

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

54 / 2-82

4/1-82

P3-81-720

И.М.Франк

КРАТКИЙ ОБЗОР НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ЛАБОРАТОРИИ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ
В 1980 ГОДУ И X ПЯТИЛЕТКЕ

1981

В рамках одной статьи дать полный обзор деятельности большой лаборатории за пятилетие 1976-1980 гг. * конечно невозможно. Пробелы последующего изложения можно, однако, восполнить, обратившись к моим препринтам /1а,б,в,г/, содержащим обзоры за 1976, 1977, 1978 и 1979 годы.

Пытаясь найти какую-то общую характеристику выполненных исследований, я сказал бы так: в основном это работы, посвященные фундаментальным проблемам ядерной физики и физики конденсированных сред, включая и молекулярную биологию. Выбор задач, учитывающий уникальные возможности реактора ИБР-30 с инжектором, надежность и прецизионность измерений и, конечно, полученные результаты определили высокий научный авторитет лаборатории. Характерно, что зачастую наиболее сложные задачи фундаментальной науки представляют непосредственную ценность для практики. Деление на фундаментальную и прикладную науку в ряде случаев оказывается условным. Такие работы особенно перспективны. Остановлюсь на 10 направлениях подобных работ, иллюстрируя их в основном результатами 1980 года.

В течение нескольких десятилетий экспериментаторов и теоретиков, изучающих взаимодействие нейтронов с ядрами, волновал вопрос - зависит ли нейтронная силовая функция от спина ядра. Большие нестатистические эффекты этого рода в ряде лабораторий открывались и закрывались. В закрытие их внесла немалый вклад и ЛНФ. Развитый в лаборатории вскоре после ее возникновения метод получения поляризованных резонансных нейтронов /18,19/ теперь широко принятый в мире, позволил внести ясность в этот вопрос. Отклонения силовой функции, зависящие от спина, есть, но они очень малы - порядка 10%, и не постоянны, а нерегулярно меняются в интервале энергий порядка 10 кэВ, как показано на рис.1. Эти данные указывают на проявление связанной со спином промежуточной структуры нейтронных сечений /см.²/стр.10, /1в/ стр.11/. Итог этим исследованиям подведен в работах /2,3/.

Нестатистические эффекты во взаимодействии нейтрона с ядрами, тем не менее, существуют. Они проявляются в корреляции

*Использован текст отчетного доклада, представленный Лабораторией нейтронной физики 49 сессии Ученого совета ОИЯИ 13 января 1981 г.

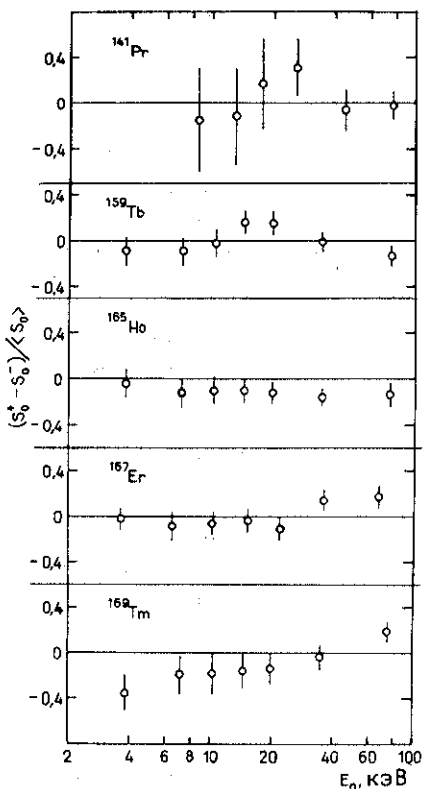


Рис. 1. Энергетическая зависимость относительной разности силовых функций $(S_0^+ - S_0^-) / \langle S_0 \rangle$ редкоземельных ядер для спиновых состояний + и -.

нейтронных- и гамма-ширин, во флуктуациях парциальных гамма-переходов и в некоторых особенностях альфа-распада нейтронных резонансов. Здесь лабораторией внесен существенный вклад, и это в значительной мере определилось тем, что импульсный реактор ИБР-30 предоставляет для подобных работ большие преимущества. Пример корреляции $(\Gamma_n, \Gamma_{\gamma i})$, обнаруженной при изучении резонансов реакции $^{173}\text{Yb}(n, \gamma)^{174}$, дан на рис. 2. Экспериментальное значение коэффициента корреляции $R_{\text{эксп.}} = +0,313$ невозможно объяснить в рамках статистического распределения R /гистограмма/. В исследованиях альфа-распада резонансов*, открытого в лаборатории, за эти годы

значительно /с 300 эВ до 30 кэВ/ расширен изученный интервал энергий /см. рис. 3/^{5/}, велись поиски аномальных альфа-ширин^{6/}, уточнялись силовые функции альфа-распада и данные об интересной двухступенчатой реакции $(n, \gamma\alpha)$ /см. ^{1B/} стр. 12/. Перспективным направлением работ явилось обнаружение и исследование сверхтонких сдвигов нейтронных резонансов в магнитном и электрическом полях. Эти работы впервые позволили получить данные о магнитных моментах нейтронных резонансов^{19/} и форме ядра /см. ^{1Г/} стр. 2/ при его возбуждении до 5-6 МэВ. Обнаруженное при этом изменение формы ядра урана оказалось совершенно неожиданным для теории. Вместе с тем, точное измерение формы резонансов ядра урана имеет и большое практическое значение. Иллюстрацией достигнутых результатов, полученных в 1980 г.^{7/}, может служить рис. 4. Снизу на рисунке показана разность спектров в районе резонанса 6,67 эВ для соединений урана UO_3 /кри-

* Об этих работах говорилось в ^{1B, 18, 19/}.

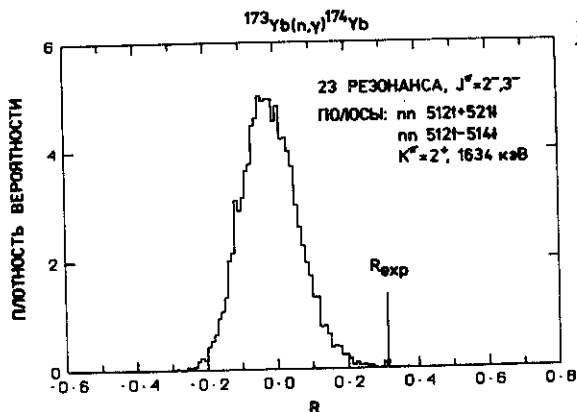


Рис.2. Корреляционный коэффициент R в реакции $^{173}\text{Yb}(n, \gamma)$.

