

# ГОДОВОЙ ОТЧЕТ

## ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2001



Объединенный институт ядерных исследований

Россия, 141980, г. Дубна, Московская обл.,

ул. Жолио-Кюри, 6

Телефон: (+7-09621) 65-059

Факс: (+7-09621) 65-891, 65-599

E-mail: [post@jinr.ru](mailto:post@jinr.ru). Web <http://www.jinr.ru>

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
РУКОВОДЯЩИЕ И КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ ОИЯИ	
Руководящие и консультативные органы ОИЯИ	9
Премии и гранты	25
МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ И НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО	
Научно-техническое сотрудничество	29
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММЫ ОИЯИ	
Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова	45
Лаборатория высоких энергий	55
Лаборатория физики частиц	63
Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова	73
Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова	85
Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка	97
Лаборатория информационных технологий	103
Отделение радиационных и радиобиологических исследований	113
Учебно-научный центр	119
ОБЩЕИНСТИТУТСКИЕ СЛУЖБЫ	
Издательский отдел	127
Научно-техническая библиотека	128
Бюро интеллектуальной собственности, лицензирования и стандартизации	129
Опытное производство	130
АДМИНИСТРАТИВНО-ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	
Финансовая деятельность	133
Кадры	134

## ГОСУДАРСТВА — ЧЛЕНЫ ОИЯИ

Азербайджанская Республика  
Республика Армения  
Республика Белоруссия  
Республика Болгария  
Социалистическая Республика Вьетнам  
Грузия  
Республика Казахстан  
Корейская Народно-Демократическая Республика  
Республика Куба  
Республика Молдова  
Монголия  
Республика Польша  
Российская Федерация  
Румыния  
Словацкая Республика  
Республика Узбекистан  
Украина  
Чешская Республика



## ВВЕДЕНИЕ

26 марта 2001 г. исполнилось 45 лет со дня образования Объединенного института ядерных исследований. За эти годы учеными Дубны проведены первоклассные теоретические и экспериментальные исследования, позволившие значительно расширить границы наших знаний о фундаментальных свойствах и структуре материи. Многие научные разработки, выполненные в ОИЯИ, нашли практическое применение в смежных областях науки и техники, стали основой создания высоких технологий. Институт продолжает традиции, направленные на развитие международного научно-технического сотрудничества, способствуя сближению ученых и народов. Особого внимания заслуживает опыт ОИЯИ по подготовке научных кадров, интеграции фундаментальной науки и образования.

2001 г. отмечен яркими научными результатами. Значительные успехи достигнуты в экспериментах по синтезу сверхтяжелых элементов на ускорителе У-400 Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова, где были зарегистрированы два события распада изотопа  $^{292}116$ . Таким образом, за истекшее трехлетие были синтезированы один изотоп элемента 116, три изотопа элемента 114, а среди продуктов их распада были идентифицированы наиболее тяжелые изотопы элементов 112, 110 и 108. Исследования, проведенные в прошедшем году, завершили первую серию экспериментов по синтезу сверхтяжелых элементов в районе замкнутых сферических протонной  $Z \approx 114$  и нейтронной  $N \approx 184$  оболочек. Материалы об открытии элементов 112, 114 и 116 направлены в Международный союз чистой и прикладной химии (IUPAC).

В экспериментах на синхрофазотроне были продолжены важные исследования спинзависимой разницы полных сечений нейтрон-протонных взаимодействий при различных значениях кинетической энергии нейтронов. Квазимонохроматический пучок нейтронов, сформированный из выведенных векторно-поляризованных дейтронов, проходил через боль-

шую поляризованную протонную мишень. Величины  $\Delta\sigma_L(np)$  измерялись как разность между полными сечениями для параллельных и антипараллельных поляризаций пучка и мишени, ориентированных вдоль импульса пучка. Получены новые данные, эксперимент продолжается.

В исследованиях свойств сверхпроводящих материалов изучены кристаллическая и магнитная структуры новых слоистых сложных оксидов марганца. Аналогично классической системе в браунмиллеридах можно ожидать появления ферромагнитного металлического состояния при промежуточной валентности Mn. Установлено несколько принципиальных фактов, важных для построения модели.

В экспериментах по отражению нейтронов от бислоя железо-ванадий при температурах выше и ниже критической получены результаты, указывающие на существование сверхпроводящего состояния при температуре выше критической или на существование возвратной по температуре сверхпроводимости. Исследования нового для бислойных систем эффекта будут продолжены.

Сформулирована и детально исследована точно интегрируемая модель, получившая в научной литературе название «Квантовая релятивистская цепочка Тоды в корне из единицы». Эта модель — простейшая «гибридная» модель. В ней пространством динамических переменных является расслоение, слой которого представляет собой локальную алгебру Вейля — квантовую алгебру наблюдаемых, а базой является пространство центров алгебры наблюдаемых. «Гибридность» модели позволила не только получить уравнение Бакстера на квантовой алгебраической кривой, накрывающей классическую гиперэллиптическую кривую высокого рода, но и явно построить квантовое разделение переменных как следствие классического разделения.

В соответствии с намеченными планами работы базовые установки Института. На нуклотроне повышены интенсивность и плотность выведенных

пучков, расширен набор типов ускоряемых частиц. В рамках успешно осуществляемого проекта DRIBs на циклотронном комплексе У-400М–У-400 были разработаны и созданы специальные сепарирующие каналы, предназначенные для проведения исследования реакций с радиоактивными пучками. В соответствии с графиком, утвержденным в Соглашении между ОИЯИ и Минатомом России, проводилась модернизация реактора ИБР-2.

Продолжилось выполнение работ в рамках проекта БАФИЗ-2, целью которого является развитие единого научно-информационного пространства физических исследовательских центров России на основе распределенной системы баз данных и знаний в области фундаментальных свойств материи и прикладной ядерной физики.

При активном участии специалистов ОИЯИ велись исследования в крупнейших научных центрах мира: ЦЕРН, DESY, BNL, FNAL, KEK и др. В частности, нужно отметить фундаментальные результаты исследований прямого CP-нарушения, которые получены в эксперименте NA-48 (ЦЕРН), а также работы теоретиков Дубны в исследованиях, связанных с разработкой научных программ экспериментов CDF, D0 и STAR (США).

Заметным событием в образовательной деятельности ОИЯИ стало проведение летней школы «Методы ядерной физики и ускорители в биологии и медицине» (27 июня – 11 июля 2001 г., Ратмино). 90 студентов и аспирантов из стран-участниц Института

получили возможность познакомиться с самыми передовыми методами исследований в этих областях.

Многоплановая международная деятельность Института отмечена деловыми встречами дирекции ОИЯИ с Президентом Казахстана Н. Назарбаевым, Президентом Румынии И. Илиеску, Президентом Словакии Р. Шустером, а также бывшим Президентом СССР М. С. Горбачевым и другими политическими и государственными деятелями. Было продлено Соглашение о сотрудничестве с Венгрией, проведены переговоры о продлении соглашений с Германией, Италией. Значительно расширились научные связи с такими странами, как Греция, Индия, США, Франция. Греция и Индия, в частности, заявили о намерениях расширения сотрудничества с ОИЯИ.

К важным событиям года можно отнести проведение в рамках сессии Ученого совета ОИЯИ круглого стола по сотрудничеству с институтами и университетами Польши, а также фотовыставку «Польша в ОИЯИ», которая после Дубны экспонировалась в Москве в Польском культурном центре. Большая ОИЯИ–ЦЕРН постерная выставка «Наука сближает народы» продолжила серию этих экспозиций, на этот раз — в Государственной Думе Российской Федерации.

20 декабря Президент России В. В. Путин подписал указ «О присвоении статуса наукограда РФ г. Дубне Московской области». Наш город стал фактически первым международным наукоградом, поскольку в лабораториях ОИЯИ трудятся специалисты из многих стран мира.



В. Г. Кадышевский,  
директор Объединенного института  
ядерных исследований

**РУКОВОДЯЩИЕ  
И КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ  
ОРГАНЫ ОИЯИ**



## РУКОВОДЯЩИЕ И КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ ОРГАНЫ ОИЯИ

### ТОРЖЕСТВЕННОЕ ЗАСЕДАНИЕ, ПОСВЯЩЕННОЕ 45-ЛЕТИЮ ОИЯИ

26 марта 2001 г. Объединенному институту ядерных исследований — международной межправительственной организации — исполнилось 45 лет.

В этот день в Доме международных совещаний открылась ежегодная сессия Комитета Полномочных Представителей правительств стран-участниц ОИЯИ. В рамках сессии состоялось торжественное заседание комитета, на котором с докладом «45 лет ОИЯИ» выступил директор Института академик В. Г. Кадышевский.

В качестве почетных гостей на торжественном заседании КПП присутствовали главы и сотрудники дипломатических представительств в Москве: Ашот Манукян — Чрезвычайный Посланник и полномочный министр посольства Республики Армении, Владимир Козлов — советник-посланник посольства Республики Белоруссии, Андраш Якаб — советник, атташе по науке и технологии посольства Венгерской Республики, Ву Суань Нинь — полномочный министр — советник посольства Социалистической Республики Вьетнам в Российской Федерации, Берндт Риннерт — советник по вопросам науки посольства Германии, Зураб Абашидзе — Чрезвычайный и Полномочный Посол Грузии, Морено Вазелли — атташе по науке посольства Италии, Жумабек Ассаулов — специалист экономического отдела посольства Республики Казахстан, Луис Приэто Вильянуэва — представитель торгпредства Республики Куба в Москве, Баттулга Лувсан — Временный Поверенный в делах Монголии в РФ, Томаш Туровски — Временный Поверенный в делах Польши в РФ, Игорь Фурдик — Чрезвычайный и Полномочный Посол Словацкой Республики, Александр Васильев — советник по науке посольства Украины, Ярослав Башта —

Чрезвычайный и Полномочный Посол Чешской Республики.

В праздничном заседании сессии приняли участие губернатор Московской области Борис Громов, депутат Государственной Думы РФ Валерий Гальченко, директор ИЯИ РАН, член президиума РАН Виктор Матвеев, президент Академии наук Грузии Альберт Тавхелидзе, советник МИД РФ Юрий Устюгов, руководитель представительства ОИЯИ при Минатоме РФ Александр Жаковский, президент Союза развития наукоградов РФ Анатолий Долголаптев, первый заместитель председателя правительства Московской области Алексей Пантелеев, министр промышленности и науки Московской области Владимир Козырев, глава города Дубны Валерий Прох, председатель городского Совета депутатов Алексей Беклемищев, ведущие ученые и специалисты ОИЯИ.

С поздравлениями и приветствиями по случаю дня рождения ОИЯИ на сессии выступили представители стран-участниц Института, Б. Громов, В. Гальченко, А. Долголаптев и др. Были зачитаны многочисленные телеграммы от сотрудничающих с ОИЯИ организаций и ведомств. Вечером в Доме культуры «Мир» для гостей и сотрудников состоялся большой праздничный концерт.

В программу праздника ОИЯИ вошли: пресс-конференция «Международный физический центр в Дубне, к 45-летию основания Объединенного института ядерных исследований» в Центральном доме журналистов (Москва), семинар, посвященный 10-летию Учебно-научного центра, семинар памяти профессора В. А. Свиридова (ЛФЧ), тематический научный семинар «Фундаментальные научные проблемы Лаборатории нейтронной физики», а также обширная культурно-спортивная программа.

## СОВЕЩАНИЕ КОМИТЕТА ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ

**26–27 марта 2001 г. в Дубне состоялась очередная сессия Комитета Полномочных Представителей правительств государств — членов ОИЯИ.**

Председателем сессии Комитет Полномочных Представителей избрал академика М. П. Кирпичникова (Российская Федерация) сроком до очередной сессии.

Комитет Полномочных Представителей заслушал и обсудил доклад директора Института В. Г. Кадышевского о выполнении рекомендаций Ученого совета и решений КПП ОИЯИ, о деятельности ОИЯИ в 2000 г. и планах на 2001–2003 гг.

КПП одобрил деятельность дирекции ОИЯИ по выполнению плана научно-исследовательских работ и международного сотрудничества в 2000 г., утвердил рекомендации 88-й и 89-й сессий Ученого совета ОИЯИ, а также план научно-исследовательских работ и международного сотрудничества на 2001 г.

Комитет Полномочных Представителей поручил дирекции ОИЯИ обеспечить первоочередное выделение средств в 2001 г. на приоритетные задачи, рекомендованные 89-й сессией Ученого совета ОИЯИ (18–19 января 2001 г.):

- совершенствование системы вывода и каналов выведенных пучков нуклотрона, эксплуатация и развитие нуклотрона, дальнейшее снижение энергозатрат на его работу;
- модернизация реактора ИБР-2 по графику работ, утвержденному Соглашением между ОИЯИ и Министерством РФ по атомной энергии;
- завершение первой фазы проекта DRIBs и подготовка физических экспериментов, работы по реализации второй очереди проекта;
- создание установки ИРЕН в рамках реального графика и связанного с ним финансирования с целью завершения работ по реализации первой очереди в 2002 г.;
- дальнейшее развитие телекоммуникационных каналов и информационно-вычислительной инфраструктуры ОИЯИ;
- теоретические исследования по физике частиц и квантовой теории поля, ядерной физике и физике конденсированных сред, в том числе непосредственно связанные с экспериментальными работами в этих областях;
- дальнейшее участие ОИЯИ в актуальных экспериментах по физике частиц, в том числе на ускорителях ИФВЭ (Протвино), ЦЕРН, DESY, BNL и FNAL, а также в создании отдельных ускорительных систем для LHC (ЦЕРН) и линейных коллайдеров (TESLA, CLIC);
- продолжение исследований взаимодействий релятивистских ядер с целью поиска проявлений кварк-глюонных степеней свободы в ядрах, асим-

птотических законов для ядерной материи при высоких энергиях, а также изучение спиновой структуры легчайших ядер; проведение экспериментов с использованием ускорительного комплекса «синхрофазотрон–нуклотрон» и на ускорителях других научных центров: ЦЕРН (SPS, LHC), BNL (RHIC), GSI (SIS), в Упсале (CELCIUS) и RIKEN;

- исследования ядерно-физических и химических свойств сверхтяжелых элементов вблизи «острова стабильности»  $Z=114–116$  с использованием сепараторов ГНС и ВАСИЛИСА, изучение реакций слияния-деления слабовозбужденных компаунд-ядер на установке КОРСЕТ + ДЕМОН, изучение структуры легких экзотических ядер и нейтронных корреляций в них на установках АКУЛИНА, КОМБАС и «Мульти», исследование механизма ядерных реакций с пучками ионов радиоактивных элементов с использованием установки ФОБОС и каналов высокого разрешения;
- развитие экспериментальной базы и средств сбора данных для спектрометров на ИБР-2, использование спектрометров для экспериментальных исследований сложных структур в биологии, фармакологии, материаловедении и т. д.;
- развитие образовательной программы ОИЯИ, включая целевую подготовку специалистов из стран-участниц.

Комитет Полномочных Представителей подтвердил, что для выполнения своих функций как международной межправительственной организации ОИЯИ в соответствии с его целями, изложенными прежде всего в статье 4 Устава Института, правомочен заниматься следующими видами деятельности:

- предоставление услуг телематических служб: службы электронной почты, службы доступа к информационным ресурсам, информационно-справочной службы, службы обработки сообщений, службы голосовых сообщений, службы передачи речевой информации;
- предоставление услуг передачи данных.

По докладу помощника директора Института по экономическим и финансовым вопросам В. В. Катрасева об исполнении бюджета за 2000 г. и о проекте бюджета на 2001 г. Комитет Полномочных Представителей принял к сведению информацию об исполнении бюджета за 2000 г., утвердил бюджет ОИЯИ на 2001 г. с общей суммой расходов 37,5 млн долларов США. Утверждены долевые взносы на 2001 г. по принципу пропорциональности шкале ООН. КПП установил, что ориентировочный размер бюджета ОИЯИ по доходам и расходам в 2002 г. составит 37,5 млн долларов США.

Была одобрена деятельность рабочей группы КПП в 2000 г. Дирекции Института поручено продолжить в 2001 г. работу по совершенствованию методики расчета долевых взносов на последующие годы на основе сопоставимых базовых показателей. КПП принял к сведению информацию о работе по реструктуризации задолженностей, проведенной дирекцией Института на двусторонней основе со странами-участницами.

Комитет Полномочных Представителей, учитывая, что после принятия в Российской Федерации закона «О ратификации Соглашения между Правительством Российской Федерации и Объединенным институтом ядерных исследований о местопребывании и об условиях деятельности Объединенного института ядерных исследований в Российской Федерации» ОИЯИ полностью подтвердил свой международный статус как межправительственная организация, просил полномочных представителей предпринять меры по включению долевого взноса в ОИЯИ в бюджеты стран-участниц по разделу международных обязательств.

Заслушав и обсудив предложение Полномочного Представителя правительства Российской Федерации М. П. Кирпичникова о продлении срока полномочий дирекции ОИЯИ, Комитет Полномочных Представителей постановил:

- продлить срок полномочий директора ОИЯИ В. Г. Кадышевского до 1 января 2006 г.;
- в соответствии с предложением директора ОИЯИ В. Г. Кадышевского продлить срок полномочий:
  - вице-директора А. Н. Сисакяна — до 1 января 2006 г.;
  - вице-директора Ц. Вылова — до 1 января 2006 г.;
  - главного ученого секретаря В. М. Жабицкого — до 1 января 2006 г.

