Е., Елизаров О.И., Жуков Г.П., Ким Ен Нам. Контроллер каркаса в стандарте КАМАК для связи с ЭВМ М-400. Часть II. Блок для передачи по каналу прямого доступа. Сообщение ОИЯИ, 10-10394, Дубна, 1977.
  31. Елизаров О.И., Метеева А., Саламатин И.М. Программное обеспечение накопителя на магнитном диске, подключенного к ЭВМ ТРА-1001-1. Сообщение ОИЯИ, Р10-10479, Дубна, 1977.
  32. Лодойсамба С. Блок связи между ЭВМ ТРА-1001-1 и "Минск-22" в стандарте КАМАК. Сообщение ОИЯИ, 11-10840, Дубна, 1977.
  33. Липпольд Б., Мату В. Расщепление основного состояния иона  $\text{Pr}^{3+}$  под действием кристаллического поля в кубическом интерметаллическом соединении  $\text{PrMg}$ . Препринт ОИЯИ, Р14-10434, Дубна, 1977.
  34. Боганч Я., Дюлаи Й., Надь А., Назаров В.М., Шереш З., Сабо А. Использование реакции  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$  для определения атомов бора в кремнии. Сообщение ОИЯИ, РЗ-10777, Дубна, 1977.
  35. Luschikov V.I. Ultracold Neutrons. Phys. Today, 1977, 30, No. 6, p.42.
  36. Kosvintsev V.I., Kulagin E.N., Kushnir Yu.A., Moro-

- zov V.I., Strelkov A.V. Extraction of Ultracold Neutrons from High Flux Reactor SM-2. Nucl. Instr. and Meth., 1977, 143, p.133.
37. Попов А.Б., Пшецяк К., Хван Чер Гу. Параметры нейтронных резонансов палладия. Препринт ОИЯИ, РЗ-11013, Дубна, 1977.
  38. Иваненко А.И. Блок контроля и управления спектрометром поляризованных нейтронов и ядер. Сообщение ОИЯИ, 13-11027, Дубна, 1977.
  39. Бунатян Г.Г. К статистическому описанию компаунд-состояний ядер. Препринт ОИЯИ, Р4-10386, Дубна, 1977.
  40. Бунатян Г.Г. Моменты инерции и гиромангнитные отношения компаунд-состояний. ЯФ, 1977, 26, с.44.
  41. Бунатян Г.Г., Поль Ю.С. Рассеяние медленных  $\pi$ -мезонов на ядрах. ЯФ, 1977, 25, вып. 3.
  42. Бунатян Г.Г., Поль Ю.С. Энергии и ширины состояний  $\pi$ -атомов и распределение нуклонов в ядрах. ЯФ, 1977, 26, с.827.
  43. Бунатян Г.Г. О квазидискретных состояниях в комплексном потенциале. Препринт ОИЯИ, Р4-11004, Дубна, 1977.
  44. Бунатян Г.Г. Оболочечные поправки к полуэмпирическим формулам для масс и средних квадратичных радиусов ядер. Препринт ОИЯИ, Р4-11151, Дубна, 1977.
  45. Бунатян Г.Г. О статистическом описании свойств компаунд-состояний ядер. Препринт ОИЯИ, Р4-11131, Дубна, 1977.
  46. Васильев Б.В., Сермягин А.В., Суханов А.Ю. Цифровой синхронный детектор для квантового сверхпроводящего интерферометра. Сообщение ОИЯИ, Р13-10949, Дубна, 1977.
  47. Васильев Б.В., Кривой Г.С. Применение эффекта Джозефсона для преобразования в частоту сверхмалых напряжений. Часть I. Физические основы метода. Препринт ОИЯИ, Р13-10941, Дубна, 1977.
  48. Васильев Б.В., Кривой Г.С. Применение эффекта Джозефсона для преобразования в частоту сверхмалых напряжений. Часть II. Метрологические характеристики и эксперимент. Препринт ОИЯИ, Р13-10957, Дубна, 1977.
  49. Васильев Б.В., Кривой Г.С. Смещение низкочастотных сигналов на резистивном сквиде. Препринт ОИЯИ, Р13-10958, Дубна, 1977.
  50. Васильев Б.В., Горделий В.И. Измерение шумовых параметров сверхпроводящего квантового интерферометра. Препринт ОИЯИ, Р13-11048, Дубна, 1977.

51. Васильев Б.В., Игнатович В.К., Колычева Е.В. Экранирование слабых магнитных полей сверхпроводящими оболочками. Препринт ОИЯИ, Р13-11043, Дубна, 1977.
52. Кадменский С.Г., Ратис Ю.Л., Рыбак К.С., Фурман В.И. Выбор эффективного взаимодействия, зависящего от плотности, и  $\alpha$ -распад тяжелых сферических ядер. Препринт ОИЯИ, Р4-10469, Дубна, 1977.
53. Балагуров А.М., Длоуга М., Злоказов В.Б., Миронova Г.М. Обработка дифракционных спектров, измеренных на нейтронном дифрактометре по времени пролета. Препринт ОИЯИ, Р10-11107, Дубна, 1977.
54. Матц В. О программах поиска параметров кристаллического поля для интерпретаций неупругого рассеяния тепловых нейтронов. Сообщение ОИЯИ, Р14-11111, Дубна, 1977.
55. Ананьев Б.Н., Балагуров А.М., Барабаш И.П., Георгиу З., Шибеев В.Д. Нейтронный дифрактометр по времени пролета для исследования монокристаллов. Препринт ОИЯИ, 13-11113, Дубна, 1978.
56. Стойка А.Д., Стрелков А.В. Прохождение УХН через тонкие движущиеся стенки. Препринт ОИЯИ, Р3-11146, Дубна, 1977.
57. Poryov Yu.P. Alpha-Decay of the Compound States. Proc. Int. Conf. on Nucl. Struct., Токуо, 1977, p.740.
58. Гледенов Ю.М., Пак Хон Чер, Попов Ю.П. Полные  $\alpha$ -ширины нейтронных резонансов. АН СССР. Бюллетень Центра по ядерным данным ЛИЯФ, Ленинград, 1977, вып. 4, с. 3.
59. Балагуров А.М., Длоуга М., Злоказов В.Б., Миронova Г.М. Математическое обеспечение экспериментов на нейтронном дифрактометре по времени пролета. Сообщение ОИЯИ, Р10-11106, Дубна, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел  
4 сентября 1978 года.