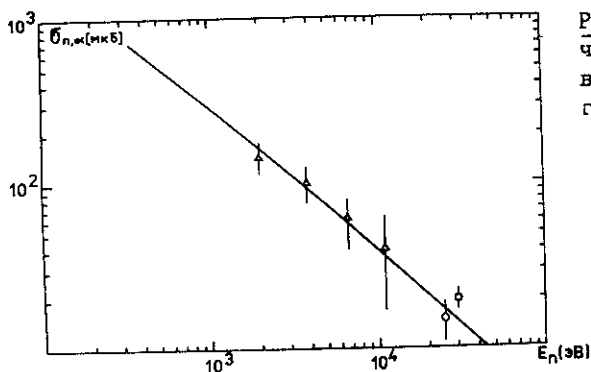


Рис.3. Усредненное сечение реакции $^{143}\text{Nd}(n, \alpha)$ в зависимости от энергии нейтронов.

сталла/ и UF_6 /газа/. Это довольно малая разность, очень хорошо описываемая сплошной теоретической кривой.

Нет необходимости говорить о значении исследований легчайших ядер для теоретической ядерной физики. Речь идет об изучении ранее недоступных для эксперимента процессов рассеяния нейтронов/см.²/1а/ стр.13, /1б/ стр.15/и реакции (n,γ) в гелии-3/см.²/1в/ стр.9, /1г/ стр.3/. Сечения эти очень малы: барны и десятки микробарн соответственно, в то время как основной процесс поглощения нейтронов в ^3He составляет тысячи барн. Несмотря на это, в лаборатории удалось получить интересные и важные результаты. В 1980 г. была исследована и реакция радиационного захвата нейтронов дейтронами /рис.5/ /8/ - процесса, играющего большую роль в тяжеловодных реакторах. Данные, имевшиеся ранее, лежали в интервале от 350 до 600 мкб. Полученная в ЛНФ величина составляет 470 мкб с точностью 20 мкб. Конечно, этот результат - вместе с тем и пробный камень для теории трехнуклонных систем, в развитие которой в лаборатории существенный вклад внесен В.Ефимовым /9/.

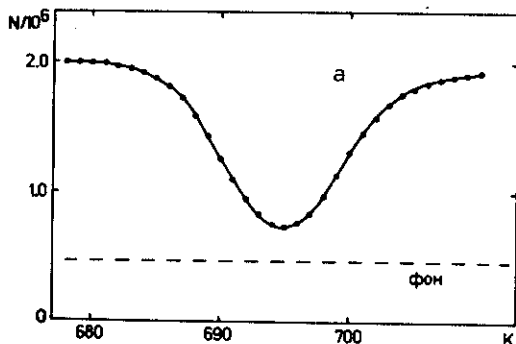
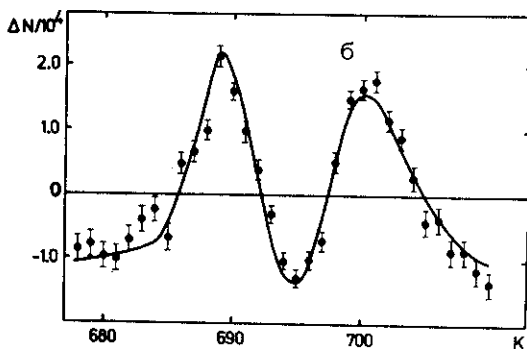


Рис. 4. а - нейтронный резонанс урана-238 с энергией 6,67 эВ; б - разность экспериментальных спектров для UO_2 и UF_6 . точки - эксперимент; сплошная линия - расчет; К - номер канала анализатора.



Роль лаборатории в открытии и изучении ультрахолодных нейтронов хорошо известна. В истекшем пятилетии выполнено немало интересных работ, главным образом направленных на выяснение механизма аномального поглощения нейтронов*. Показано, что частично оно объясняется загрязнением стенок адсорбированным водородом. Однако есть и еще что-то, до сих пор не понятое. Самое удивительное, что это аномальное поглощение имеет почти нулевой температурный коэффициент, т.е. ведет себя иначе, чем неупругое рассеяние. Это наглядно видно из рис.6 работы /10/, где представлены результаты из-

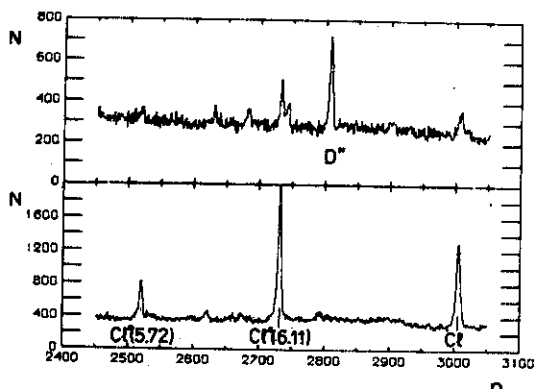


Рис.5. Гамма-спектры с исследованным образцом D_2O и калибровочным $NaCl$, полученные на ИБР-30 с помощью $Ge(Li)$ -спектрометра.

* Работы по УХН цитировались в /18,19,1а/ стр.5 /16/, стр.15 /18/, стр.16, /1Г/ стр.7.

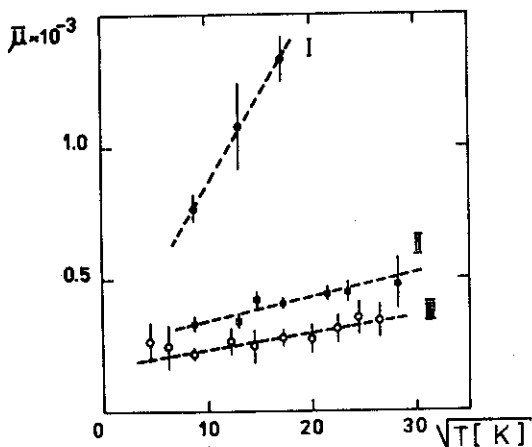


Рис. 6. Зависимость коэффициента поглощения УХН от температуры: I — медь, не обезгажено; II — медь, обезгажено; III — бериллий, обезгажено.

мерения коэффициента поглощения μ от температуры стенок сосудов для хранения УХН: температурная зависимость имеется для загрязненных стенок /кривая I /, но резко ослабевает после их обезгаживания /кривые II, III /. Мне приходилось докладывать в прошлом году и о многократном зеркальном отражении ультрахолодных нейтронов при фокусировании их цилиндрическим зеркалом. Это начало многообещающего направления оптики ультрахолодных нейтронов /см. /17/ стр. 7/.

Физика элементарных частиц, и это очень удивительно, проявляется сейчас не только в свойствах самого нейтрона, но и в процессах, казалось бы, очень далеких от элементарных. Так, советские физики в ИТЭФ показали, что наблюдаемо нарушение пространственной четности в делении ядер урана и плутония. Интересные результаты в этой области получены в 1980 г. и у нас в совместной работе с группой ИТЭФ. Было показано, что при захвате поляризованного нейтрона в резонансе неполяризованного плутония-239, имеющего энергию 0,3 эВ, тяжелый осколок с большей вероятностью летит в направлении спина нейтрона. Превышение /коэффициент асимметрии/ составляет $1,4 \pm 0,1 \cdot 10^{-8} / 1$. Для тепловых нейтронов в согласии с данными ИТЭФ эта вероятность в два раза меньше.