Согласно Положению о персонале ОИЯИ полномочия главного инженера И. Н. Мешкова заканчиваются 1 января 2003 г.

По докладу Н. М. Шумейко о работе Финансового комитета 19 октября 2000 г. и докладу С. Дубнички

о работе Финансового комитета 23 марта 2001 г. Комитет Полномочных Представителей утвердил протоколы заседаний Финансового комитета 19 октября 2000 г. и 23 марта 2001 г., а также отчет Объединенного института ядерных исследований об исполнении бюджета за 1999 г.

Заслушав и обсудив доклад вице-директора Института А. Н. Сисакяна об участии ОИЯИ в программе развития Дубны как наукограда и о ходе выполнения мероприятий по реализации Соглашения между Правительством Российской Федерации и ОИЯИ о местопребывании и об условиях деятельности ОИЯИ в Российской Федерации, Комитет Полномочных Представителей постановил согласиться с участием ОИЯИ в федеральной целевой программе развития города Дубны как наукограда на основе Соглашения между администрацией города Дубны и Объединенным институтом ядерных исследований от 11 января 2000 г. На основании пункта 5 статьи 21 «Соглашения между Правительством Российской Федерации и ОИЯИ о местопребывании и об условиях деятельности ОИЯИ в Российской Федерации» считать целесообразным распространение привилегий и иммунитетов, предусмотренных указанным Соглашением, на лиц, приглашаемых в ОИЯИ в официальных целях из ФРГ и других стран, по представлениям этих стран и по согласованию с Правительством Российской Федерации.

Заслушав и обсудив информацию главного ученого секретаря Института В. М. Жабицкого, Комитет Полномочных Представителей утвердил членами Ученого совета:

- Иоаниса Антониу — заместителя директора Международного Сольвеевского института физики и химии (Брюссель);
- Геррита ван Мидделкопа — директора Национального института ядерной физики и физики высоких энергий (Амстердам)

до окончания срока действия полномочий членов Ученого совета, избранного КПП в 1998 г., т. е. до марта 2003 г.

## СЕССИИ УЧЕНОГО СОВЕТА ОИЯИ

**18–20 января 2001 г. в Дубне под председательством директора ОИЯИ академика В. Г. Кадышевского проходила 89-я сессия Ученого совета Института.**

В. Г. Кадышевский выступил с докладом о выполнении рекомендаций 87-й и 88-й сессий Ученого совета ОИЯИ по программе реформирования ОИЯИ и о научной программе Института на 2001–2003 гг., а также о подготовке празднования 45-летия ОИЯИ.

Сессии были представлены научные отчеты лабораторий, ОРРИ и УНЦ по направлениям исследований и предложения в научную программу ОИЯИ на 2001–2003 гг. С докладами о рекомендациях программно-консультативных комитетов ОИЯИ выступили: председатель ПКК по физике конденсированных сред Х. Лаутер, член ПКК по физике частиц П. Спиллантини, ученый секретарь ПКК по ядерной физике Н. К. Скобелев. О ходе работ на базовых установках ОИЯИ и о реализации проекта ИРЕН доложил



главный инженер Института И. Н. Мешков. Была также представлена информация о ходе работ по проекту DRIBs (М. Г. Иткис), о рекомендациях комиссии Ученого совета по ДЭЛСИ (Х. Шоппер) и проекте SESAME (В. Никогосян). О научной программе Лаборатории информационных технологий и структуре ЛИТ доложил ее директор И. В. Пузынин.

Проведены выборы на должность заместителя директора ЛТФ, приняты решения о присвоении звания «Почетный доктор ОИЯИ», и утверждены рекомендации жюри по премиям ОИЯИ за 2000 г. Состоялось вручение премии им. Б. М. Понтекорво и выступление лауреата премии. С докладом «Синтез сверхтяжелых элементов» выступил научный руководитель Лаборатории ядерных реакций Ю. Ц. Оганесян.

В программу работы сессии было включено заседание круглого стола «Польша в ОИЯИ», в котором приняли участие члены Ученого совета ОИЯИ, представители польских научных центров, университетов и государственных учреждений. Состоялось открытие фотовыставки «Польша в ОИЯИ».

Ученый совет принял к сведению доклад директора Института В. Г. Кадышевского о выполнении рекомендаций Ученого совета по программе реформирования ОИЯИ. В докладе были представлены окончательные предложения дирекции относительно будущей деятельности и структуры Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка:

- сохранить ЛНФ как единую лабораторию с научными направлениями: фундаментальные и прикладные исследования в области нейтронной ядерной физики, а также исследования по физике конденсированных сред различными физическими методами;
- сохранить подразделения установок ИБР-2 и ИБР-30 (сроком на 2 года) и связанных с ними отделов и служб, которые должны технически обеспечить модернизацию ИБР-2 и создание установки ИРЕН, а также эксплуатацию существующих нейтронных источников вплоть до их остановки на реконструкцию; улучшить организацию работы по созданию установки ИРЕН с целью завершения ее первой очереди в 2002 г.; создание ускорителя ЛУЭ-200 для ИРЕН и размножающей мишени будет обеспечено ЛНФ и отделом ускорителей ЛФЧ;
- провести выборы дирекции ЛНФ на 90-й сессии Ученого совета в июне 2001 г., а исполняющим обязанности директора ЛНФ назначить доктора физико-математических наук А. В. Белушкина.

Ученый совет одобрил эти предложения, которые были поддержаны ПКК по физике конденсированных сред и ПКК по ядерной физике. Ученый совет просил представить на будущих сессиях сообщения о ходе выполнения реформ и о новых предложениях дирекции по научным исследованиям, направленных на

дальнейшую оптимизацию научной программы Института на основе концентрации имеющихся кадровых, финансовых и материальных ресурсов.

С момента учреждения ОИЯИ Польша и польские представители в Ученом совете играли важную роль в формировании научной политики Института. Их идеи, предложения, критические замечания и позитивный вклад оцениваются очень высоко. Интенсивное и плодотворное сотрудничество с польскими научными центрами обсуждалось в дискуссии за круглым столом и было освещено на приуроченной к ней фотовыставке. Ученый совет поблагодарил представителей польских научных центров, университетов и учреждений за их участие в заседании круглого стола.

Ученый совет принял к сведению доклад «О ходе работ на базовых установках ОИЯИ и по реализации проекта ИРЕН», представленный главным инженером Института И. Н. Мешковым. Рекомендация Ученого совета о концентрации имеющихся ресурсов на наиболее важных направлениях деятельности, в частности по обеспечению модернизации и устойчивой работы базовых установок, дирекцией ОИЯИ выполняется.

Ученый совет принял к сведению выполнение работ по программе модернизации реактора ИБР-2 в соответствии с графиком 2000 г. и выразил надежду на успешное продолжение этой деятельности в 2001 г. Ученый совет согласился с решением дирекции ОИЯИ завершить создание первой очереди установки ИРЕН в 2002 г. Ввод в эксплуатацию этой базовой установки весьма важен с точки зрения возобновления исследований по нейтронной ядерной физике после завершения эксплуатации ИБР-30 в середине 2001 г.

Ученый совет с удовлетворением отметил плановую работу фазотрона в 2000 г. и широкую программу исследований на этой установке. Особое значение имеют работы по терапии онкологических заболеваний с использованием пучков фазотрона.

Ученый совет принял к сведению доклад «О ходе работ по проекту DRIBs», представленный директором ЛЯР М. Г. Иткисом. Ученый совет впечатлен быстрым темпом реализации проекта DRIBs и подчеркнул, что эту работу следует активно продолжать. В связи с созданием установок типа ISOL в научных центрах мира первую стадию проекта DRIBs — получение радиоактивных пучков легких ионов — рекомендовано завершить в 2001 г., а вторую — ускорение осколков деления — в 2002 г.

Ученый совет настоятельно рекомендовал дирекции ОИЯИ и дирекциям лабораторий Института активно проводить работу по зачислению в штат молодых ученых, инженеров и техников, в первую очередь для обеспечения эксплуатации, обслуживания и развития базовых установок.

Ученый совет принял к сведению письменный доклад, подготовленный «комиссией трех» относи-

тельно ДЭЛСИ и представленный на сессии профессором Х. Шоппером, а также ответное письмо директора ОИЯИ В. Г. Кадышевского. Ученый совет рекомендовал представить проект ДЭЛСИ в кратчайшие сроки с информацией по следующим вопросам:

- Полная оценка затрат, включая стоимость комплекса установки, зданий, линий пучков, аппаратуры и вспомогательных установок. Представляется важным сравнить оценку затрат на реализацию ДЭЛСИ с аналогичными проектами, законченными недавно или планируемыми в Европе и на Ближнем Востоке. Ученый совет принял во внимание заявление дирекции ОИЯИ о том, что проект ДЭЛСИ будет осуществляться только из внебюджетных источников финансирования.
- Обязательства со стороны пользователей по финансовому, техническому и интеллектуальному участию в реализации проекта. Этому могло бы способствовать второе рабочее совещание «Источник синхротронного излучения ОИЯИ: перспективы исследований», запланированное на 2–5 апреля 2001 г.
- Интеграция проекта ДЭЛСИ в долгосрочную научную программу ОИЯИ, в частности, в связи с эксплуатацией установки в будущем. Поскольку программа ДЭЛСИ направлена на сохранение привлекательности ОИЯИ в долгосрочном плане, было бы целесообразным узнать мнение программно-консультативных комитетов и заинтересованного персонала ОИЯИ в случае, если будет инициирован какой-либо альтернативный проект, способствующий достижению той же цели.

Ученый совет принял к сведению доклад «О научной программе и структуре Лаборатории информационных технологий», представленный директором ЛИТ И. В. Пузыниным. С точки зрения современного научно-технического сотрудничества Ученый совет рекомендовал считать важным: необходимость развития удаленного доступа к экспериментальным установкам, обработке и передаче данных; участие в коллаборациях по проектам «Data Grid» и «Grid» в Европе и Америке; создание высококачественной связи между компьютерной сетью ОИЯИ и научными сетями стран-участниц. Ученый совет рассматривает вычислительно-сетевую инфраструктуру ОИЯИ как постоянно действующую базовую установку и рекомендует дирекции ОИЯИ обеспечивать ее адекватным целевым финансированием.

Ученый совет принял к сведению представленные в письменном виде директорами лабораторий ОИЯИ предложения в научную программу Института, основанную на трехлетнем плане деятельности. Учитывая эти предложения и рекомендации ПКК, Ученый совет поддержал следующие приоритетные направления деятельности ОИЯИ в 2001 г.:

- совершенствование системы вывода и каналов выведенных пучков нуклотрона, эксплуатация и развитие нуклотрона, дальнейшее снижение энергозатрат на его работу;
- модернизация реактора ИБР-2 по графику работ, утвержденному соглашением между ОИЯИ и Министерством РФ по атомной энергии;
- завершение первой фазы проекта DRIBs и подготовка физических экспериментов; работы по реализации второй очереди проекта;
- создание установки ИРЕН в рамках реального графика и связанного с ним финансирования с целью завершения работ по реализации первой очереди в 2002 г.;
- дальнейшее развитие телекоммуникационных каналов и информационно-вычислительной инфраструктуры ОИЯИ;
- теоретические исследования по физике частиц и квантовой теории поля, ядерной физике и физике конденсированных сред, в том числе непосредственно связанные с экспериментальными работами в этих областях;
- дальнейшее участие ОИЯИ в актуальных экспериментах по физике частиц, в том числе на ускорителях ИФВЭ (Протвино), ЦЕРН, DESY, BNL и FNAL, а также в создании отдельных ускорительных систем для ЛHC (ЦЕРН) и линейных коллайдеров (TESLA, CLIC);
- продолжение исследований взаимодействий релятивистских ядер с целью поиска проявлений кварк-глюонных степеней свободы в ядрах, асимптотических законов для ядерной материи при высокой энергии столкновений, а также изучение спиновой структуры легчайших ядер; проведение экспериментов с использованием ускорительного комплекса «синхрофазотрон–нуклотрон» и на ускорителях других научных центров: ЦЕРН (SPS, LHC), BNL (RHIC), GSI (SIS), в Упсале (CELCIUS) и RIKEN;
- исследования ядерно-физических и химических свойств сверхтяжелых элементов вблизи «острова стабильности»  $Z = 114–116$  с использованием сепараторов ГНС и ВАСИЛИСА, изучение реакций слияния-деления слабо возбужденных компаунд-ядер на установке КОРСЕТ + ДЕМООН, изучение структуры легких экзотических ядер и нейтронных корреляций в них на установках АКУЛИНА, КОМБАС и «Мульти», исследование механизма ядерных реакций с пучками ионов радиоактивных элементов с использованием установки ФОБОС и каналов высокого разрешения;
- развитие экспериментальной базы и средств сбора данных для спектрометров на ИБР-2, использование спектрометров для экспериментальных исследований сложных структур в биологии, фармакологии, материаловедении и т. д.;



**КОМИТЕТ ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ГОСУДАРСТВ — ЧЛЕНОВ ОИЯИ**

Азербайджанская Республика	— Н. А. Гулиев	Республика Молдова	— В. А. Москаленко
Республика Армения	— Г. А. Вартапетян	Монголия	— Ц. Ганцог
Республика Белоруссия	— А. И. Лесникович	Республика Польша	— А. Хрынкевич
Республика Болгария	— Г. Касчиев	Российская Федерация	— М. П. Кирпичников
Социалистическая Республика Вьетнам	— Нгуен Ван Хью	Румыния	— И. Выцэ
Грузия	— Н. С. Амаглобели	Словацкая Республика	— С. Дубничка
Республика Казахстан	— В. Н. Околович	Республика Узбекистан	— Б. С. Юлдашев
Корейская Народно-Демократическая Республика	— Ли Зай Сен	Украина	— И. И. Залобовский
Республика Куба	— Д. Колдорньо	Чешская Республика	— Р. Мах

**Финансовый комитет**

По одному представителю от каждой страны-участницы ОИЯИ

**УЧЕННЫЙ СОВЕТ**

Председатель — В. Г. Кадышевский  
Ученый секретарь — В. М. Жаблицкий

Н. С. Амаглобели	— Грузия	Г. Пираджино	— Италия
И. Антониу	— Бельгия	С. К. Рахманов	— Республика Белоруссия
Ц. Баатар	— Монголия	А. Н. Сисаян	— Российская Федерация
А. Будзановский	— Республика Польша	А. Н. Скрянский	— Российская Федерация
И. Вильгельм	— Чешская Республика	Р. Сосновский	— Республика Польша
И. Н. Вишневецкий	— Украина	П. Спиллантини	— Италия
Ж. Ганзориг	— Монголия	А. Н. Тавхелидзе	— Грузия
М. Делла Негра	— Швейцария	А. Хрынкевич	— Республика Польша
К. Детраз	— Франция	Чве Зе Гон	— Корейская Народно-Демократическая Республика
Ф. Дидак	— Швейцария	Н. А. Черноплеков	— Российская Федерация
Г. М. Зиновьев	— Украина	Ш. Шаро	— Словацкая Республика
Д. Караджов	— Республика Болгария	Х. Шоплер	— Швейцария
Н. Кроо	— Венгерская Республика	Н. М. Шумейко	— Республика Белоруссия
Ф. Легар	— Франция	Б. С. Юлдашев	— Республика Узбекистан
А. А. Логунов	— Российская Федерация	Е. Яник	— Республика Польша