Последнее, о чем необходимо упомянуть в этой части отчета, — исследование излучения Вавилова-Черенкова в очень тонких пленках. Оно приобретает здесь неожиданные свойства, которые были исследованы и теоретически и экспериментально /17/, и частично обсуждены мною в отчете за 1977 год /см. /16/ стр. 21/.

Что касается другой области работ лаборатории — физики конденсированных сред, то прежде всего следует отметить влияние полученных результатов на мировую науку. Ранее считалось, что нейтронная физика конденсированных сред — монополия стационарных реакторов. Теперь для этих же целей всюду строят импульсные источники нейтронов. Появление ИБР-2 одновременно, оно позволит сохранить наши преимущества в этой области.

Мне кажется, что с принципиальной стороны здесь наиболее существенное влияние оказали в первую очередь два метода, развитые для импульсных источников нейтронов. Первый - это нейтронный дифрактометр, использующий метод времени пролета, второй - метод обратной геометрии для изучения неупругих процессов. Оба они развиты в сотрудничестве с польскими учеными. Преимущество нового типа дифрактометра поняты уже давно, и в общих чертах еще до 1970 г. была развита его теория^{/18/}. Однако широкая программа исследований в области дифракции нейтронов - дело в основном последних пяти лет. В отчете за 1976 г. приводилась в качестве примера нейтронограмма дейтеро-нафталина. Это был пробный камень работы. Тогда же рассказывалось и о расшифровке гораздо более сложной структуры - кристалла $\text{La}_2\text{Mg}_3(\text{NO}_3)_{12} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ /см.^{/1а/} стр.16/. Это уже ступенька к изучению белковых кристаллов, которые предстоит изучать с помощью ИБР-2. В следующие годы докладывалось об изучении структуры сегнетоэлектриков при разных температурах /см.^{/16/} стр.29/ и помещенных в электрическое поле различной напряженности /см.^{/1в/} стр.19/. Наконец, в прошлом году говорилось об изучении методом дифракции нейтронов текстуры стали /см.^{/1г/} стр.11/. В 1980 г. аналогичные исследования выполнены с цирконием^{/12/}. В этих работах нейтронная дифракция оказалась очень перспективной. Таким образом диапазон дифракционных работ простирается от молекулярной биологии до металлургии. Они осуществляются при широком сотрудничестве ученых социалистических стран.

О применении метода обратной геометрии я докладывал не только в истекшем пятилетии, но и в предшествующие годы^{/18/}. Сейчас хочу остановиться только на одном направлении работ - на изучении молекулярных кристаллов - проблемы, которой занимаются в лаборатории много лет. Кроме сотрудничества с учеными Польши, в этих работах активно участвует Институт физики твердого тела Академии наук СССР. Эпизодически в них участвуют и физики Института Лауэ-Ланжевена в Гренобле, физики Великобритании, Италии, Дании, Индии. Это свидетельствует об интересе к такому направлению работ. Существенно, что основные результаты были все же получены в Дубне на реакторе ИБР-30. Молекулярные кристаллы много сложнее обычных. В каждом узле решетки у них не один, а несколько атомов, и непростая проблема взаимодействия этих атомов - теоретически интересная и актуальная задача. Очевидно и прикладное значение этих работ, связанное с широким применением органических веществ в практике. В работах получены фоновые спектры кристаллов бензола, нафталина /см.^{/1а/} стр.8, ^{/1в/} стр.20/, а также дифенила. Экспериментальные данные 1980 г.^{/1з/} для дифенила показаны на рис.7 в сравнении с теорией. Теоретический спектр частот A после учета разрешающей способности имеет вид B , согласующийся с данными C и D . Ре-

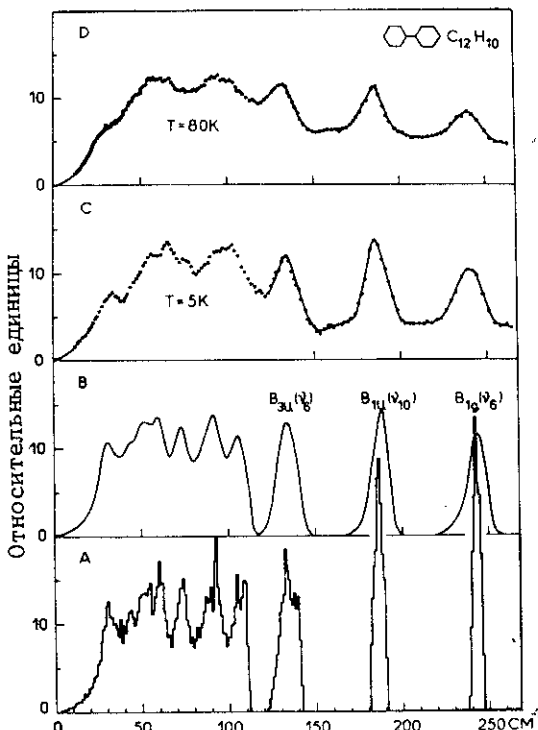


Рис. 7. Экспериментальные С, D и теоретические А, В спектры неупругого рассеяния нейтронов поликристаллическим дифенилом.

зультаты по модели, учитывая низкочастотные колебания, обчислены и сопоставлены с данными оптических исследований. В результате удалось качественно очень многое понять. Вместе с тем ряд полученных данных оказался необходимым для дальнейшего развития теории. Хотелось бы отметить, что ИБР-2 открывает для этих работ уникальные возможности.

Еще одной уникальной установкой является спектрометр ДИН¹⁸. Я неоднократно докладывал об исследованиях с его помощью квантовой

жидкости ^4He /см./1а/ стр.9/. Начались они с исследования дисперсионной кривой, соответствующей передаче гелию II одного кванта возбуждения. С момента открытия существования такой кривой и появления ее теории это, вероятно, самое обстоятельное ее экспериментальное исследование. Затем была исследована параболическая ветвь кривой, соответствующая квазиупругому рассеянию. Из этих данных получены фундаментальные данные о наличии бозе-конденсата и его количестве, составляющем примерно 3%. Оказалось, что бозе-конденсат исчезает при температуре 2,1 К, при которой жидкий гелий перестает быть сверхтекучим. Эта связь со сверхтекучестью пока не объяснена. Наконец, в последнее время исследована дисперсионная кривая для двухквантовых возбуждений He. Кроме того, совсем неожиданно выяснилось, что кривая квазиупругого рассеяния имеет продолжение в область малых энергий /см./1г/ стр.9/, где ее не должно быть по существующим теоретическим моделям.