**Программно-консультативный комитет по физике частиц**

Председатель — Т. Холлман (США)  
Ученый секретарь — Ю. А. Горнушкин

**Программно-консультативный комитет по ядерной физике**

Председатель — Н. Роули (Франция)  
Ученый секретарь — Н. К. Скобелев

**Программно-консультативный комитет по физике конденсированных сред**

Председатель — Х. Лаутер (Франция)  
Ученый секретарь — С. И. Тюгюнников

# СТРУКТУРА ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

## Дирекция

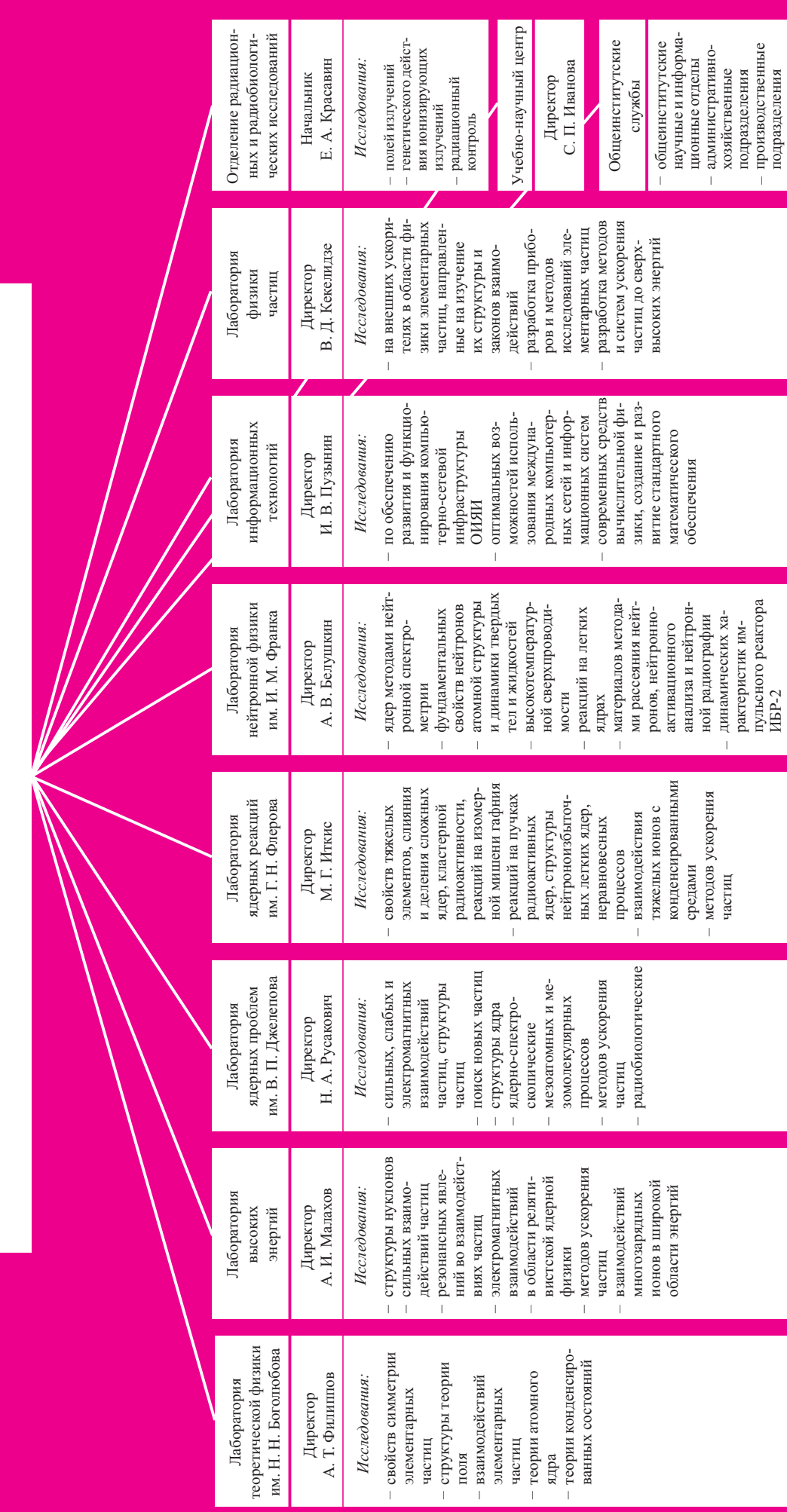
Директор В. Г. Кадлышевский

Вице-директор А. Н. Сисаян

Вице-директор Ц. Вылов

Главный ученый секретарь В. М. Жабичский

Главный инженер И. Н. Мешков



— развитие образовательной программы ОИЯИ, включая целевую подготовку специалистов из стран-участниц.

Ученый совет просил дирекцию ЛВЭ представить на следующей сессии детальный план развития нуклотрона и вывода из эксплуатации синхрофазотрона. Ученый совет рекомендовал дирекции ОИЯИ разработать долгосрочную программу ОИЯИ на предстоящие 10–15 лет, включая направления исследований и соответствующие новые установки.

По итогам состоявшегося обсуждения Ученый совет принял к сведению и поддержал рекомендации, данные на сессиях программно-консультативных комитетов ОИЯИ в ноябре 2000 г.

*По физике конденсированных сред.* Ученый совет отметил важность соглашения между Министерством РФ по атомной энергии и ОИЯИ по осуществлению модернизации реактора ИБР-2. Ученый совет поддержал необходимость срочного обновления систем охлаждения с целью обеспечения постоянных условий для получения холодных нейтронов, а также разработку на холодном источнике трех спектрометров — спектрометра малоуглового рассеяния, рефлектометра и квазиупругого спектрометра — и просил дирекцию ОИЯИ также поддержать эту программу. Дирекции ОИЯИ было предложено рассмотреть вопросы работы и поддержки персонала реакторов ЛНФ, в том числе в связи с программой модернизации ИБР-2.

*По физике частиц.* Ученый совет активно поддержал усилия ЛВЭ, направленные на то, чтобы нуклотрон получил статус регулярно действующей и работающей «на физический эксперимент» установки, а также рекомендации о необходимости улучшения координации всех экспериментальных работ с поляризованными мишенями и пучками с целью оптимального использования пучков нуклотрона. Ученый совет поддержал рекомендации ПКК по новым научным проектам («Стрела», «Дельта–Сигма», HARP/PS214, «PP-синглет»); согласился со списком работ, получивших первый приоритет в 2001–2003 гг., и с прекращением ряда исследований.

*По ядерной физике.* Ученый совет высоко оценил усилия дирекции ОИЯИ по сохранению на максимально возможном уровне финансирования проектов ИРЕН и DRIBs в 2001 г. Для первого проекта это является весьма важным в плане поддержания получившей международное признание программы исследований по нейтронной ядерной физике ОИЯИ. Что касается второго проекта, то его реализация позволит своевременно ввести в эксплуатацию базовую установку мирового класса для получения вторичных радиоактивных пучков ионов. Ученый совет выразил удовлетворение эффективной работой циклотронов ЛЯР в 2000 г. Ученый совет поддержал ориентиро-

ванность будущей программы исследований на синтез сверхтяжелых элементов и изучение структуры легких экзотических ядер. Ученый совет приветствовал усилия по совершенствованию линий пучков фазотрона, что должно значительно повысить качество вторичного пучка к концу 2001 г.

В соответствии с ранее принятыми решениями Ш. Бриансон, С. Дубничка и Х. Лаутер продолжали исполнять обязанности председателей ПКК ОИЯИ до июня 2001 г. По предложению дирекции ОИЯИ Ученый совет назначил в составы ПКК следующих новых членов: ПКК по ядерной физике — А. А. Говердовского (ФЭИ, Обнинск, Россия), К. Петижана (PSI, Виллиген, Швейцария), ПКК по физике конденсированных сред — Х. Титце-Енша (ИЦ, Юлих, Германия). Ученый совет продлил полномочия нынешних составов ПКК на три года и ожидает ротации членов комитетов, предусмотренной Положением о ПКК ОИЯИ.

Ученый совет избрал тайным голосованием Д. Блашке заместителем директора Лаборатории теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова до окончания срока действия полномочий директора ЛТФ. Ученый совет согласился с предложением дирекции ОИЯИ перенести на более поздний срок выборы заместителя директора Лаборатории физики частиц. Ученый совет подтвердил вакансии директора и двух заместителей директора Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка.

Ученый совет поздравил академика Г. Т. Зацепина и кандидата физико-математических наук В. Н. Гаврина (ИЯИ РАН, Москва) с награждением премией им. Б. М. Понтекорво 2000 г. за выдающийся вклад в исследования солнечных нейтрино галлий-германиевым методом в Баксанской нейтринной обсерватории. Ученый совет утвердил рекомендации жюри о присуждении премий ОИЯИ за 2000 г. Ученый совет поздравил профессоров А. М. Петросьянца, Г. Пираджино и З. Хофманна с присвоением им звания «Почетный доктор ОИЯИ» за выдающиеся заслуги перед Институтом в области развития приоритетных направлений науки и техники, подготовки научных кадров.

Ученый совет с интересом заслушал научные сообщения, сделанные на сессии, и поблагодарил докладчиков В. Н. Гаврина и Ю. Ц. Оганесяна. Ученый совет поздравил члена-корреспондента РАН Ю. Ц. Оганесяна (ОИЯИ) и его коллег профессоров П. Армбрустера и Г. Мюнценберга (GSI, Дармштадт, Германия) с награждением премией им. Л. Майтнер Европейского физического общества за многолетнюю и уникальную работу по синтезу сверхтяжелых элементов.

**7–8 июня 2001 г. в Дубне под председательством директора ОИЯИ академика В. Г. Кадышевского проходила 90-я сессия Ученого совета Института.**

В. Г. Кадышевский выступил с информацией о решениях сессии Комитета Полномочных Представителей государств — членов ОИЯИ от 26–27 марта 2001 г. С докладами о рекомендациях программно-консультативных комитетов ОИЯИ выступили их председатели: ПКК по физике частиц — профессор С. Дубничка, ПКК по ядерной физике — профессор Ш. Бриансон, ПКК по физике конденсированных сред — доктор Х. Лаутер. Главный инженер ОИЯИ член-корреспондент РАН И. Н. Мешков доложил о состоянии дел на базовых установках Института. О ходе работ по проекту DRIBs сообщил научный руководитель ЛЯР член-корреспондент РАН Ю. Ц. Оганесян. План развития нуклотрона и вывода из эксплуатации синхрофазотрона изложил И. Б. Иссинский.

В. Г. Кадышевский представил предложения дирекции о присвоении группе ученых звания «Почетный доктор ОИЯИ». Состоялись выборы на вакантные должности директора Лаборатории нейтронной физики и заместителя директора Лаборатории физики частиц.

Ученый совет принял к сведению информацию, представленную директором ОИЯИ В. Г. Кадышевским, о решениях состоявшейся в марте 2001 г. сессии Комитета Полномочных Представителей (КПП) ОИЯИ 26 марта 2001 г. Объединенный институт ядерных исследований отметил свое 45-летие. Ученый совет поздравил международный коллектив сотрудников Института с выдающимися научными результатами и пожелал ему дальнейшей успешной работы.

Ученый совет принял к сведению доклад «О состоянии дел на базовых установках ОИЯИ», представленный главным инженером Института И. Н. Мешковым, а также доклад «О ходе работ по проекту DRIBs», представленный научным руководителем ЛЯР Ю. Ц. Оганесяном. Ученый совет с удовлетворением отметил завершение создания производящей мишени, сепаратора, источника ECR для радиоактивных пучков, а также успешную инжекцию ионов  ${}^6\text{He}$  в галерею транспортировки пучков ЛЯР, что является важным шагом в реализации проекта DRIBs. Ученый совет принял к сведению «План развития нуклотрона и вывода из эксплуатации синхрофазотрона», представленный и. о. главного научного сотрудника ЛВЭ И. Б. Иссинским. Ученый совет с удовлетворением отметил, что в 1999–2001 гг. был достигнут значительный прогресс в совершенствовании систем нуклотрона и улучшении характеристик его пучков. Была завершена первая очередь работ по медленному выводу, и начаты эксперименты на выведенном пучке нуклотрона. После осуществления комплекса работ по совершенствованию системы криогенного обеспечения стало возможным проведение длительных се-

ансов работы этой установки. С учетом достигнутого прогресса в обеспечении эксплуатационных режимов по ряду систем нуклотрона Ученый совет рекомендовал дирекции ЛВЭ обеспечить пользователям не менее 2000 часов в год для проведения физических экспериментов, одобрил предложения ЛВЭ по плану развития ускорительного комплекса нуклотрона на период 2002–2008 гг., в том числе получение поляризованных пучков, и рекомендовал дирекции ОИЯИ изыскать возможности финансирования работ по развитию нуклотрона в запрашиваемом объеме. Ученый совет поддержал план вывода синхрофазотрона из эксплуатации в 2003 г. и просил дирекцию ОИЯИ рассмотреть этот вопрос.

Ученый совет отметил прогресс в модернизации реактора ИБР-2 и в то же время выразил обеспокоенность в связи с нехваткой запланированных средств на ее осуществление. Ученый совет подчеркнул, что проведение исследований с холодными нейтронами представляет большой интерес для ОИЯИ, и просил ПКК по физике конденсированных сред рассматривать это направление как приоритетное, а также разработать совместно с сообществом пользователей реалистичную программу исследований с помощью холодных нейтронов. Ученый совет отметил, что значительный прогресс в реализации проекта ИРЕН достигнут благодаря усилиям, предпринятым дирекцией ОИЯИ, по концентрации научно-технических кадров на этом важном направлении работы. Успешно функционирует новый отдел, созданный в ЛФЧ для реализации проекта ИРЕН. Вовлечение инфраструктуры этой лаборатории весьма полезно для создания в рамках проекта ИРЕН линейного ускорителя ЛУЭ-200.

Ученый совет заслушал сообщение главного инженера Института И. Н. Мешкова о новой концепции проекта ДЭЛСИ, предполагающей его осуществление в три этапа. В качестве частичного ответа на рекомендации 89-й сессии Ученого совета на данной сессии в письменном виде представлен концептуальный научно-технический проект первого этапа «Лазеры на свободных электронах», который Ученый совет принял к сведению.

Ученый совет принял к сведению и поддержал рекомендации, данные на сессиях программно-консультативных комитетов в апреле 2001 г. и представленные их председателями.

*По физике частиц.* Ученый совет отметил успех по выводу нуклотрона на уровень регулярно действующей и работающей «на физический эксперимент» установки. Ученый совет поддержал рекомендации ПКК по физике частиц по новым научным проектам, как это указано в материалах сессии ПКК. Ученый совет высоко оценил работу, проводимую учеными ЛТФ им. Н. Н. Боголюбова по оказанию теоретической поддержки подготавливаемым экспериментам ALICE, ATLAS и CMS.



*По ядерной физике.* Ученый совет выразил особое удовлетворение в связи с новыми результатами, полученными недавно в ЛЯР по синтезу 116-го элемента. Они являются первым прямым экспериментальным доказательством существования «острова стабильности» сверхтяжелых элементов. Ученый совет отметил, что успешное получение изотопа  ${}^6\text{He}$ , его сепарация и инжекция в галерею транспортировки пучков являются решающим шагом для реализации первой фазы проекта DRIBs. Своевременное осуществление первой и второй фаз проекта исключительно важно для конкурентоспособности ЛЯР им. Г. Н. Флерова в этой научной области. Ученый совет принял к сведению совместный проект, предложенный ОИЯИ и РНЦ «Курчатовский институт», по получению в больших количествах редких стабильных изотопов методом ионно-циклотронного резонансного нагрева в плазме, а также поддержал дальнейшую проработку этого интересного проекта с целью его осуществления в ОИЯИ.

Ученый совет с удовлетворением отметил, что после предыдущей сессии в реализации проекта ИРЕН достигнут прогресс, несмотря на продолжающиеся финансовые трудности.

Ученый совет принял к сведению предложения, сделанные на сессии ПКК по ядерной физике Лабораторией информационных технологий, по развитию компьютерных коммуникаций, которые должны значительно улучшить внешнюю связь с российской сетью. Поскольку ситуация с внутренней сетью ОИЯИ также становится критической, то необходимы срочные меры для обеспечения работы сети в соответствии с современными стандартами.

*По физике конденсированных сред.* Ученый совет активно поддержал осуществляемый проект модернизации реактора ИБР-2, холодного замедлителя и физической аппаратуры на холодном источнике. Обязательства ОИЯИ по выполнению соглашения с Министерством РФ по атомной энергии должны соблюдаться, чтобы гарантировать успешное осуществление программы модернизации реактора ИБР-2 в соответствии с утвержденным графиком. Эксплуатационные качества существующего холодного замедлителя открывают возможности для создания новой системы холодного замедлителя, температура которого может быть оптимизирована для конкретных де-

текторов. Выигрышными качествами нового замедлителя будут оптимальная интенсивность, улучшенное разрешение, переход к малым передачам импульса или энергии. Подготовку рекомендаций по развитию спектрометра малоуглового рассеяния, рефлектометра и спектрометра неупругого рассеяния необходимо проводить с учетом использования более широких возможностей новой системы холодного замедлителя. Производство детекторов, в частности мультidetекторов, нейтроноводов и нейтронно-оптических элементов, необходимо поддерживать и в дальнейшем, чтобы завершить создание высокоэффективных спектрометров на источнике с высоким потоком нейтронов. Дирекции ОИЯИ вновь предлагалось рассмотреть вопросы условий работы и поддержки персонала реакторов ЛНФ с целью успешного осуществления программы модернизации реактора ИБР-2 и его последующей успешной эксплуатации.

По предложению дирекции ОИЯИ Ученый совет назначил председателями ПКК сроком на один год: Х. Лаутера (ILL, Гренобль, Франция) — ПКК по физике конденсированных сред, Н. Роули (IREs, Страсбург, Франция) — ПКК по ядерной физике, Т. Холлмана (BNL, Аптон, США) — ПКК по физике частиц.

Ученый совет присвоил профессорам Ж. Дойчу, С. Озаки и Дж. Триллингу звания «Почетный доктор ОИЯИ» за выдающиеся заслуги перед Институтом в области развития приоритетных направлений науки и техники, подготовки научных кадров.

Ученый совет с интересом заслушал научные сообщения, сделанные на сессии: «Явление прямого CP-нарушения» (докладчик В. Д. Кекелидзе), «Результаты эксперимента DELPHI на LEP» (докладчик А. Г. Ольшевский), «Исследования на поляризованных пучках ускорительного комплекса ЛВЭ ОИЯИ» (докладчик Ф. Легар).

Ученый совет единогласно избрал тайным голосованием: А. В. Белушкина — директором Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка сроком на 5 лет, Р. Ледницкого — заместителем директора Лаборатории физики частиц сроком на 5 лет. В соответствии с действующим положением Ученый совет объявил о вакансиях директоров ЛВЭ, ЛЯР им. Г. Н. Флерова и ЛФЧ.