Возможности установки ДИН очевидны. Недавно Резерфордской лабораторией опубликован проект спектрометра, очень похожего на действующую установку ДИН, но, к сожалению, без ссылок на ДИН. Хочу отметить, что для ИБР-2 создается гораздо более со-

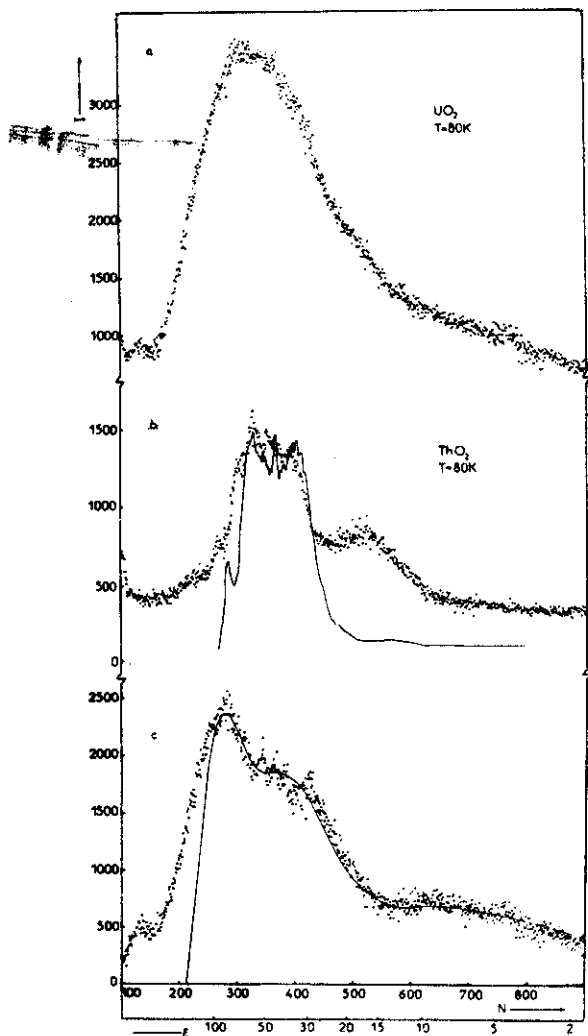


Рис. 8. Спектры парамагнитного рассеяния нейтронов на UO_2 .

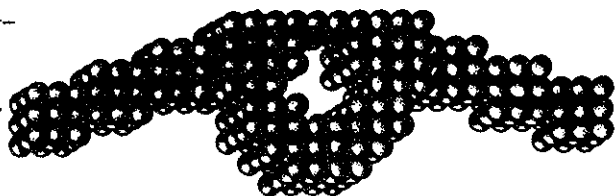
вершенный вариант этой установки в совместной, как и прежде, работе с ФЭИ /Обнинск/. Однако строительство экспериментального павильона для этой установки еще не закончено.

Мне неоднократно приходилось говорить о работах по атомной спектроскопии с помощью нейтронов. Нейтрон взаимодействует не только с ядрами, но, в некоторых случаях, причем даже не очень слабо, с электронной оболочкой атомов. Это определяется магнитными взаимодействиями нейтрона. В отчете за 1976 и 1978 годы /см.^{11а}/ стр.15, ^{11В}/стр.20/ я рассказывал о спектроскопических исследованиях PrAl_2 и PrNi_5 . Они являются примерами своеобразной оптической спектроскопии веществ, непрозрачных для света, которая развивалась в истекшее пятилетие. В минувшем году в работе ¹⁴ были изучены переходы между уровнями кристаллического поля в образце UO_2 /рис.8/.

Спектр неупругого рассеяния для ThO_2 , показанный на рисунке, применен для определения вклада ядерного рассеяния в спектре UO_2 . Разностный спектр е) хорошо описывается теоретически, если допустить, что UO_2 является соединением с промежуточной валентностью атомов урана.

В заключение обзора научных работ - очень коротко об исследованиях по молекулярной биологии методом малоуглового рассеяния /см.¹⁹/ стр.20, ¹⁰/ стр.20, ^{1В}/ стр.17/. Особенно успешными были исследования молекул иммуноглобулинов - антител, выполняющих в живом организме защитные функции. Они связывают анти-

Рис.9. Модель молекулы иммуноглобулина по результатам исследования малоуглового рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей.



гены, т.е. инородные молекулы, попавшие в организм. Впервые удалось построить пространственную модель молекулы, удовлетворяющую данным всех существующих методов. Она показана на рис.9 из работы^{/15/}. Отличительной чертой модели, существенно различающейся от той, что существовала ранее, является наличие сквозной полости в центральной части антитела. Другим новым результатом является изменение конформации антител при связывании антигена. Какие именно изменения происходят при этом в антителе, пока еще не выяснено, но наличие изменений доказано. Работа является результатом многостороннего научного сотрудничества, особенно с Институтом молекулярной генетики в Праге и Центральным физическим институтом в Будапеште.

В своем обзоре я остановился только на части направлений работ лаборатории, и сказанное далеко не охватывает даже краткие обзоры^{/1/}. Я не рассказывал, в частности, об исследованиях делящихся веществ, имеющих значение для атомной энергетики /см.^{/1Г/} стр.4/, и о многочисленных работах по нейтронной спектроскопии.

Успехами экспериментальных исследований в минувшем пятилетии мы обязаны четкой работе технических служб и отделов лаборатории и в первую очередь – импульсного реактора ИБР-30 и Измерительного центра. Повышение эффективности использования ИБР-30 я отмечал в своих годовых обзорах. График работы ИБР-30 в последнее время был сокращен в связи с пусковыми работами на ИБР-2. Несмотря на это, в режиме с пусковыми работами остался лучшим из действующих источников нейтронов для исследований в области энергий нейтронов ниже нескольких сотен электронвольт.

В отделе радиоэлектроники было осуществлено техническое переоснащение всего парка измерительных и вычислительных систем. Был введен в действие новый центральный процессор на базе импортной машины PDP-11/70. Парк терминальных устройств ЭВМ снабжен 10 терминалами, находящимися в разных зданиях лаборатории, в том числе и в экспериментальных секторах. Запущен в эксплуатацию ряд измерительных модулей, использующих автономные ЭВМ, связанные с центральным процессором. С их помощью физики будут проводить измерения, дистанционно получать информацию и управлять ходом эксперимента.