## ЗАСЕДАНИЕ ФИНАНСОВОГО КОМИТЕТА ОИЯИ

**Заседание Финансового комитета ОИЯИ состоялось в Дубне 23 марта 2001 г. под председательством профессора С. Дубнички (Словацкая Республика).**

Финансовый комитет принял к сведению отчет дирекции о выполнении решений Финансового коми-

тета от 17–18 февраля 2000 г., 19 октября 2000 г. и рекомендаций Контрольной комиссии от 9 июня 2000 г.

По докладу помощника директора по финансовым и экономическим вопросам В. В. Катрасева «Об исполнении бюджета ОИЯИ за 2000 г. и о проекте бюджета на 2001 г.» Финансовый комитет рекомендовал Комитету Полномочных Представителей:

- принять к сведению информацию об исполнении бюджета ОИЯИ за 2000 г.;
- утвердить бюджет ОИЯИ на 2001 г. с общей суммой расходов 37,5 млн долларов США;
- утвердить долевые взносы на 2001 г.;
- установить, что ориентировочный размер бюджета ОИЯИ по доходам и расходам в 2002 г. составит 37,5 млн долларов США;
- одобрить деятельность рабочей группы КПП в 2000 г., поручить дирекции продолжить работу по

совершенствованию методики расчета долевых взносов на последующие годы на основе сопоставимых базовых показателей;

- поручить дирекции Института совместно с полномочными представителями в течение года проработать процедуру реструктуризации задолженностей стран-участниц перед ОИЯИ, включая возможность дифференцированного подхода.

## СЕССИИ ПРОГРАММНО-КОНСУЛЬТАТИВНЫХ КОМИТЕТОВ

**15-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц состоялась 9–10 апреля 2001 г. под председательством профессора С. Дубнички.**

Программно-консультативный комитет по физике частиц принял к сведению информацию, представленную вице-директором ОИЯИ А. Н. Сисакином, о рекомендациях 89-й сессии Ученого совета (январь 2001 г.) и решениях Комитета Полномочных Представителей ОИЯИ (март 2001 г.). ПКК дал высокую оценку научным результатам, полученным в ОИЯИ в течение последних лет, несмотря на продолжающиеся серьезные трудности с финансированием ОИЯИ со стороны стран-участниц.

ПКК с удовлетворением воспринял доклад главного инженера ОИЯИ И. Н. Мешкова об успешной работе базовых установок ОИЯИ в первом квартале 2001 г. В то же время было отмечено, что процесс вывода нуклотрона на уровень регулярно действующей и работающей на эксперимент установки необходимо ускорить.

ПКК рассмотрел предложения и рекомендовал одобрить ряд новых проектов и тем:

- «Исследование фрагментации ядер с образованием двух кумулятивных адронов на нуклотроне» (СКАН-2);
- «Измерение вероятности распада  $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ » (участие ОИЯИ в эксперименте E391a в КЕК-PS);
- «Поиск проявлений поляризованной скрытой странности нуклонов в нуклон-нуклонных взаимодействиях на нуклотроне» (проект NIS);
- «Измерение спиновых величин, наблюдаемых в нуклон-нуклонных взаимодействиях и при распаде ядер» (проект «Спин»);
- «Исследование физических аспектов электроядерного способа производства энергии и трансмутации радиоактивных отходов на пучках синхрофазотрона/нуклотрона ОИЯИ» (проект «Энергия + трансмутация»);
- «Передвижная поляризованная мишень» (проект ППМ);
- «Измерение анализирующей способности для реакции  $p + \text{CH}_2$  при импульсе протонов 3–6 ГэВ/с».

ПКК также рассмотрел переработанное предложение открытия новой темы «Компьютерная физика для теоретических и экспериментальных исследований» и рекомендовал одобрить эту деятельность.

На сессии были заслушаны отчеты о подготовке экспериментов на ЛНС. ПКК отметил значительный вклад ОИЯИ в создание программ обработки данных и моделирования внутренней трековой системы и диамонного спектрометра установки ALICE. ПКК поздравил группу специалистов ОИЯИ, принимавших участие в проектировании дипольного магнита диамонного спектрометра и изготовлении прототипа обмотки, с достижением значительных успехов в этой работе. ПКК также поддержал участие ОИЯИ в создании фотонного спектрометра ALICE в коллаборации с Украиной и Россией.

ПКК с удовлетворением отметил переход от научно-исследовательских работ и конструкторского проектирования к стадии производства в проекте ATLAS. В ОИЯИ в соответствии с обязательствами перед коллаборацией были созданы участки по производству модулей для «barrel tile» и жидкоаргонного торцевого калориметров, участок по производству и сборке мюонных камер и участок по подготовке и сборке трубок TRT.

ПКК с удовлетворением отметил, что участие в проекте CMS специалистов из стран-участниц Института через ОИЯИ в составе коллаборации RDMS (Russia and Dubna Member States) позволило им занять лидирующие позиции и нести полную ответственность за создание адронного калориметра и части мюонной системы (ME1), а также внести весомый вклад в подготовку электромагнитного калориметра.

ПКК с большим интересом заслушал представленные от ЛТФ доклады о проработке физической программы совместных экспериментов на установках ALICE, ATLAS и CMS и рекомендовал дирекции ОИЯИ всемерно поддерживать эти важные и проводимые на высоком уровне исследования.

ПКК одобрил деятельность дирекции ЛИТ по формированию лаборатории, проводимому в соответствии с решениями Ученого совета ОИЯИ. ПКК рекомендовал создание специальной комиссии по исслед-

дованию потребностей научной программы ОИЯИ в компьютерной связи в настоящем и будущем и поиску путей решения этой проблемы.

ПКК принял к сведению отчет об участии ОИЯИ в эксперименте DIRAC и высоко оценил его научную значимость для исследования природы нарушения киральной симметрии, а также определяющий вклад ОИЯИ в организацию и проведение этого эксперимента.

ПКК выразил благодарность профессору С. Дубничке за его плодотворную работу в качестве председателя ПКК по физике частиц и рекомендовал Ученому совету ОИЯИ назначить профессора Т. Холлмана председателем ПКК по физике частиц сроком на один год.

#### **14-я сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике состоялась 23–25 апреля 2001 г. под председательством профессора Ш. Бриансон.**

Члены ПКК заслушали отчет о выполнении рекомендаций 13-й сессии ПКК, информацию о резолюции 89-й сессии Ученого совета ОИЯИ (январь 2001 г.) и о решениях Комитета Полномочных Представителей стран-участниц ОИЯИ (март 2001 г.).

*Ядерная физика с помощью нейтронов.* ПКК с удовлетворением отметил, что после предыдущей сессии достигнут прогресс в реализации проекта ИРЕН, несмотря на продолжающиеся финансовые трудности. Дальнейшему продвижению проекта поможет решение дирекции ОИЯИ создать новую группу специалистов из сотрудников ЛНФ и ЛФЧ. Однако ПКК выразил глубокую озабоченность в связи с тем, что выделенные фонды недостаточны даже для частичного демонтажа ИБР-30, который должен быть выполнен в 2001 г., и для приобретения крайне важных комплектующих узлов ЛУЭ-200.

ПКК заслушал доклад об эксперименте «Катрин» по поиску тройной корреляции во взаимодействии поляризованных нейтронов с поляризованными ядрами, направленном на проверку CP-симметрии, и рекомендовал продолжить активную подготовку этого эксперимента с высоким приоритетом.

*Физика тяжелых ионов.* Члены комитета отметили, что получение  ${}^6\text{He}$ , его сепарация и инжекция в галерею транспортировки пучков являются решающим шагом для создания первой фазы проекта DRIBs. Для гарантии продолжения и быстрого прогресса в реализации этого проекта необходимо обеспечить адекватное финансирование. ПКК поддержал проект DRIBs с высочайшим приоритетом и предложил обсудить установки для экспериментов с ускоренными радиоактивными пучками более детально на своей следующей сессии.

ПКК дал также высочайший приоритет программе по синтезу сверхтяжелых элементов, в частности продолжению исследований элемента 116 и развитию методов прямой идентификации масс сверхтяжелых ядер. Успешная модернизация установки

ВАСИЛИСА является первым важным шагом в этом направлении. Дальнейшие возможности, представленные в проекте «Маша», было предложено более детально обсудить на следующей сессии ПКК. Члены ПКК отметили, что программа исследований химических свойств тяжелых и сверхтяжелых ядер также должна продолжаться с высоким приоритетом.

Комбинированный спектрометр КОРСЕТ + ДЕМООН позволил физикам ЛЯР наблюдать корреляции между осколками деления с другими излучениями, такими как быстрые нейтроны и  $\gamma$ -лучи. Эти корреляции указывают на сильное сходство механизмов процесса деления для тяжелых и сверхтяжелых ядер. Кроме того, подчеркнута важная роль многодолинных структур потенциального барьера холодных делящихся ядер. ПКК рекомендовал продолжить эти исследования, улучшив статистическую точность, с тем чтобы получить не только качественную, но и количественную информацию.

ПКК отметил уникальные возможности ОИЯИ по использованию тритиевой мишени в комбинации с ускоренными тритиевыми пучками, что позволяет изучать легкие ядра с предельно избыточным числом нейтронов. Первые результаты по  ${}^4\text{H}$  и  ${}^5\text{H}$  оказались очень интересными и многообещающими. Эти исследования должны продолжаться с высоким приоритетом.

*Физика низких и промежуточных энергий.* ПКК заслушал доклад о модернизации пучков фазотрона и выразил надежду своевременно услышать результаты этой работы. ПКК предложил также обсудить предложение по инжекции  $\text{H}^-$ , когда планы в этом направлении будут более конкретными.

ПКК рассмотрел совместный проект (ОИЯИ и ИМФ Курчатовского института) по получению редких стабильных изотопов методом ионно-циклотронного резонансного нагрева в плазме. Отметив важность этого проекта, ПКК поддержал его и рекомендовал дирекции ОИЯИ рассмотреть условия его реализации в ОИЯИ. Результаты этого анализа, а также мотивацию программы исследований ПКК предложил представить на следующей сессии.

ПКК получил отчет о подготовке первых тестовых экспериментов по проекту ФАМИЛОН, которые должны быть выполнены на фазотроне в 2001 г., и выразил надежду своевременно получить информацию о развитии этого интересного эксперимента.

*Информационные технологии и вычислительная физика.* ПКК одобрил реструктуризацию ЛИТ, нацеленную на обеспечение надежной работы и развитие вычислительной и сетевой инфраструктуры ОИЯИ. ПКК отметил, что качество внешней связи все еще не соответствует требуемому уровню, а внутренняя сетевая инфраструктура ОИЯИ находится в критическом положении. Выполнение поставленной задачи требует адекватного финансирования с высоким приоритетом.

ПКК дал высокую оценку исследовательской деятельности ЛИТ и предложил представить на следующей сессии более детальный отчет о вычислитель-



ных работах, непосредственно связанных с программой исследований по ядерной физике в ОИЯИ.

*Научные доклады.* ПКК заслушал два доклада, представляющих большой интерес для программы экспериментальных исследований ОИЯИ: доклад В. А. Беднякова «Суперсимметричная темная материя — современное состояние и перспективы исследований» и доклад И. Н. Михайлова «Временные шкалы в процессах слияния и деления».

ПКК был проинформирован о ходе подготовки международной летней студенческой школы «Ядерные методы и ускорители в биологии и медицине» (Дубна, 27 июня – 11 июля 2001 г.). ПКК снова высоко оценил широкое разнообразие областей знаний, перекрываемое образовательной программой ОИЯИ, а также отметил растущее международное признание Учебно-научного центра.

Члены ПКК были проинформированы о том, что 4–9 мая 2001 г. в г. Сандански (Болгария) состоится II Европейское координационное совещание по сотрудничеству Восток–Запад в области ядерной физики.

#### **14-я сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред состоялась 27–28 апреля 2001 г. под председательством доктора Х. Лаутера.**

Члены Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред приняли к сведению информацию главного ученого секретаря ОИЯИ В. М. Жабицкого о решениях Ученого совета и Комитета Полномочных Представителей, в которых вопросы финансирования модернизации ИБР-2 в 2001 г. отмечены как приоритетные.

По докладу главного инженера ЛНФ В. Д. Ананьева ПКК с удовлетворением отметил выполнение плана модернизации ИБР-2 в 2000 г. Однако ситуация с выполнением программы модернизации в 2001 г. вызывает озабоченность ввиду недостаточного финансирования со стороны ОИЯИ и связанного с этим отсутствия поддержки со стороны Минатома. Из-за ограниченного срока службы основных узлов реактора никакие задержки в выполнении графика работ не приемлемы.

Заслушав доклад начальника ОРПИ профессора Е. А. Красавина об учреждении Консультативного совета по направлению «Life science», ПКК выразил свое удовлетворение и надежду, что этот комитет будет координировать исследования в следующих областях: изучение механизма индукции мутагенеза, разработка новых радиофармацевтических препаратов, совершенствование методов онкотерапии, экологические исследования, разработка новых типов ядерных фильтров.

Программно-консультативный комитет отметил, что поддержанная на 12-й сессии ПКК «Программа развития спектрометров» должна быть восстановлена в списке приоритетного финансирования.

Комитет заслушал доклады В. Ю. Помякушкина (ФОВР–ФСД), Д. П. Козленко (ДН-12) и К. Уллемайера («Скат»–«Эпсилон»), в которых продемонстрирована высокая научная результативность и эффективность работы спектрометров. ПКК поддержал предложения по их дальнейшему усовершенствованию. ПКК заслушал доклад В. И. Горделия об исследованиях, проводимых на установке малоуглового рассеяния ЮМО, и предложил предпринять шаги для минимизации фона и оптимизации спектрометра для работы с холодным замедлителем.

ПКК с удовлетворением отметил доклад В. В. Сумина «Использование пучков ИБР-2 для прикладных целей» и поддержал эту деятельность; доклад Т. Реквелдта, сделавшего обзор о применении методики «спин-эхо» для малоуглового рассеяния, рефлектометрии и дифракции, ПКК выразил заинтересованность в анализе перспектив и преимуществе такой техники на спектрометрах ИБР-2; доклад Н. М. Плакиды «Новые результаты в исследовании сверхпроводимости», ПКК поддержал участие теоретической группы в решении задач по физике конденсированных сред.

ПКК заслушал доклад «Предложения ЛИТ по развитию вычислительной физики», представленный А. Полянским. Комитет поддержал сотрудничество ЛНФ и ЛИТ в области моделирования нейтронных экспериментов.

ПКК с удовлетворением отметил успешное проведение второго совещания по германо-российскому сотрудничеству на реакторе ИБР-2 и настоятельно рекомендовал продолжить организацию таких совещаний. ПКК одобрил инициативу проведения 2-й Школы по рассеянию нейтронов и синхротронного излучения, о которой доложил В. Л. Аксенов.

ПКК с интересом выслушал сообщение главного инженера ОИЯИ И. Н. Мешкова о работах по проекту ДЭЛСИ, отметив важность наличия реактора ИБР-2 и источника СИ для исследований по физике конденсированных сред. При этом ПКК отметил, что в практической деятельности в этом направлении следует руководствоваться решениями 89-й сессии Ученого совета.

#### **16-я сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц состоялась 19–20 ноября 2001 г. под председательством профессора Т. Холлмана.**

Программно-консультативный комитет по физике частиц принял к сведению информацию, представленную вице-директором ОИЯИ А. Н. Сисакином, о подготовке научной программы Института на 2002–2004 гг. и о рекомендациях 90-й сессии Ученого совета ОИЯИ. ПКК приветствовал активную деятельность дирекций ЦЕРН и ОИЯИ по популяризации международного научного сотрудничества в области физики элементарных частиц и высоко оценил серию фотовыставок «Наука сближает народы», которая успешно проводится с 1996 г.



ПКК принял к сведению сообщения, представленные директором ЛВЭ А. И. Малаховым, директором ЛТФ А. Т. Филипповым, директором ЛФЧ В. Д. Кекелидзе, директором ЛЯП Н. А. Русаковичем и директором ЛИТ И. В. Пузыниным, и одобрил предложенные ими основные направления программы исследований ОИЯИ в области физики элементарных частиц и релятивистской ядерной физики на 2002–2004 гг.

Учитывая участие ОИЯИ во многих крупных экспериментах в ЦЕРН, DESY и институтах США, ПКК специально отметил необходимость продолжения работ по созданию быстрой и надежной компьютерной связи между ОИЯИ и зарубежными научными центрами, так же как и по увеличению компьютерных мощностей в самом Институте.

ПКК с удовлетворением воспринял доклад главного инженера ОИЯИ И. Н. Мешкова об успешной работе базовых установок ОИЯИ в 2001 г. в соответствии с планом, несмотря на продолжающиеся проблемы с финансированием. ПКК рекомендовал продолжить работу по дальнейшему совершенствованию систем диагностики нуклотрона и скорейшему доведению параметров ускорителя до проектного уровня.

Рассмотрев новые предложения, ПКК одобрил проекты «Измерение поляризации, передаваемой от  $d$  к  $p$  в реакции  $^{12}\text{C}(\mathbf{d}, \mathbf{p})\text{X}$  при внутренних импульсах 0,6–0,8 ГэВ/с» и «Поиск эффектов поляризованной скрытой странности в нуклонах» (проект NIS) для исполнения с первым приоритетом. ПКК отметил желание ОИЯИ участвовать в астрофизических исследованиях в экспериментах на искусственных спутниках Земли и предварительно одобрил проект ТУС, однако предложил авторам этой инициативы представить на следующей сессии ПКК доработанный проект для окончательного заключения по этому предложению.