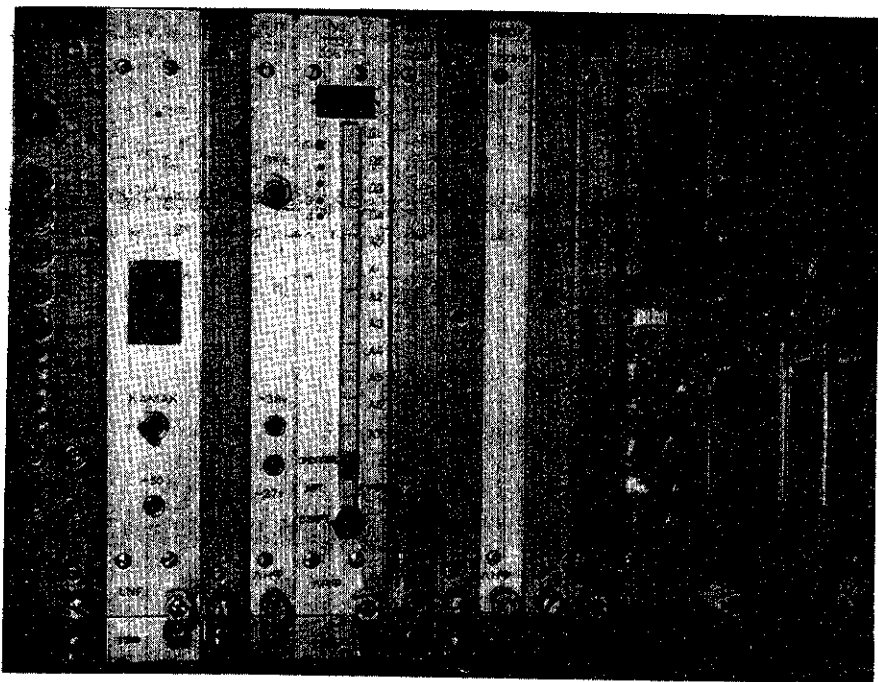


Рис.10. Внешний вид панелей блоков микропроцессорного набора ЛНФ.

Велись разработки аппаратуры ряда спектрометров для реактора ИБР-2. Продолжалось освоение микропроцессоров. Освоено изготовление в опытном производстве ряда блоков стандартного микропроцессорного набора, показанных на рис.10 /16/.

С уверенностью могу сказать, что современное оснащение измерительного центра ЛНФ, являющееся итогом работы отдела за минувшее пятилетие, - это предмет законной гордости нашего Института. Однако для размещения всех систем центра необходимы рабочие помещения давно запроектированного, но еще не построенного здания измерительного центра ИБР-2.

Перехожу к главному событию 1980 г. - энергетическому пуску реактора ИБР-2. Он состоялся 12 декабря в 21 час.45 мин. В соответствии с планом реактор был выведен на первую ступень мощности, равную 100-150 киловаттам средней мощности при частоте повторения импульсов 25 раз в секунду. Импульсная мощность при этом была уже не очень мала - 27 мегаватт. 29 декабря был освоен основной режим работы реактора - 5 импульсов в секунду, а импульсная мощность при той же средней мощности равнялась

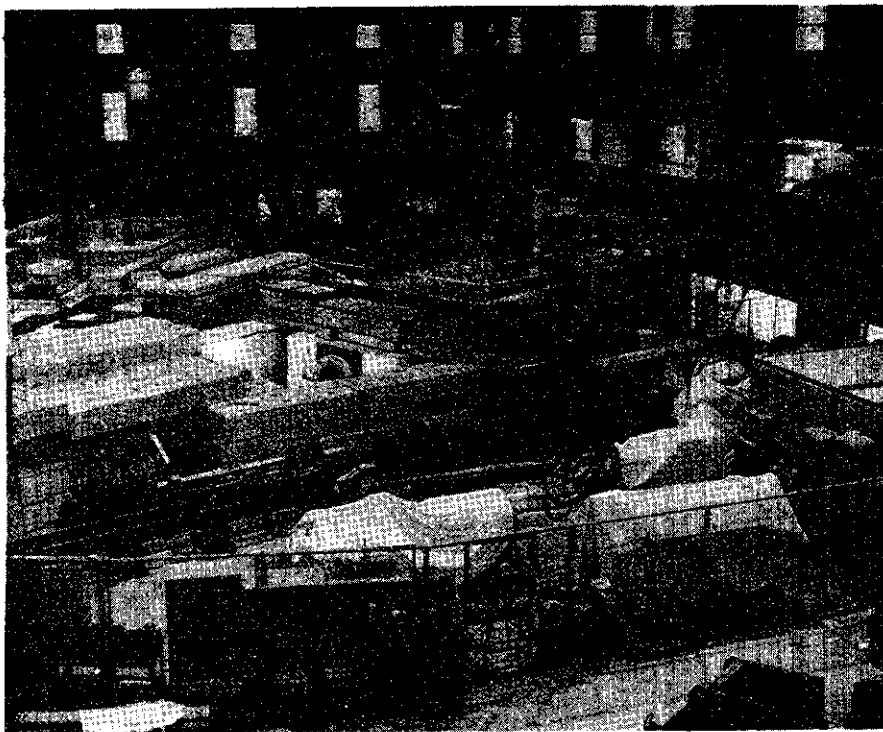


Рис.11. Экспериментальный зал ИБР-2 в 1980 году.

120 мегаваттам. Т.о. по импульсной мощности ИБР-2 уже сейчас превзошел стационарную мощность лучших исследовательских реакторов. Однако по мгновенному потоку тепловых нейтронов он несколько уступает им, поскольку это реактор на быстрых нейтронах и доля тепловых в нем меньше, чем в обычных реакторах. Своих наиболее совершенных собратьев в семье реакторов ИБР-2 догонит, когда в этом году будет освоена вторая ступень мощности примерно в 500 киловатт. Однако уже во время энергетического пуска физики пытались "ловить" нейтроны в экспериментальном зале ИБР-2, вид которого в 1980 г. показан на последнем рис.11. В одном из первых пусков была получена пробная нейтронограмма монокристалла цинка. Импульс реактора по ширине, как и ожидалось к моменту запуска, составил около 200 мкс. Разброс по величине очень мал - менее 3%. Все системы реактора работали устойчиво. Однако пуск сложного научно-технического сооружения, каким является ИБР-2, заслуживает, несомненно, отдельной, специальной публикации по материалам моего сообщения об этом событии Ученому совету ОИЯИ.

Пуск реактора ИБР-2 и, в дальнейшем, его инжектора создает самые благоприятные условия для широкого развития как обсужденных здесь, так и других направлений нейтронной спектроскопии в физике ядра, конденсированных сред и физике самого нейтрона, а также для многих прикладных исследований.