ПКК рекомендовал дирекции ОИЯИ открыть две новые темы: «Измерение времени жизни  $\pi^+\pi^-$ -атома с целью проверки низкоэнергетических предсказаний КХД» (проект DIRAC) и «Исследование редких процессов» (проект «Измерение вероятности распада  $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ », участие ОИЯИ в эксперименте E391a в КЕК-PS) вместо темы «Исследование адрон-адронных и лептон-адронных взаимодействий».

Рассмотрев состояние текущих экспериментов, ПКК отметил успешный ход работ по запуску спектрометра COMPASS и прогресс в выполнении обязательств ОИЯИ по этому проекту. В то же время ПКК выразил обеспокоенность тем, что программа эксперимента COMPASS может быть не завершена, если ЦЕРН решит сократить программу исследований на фиксированной мишени SPS. ПКК призвал дирекцию ОИЯИ отстаивать интересы эксперимента COMPASS в переговорах с ЦЕРН.

ПКК с интересом воспринял отчет об участии ОИЯИ в проекте D0 и отметил успешное завершение большой работы по модернизации мюонной системы D0. ПКК поддержал желание физиков ОИЯИ уча-

ствовать в осуществлении физической программы тэватрона.

ПКК поздравил физиков ОИЯИ, участвующих в эксперименте STAR, с запуском ускорителя RHIC и успешным началом выполнения научной программы эксперимента STAR, отметив значительный вклад ОИЯИ в создание электромагнитного калориметра (EMC) и развитие программного обеспечения систем EMC.

Заслушав доклады, представленные А. В. Гладышевым и О. В. Теряевым, ПКК высоко оценил участие физиков ЛТФ в теоретических исследованиях, связанных с разработкой научных программ экспериментов CDF, D0 и STAR. ПКК рекомендовал дирекции ОИЯИ поддерживать эти важные исследования, проводимые на высоком уровне.

ПКК отметил значительный прогресс в развитии ускорительного комплекса нуклотрона, достигнутый за последние годы, и предложил представить проект перспективной и скоординированной научно-технической программы развития нуклотрона до конца 2005 г. на сессии ПКК в ноябре 2002 г.

ПКК рекомендовал продление работ по проектам «Сфера» и ГИБС с первым приоритетом до конца 2004 г., отметив, что установка «Сфера» является очень важным детектором для экспериментов на пучках нуклотрона с медленным выводом. ПКК также рекомендовал научному руководству ЛВЭ сформировать международную коллаборацию, которая смогла бы представить научный проект использования потенциала эксперимента «Сфера» на успешно выведенном пучке нуклотрона.

Программно-консультативный комитет одобрил перечень работ первого приоритета научной программы ОИЯИ по физике элементарных частиц и релятивистской ядерной физике на 2002–2004 гг., а также принял ряд рекомендаций относительно проектов второго приоритета.

ПКК выразил благодарность профессору В. Д. Кекелидзе за интересный научный доклад «Явление прямого CP-нарушения», в котором были представлены новые фундаментальные результаты, полученные в эксперименте NA-48, отметив определяющий вклад ОИЯИ в организацию и проведение этого эксперимента.

#### **15-я сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред состоялась 22–23 ноября 2001 г. под председательством доктора Х. Лаутера.**

Главный ученый секретарь ОИЯИ В. М. Жабицкий сообщил о рекомендациях и мнениях 90-й сессии Ученого совета ОИЯИ, которые даны в резолюции в разделе «Рекомендации в связи с работой ПКК» касательно исследований по физике конденсированных сред. Обсуждения на сессии ПКК были сосредоточены на этих вопросах.

*Реактор ИБР-2.* Заслушав доклад главного инженера ЛНФ В. Д. Ананьева, ПКК отметил прогресс в выполнении программы модернизации ИБР-2. Члены ПКК выразили удовлетворение тем, что финансовая поддержка со стороны Минатома поступает вовремя, но обратили внимание на задержку финансирования из бюджета ОИЯИ.

ПКК подчеркнул, что недостаток основного финансирования и соблюдение графика работ необходимо полностью восстановить в следующем финансовом году. Старение персонала реактора следует рассматривать как серьезную опасность для выполнения программы модернизации. Должны быть приняты своевременные меры во избежание приближающегося кризиса. Необходимо составить штатное расписание, предполагающее заполнение всех вакансий.

*Холодный замедлитель.* Начальник сектора ЛНФ Е. П. Шабалин доложил о перспективах существующего холодного источника и возможностях оптимизации нового широкополосного источника, устанавливаемого вокруг новой активной зоны реактора. Именно благодаря сочетанию высокопоточного реактора ИБР-2 и его широкополосного источника появятся уникальные возможности, которые будут использованы в измерениях на спектрометрах. Было отмечено, что 350 часов работы реактора в год недостаточно для получения максимального научного выхода при существующем широкополосном источнике. ПКК предложил осуществить программу обновления широкополосного источника, которую следует начать с программы развития широкополосного источника, включающей выбор и оптимизацию отдельных параметров установок с точки зрения широкополосного источника; оптимизацию параметров самого широкополосного источника на основе численных расчетов.

*Спектрометры.* Каналы спектрометра малоуглового рассеяния и фурье-дифрактометра уже выходят на существующий широкополосный источник; при этом третий канал свободен. ПКК рекомендовал оптимизировать два спектрометра (ЮМО и ФДВР) для использования широкополосного источника, а также поддержал дальнейшие разработки в связи с созданием европейского источника нейтронов ESS.

*ДЭЛСИ.* ПКК принял к сведению проект «ДЭЛСИ. Фаза 1: линак-800 и лазеры на свободных электронах», представленный М. В. Юрковым. ПКК выразил дирекции и Ученому совету ОИЯИ свое мнение, что работы, связанные с ДЭЛСИ, не будут приветствоваться до тех пор, пока не будет обеспечено необходимое финансирование модернизации ИБР-2 с криогенным замедлителем и пока не будут выделены гранты на развитие экспериментальной аппаратуры. ПКК рекомендовал представить научную программу «Фазы 1» вместе с описанием экспериментальных установок соответствующих исследовательских групп на следующей сессии ПКК, предварительно направив членам ПКК.

*Политика пользователей.* Ученый секретарь ЛНФ В. В. Сиколенко доложил о состоянии политики

пользователей в ЛНФ. ПКК рекомендовал ввести два срока подачи предложений в год.

*Исследовательские программы и научные доклады.* ПКК с удовлетворением отметил все научные доклады, представленные на сессии. Во многих докладах авторы высказались за создание международных коллабораций. ПКК, безусловно, поддерживает любое международное сотрудничество, способствующее повышению результативности научных исследований.

ПКК принял к сведению информацию, представленную директором УНЦ С. П. Ивановой, о проведении международной школы «Ядерные методы и ускорители в биологии и медицине» (Дубна, 27 июня – 11 июля 2001 г.). ПКК высоко оценил итоги работы этой школы, в которой участвовали студенты и лекторы из стран-участниц ОИЯИ, и рекомендовал регулярно проводить такие школы в будущем.

#### **15-я сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике состоялась 26–28 ноября 2001 г. под председательством профессора Н. Роули.**

Члены ПКК заслушали отчет о выполнении рекомендаций 14-й сессии ПКК и информацию о резолюции 90-й сессии Ученого совета ОИЯИ (июнь 2001 г.). ПКК отметил успешное завершение первой фазы проекта DRIBs и закрытие реактора ИБР-30, что должно способствовать завершению проекта ИРЕН в запланированные сроки. ПКК высоко оценил результаты по синтезу сверхтяжелого элемента с  $Z=116$  в ЛЯР, которые подтвердили проведенную ранее идентификацию элементов с  $Z=114$ ,  $112$  и  $110$ .

*Ядерная физика с помощью нейтронов.* Отметив прогресс в реализации проекта ИРЕН, ПКК констатировал, что наличие финансовых проблем задерживает сроки создания этой базовой установки ОИЯИ. ПКК поддержал предложение руководителей проекта по параллельной реализации его отдельных частей, в частности реализации первой стадии линейного ускорителя ЛУЭ-200 к середине 2003 г. Для завершения проекта в запланированные сроки (конец 2003 г.) необходимо обеспечить регулярное финансирование и постоянную поддержку технических служб ОИЯИ.

ПКК заслушал сообщение о научно-исследовательской программе по нейтронной ядерной физике на 2002–2004 гг. в ЛНФ и отметил, что она является основой для дальнейших исследований на создающемся источнике нейтронов ИРЕН, а также рекомендовал дирекции ЛНФ сделать все возможное для вовлечения молодых ученых в эту программу.

*Физика тяжелых ионов.* ПКК отметил успешное завершение первой серии экспериментов по синтезу сверхтяжелых элементов с  $Z=110$ ,  $112$ ,  $114$  и  $116$  в реакциях  $^{48}\text{Ca}$  с ядрами-мишенями U, Pu и Cm. ПКК рекомендовал продолжить исследования по синтезу элемента с  $Z=118$  и поддержал продолжение работ по

изучению химических свойств сверхтяжелых элементов. ПКК также одобрил разработку масс-сепаратора «Маша», который позволит точно ( $\Delta A \approx 0,3$ ) определять массу сверхтяжелых элементов.

ПКК отметил завершение первой фазы проекта DRIBs в запланированные сроки и выразил надежду на аналогичный прогресс в реализации второй фазы проекта, основанной на новейшей технике получения радиоактивных пучков, и для сохранения лидирующей позиции ЛЯР поддержал быстрое развитие второй фазы проекта.

ПКК обратил внимание на первое наблюдение резонансных состояний  $^4\text{H}$  и  $^5\text{H}$  в экспериментах с низкотемпературной тритиевой мишенью на установке АКУЛИНА и подчеркнул важность результатов, полученных при изучении деления слабо возбужденных сверхтяжелых ядер с одновременным использованием многодетекторных систем КОРСЕТ (осколки деления) и ДЕМООН (нейтроны). ПКК одобрил программу научных исследований ЛЯР на 2002–2004 гг., включающую синтез и изучение физических и химических свойств сверхтяжелых ядер, изучение реакций слияния, приводящих к образованию компаунд-ядер с  $Z = 120 \div 122$ , и исследование их мод деления, эксперименты с ускоренными ионами  $^6\text{He}$  и  $^8\text{He}$  для изучения упругого и неупругого рассеяния. ПКК отметил, что эти эксперименты должны иметь высокий приоритет. Для своевременной реализации второй фазы проекта DRIBs в 2002 г. ПКК рекомендовал обеспечить соответствующее финансирование и быстро провести подготовку экспериментального оборудования для работы с ускоренными пучками радиоактивных ионов.

*Физика низких и промежуточных энергий.* Члены ПКК ознакомились с установками протонной терапии ОИЯИ и отметили их отличное рабочее состояние. ПКК была представлена обширная программа фундаментальных исследований ЛЯП на 2002–2004 гг. в рамках таких экспериментов, как NEMO, TGV, GENIUS, «Майорана», ФАМИЛОН, PIBETA, «Мюон», ANCOR, АСМус, CATALYSIS, LESI, DUBTO, ANKE-COSY, PP2 $\gamma$ , ЯСНАПП. ПКК поддержал эти эксперименты и предложил представить детальную информацию по каждому из них.

ПКК поддержал продолжение участия физиков ОИЯИ в программе ANKE-COSY (Юлих, Германия), в которой ожидается большой объем данных по физике частиц. В частности, предполагается получить:  $\omega$ -мезоны в  $p+n$ -реакции,  $a_0$  в  $p+p$ -реакции, подпрогоновые  $K^+$  и  $K^-$ .

ПКК заслушал сообщение о программе модернизации фазотрона и предложил рассмотреть на следующей сессии эту программу и перспективы дальнейших исследований.

*Программа исследований ЛТФ.* ПКК одобрил представленную программу исследований ЛТФ на 2002–2004 гг. и подчеркнул их важность в общей научной деятельности ОИЯИ. Существующий баланс участия в исследованиях молодых и опытных ученых представляет собой хорошую базу для выполнения этой программы. Однако для ее реализации необходимо увеличение финансирования международного сотрудничества.

*Информационные технологии и вычислительная физика.* ПКК еще раз подчеркнул важность соответствующего финансирования локальной, территориальной и внешней сетей, имеющих статус базовой установки. Учитывая существующую критическую ситуацию, ПКК отметил, что крайне важным является восстановление локальной сети, а также рекомендовал реализовать предложенные меры по обеспечению защиты локальной сети.

Комитет рекомендовал дирекции ОИЯИ открыть новую тему «Компьютерная физика для теоретических и экспериментальных исследований» с первым приоритетом на три года. ПКК выразил готовность выслушать информацию о работе экспертной группы ОИЯИ по сетям и компьютерингу, а также предложил представить доклады других лабораторий ОИЯИ по важным и срочным задачам, которые должны быть решены в области информационных технологий и вычислительной физики, и об их сотрудничестве с ЛИТ.

*Научные доклады.* Члены ПКК заслушали три доклада, связанные с программой исследований ОИЯИ по ядерной физике: «Гиперъядра  $^{10}\text{Be}$  и  $^{10}\text{B}$ : ключ к некоторым загадкам нелептонного взаимодействия» (Л. Мейлинг), «Исследование сверхтяжелых изотопов водорода  $^4\text{H}$  и  $^5\text{H}$  в реакциях  $t+d$  и  $t+t$ » (Г. М. Тер-Акопьян) и «Деление и квазиделение сверхтяжелых ядер» (М. Г. Иткис), и дали высокую оценку представленным в них новым результатам.

*Образовательная программа ОИЯИ.* ПКК заслушал отчет о результатах международной летней студенческой школы «Ядерные методы и ускорители в биологии и медицине» (Дубна, июнь–июль 2001 г.). ПКК поддержал деятельность УНЦ по организации международных студенческих школ и одобрил предложение руководства УНЦ о том, чтобы совместное руководство аспирантами в Дубне осуществляли ученые из стран и из ОИЯИ.

Члены ПКК приняли к сведению письменный отчет о II Европейском координационном совещании по сотрудничеству Восток–Запад в области ядерной физики (Сандански, май 2001 г.). ПКК одобрил результаты этого совещания и рекомендовал дирекции ОИЯИ учитывать их при планировании международного сотрудничества.

## ПРЕМИИ И ГРАНТЫ

**Премия им. Б. М. Понтекорво** 2001 г. присуждена доктору Н. Самиосу (BNL, Брукхейвен, США) за выдающийся вклад в физику частиц.

**Премия им. Н. О. Миклестада Американского общества инженеров-механиков (ASME)** прису-

ждена главному научному сотруднику Лаборатории теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова В. К. Мельникову за развитие глобального метода предсказания возникновения хаоса, известного в литературе как «метод Мельникова».

### ЛАУРЕАТЫ КОНКУРСА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ОИЯИ

#### I. В области теоретической физики

##### *Первая премия*

«Контракции алгебр Ли и разделение переменных». Авторы: П. Винтернитц, А. А. Изместьев, Г. С. Погосян, А. Н. Сисакян.

##### *Вторая премия*

«Радиально-возбужденные мезонные нонеты и глюбол в киральной кварковой модели». Авторы: К. Вайс, М. К. Волков, М. Надь, Д. Эберт, В. Л. Юдичев.

#### II. В области экспериментальной физики

##### *Первые премии*

«Синтез элемента 116 в реакции  $^{248}\text{Cm} + ^{48}\text{Ca}$ ». Авторы: Ю. Ц. Оганесян, Ю. В. Лобанов, А. Н. Поляков, И. В. Широковский, Ю. С. Цыганов, А. Н. Мезенцев, А. М. Сухов, М. Г. Иткис, К. Дж. Муди, Е. А. Карелин.

«Синтез изотопов 114-го элемента в реакциях  $^{242}\text{Pu} + ^{48}\text{Ca}$ ,  $^{244}\text{Pu} + ^{48}\text{Ca}$ ».

Авторы: Ф. Ш. Абдуллин, Г. В. Букланов, В. А. Горшков, А. В. Еремин, С. Н. Илиев, О. Н. Малышев, А. Г. Попеко, Дж. Ф. Уайлд, В. К. Утенков, З. Хофманн.

##### *Вторая премия*

«Измерение поляризации  $\Lambda$ - и  $\bar{\Lambda}$ -гиперонов и исследование рождения странных частиц в  $\nu_{\mu}$ -взаимодействиях по каналу заряженного тока в эксперименте NOMAD».

Авторы: С. А. Бунятов, Д. В. Кустов, Ю. П. Мереков, Д. В. Наумов, Б. А. Попов, А. В. Чуканов.

#### III. В области научно-методических исследований

##### *Первая премия*

«Получение высокоинтенсивного пучка ионов  $^{48}\text{Ca}$  на циклотроне У-400».

Авторы: В. Б. Кутнер, В. В. Бехтерев, Б. Н. Гикал, И. А. Иваненко, И. В. Калагин, В. Я. Лебедев, В. Н. Логинов, С. В. Пашенко, М. В. Хабаров, А. Н. Шаманин.

##### *Вторые премии*

«Автоматизированная линия сборки и испытания детекторов мюонной системы установки ATLAS».