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

ЛИТЕРАТУРА

- 1а. Франк И.М. Краткий обзор научной деятельности Лаборатории нейтронной физики в 1976 году. ОИЯИ, РЗ-10924, Дубна, 1977.
- 1б. Франк И.М. То же за 1977 год. ОИЯИ, РЗ-11824, Дубна, 1978.
- 1в. Франк И.М. То же за 1978 год. ОИЯИ, РЗ-12829, Дубна, 1979.
- 1г. Франк И.М. То же за 1979 год. ОИЯИ, РЗ-80-629, Дубна, 1980.
2. Алфименков В.П., Борзаков С.Б., Вежбицки Я., Иваненко А.И., Мареев Ю.Д., Овчинников О.Н., Пикельнер Л.Б., Шарапов Э.И. Исследование спиновой зависимости нейтронных сечений и силовых функций редкоземельных ядер в эксперименте с поляризованными нейтронами и ядрами. ОИЯИ, РЗ-81-404, Дубна, 1981.
3. Алфименков В.П., Пикельнер Л.Б., Шарапов Э.И. Ядерно-физические исследования с ориентированными ядрами и поляризованными нейтронами. ЭЧАЯ, 1980, т.11, с.411.
4. Бечварж Ф. Изучение механизма радиационного захвата нейтронов ядрами. В кн.: Труды Международной школы по структуре ядра. ОИЯИ, Д4-80-385, Дубна, 1980.
5. Анджеевски Ю., Во Ким Тхань, Втюрин В.А., Корейво А., Попов Ю.П., Стэмпиньски М. Спектрометрия альфа-частиц из реакции $^{143}\text{Nd}(n, \alpha)$. ОИЯИ, РЗ-80-564, Дубна, 1980.
6. Антонов А., Богдзель А.А., Гледенов Ю.М., Маринова С., Попов Ю.П., Тишин В.Г. Поиски аномальных α -ширин в реакции $^{147}\text{Sm}(n, \alpha)$. ОИЯИ, РЗ-12999, Дубна, 1980.
7. Зайдель К., Майстер А., Пабст Д., Пикельнер Л.Б., Пильц В. Резонансное взаимодействие нейтронов с молекулярным газом и кристаллами. ОИЯИ, РЗ-81-89, Дубна, 1981.
8. Алфименков В.П., Борзаков С.Б., Васильева Э.В., Во Ван Тхуан, Осипенко Б.П., Пикельнер Л.Б., Тишин В.Г., Шарапов Э.И. Прямые измерения эффективного сечения радиационного захвата тепловых нейтронов дейтронами. ЯФ, 1980, т.32, с.1491.
9. Ефимов В.Н. Задача трех нуклонов в модели граничных условий. В кн.: Международный симпозиум по проблеме несколь-

- ких тел. ОИЯИ, Д4-12366, Дубна, 1979, с.61; Ефимов В.Н., Ткаченко Э.Г. S-фазы nd -рассеяния в приближении эффективного радиуса для NN-взаимодействия. Там же, с.59.
10. Косвинцев Ю.Ю., Кушнир Ю.А., Морозов В.И., Стойка А.Д., Стрелков А.В., Терехов Г.И. Наблюдение аномалии во времени хранения ультрахолодных нейтронов в герметичных сосудах с обезгаженными стенками. ОИЯИ, Р3-80-91, Дубна, 1980.
 11. Алфименков В.П., Воденников Б.Д., Данилян Г.В., Дроняев В.П., Мареев Ю.Д., Пикельнер Л.Б. и др. Энергетическая зависимость P-нечетной асимметрии вылета осколков при делении ^{239}Pu поляризованными нейтронами. Препринт ИТЭФ-49, М., 1981.
 12. Бетцль М., Вальтер К., Матц В., Фельдман К. Количественный нейтронографический анализ осевой текстуры циркония методом времени пролета. ОИЯИ, Р14-80-541, Дубна, 1980.
 13. Белушкин А.В., Васютыньски И., Натканец И. Динамика кристалла дифенила с учетом низкочастотных внутримолекулярных колебаний. ОИЯИ, Р14-80-437, Дубна, 1980.
 14. Андреефф А., Фрауенхайм Т., Хенниг К., Липпольд Б., Матц В., Шухтер Г. Расщепление кристаллического поля в UO_2 : соединение с промежуточной валентностью. ОИЯИ, Е14-80-648, Дубна, 1980.
 15. Чер Л., Франек Ф., Гладких И.А., Кунченко А.Б., Останевич Ю.М. Общий вид антидинитрофенил-антител свиньи и конформационные изменения, индуцированные гаптенем. ОИЯИ, Р14-8-478, Дубна, 1980.
 16. Беттге М., Губарев Е.Ю., Елизаров О.И., Жуков Г.П., Новожилов В.Е., О Хи Ен, Уненбат Г., Хрыкин А.С. Набор блоков в стандарте КАМАК для построения микропроцессорных автономных систем. ОИЯИ, Р11-80-422, Дубна, 1980.
 17. Кобзев А.П., Франк И.М. Некоторые особенности излучения Вавилова-Черенкова, связанные с конечной толщиной радиатора. ОИЯИ, Р14-80-793, Дубна, 1980.
 18. Франк И.М. Развитие и применение в научных исследованиях импульсного реактора ИБР. ЭЧАЯ, 1972, т.2, №4, с.805.
 19. Франк И.М. Краткий обзор научной деятельности Лаборатории нейтронной физики в 1975 году. ОИЯИ, Р3-10041, Дубна, 1976.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Ю.А. О возможности улучшения экспериментальной оценки электрического дипольного момента нейтрона. В кн.: Нейтронная физика. Материалы 5-й Всесоюзной конференции. Киев, 1980. ЦНИИАтоминформ, М., 1980, т.1, с.138.

2. Александров Ю.А., Николенко В.Г., Попов А.Б., Самосват Г.С., Тщецяк К. Полное сечение вольфрама-186 в электронвольтовой области и поляризуемость нейтрона. ОИЯИ, БЗ-3-80-395, Дубна, 1980.
3. Алфименков В.П., Борзаков С.Б., Вежбицки Я., Говоров А.М., Пикельнер Л.Б., Шарапов Э.И. Энергетическая зависимость полного сечения взаимодействия нейтронов с ядрами ^3He в интервале 0,025-250 эВ. ОИЯИ, РЗ-80-394, Дубна, 1980.
4. Алфименков В.П., Борзаков С.Б., Васильева Э.В., Во Ван Тхуан, Осипенко Б.П., Пикельнер Л.Б., Тишин В.Г., Шарапов Э.И. Прямые измерения сечения радиационного захвата тепловых нейтронов дейтронами. ЯФ, 1980, 32, с.1187.
5. Шарапов Э.И. К вопросу о дублетной и квартетной компонентах nd -захвата. ОИЯИ, РЗ-80-534, Дубна, 1980.
6. Алфименков В.П., Борзаков С.Б., Во Ван Тхуан, Говоров А.М., Ласонь Л., Пикельнер Л.Б., Шарапов Э.И. Взаимодействие нейтронов промежуточных энергий с гелием-3. ОИЯИ, РЗ-80-550, Дубна, 1980.
7. Анджеевски Ю., Вертебный В.П., Во Ким Тхань, Втюрин В.А., Долгов В.А., Кирилюк А.Л., Попов Ю.П. Исследование реакции $^{147}\text{Sm}(n, \alpha)$ и $^{148}\text{Nd}(n, \alpha)$ при энергии нейтронов 24,5 кэВ. ОИЯИ, РЗ-13013, Дубна, 1980.
8. Александров Ю.А., Бунатян Г.Г., Николенко В.Г., Попов А.Б., Самосват Г.С. Поиски эффекта однопионного обмена при рассеянии нейтронов низких энергий ядрами. ОИЯИ, РЗ-80-34, Дубна, 1980.
9. Анджеевски Ю., Во Ким Тхань, Втюрин В.А., Корейво А., Попов Ю.П., Стэмпиньски М. Исследование усредненных сечений реакции (n, α) на ядрах ^{128}Te , ^{143}Nd , ^{147}Sm , ^{149}Sm . ЯФ, 1980, т.32, с.1496.
10. Бечварж Ф., Гонзатко Я., Кралик М., Нгуен Данг Юан, Поспишил С., Тележников С.А. Изотопическая идентификация нейтронных резонансов по γ -лучам. См. ^{1/1}, с.214.
11. Во Ким Тхань. Исследование усредненных сечений реакции (n, α) на ядрах ^{148}Nd и ^{147}Sm . Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. ОИЯИ, 3-80-753, Дубна, 1980.
12. Бечварж Ф., Гонзатко Я., Кралик М., Нгуен Данг Нюан, Стадников Т., Тележников С.А. Экспериментальная проверка квазичастично-фононной модели в реакции радиационного захвата нейтронов деформированными ядрами. ОИЯИ, Б1-3-80-285, Дубна, 1980.
13. Попов А.Б., Тщецяк К., Хван Чер Гу. Уточненные параметры некоторых нейтронных резонансов самария и диспрозия. ОИЯИ, РЗ-13032, Дубна, 1980.