Авторы: А. Л. Гонгадзе, М. И. Госткин, Д. В. Дедович, П. Г. Евтухович, С. А. Котов, И. Н. Потран, Н. А. Русакович, Д. В. Харченко, Э. Г. Цхададзе, Г. А. Шелков.

«Обнаружение и исследование экзотических адронных состояний  $N(3520)$  и  $K(1630)$  с похожими особенностями».

Авторы: В. М. Карнаухов, В. И. Мороз, К. Кока.



#### **IV. В области научно-технических прикладных исследований**

##### *Первая премия*

«Безазотный режим криогенного обеспечения нукло-трона: обоснование, создание аппаратуры и экспериментальное исследование в сеансах».

Авторы: Н. Н. Агапов, В. И. Батин, Б. В. Василишин, В. И. Волков, Л. Спасов, А. Д. Коваленко, И. И. Куликов, П. М. Пятибратов, Г. Г. Ходжибагиян.

##### *Вторая премия*

«Нейтронотграфия в геологии и геофизике».

Авторы: К. Вальтер, Т. И. Иванкина, А. Н. Никитин, К. Уллемайер, К. Шеффцок.

##### *Специальная премия*

«Нейтроны низких энергий и их взаимодействие с ядрами и веществом».

Авторы: Ю. А. Александров, Ю. С. Замятин, А. В. Игнатюк, М. В. Казарновский, В. Ю. Коновалов, Н. В. Корнилов, Л. Б. Пикельнер, В. И. Пляскин, Ю. П. Попов, В. И. Фурман.

##### *Поощрительные премии*

«Изучение свойств самоорганизующихся систем методом малоуглового рассеяния нейтронов».

Авторы: Н. И. Горский, Ю. Калус, Ю. М. Останевич. «Разработка и исследование катодных стриповых камер».

Авторы: И. А. Голутвин, Ю. В. Ершов, А. В. Зарубин, В. Ю. Каржавин, Ю. Т. Кирюшин, С. А. Мовчан, П. В. Моисенз, В. В. Перельгин, Д. А. Смолин, В. С. Хабаров.

«Экспериментальное и модельное исследование особенностей динамики импульсного реактора ИБР-2».

Авторы: Е. А. Бондарченко, Ю. Н. Пепельшев, А. К. Попов.

#### **ГРАНТЫ**

В 2001 г. ряд научных проектов сотрудников Объединенного института ядерных исследований получили финансовую поддержку международных фондов МНТЦ, INTAS, INTAS–RFBR, DFG, DFG–RFBR, CNRS, CNRS–RFBR, CRDF, а также фондов Министерства промышленности, науки и технологий РФ.

Минпромнауки РФ совместно с РФФИ профинансировали 4 гранта Президента РФ «Ведущие научные школы». РФФИ профинансировал 80 проектов по конкурсу «Инициативные проекты», 9 проектов по конкурсу «Проекты создания и развития информаци-

онных, вычислительных и телекоммуникационных ресурсов», 1 проект по конкурсу «Программное обеспечение суперЭВМ и суперкомпьютерных центров», 2 проекта по конкурсу «Региональный конкурс 2001 года: Подмосковье». По конкурсу «Программа поддержки молодых ученых» сотрудниками Института было получено 7 грантов.

37 сотрудникам ОИЯИ присуждены государственные научные стипендии президиума Российской академии наук.

# МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ И НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО



## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Основные итоги 2001 г. по международному научно-техническому сотрудничеству Объединенного института ядерных исследований отражают следующие данные:

- проведены совместные исследования с научными центрами стран-участниц, а также международными и национальными организациями других стран по 39 темам первого приоритета и по 7 темам второго приоритета;
- для решения вопросов сотрудничества и участия в научных совещаниях и конференциях Объединенный институт командировал 2868 специалистов;
- для совместных работ и консультаций, а также для участия в совещаниях, конференциях, школах в ОИЯИ было принято 1354 специалиста;
- организовано и проведено 21 международная научная конференция, 22 рабочих и 12 организационных совещаний;
- в лабораториях Института работали 17 его стипендиатов.

Международное сотрудничество ОИЯИ оформлено соответствующими соглашениями и договорами. Его развитие предусматривает проведение совместных экспериментов на базовых установках физических центров, получение научных результатов, подготовку общих публикаций участников сотрудничества, поставку оборудования и технологий для заинтересованных сторон и многое другое.

На заседании Координационной комиссии по сотрудничеству Объединенного института ядерных исследований с научными центрами Республики Польша, состоявшемся 20 января, принято и подписано резюме, в котором, в частности, говорится: «Совещание подтверждает, что сотрудничество между ОИЯИ и польскими научными центрами, базирующееся на членстве Польши в Объединенном институте, является важным для проведения научных исследований. ОИЯИ дает польским ученым дополнительные возможности для использования научного потенциала

России. Через ОИЯИ могут быть реализованы важные связи с научными центрами всех государств — членом Института. Сотрудничеству ОИЯИ и научных центров Польши необходимо придать дополнительный импульс с целью участия дубненских специалистов в работах, проводимых в научных центрах Польши, шире и эффективнее используя целевые совместные научные программы».

20 января директор по исследованиям ЦЕРН профессор К. Детраз посетил Лабораторию ядерных реакций им. Г. Н. Флерова и Лабораторию физики частиц, где ознакомился с ходом работ по синтезу сверхтяжелых элементов и совместных работ по эксперименту COMPASS. Состоялись его беседы с вице-директором ОИЯИ А. Н. Сисакяном, научным руководителем ЛЯР Ю. Ц. Оганесяном, директором ЛЯР М. Г. Иткисом, директором ЛФЧ В. Д. Кекелидзе, почетным директором ЛФЧ И. А. Савиным и др.

11-е совещание Координационного комитета по выполнению Соглашения между Федеративным министерством науки, образования и технологий (БМБФ, ФРГ) и Объединенным институтом ядерных исследований о сотрудничестве и использовании установок Института проходило в Лейпциге 5–6 февраля. Делегацию ОИЯИ возглавлял директор Института академик В. Г. Кадышевский. Заседания комитета проводили его председатели — доктор Г.-Ф. Вагнер (БМБФ) и профессор А. Н. Сисакян (ОИЯИ).

Дирекция ОИЯИ проинформировала комитет о наиболее важных научных результатах, полученных Институтом в 2000 г., о ходе выполнения программы реформирования Института, преобразованиях в научной сфере, выполнении образовательной программы. Немецкая сторона положительно оценила ход научных работ и поздравила ОИЯИ с выдающимися результатами, достигнутыми в экспериментах по синтезу сверхтяжелых элементов и в развитии методов

структурной нейтронографии по времени пролета с использованием импульсных и стационарных реакторов. Стороны отметили прогресс в реализации совместных проектов.

По предложению ВМБФ размер немецкого взноса, предоставляемого ОИЯИ в 2001 г., должен составить 2 миллиона немецких марок. Комитет утвердил распределение этого взноса по традиционным направлениям сотрудничества: теоретическая физика, нейтронная физика, физика тяжелых ионов и физика высоких энергий (эксперименты в DESY, Гамбург). Выделены также средства на проекты, связанные с компьютерной инфраструктурой ОИЯИ и другими работами общеинститутского назначения.

Учитывая обоюдное желание немецких и дубненских ученых увеличить число совместных проектов, руководство ВМБФ впервые решило выделить на новые проекты 160 тысяч марок дополнительно к немецкому взносу в этом году. Обсуждался вопрос о статусе немецких сотрудников в Объединенном институте, находящихся в Дубне в соответствии с Соглашением ВМБФ–ОИЯИ. Вниманию дубненских участников совещания были также представлены долгосрочные программы развития крупнейших исследовательских центров ФРГ.

7–9 февраля директор ОИЯИ академик В. Г. Кадышевский и вице-директор профессор А. Н. Сисакян посетили с рабочим визитом Флоридский университет (Гейнсвилл, США), где обсудили вопросы сотрудничества в области теоретической и экспериментальной физики частиц, информационных технологий и других направлений с ведущими профессорами университета П. Рамоном, Г. Мицельмахером и другими учеными. Заключено соглашение о сотрудничестве между ОИЯИ и этим университетом, которое предусматривает совместное участие в ряде исследовательских и образовательных проектов, обмен информацией, а также специалистами.

10–12 февраля руководители ОИЯИ побывали в Национальной лаборатории им. Э. Ферми (FNAL, Батавия), где завершалась подготовка к запуску на тэватроне обновленных установок D0 и CDF. Эксперименты начались в марте, в них принимают участие группы специалистов из ОИЯИ. При встрече с В. Г. Кадышевским и А. Н. Сисакяном директор FNAL профессор М. Визерелл выразил благодарность коллективу сотрудников ОИЯИ за своевременное и качественное выполнение принятых обязательств. Состоялись встречи с руководителями экспериментов и ведущими учеными FNAL, а также с группой сотрудников ОИЯИ, командированных во FNAL для участия в экспериментах. А. Н. Сисакян выступил на семинаре коллаборации CDF с докладом «Физика очень больших множественностей».

В. Г. Кадышевский и А. Н. Сисакян 13–15 февраля посетили Брукхейвенскую национальную лабора-

торию (BNL), где ознакомились с результатами первого сеанса на новом ускорителе релятивистских ядер RHIC, запущенном в 2000 г. В подготовке и проведении экспериментов на установке STAR участвовали группы сотрудников Лаборатории высоких энергий и Лаборатории физики частиц ОИЯИ. Руководители ОИЯИ встретились с директором BNL профессором Дж. Марбургером и обсудили широкий круг вопросов сотрудничества. Подписан протокол к Соглашению о сотрудничестве между ОИЯИ и BNL. Наряду с традиционными направлениями сотрудничества в Брукхейвене обсуждались также вопросы сотрудничества в области медицины и экологии.

26–27 февраля в Будапеште находилась делегация ОИЯИ, которую возглавил вице-директор Института профессор Ц. Вылов. Состоялись две встречи с генеральным секретарем Венгерской академии наук академиком Н. Кроо. С венгерской стороны в переговорах участвовали академики Ж. Болт, Б. Кардон, Д. Киш и другие венгерские ученые. Был обсужден широкий круг вопросов, представляющих интерес для обеих сторон, отмечен успешный ход дел по выполнению совместной программы исследований в рамках двустороннего Соглашения между ОИЯИ и ВАН и согласован список совместных проектов, намеченных к реализации в 2001 г. Достигнуто согласие о двустороннем выдвижении предложений совместных проектов со сроками их выполнения до трех лет. В ЦИФИ (Будапешт) делегация встретила венгерскими учеными, работающими в рамках Соглашения ОИЯИ–ВАН. Обсуждены различные вопросы, связанные с эффективностью совместных исследований.

28 февраля в Минпромнауки прошла встреча Полномочного Представителя правительства РФ в ОИЯИ первого заместителя министра академика М. П. Кирпичникова с вице-директором ОИЯИ профессором А. Н. Сисакяном. Состоялось подробное обсуждение состояния дел в ОИЯИ. Особое внимание было уделено вопросам, связанным с подготовкой к заседаниям Финансового комитета (23 марта), Комитета Полномочных Представителей правительств стран-участниц ОИЯИ (26–27 марта). М. П. Кирпичников дал ряд конкретных поручений аппарату Минпромнауки РФ. Во встрече принял участие заместитель начальника отдела Минпромнауки В. Г. Дроженко.

С 5 по 7 марта в Праге проходило заседание Координационного комитета ОИЯИ–Чехия, на котором были рассмотрены гранты по совместным научным работам. В состав комитета вошли: со стороны ОИЯИ — вице-директор ОИЯИ Ц. Вылов и директор ЛЯР М. Г. Иткис; со стороны Чешской Республики — профессора Ч. Шимане, М. Сук, Я. Добеш, а также Полномочный Представитель правительства Чешской Республики в ОИЯИ профессор Р. Мах. На заседании были заслушаны отчеты по результатам преды-



дущих проектов, которые были представлены чешскими учеными. К рассмотрению был предложен 21 проект, 17 из них получили поддержку.

13 марта в Ташкенте состоялась встреча главного ученого секретаря ОИЯИ В. М. Жабицкого с президентом АН Республики Узбекистан, Полномочным Представителем правительства Узбекистана в ОИЯИ академиком Б. С. Юлдашевым. Был обсужден широкий круг вопросов сотрудничества. Б.С. Юлдашев сообщил о ближайших планах по стабилизации участия Узбекистана в деятельности ОИЯИ. Различные аспекты научного сотрудничества физиков Узбекистана и Объединенного института были обсуждены с директором НИИПФ академиком Т. М. Муминовым и заместителем директора ИЯФ профессором У. С. Салимбаевым.

4 апреля в Минпромнауки состоялась рабочая встреча Полномочного Представителя правительства РФ в ОИЯИ первого заместителя министра академика М. П. Кирпичникова с директором ОИЯИ академиком В. Г. Кадышевским, вице-директором профессором А. Н. Сисакьяном, помощником директора по финансовым и экономическим вопросам В. В. Катрасевым. Обсуждались итоги заседания Комитета Полномочных Представителей, состоявшегося в марте, ход выполнения поручения правительства по обращениям дирекции ОИЯИ, депутата Госдумы В. В. Гальченко и губернатора Московской области Б. В. Громова о выполнении РФ своих финансовых обязательств перед ОИЯИ. В ходе встречи М. П. Кирпичников дал ряд указаний аппарату Минпромнауки.

5 апреля с рабочим визитом Дубну посетил полномочный представитель Президента РФ в Центральном федеральном округе Г. С. Полтавченко. Состоялась его встреча с дирекцией Объединенного института ядерных исследований, гость посетил Лабораторию ядерных реакций им. Г. Н. Флерова, а также ряд предприятий города. По итогам визита состоялась пресс-конференция с представителями центральных и региональных СМИ.

11 апреля решением Минпромнауки Объединенный институт ядерных исследований аккредитован как научная организация. Этот государственный акт дает нашему Институту право, помимо получения долевого взноса России, участвовать в конкурсах на получение грантов РФ, а также в федеральных целевых программах, получать финансирование на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы наряду с другими аккредитованными в России организациями. Свидетельство о государственной аккредитации является основанием для предоставления научной организации ряда льгот на уплату налогов, предусмотренных российским законодательством.

11 апреля в Дубне подписано Соглашение о сотрудничестве между Учебно-научным центром ОИЯИ и международной аспирантурой Института ядерной физики им. Г.Неводничанского (Краков, Польша). Цель соглашения — расширение форм учебного процесса и научной деятельности, проводимых в Дубне и Кракове. Сотрудничающие стороны примут меры для обмена студентами, аспирантами, преподавателями и научными сотрудниками, для проведения совместных мероприятий, будут пропагандировать идею совместной учебы и подготовки дипломных работ, согласовывать планы дальнейшего сотрудничества.

С 21 по 25 апреля в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка проходило второе российско-германское совещание пользователей реактора ИБР-2. Его целью было подвести итоги сотрудничества, обсудить проблемы и результаты совместного использования установок на ИБР-2, а также наметить направления дальнейшего взаимодействия, рассмотреть новые проекты. С немецкой стороны в совещании приняли участие представители ВМБФ, ученые из исследовательских институтов и университетов Германии (Берлина, Дармштадта, Дортмунда, Лейпцига, Мюнхена, Потсдама, Фрайбурга, Юлиха и др.).

Сотрудничество физиков Лаборатории нейтронной физики и ученых из Германии продолжается на протяжении тридцати лет. Еще когда строился ИБР-2, немецкие физики принимали участие в создании приборной базы. В 1987 г. Германия заключила с ОИЯИ соглашение о сотрудничестве. Благодаря денежному взносу немецкой стороны на ИБР-2 существенно расширились возможности модернизации существующих и создания новых установок. На совещании в ЛНФ были заслушаны как доклады, посвященные отдельным установкам на ИБР-2, которые частично финансируются Германией, так и доклады о последних результатах научных исследований. Обсуждались проблемы дальнейшего развития экспериментальных установок.

22–25 апреля вице-директор ОИЯИ профессор А. Н. Сисакян находился в ЦЕРН, где принимал участие в качестве представителя ОИЯИ в заседаниях Обзорного ресурсного комитета (RRB) по экспериментам на ЛНС. На заседаниях были подведены итоги и намечены перспективы совместной работы по подготовке экспериментальных установок и программ на ALICE, ATLAS, CMS, LHCb. От ОИЯИ в качестве экспертов также участвовали И. А. Голутвин, А. С. Водопьянов, Г. А. Шелков. А. Н. Сисакян провел рабочие встречи с генеральным директором ЦЕРН профессором Л. Майяни, директором по исследованиям профессором Р. Кэшмором и др.

26–29 апреля директор ОИЯИ академик В. Г. Кадышевский и вице-директор профессор А. Н. Сисакян были с рабочим визитом в Международном Соль-

вевском институте физики и химии. Проведены переговоры по итогам и планам совместных работ. Заместитель директора МСИФХ профессор И. Антониу высоко оценил вклад ученых ОИЯИ в реализацию совместных проектов. В переговорах участвовал также заместитель директора Лаборатории информационных технологий ОИЯИ В. В. Иванов. По итогам переговоров было подписано генеральное соглашение о сотрудничестве между ОИЯИ и МСИФХ на 5 лет.

В Еврокомиссии состоялась встреча руководителей ОИЯИ с доктором И. Капуйе, членом кабинета уполномоченного по исследованиям, и другими сотрудниками секретариата, с которыми был обсужден проект соглашения ОИЯИ–ЕС, а также встреча с исполнительным директором программы АДОНИС Р. Вардапетяном.

В апреле в Таджикистане находились директор ОИЯИ академик В. Г. Кадышевский и помощник директора профессор П. Н. Боголюбов. Они приняли участие в заседании Совета Международной ассоциации академий наук и в торжествах, посвященных 50-летию Академии наук Таджикистана. Одним из главных итогов визита стало подписание тройственного соглашения между Объединенным институтом, Академией наук Таджикистана и Таджикским государственным университетом в Душанбе. Соглашение предусматривает обмен учеными, аспирантами и студентами. Это позволит восстановить научные связи, которые в последнее время ослабли, поскольку Таджикистан не является членом ОИЯИ. Отмечалось, что Объединенный институт сыграл выдающуюся роль в подготовке научных кадров для Республики Таджикистан. Для них работа в ОИЯИ была полезной и плодотворной, и многие надеются на то, что Таджикистан станет полноправным членом ОИЯИ. В. Г. Кадышевский имел беседу с Президентом республики Э. Рахмоновым и пригласил его посетить Дубну. Приглашение было с благодарностью принято.

В повестку заседания Совета МААН, которое проходило под председательством академика НАН Украины Б. Е. Патона, был включен его доклад о состоянии сферы науки и актуальных проблемах жизнедеятельности академий наук на современном этапе. На заседании выступил В. Г. Кадышевский. Участники встречи отмечали, что высоко оценивают деятельность Объединенного института — первоклассного научного центра, имеющего широкие международные связи.

С 4 по 9 мая в городе Сандански (Болгария) проходило II Европейское координационное совещание по сотрудничеству Восток–Запад в области ядерной физики (Сандански-2). Оно было организовано Комитетом по ядерной физике Европейского физического общества совместно с ОИЯИ, Институтом ядерных исследований и ядерной энергетики БАН (София) и Комитетом по мирному использованию атомной

энергии Болгарии. В совещании приняли участие ученые из 18 стран Европы, США, Японии и ОИЯИ. Основная цель совещания — укрепить и расширить сотрудничество между институтами и лабораториями стран Западной и Восточной Европы. Большое внимание уделено молодым физикам всех европейских стран. Совещание закончилось принятием ряда документов, содержащих анализ результатов и перспектив уже существующих и создания новых коллабораций.

15–16 мая Объединенный институт ядерных исследований посетила делегация из Белоруссии: Полномочный Представитель правительства Республики Белоруссии в ОИЯИ академик А. И. Лесникович, вице-президент НАН Белоруссии академик П. А. Витязь, первый заместитель начальника Управления социально-культурной политики Совмина Белоруссии А. В. Кухарев, генеральный директор академического научно-технического комплекса «Сосны» С. Е. Чигринов, директор Национального центра физики частиц и высоких энергий Белорусского государственного университета профессор Н. М. Шумейко, декан физического факультета БГУ В. М. Анищик. Гостям были представлены основные направления исследований в ОИЯИ, были проведены ознакомительные экскурсии по лабораториям, состоялись встречи с дирекцией ОИЯИ и белорусским землячеством.

17–18 мая Объединенный институт ядерных исследований посетила делегация немецких ученых из Дармштадта — директор Общества по исследованиям с тяжелыми ионами (ГСИ) профессор В.-Ф. Хеннинг, заместитель директора профессор Х. Гутброт, начальник отдела ГСИ Г. Мюнценберг. Гости ознакомились с исследованиями и установками Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова и Лаборатории высоких энергий. Профессор В.-Ф. Хеннинг провел семинар «Планы на будущее ГСИ». В рамках визита состоялась встреча с дирекцией, на которой обсуждались текущие вопросы совместных исследований, планы на будущее. Представителям ГСИ был продемонстрирован широкий спектр деятельности Объединенного института. Гости отметили свой интерес ко многим из этих направлений — как среди чисто научных, теоретических проблем, так и среди прикладных.

29–31 мая в ОИЯИ находился профессор Жан Тран Тан Ван (Орсэ, Франция). Он широко известен как основатель серии конференций «Rencontres de Moriond», «Rencontres de Blois» и «Rencontres du Vietnam», на которых за 30 лет побывало много физиков из ОИЯИ. Профессор Тран Тан Ван посетил Лабораторию теоретической физики и Лабораторию ядерных реакций, а также был принят дирекцией ОИЯИ. Обсуждались планы сотрудничества и участия вьетнамских физиков в деятельности ОИЯИ. Во встрече принял участие Полномочный Представитель правительства Вьетнама в ОИЯИ, президент Национально-

го центра научных исследований Вьетнама академик Нгуен Ван Хьеу. Профессора Тран Тан Вана сопровождали корреспонденты вьетнамского телевидения.

11 июля в Женеве вице-директор ОИЯИ профессор А. Н. Сисакян встретился с генеральным директором ЦЕРН профессором Л. Майани. В состоявшейся продолжительной беседе были затронуты многие важные вопросы сотрудничества двух крупнейших международных организаций. В частности, достигнута принципиальная договоренность о продлении генерального соглашения о сотрудничестве ЦЕРН и ОИЯИ. Запланировано проведение в Москве совместной выставки «Наука сближает народы», посвященной вкладу ЦЕРН и ОИЯИ в развитие науки, международного сотрудничества, в дело сближения народов. Во встрече участвовал руководитель группы ОИЯИ в ЦЕРН А. Г. Ольшевский.

А. Н. Сисакян встретился также с директором по исследованиям ЦЕРН профессором Р. Кэшмором, координаторами сотрудничества со странами-участницами ЦЕРН профессором Дж. Аллаби и Н. Кульбергом, руководителями коллабораций П. Йенни, М. Делла Негра и многими другими ведущими учеными и специалистами. В ходе бесед широко обсуждались вопросы сотрудничества в области научных и образовательных программ.

28 июля перед административным зданием ОИЯИ был торжественно открыт памятник академику Николаю Николаевичу Боголюбову — выдающемуся физика, математику, механику XX столетия. На церемонии открытия выступали директор Института академик В. Г. Кадышевский, глава города Дубны В. Э. Прох, почетный директор Лаборатории теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова академик Д. В. Ширков, академик Е. М. Примаков, академик А. А. Логунов, профессор П. Н. Боголюбов. Выступавшие отметили выдающийся вклад Н. Н. Боголюбова в науку, который будет определять развитие многих областей естествознания. Созданные им научные школы плодотворно работают в Дубне, Москве, Киеве. Четверть века руководил Н. Н. Боголюбов Объединенным институтом ядерных исследований, здесь выросли его ученики, ставшие крупнейшими учеными — физиками и математиками. На церемонии открытия присутствовал автор памятника — известный скульптор академик М. К. Мерабишвили, воплощенный в бронзе замечательный образ ученого и человека.

24 августа Объединенный институт ядерных исследований посетили вице-председатель Национального научного совета Тайваня доктор Чин-ю-Шце и старший научный сотрудник Ядерного института Тайваня доктор Хень-тук-Хуан. Гости встретились с вице-директором ОИЯИ профессором А. Н. Сисакяном, посетили Лабораторию ядерных реакций им. Г. Н. Флерова.

19–22 сентября Лабораторию высоких энергий посетили лидеры проекта TRD/ALICE профессор Й. Штахель (директор Института физики Университета в Гейдельберге) и профессор П. Браун-Мюнцингер (заместитель директора ГСИ, Дармштадт). TRD — крупнейший в мире детектор переходного излучения, созданный для эксперимента ALICE на ЛНС. Гости ознакомились с работами, выполняемыми ЛВЭ по проекту, осмотрели создаваемый в корпусе № 40 участок по производству дрейфовых камер (для регистрации квантов переходного излучения), где в рамках этого проекта будет собрано и испытано 90 дрейфовых камер общей площадью около 150 м<sup>2</sup>.

Гостей тепло приветствовал директор ОИЯИ академик В. Г. Кадышевский. Состоялась беседа с вице-директором ОИЯИ профессором А. Н. Сисакяном, в которой также приняли участие заместитель директора ЛВЭ профессор И. А. Шелаев, координатор проекта TRD/ALICE в ОИЯИ профессор Ю. В. Заневский, руководитель отдела ЛВЭ профессор Ю. А. Панебратцев. Намечены планы дальнейшего сотрудничества.

9 октября председатель совета ESS (крупнейший европейский проект создания источника нейтронов испарительного типа) профессор П. Тиндеманс (Юлих, ФРГ) посетил Дубну с рабочим визитом. В дирекции ОИЯИ состоялась беседа с участием директора Института В. Г. Кадышевского, вице-директора А. Н. Сисакяна, директора ЛНФ А. В. Белушкина, помощника директора ОИЯИ П. Н. Боголюбова. Достигнуто соглашение об участии ОИЯИ в этом проекте как на этапе создания источника, так и в научных и прикладных исследованиях на нем. Профессор П. Тиндеманс побывал в ЛЯР и ЛНФ, где уже ведутся работы по расчетам и моделированию замедлителей нейтронов и мишени. Директор ЛНФ профессор А. В. Белушкин представляет ОИЯИ в совете ESS.

«Наука сближает народы». Фотовыставка под таким названием была развернута в Государственной Думе Российской Федерации. На презентацию выставки, состоявшуюся 10 октября, были приглашены депутаты Государственной Думы, представители министерств и ведомств России, главы дипломатических миссий, аккредитованные в Москве, деятели науки и культуры. О значении фундаментальной науки для развития мировой цивилизации, различных сторонах сотрудничества двух международных научных организаций — ОИЯИ и ЦЕРН — говорили в своих выступлениях на презентации директор ОИЯИ академик В. Г. Кадышевский, вице-директор ОИЯИ профессор А. Н. Сисакян, представитель дирекции ЦЕРН Дж. Эллис, председатель Комитета по международным делам Госдумы РФ Д. О. Рогозин, Полномочный Представитель правительства РФ в ОИЯИ академик М. П. Кирпичников, сотрудник ОИЯИ член-корреспондент АН Чехии И. Звара.



14 октября Объединенный институт ядерных исследований посетила делегация Республики Сербии, в составе которой были министр науки, технологий и развития Д. Домазет, заместитель министра Р. Пешич, директор Института ядерных наук «Винча» К. Субботич, руководитель проекта «Тесла» Н. Нешкович, руководитель лаборатории физики ИЯН «Винча» А. Добросавлевич.

В ОИЯИ гостей приняли директор Института академик В. Г. Кадышевский, вице-директора А. Н. Сисакян и Ц. Вылов, помощник директора П. Н. Боголюбов, руководители Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова. В программу визита входило посещение Лаборатории ядерных реакций, где создаются узлы циклотрона «Тесла» для Института ядерных наук «Винча». Эта работа ведется в рамках протокола о сотрудничестве между научными центрами Югославии и ОИЯИ, который действует до 2004 г. В ходе дискуссий, в которых принимали участие директор ЛЯР профессор М. Г. Иткис, научный руководитель лаборатории член-корреспондент РАН Ю. Ц. Оганесян и другие ведущие ученые и специалисты лаборатории, стороны заявили о намерении активизировать работы по созданию циклотрона. Министр Д. Домазет и вице-директор ОИЯИ Ц. Вылов подписали протокол, в котором выражено обоюдное желание поддерживать и развивать научно-техническое сотрудничество между исследовательскими центрами Югославии и ОИЯИ.

Делегация ОИЯИ в составе директора Института академика В. Г. Кадышевского и вице-директора профессора А. Н. Сисакяна 15–17 октября посетила Румынию с официальным визитом.

16 октября руководители ОИЯИ были приняты Президентом Румынии Ионом Илиеску. Во время часовой встречи с главой государства одной из стран-основателей ОИЯИ состоялся подробный разговор о задачах, которые стоят сегодня перед фундаментальной наукой, а также о международном сотрудничестве в области науки и образования. В. Г. Кадышевский и А. Н. Сисакян рассказали Президенту Румынии о последних достижениях и инициативах ОИЯИ и участии Румынии в деятельности Института, отметили важность расширения и углубления всестороннего сотрудничества. Господин И. Илиеску отметил важную роль ОИЯИ в развитии науки и подготовке кадров, в том числе для Румынии. Он подчеркнул, что Румыния намерена сотрудничать как с ОИЯИ, так и с ЦЕРН (где он побывал несколькими днями раньше). «Участие в обоих международных центрах очень важно в интересах европейского сотрудничества», — отметил Президент.

Господин И. Илиеску высоко оценил инициативу проведения выставок «Наука сближает народы». «Это мое твердое убеждение: наука призвана не углублять пропасть между людьми, а сближать людей», — сказал в заключение Президент Румынии. Ему было передано приглашение посетить ОИЯИ. Он сказал,

что охотно воспользуется им при первой возможности. Теплый прием делегации ОИЯИ был оказан 15 октября в Румынской академии наук (РА). Гостей приняли президент РА академик Е. Симион и другие. Состоялся продолжительный и деловой обмен мнениями о путях расширения научных, технических и образовательных связей.

15–17 октября состоялись деловые встречи с рядом руководителей Министерства образования и науки Румынии. Согласованы конкретные шаги по стабилизации участия Румынии в деятельности ОИЯИ, углублению сотрудничества по ряду направлений исследований ОИЯИ.

В. Г. Кадышевский и А. Н. Сисакян встретились с научной общественностью Института им. Х. Хулубея, физического факультета Бухарестского университета и ряда других научных центров Румынии. Гости из ОИЯИ рассказали о научной программе международного центра в Дубне.

18–19 октября ОИЯИ посетила венгерская научная делегация — генеральный секретарь Венгерской академии наук Н. Кроо, начальник отдела ядерной физики Исследовательского института физики ядра и частиц ВАН профессор Д. Л. Надь, директор отдела международного сотрудничества ВАН Я. Пуштаи. Директор ОИЯИ академик В. Г. Кадышевский и академик Н. Кроо подписали протокол о продлении Соглашения о сотрудничестве ОИЯИ с Венгерской академией наук. В дирекции ОИЯИ состоялся обмен мнениями о продолжении сотрудничества, в котором участвовали со стороны Института директор ОИЯИ В. Г. Кадышевский, вице-директора Ц. Вылов и А. Н. Сисакян, главный ученый секретарь В. М. Жабичкий, помощник директора П. Н. Боголюбов. Гости посетили Лабораторию ядерных реакций им. Г. Н. Флерова.

21–24 октября вице-директор ОИЯИ А. Н. Сисакян принял участие в состоявшихся в ЦЕРН заседаниях Обзорного ресурсного комитета по экспериментам на LHC (ATLAS, CMS, ALICE, LHCb). Генеральный директор ЦЕРН Л. Майяни рассказал о статусе проекта LHC и о предложениях дирекции по реализации проекта в условиях возникшего удорожания. Были заслушаны сообщения руководителей экспериментов и координаторов по направлениям о ходе работ и планах на будущее. Л. Майяни сообщил, что новым сопредседателем Комитета по сотрудничеству ЦЕРН–ОИЯИ с ноября назначен директор по исследованиям Р. Кэшмор. Со стороны ОИЯИ сопредседателем является А. Н. Сисакян. 22 октября состоялась также встречи и консультации А. Н. Сисакяна с рядом членов дирекции ЦЕРН и руководителями совместных экспериментов. 24 октября проходило заседание Комитета по сотрудничеству ЦЕРН–ОИЯИ, на котором были рассмотрены итоги сотрудничества в 2001 г. и намечены планы на 2002 г. Комитет отметил

успешный ход совместных работ и выработал ряд рекомендаций на 2002 г.

28–31 октября вице-директор ОИЯИ профессор А. Н. Сисакян посетил Лабораторию Гран-Сассо Национального центра ядерных исследований Италии и ознакомился с ее экспериментальными установками. Состоялась встреча с директором лаборатории профессором А. Беттини. Были обсуждены вопросы развития сотрудничества ОИЯИ и ИНФИ. А. Н. Сисакян встретился также с руководителем эксперимента «Борексина» профессором Ж. Беллини, осмотрел установку, которая будет запущена в 2002 г., и провел обсуждение вопросов дальнейшего сотрудничества, в том числе вопросов продления генерального соглашения ОИЯИ и ИНФИ. В обсуждении принял участие руководитель группы ОИЯИ, участвующей в проекте, профессор О. А. Займидорога.

30 октября А. Н. Сисакян выступил на семинаре Лаборатории Гран-Сассо с докладами «О научной программе ОИЯИ» и «Физика очень больших множественностей» и передал приветственное письмо дирекции ОИЯИ, адресованное директору ИНФИ профессору И. Иероччи, в связи с 50-летием ИНФИ, которое отмечалось в 2001 г.

12 ноября в Москве с официальным визитом находился Президент Словацкой Республики Р. Шустер. Он посетил выставку и конференцию в В/О «Станкоимпорт», посвященные сотрудничеству между Словакией и Россией. В рамках этой выставки была развернута экспозиция ОИЯИ, которая продемонстрировала достижения международного научного центра в Дубне, в том числе работы по созданию Циклотронного центра в Братиславе, ведущиеся в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Вице-директор ОИЯИ А. Н. Сисакян сообщил Президенту Словакии и сопровождавшим его лицам о последних достижениях ОИЯИ. Заместитель директора ЛЯР Я. Климан рассказал о значении создания Циклотронного центра в Словакии. В рамках конференции начальник сектора ЛЯР А. Г. Артюх сделал доклад о создании в ОИЯИ словацкого циклотронного комплекса. Президент Словакии высоко оценил вклад ОИЯИ в развитие словацкой науки.