14. Быков А.А., Крафт О.Е., Наумов Ю.В., Петров Б.Ф., Сигалов В.М., Сизов И.В. Промежуточная структура в протонных резонансах. ОИЯИ, P15-80-786, Дубна, 1980.
15. Корнилов В.В., Назаров В.М., Сысоев В.П., Шамчук В.П. Характеристики зеркальных нейтронородов. ОИЯИ, P13-80-496, Дубна, 1980.
16. Балагуров А.М., Горделий В.И., Ишмухаметов М.З., Новожилов В.Е., Останевич Ю.М., Савенко Б.Н., Шибаетов В.Д. Нейтронный дифрактометр по времени пролета с однокоординатным позиционно-чувствительным детектором. ОИЯИ, P13-80-440, Дубна, 1980.
17. Корнеев Д.А., Кудряшев В.А. Экспериментальное определение физических характеристик спин-флиппера с протяженной рабочей областью. ОИЯИ, P3-80-350, Дубна, 1980.
18. Гундорин Н.А., Назаров В.М. Эффективный замедлитель для импульсных источников нейтронов. ОИЯИ, P3-80-721, Дубна, 1980.
19. Зайдель К., Майстер А., Пабст Д., Пикельнер Л.Б. Изомерный сдвиг нейтронных резонансов. См. ^{1/1}, ч.2, с.106.
20. Лушиков В.И. Нейтрон. В кн.: Физика микромира. "Малая энциклопедия", М., 1980, с.281.
21. Luschikov V.I., Pikelner L.B., Popov Yu.P., Frank I.M., Sharapov E.I., Yazvitskii Yu.S. Selected Topics in Research Program on IBR-2. In: Nucl. Cross Sections for Technology. Proc. of Int. Conf., Knoxville, 1979, Washington, 1980, p.385.
22. Meister A., Pabst D., Pikelner L.B., Seidel K. Mean Square Radius Change from Chemical Neutron Resonance Shifts. In: Int. Conf. on Nucl. Phys. Berkeley, 1980, vol.1, p.98.
23. Николенко В.Г., Самосват Г.С. Смеси спиновых каналов в Р-резонансах фтора. См. ^{1/1}, ч.2, с.178.
24. Пикельнер Л.Б. Эффекты сверхтонких взаимодействий в нейтронных резонансах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. ОИЯИ, 3-80-738, Дубна, 1980.
25. Попов Ю.П., Салацкий В.И., Хуухэнхуу Г. Усредненные сечения реакции (n, α) на ядрах ¹⁴⁷Sm, ¹⁴³Nd, ¹⁴⁹Sm. ЯФ, 1980, т.32, с.893.
26. Shabalin E.P. Fast Pulse and Burst Reactors. Pergamon, Oxford, 1980.
27. Кобзев А.П., Франк И.М. Спектральная зависимость полуширины угловых распределений излучения Вавилова-Черенкова. ЯФ, 1980, т.31, с.1253.
28. Балагуров А.М., Датт И.Д., Савенко Б.Н., Шувалов Л.А. Нейтронографическое исследование доменной структуры кристаллов K₂PO₄. Физика твердого тела, 1980, т.22, с.2735.

29. Andreeff A., Goremychkin E.A., Griessmann H., Lippold B., Matz W., Chistyakov D.D., Savitskii E.M. Crystal Field Investigation on PrMg_3 phys.stat.sol.(b), 1980, vol.98, p.283.
30. Kozlova E.P., Ostanovich Yu.M., Cser L. Main Features of Axially Symmetric Geometry of Small Angle Scattering. Nucl.Instr. and Meth., 1980, vol.169, p.597.
31. Matkaniec I., Bokhenkov E.L., Dorner B., Kallus J., Mackenzie G.A., Pawley G.S., Schmelzer U., Sheka E.F. Phonon Dispersion in Naphthalene Crystal at 6 K. J.Phys.C, 1980, vol.13, p.4265.
32. Горский Н. Определение физических характеристик первых гидратационных сфер ионов в растворах. ОИЯИ, Р17-80-14, Дубна, 1980.
33. Балука Г., Жуков Г.П., Намсрай Ю., Останевич Ю.М., Островной А.И., Савватеев А.С., Саламатин И.М., Яновский Г.Я. Комплекс средств для генерации прикладных систем автоматического накопителя и предварительной обработки данных САНПО. ОИЯИ, Р10-12960, Дубна, 1980.
34. Губарев Е.Ю., Елизаров О.И., Жуков Г.П., Унэнбат Г. Микропроцессорный контроллер накопителя на магнитной ленте типа ЕС-5012 в стандарте КАМАК. ОИЯИ, Р10-12980, Дубна, 1980.
35. Попов А.Б., Руденко В.Т., Самосват Г.С. Дальнейшие поиски высокоэнергетических нейтронов, возникающих при делении тяжелых ядер. ОИЯИ, Р3-13000, Дубна, 1980.
36. Попов А.Б., Тщецяк К., Хван Чер Гу. Уточненные параметры некоторых нейтронных резонансов самария и диспрозия. ОИЯИ, Р3-13032, Дубна, 1980.
37. Корнеев Д.А. Способ определения вероятности реверса спина при прохождении нейтрона через спин-флиппер. ОИЯИ, Р3-80-65, Дубна, 1980.
38. Игнатович В.К. Локализованные решения уравнений электродинамики в средах с аномальной дисперсией. ОИЯИ, Р4-80-103, Дубна, 1980.
39. Зайдель К., Майстер А., Пабст Д., Пикельнер Л.Б. Изомерный сдвиг нейтронных резонансов. IV. Изменение среднеквадратичного радиуса заряда ядра ^{238}U при захвате резонансного нейтрона. ОИЯИ, Р3-80-135, Дубна, 1980.
40. Попов А.К., Рогов А.Д., Руденко В.Т. Оценочные частотные характеристики и передаточная функция импульсного реактора ИБР-30. ОИЯИ, Р3-80-95, Дубна, 1980.
41. Балука Г., Островной А.И. Динамическое распределение памяти в системе САНПО для ЭВМ типа СМ-3. ОИЯИ, Р10-13004, Дубна, 1980.

42. Игнатович В.К. Влияние поверхностных кластеров на время хранения ультрахолодных нейтронов. ОИЯИ, Р4-80-261, Дубна, 1980.
43. Земан П. Система подпрограмм для вывода информации из ЭВМ БЭСМ-6 на графопостроитель ДИГИГРАФ. Часть 1. Автоматическое определение констант шкал. ОИЯИ, 11-80-335, Дубна, 1980.
44. Балука Г., Жуков Г.П., Намсрай Ю., Островной А.И., Савватеев А.С., Саламатин И.М. Метод настройки в применении к программированию работы ЭВМ на линии с экспериментальным оборудованием. 1. Формулировка подхода. ОИЯИ, Р10-80-424, Дубна, 1980.
45. Островной А.И., Саламатин И.М. Язык программирования прикладных систем автоматизации эксперимента. ОИЯИ, Р10-80-423, Дубна, 1980.
46. Швец В.А. Дефлекторная секция ЛИУ-30. ОИЯИ, Р9-80-349, Дубна, 1980.
47. Новопольцев М.И., Покотилковский Ю.Н. Расчет импульсных накопителей ультрахолодных нейтронов с ферромагнитными затворами. ОИЯИ, Р3-80-398, Дубна, 1980.
48. Намсрай Ю., Савватеев А.С., Саламатин И.М., Яновский Г.Я. Метод настройки и применения к программированию работы ЭВМ на линии с экспериментальным оборудованием. 2. Структура унифицированных программных модулей. ОИЯИ, Р10-80-456, Дубна, 1980.
49. Владимиров В.А., Сухомлинов Г.А., Цитульский В.А. Быстродействующие графопостроители системы проектирования плат печатного монтажа. ОИЯИ, 18-80-508, Дубна, 1980.
50. Островной А.И., Саламатин И.М. Стандартные программы в системе САНПО для мини-ЭВМ типа СМ-3. Часть 1. ОИЯИ, Р10-80-490, Дубна, 1980.
51. Барабаш И.П., Беттге М., Губарев Е.Ю., Елизаров О.И., Жуков Г.П., Тишин В.Г., Хрыкин А.С., Шибаетов В.Д. Автономная микропроцессорная система многомерного анализа с использованием магнитной ленты. ОИЯИ, Р11-80-476, Дубна, 1980.
52. Намсрай Ю., Островной А.И., Саламатин И.М. Метод настройки в применении к программированию работы ЭВМ на линии с экспериментальным оборудованием. 3. Описание языка генерации программ, предназначенных для работы с экспериментальным оборудованием. ОИЯИ, Р10-80-480, Дубна, 1980.
53. Чер Л., Франек Ф., Гладких И.А., Кунченко А.Б., Останевич Ю.М. Общий вид антидинитрофенил-антител свиньи и конформационные изменения, индуцированные гантеном. Исследования малоуглового рассеяния. ОИЯИ, Р14-80-478, Дубна, 1980.
54. Ермаков В.А., Зимин Г.Н., Коберидзе Е.А. Интерфейс запоминающего устройства СМ 3101 в стандарте КАМАК. ОИЯИ, Р13-80-591, Дубна, 1980.

55. Швец В.А. Нелинейная многоканальная обостряющая линия на ферритовых кольцах с прямоугольной петлей гистерезиса. ОИЯИ, Р13-80-670, Дубна, 1980.
56. Васильев Б.В. Сигнальные характеристики радиочастотного гистерезисного сквида. ОИЯИ, Р13-80-558, Дубна, 1980.
57. Козлов А.Н., Никитенко Ю.В., Таран Ю.В. Двухкаскадный стабилизатор магнитного поля для измерения электрического дипольного момента нейтрона. ОИЯИ, Р13-80-709, Дубна, 1980.
58. Лесневская Л.С., Симкина А.П. Определение $(\partial T_k / \partial N_2)$ для разбавленного раствора ксенон-йод. ОИЯИ, Р14-80-674, Дубна, 1980.
59. Недведюк К., Попов Ю.П. Систематика усредненных сечений радиационного захвата нейтронов. ОИЯИ, Р3-80-689, Дубна, 1980.
60. Шимане Ч., Ондричка К. Система питания и передачи управляющей и контрольной информации в гониометре НГ-3. ОИЯИ, Р13-80-660, Дубна, 1980.
61. Едунов Л.В., Нго Куанг Зуй, Пепельшев Ю.Н., Шабалин Е.П. Исследование динамических параметров модулятора реактивности реактора ИБР-2. ОИЯИ, Р13-80-628, Дубна, 1980.
62. Ломидзе В.Л., Нго Куанг Зуй, Шабалин Е.П. О возможности получения эффекта самогашения импульсов мощности реакторов типа ИБР. ОИЯИ, Р3-80-675, Дубна, 1980.
63. Бобраков В.Ф., Васильев Б.В. Измеритель уровня жидкого гелия. ОИЯИ, Р13-80-544, Дубна, 1980.
64. Попов Ю.П. О возможности экспериментального анализа спектра замедляющихся в веществе нейтронов с энергией ≥ 1 кэВ. ОИЯИ, Р3-80-672, Дубна, 1980.
65. Бунатян Г.Г. Изменение среднего квадратичного радиуса и квадрупольного момента тяжелых деформированных ядер при возбуждении компаунд-состояний. ОИЯИ, Р4-80-712, Дубна, 1980.
66. Балука Г., Намсрай Ю., Саламатин И.М., Яновский Г.Я. Метод настройки в применении к программированию работы ЭВМ на линии с экспериментальным оборудованием. 4. Генерация прикладных программ. ОИЯИ, Р10-80-743, Дубна, 1980.
67. Алфименков В.П., Стойка А.Д., Стрелков А.В. Исследование хранения УХН в герметичных сосудах. ОИЯИ, Р3-80-761, Дубна, 1980.
68. Быков А.А., Крафт О.Е., Наумов Ю.В., Петров Б.Ф., Сигалов В.М., Сизов И.В. Промежуточная структура в протонных резонансах. ОИЯИ, Р15-80-786, Дубна, 1980.
69. Васильев Б.В., Кривой Г.С. Влияние режима высокочастотной накачки на частоту джоузефсоновской генерации в ресквиде. ОИЯИ, Р13-80-801, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел

17 ноября 1981 года.