20 ноября в Минпромнауки РФ состоялась рабочая встреча первого заместителя министра, председателя Комитета Полномочных Представителей и Полномочного Представителя правительства РФ в ОИЯИ академика М. П. Кирпичникова с директором ОИЯИ академиком В. Г. Кадышевским и вице-директором профессором А. Н. Сисакяном. Руководители ОИЯИ проинформировали М. П. Кирпичникова о последних результатах работы Института. Обсуждены подходы к формированию бюджета ОИЯИ на 2002-й и последующие годы, вопросы реструктуризации долгов стран-участниц перед бюджетом ОИЯИ, вопросы привлечения новых партнеров к деятельности ОИЯИ,

некоторые проблемы международного сотрудничества и ряд других вопросов.

4-е рабочее совещание по научному сотрудничеству между ОИЯИ и Федеральным министерством образования, науки и технологий Германии (BMBF) прошло в Дубне 21–22 ноября. На совещании обсуждались результаты научных исследований, проводимых как в рамках соглашения между ОИЯИ и BMBF, так и в соответствии с двусторонними договорами между ОИЯИ и различными научными центрами Германии. Подробный аналитический доклад о современном состоянии сотрудничества представил вице-директор ОИЯИ профессор А. Н. Сисакян. В сотрудничестве с немецкими научными центрами лидирует Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова: теоретики взаимодействуют с 58 немецкими институтами и университетами. Девять совместных проектов осуществляются на реакторе ИБР-2, пять проектов — с Лабораторией ядерных реакций им. Г. Н. Флерова, один проект — по установке COSY (Юлих), два проекта — с GSI (Дармштадт) и четыре — с DESY (Гамбург).

28 ноября в Афинах В. Г. Кадышевский и А. Н. Сисакян были приняты вице-министром развития Греции Х. Теодороу (в его ведении находится генеральный секретариат Греции по науке и технологиям). Господин Х. Теодороу был проинформирован о деятельности ОИЯИ и сотрудничестве с греческими физиками, которые выступили с инициативой развития научных контактов с дубненскими учеными. Профессор И. Антониу от имени греческих физиков вручил вице-министру письмо группы ученых с предложением оформить ассоциированное членство Греции в ОИЯИ — международной межправительственной научной организации.

С 30 ноября по 2 декабря директор ОИЯИ В. Г. Кадышевский и вице-директор А. Н. Сисакян находились с краткосрочным визитом в ЦЕРН. Профессор А. Н. Сисакян, являющийся членом-наблюдателем Европейского комитета по ускорителям будущего (ЕСФА), принял участие в работе пленарного заседания ЕСФА. На заседании были рассмотрены основные результаты 2001 г. и планы развития крупных ускорительных центров Европы. 1 декабря академик В. Г. Кадышевский и профессор А. Н. Сисакян приняли участие в качестве наблюдателей в работе Комитета по сотрудничеству ЦЕРН–Россия. Комитет рассмотрел итоги сотрудничества в 2001 г. и наметил планы на будущее.

В. Г. Кадышевский и А. Н. Сисакян обсудили с директорами по исследованиям профессором Р. Кэшмором, профессором К. Детразом и координатором сотрудничества со странами-неучастницами ЦЕРН Н. Кульбергом широкий круг вопросов сотрудничества между ОИЯИ и ЦЕРН.

## КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ, ПРОВЕДЕННЫЕ ОИЯИ

Среди научных конференций и рабочих совещаний, организованных ОИЯИ в 2001 г., наиболее крупными были одиннадцать.

С 5 по 10 февраля в Дубне (Ратмино) проходила *5-я конференция молодых ученых и специалистов*, организованная Объединением молодых ученых и специалистов (ОМУС) ОИЯИ. В конференции приняли участие около 120 молодых ученых, студентов, аспирантов из университетов Москвы, Твери, Тулы, Воронежа, Самары, Екатеринбургa, Харькова, Лондона, а также из ведущих научных центров России. Было сделано около 60 научных докладов по основным направлениям теоретических и экспериментальных исследований в области физики ядра и элементарных частиц, конденсированных сред, ядерно-аналитических методов в решении задач окружающей среды, современных методов ускорения заряженных частиц, радиационных и радиобиологических исследований и информационных технологий.

21–22 февраля в ОИЯИ проводилось рабочее совещание *«Роль операционных систем LINUX в вычислительной инфраструктуре будущего»*, организованное ЛИТ ОИЯИ и фирмой «Хьюлетт Паккард» (НР). В работе совещания принимали участие более ста представителей научных центров, заинтересованных в развитии своей компьютерной инфраструктуры, — ЦЕРН, НИВЦ МГУ им. М. В. Ломоносова, ИСП РАН, ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, ИТЭФ, НИИЯФ МГУ, ИОХ РАН, ПИЯФ (С.-Петербург), НИИ Генеральной прокуратуры. На совещании присутствовали представители Министерства промышленности, науки и технологий РФ и Министерства экономического развития и торговли РФ, а также ведущих компаний и фирм — НР, «Oracle», «Informix», «Intel» и др., — поставляющих компьютерную периферию и программное обеспечение.

Вице-директор Института А. Н. Сисакян рассказал об истории создания ОИЯИ, основных направлениях его деятельности и базовых установках. В докладе Х. Лоренца, директора департамента корпоративных компьютерных систем фирмы «Хьюлетт Паккард», было отмечено, что его сотрудничество с Дубной и ОИЯИ началось в 1993 г. Он высоко оценил совместную работу фирмы НР с ОИЯИ. Одним из ярких докладов было выступление Л. Ги (ЦЕРН) о роли компьютеринга в организации процесса обработки и анализа данных от LEP до LHC. Заместитель директора ЛИТ В. В. Кореньков сообщил участникам совещания о перспективах развития информационно-вычислительной инфраструктуры ОИЯИ. По общему признанию слушателей, большой интерес вызвал доклад И. А. Сысоева, менеджера по стратегическим альянсам фирмы «Intel». В докладах были представлены современные тенденции информационных

технологий в различных сферах деятельности (бизнес, наука, образование, государственное и муниципальное управление). Обсуждались вопросы использования системы LINUX в различных сферах деятельности и решения компании НР в этой области, а также вопросы, касающиеся обмена опытом по портированию крупных программных комплексов в среду LINUX, и др.

С 23 по 26 мая в ОИЯИ проходил *9-й Международный семинар по взаимодействию нейтронов с ядрами (ISINN)*. По традиции на этот семинар собрались представители крупнейших западных научных центров, обладающих источниками нейтронов: Института Лауэ–Ланжевена, Лос-Аламосской национальной лаборатории, Института Гана–Майтнер, Делфтского технологического университета и др. Совместно с российскими учеными из Обнинска, Гатчины, Троицка, ОИЯИ обсуждались последние достижения в области нейтронной физики, возможности их применения в прикладных исследованиях, планы и результаты модернизации установок.

С 29 мая по 1 июня в Москве и Дубне проходили *II Сисакяновские чтения* и II Международный симпозиум под эгидой ЮНЕСКО *«Проблемы биохимии, радиационной и космической биологии»*, посвященный памяти академика Норайра Мартиросовича Сисакяна, крупнейшего ученого-биохимика, одного из основоположников космической биологии и медицины, выдающегося организатора науки и международного сотрудничества ученых. Организаторами симпозиума являлись Институт биохимии им. А. Н. Баха РАН, Институт медико-биологических проблем РАН, Национальная академия наук Армении и Объединенный институт ядерных исследований.

На открытии чтений, которые проводились 29 мая в Институте биохимии им. А. Н. Баха РАН, выступили первый заместитель министра промышленности, науки и технологий РФ академик М. П. Кирпичников, Чрезвычайный и Полномочный Посол Республики Армения в РФ С. М. Саакян, и. о. директора Института биохимии им. А. Н. Баха В. О. Попов, директор Института биохимии им. Г. Х. Бунатяна НАН Армении академик А. А. Галоян, академик АН Грузии Т. Г. Беридзе и др. В адрес симпозиума и чтений поступили приветствия от Академии наук Армении, от бюро ЮНЕСКО в Москве, от директора Международного Сольвеевского института физики и химии лауреата Нобелевской премии И. Пригожина, от мэрии г. Аштарак. Научная часть чтений состояла из трех докладов, посвященных развитию научного наследия Н. М. Сисакяна (докладчики: член-корреспондент РАН А. Н. Гречкин, академик Т. Г. Беридзе, профессор И. И. Филиппович). В тот же день участники чтений посетили могилу академика на Новодевичьем кладбище и возложили цветы.



На симпозиум, работа которого продолжилась в Дубне, было представлено более 100 научных докладов, в том числе 14 пленарных. Работа секций симпозиума проводилась по трем следующим направлениям: проблемы биохимии; космическая биология и медицина; общая и космическая радиобиология. Среди докладчиков были академик О. Г. Газенко, академик А. И. Григорьев, космонавт С. В. Авдеев, профессор Е. А. Красавин, профессор А. А. Замятнин и др. На симпозиуме была развернута фотовыставка, посвященная жизни и творчеству Н. М. Сисакяна. В рамках симпозиума был проведен конкурс работ молодых ученых по трем научным направлениям, в котором участвовало более 20 работ. Победителями конкурса стали: А. Н. Антипов (Институт биохимии им. А. Н. Баха), Д. Н. Буторина (Институт биохимии им. А. Н. Баха), Ю. И. Васина (Институт медико-биологических проблем) и Д. В. Журавель (ОРПИ ОИЯИ). Они были награждены почетными дипломами и денежными премиями.

С 11 по 17 июня в Лаборатории теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова проходила IX Международная конференция «*Суперсимметрии и объединения фундаментальных взаимодействий*» (SUSY'01). Она явилась первой конференцией этой серии в новом тысячелетии и ознаменовала собой 30-летний юбилей суперсимметрии. Первые конференции по суперсимметрии были организованы в США, но затем, превратившись в широкий форум, посвященный выходу за рамки стандартной модели фундаментальных взаимодействий на наиболее популярном направлении, стали попеременно организовываться на обоих берегах Атлантики. В 2000 г. такая конференция была организована в ЦЕРН в ожидании открытия суперсимметрии на ускорителе LEP. И, наконец, SUSY достигла России, как бы отдавая дань родине суперсимметрии в юбилейном году.

Тематика конференции была весьма разнообразна и охватывала как теоретические, так и экспериментальные работы по поиску суперсимметрии, представленные всеми мировыми коллаборациями. Прозвучало 35 пленарных и 75 секционных докладов. В конференции приняли участие ведущие ученые из ОИЯИ, России, Украины, Грузии, Словакии, Словении, Польши, Германии, ЦЕРН, Великобритании, Голландии, Греции, Израиля, Индии, Испании, Италии, Мексики, Португалии, США, Тайваня, Финляндии, Франции, Швеции, Южной Кореи и Японии. Конференция была организована при финансовой поддержке ЮНЕСКО, РФФИ, РАН, ОИЯИ и программ «Гейзенберг–Ландау» и «Боголюбов–Инфельд».

19–23 июня в Дубне проходила 3-я Международная конференция «*Новая физика в неускорительных экспериментах*» (NANP'01). Цель конференции — обсуждение современного состояния исследований в

области так называемой новой физики, ожидаемой за пределами стандартной модели (СМ) электрослабых взаимодействий. Основное внимание участников было уделено возможным проявлениям новой физики в неускорительных экспериментах. Круг связанных с этим теоретических проблем охватывает различные расширения СМ, включающие суперсимметрию и великое объединение фундаментальных взаимодействий, а также космологические аспекты физики элементарных частиц. Среди основных тем совещания: проблема массы и смешивания нейтрино, нейтринные осцилляции, солнечные и атмосферные нейтрино, безнейтринный двойной бета-распад и другие редкие процессы, небарионная темная материя во Вселенной. Научная программа конференции содержала вопросы как теоретических проблем новой физики, так и возможностей ее экспериментального наблюдения, соответствующих стратегий поиска, экспериментальных методик, действующих и планируемых экспериментов, обсуждение современных подходов к учету ядерной и адронной структуры в редких процессах и связанные с этим вопросы выделения эффектов новой физики.

С 27 июня по 11 июля на базе санатория-профилактория «Ратмино» Объединенного института ядерных исследований проходила Международная студенческая школа «*Ядерно-физические методы и ускорители в биологии и медицине*». Это была очередная школа в цикле летних студенческих школ, проводимых ОИЯИ. Широкое применение в медицине ионизирующих и неионизирующих излучений, радионуклидов и гамма-аппаратов, электронных и протонных ускорителей, компьютерных томографов сделало медицинскую физику «стратегическим оружием», настоящим и будущим медицины. Прикладная медицинская физика сегодня — это физика лучевой терапии, ядерной медицины, лучевой диагностики; физика неионизирующих методов диагностики и терапии; компьютеры и математическое моделирование в диагностике и лечении; радиационная безопасность и радиэкология. Школа проводилась для ознакомления студентов и аспирантов с последними достижениями и современными проблемами прикладной медицинской физики. На школу приезжали слушатели из Словакии, Польши, Чехии, Румынии, Белоруссии, России, Сенегала, Эквадора и Македонии. Рабочим языком школы был английский.

Преподавателями школы были 37 профессоров из ОИЯИ, а также университетов и институтов России, Польши, Чехии, США, Германии и Швейцарии. Общее количество участников школы — более 120 человек: из МИФИ, МГУ, Уральского университета, из вузов Липецка, Белоруссии, Словакии, университетов Польши, Чехии (Пражский технический университет), Румынии, Учебно-научного центра ОИЯИ. Важной особенностью школы явилось проведение студенческих сессий, на которых было пред-

ставлено 23 работы студентов из Польши, России, Чехии. По окончании школы были выделены три лучшие студенческие работы, которые отмечены призами.

С 3 по 8 июля в Ереване проходила IX Международная конференция «*Методы симметрии в физике*», организованная совместно Лабораторией теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова Объединенного института ядерных исследований и Международным центром перспективных исследований Ереванского государственного университета. Исторически серия конференций «Методы симметрии в физике» связана с рабочими совещаниями, организатором и вдохновителем которых был профессор Яков Абрамович Смодинский (1917–1992) и которые в течение ряда лет регулярно и довольно успешно проводились в Обнинске на базе Физико-энергетического института. С 1993 г. основным местом проведения конференций стала Дубна, где они проходили трижды — в 1993, 1995 и 1997 гг.

Открывая Ереванскую конференцию, вице-директор ОИЯИ и председатель международного комитета советников конференции профессор А. Н. Сисакян подчеркнул, что выбор Еревана в качестве места проведения конференции не был случайным и связан со славными традициями, которые имеет теоретическая физика в Армении. Уже общепризнано, что серия конференций «Методы симметрии в физике» стала одной из немногих регулярно проводимых конференций по столь широкой тематике, как применение математических методов для моделирования и описания физических систем на основе свойств их симметрии. Прошедшая конференция не явилась исключением. На ней были представлены многие направления, где симметричные аспекты играют важную роль, такие как интегрируемые и суперинтегрируемые системы, периодические и аperiodические системы, квантовая теория поля и струны, гравитация, космология и квантовая гравитация, ядерная, атомная и молекулярная физика, конденсированные среды и статистическая физика, квантовая оптика и когерентные состояния, теория дифференциальных и разностных уравнений.

В работе конференции приняли участие 80 ученых из 20 стран, в том числе 15 сотрудников ОИЯИ. С обзорными докладами выступили такие крупные ученые, как П. Винтерницц, Р. Джаквив, К. Фронсдал, Дж. Хиетаринта и др. Конференция прошла в знаменательный год, когда армянский народ и весь христианский мир отмечали 1700-летие принятия христианства в качестве государственной религии в Армении.

24–29 июля в поселке Листвянка вблизи Иркутска состоялся Международный симпозиум «*Экзотические ядра 2001 — Байкал*» (*EXON 2001 — Baikal*). Тематика симпозиума охватывала исследования сверхтяжелых элементов, свойств экзотических ядер, реакций с радиоактивными пучками, а также проекты

крупных фабрик радиоактивных пучков. Основными коллаборантами-организаторами совещания были Лаборатория ядерных реакций им. Г. Н. Флерова ОИЯИ, французский ядерный центр GANIL и японский центр RIKEN. О широком интересе к этой тематике свидетельствует «география» участников симпозиума: Бельгия, Бразилия, Великобритания, Германия, Италия, Польша, Румыния, Словакия, США, Украина, Финляндия, Франция, Швейцария, Япония.

С 7 по 16 августа в пансионате «Золотые пески» близ Гомеля (Белоруссия) проходила VI Международная школа-семинар «*Актуальные проблемы физики частиц*». Эта школа была юбилейной: первое такое мероприятие было организовано в Гомеле летом 1971 г. (ректором первой школы был профессор В. Г. Кадышевский). У истоков организации серии гомельских школ стояли такие крупнейшие ученые, как академик Н. Н. Боголюбов и академик АН Белоруссии Ф. И. Федоров, 90-летие со дня рождения которого было отмечено на школе 2001 г. специальным мемориальным заседанием.

В открытии школы приняли участие и выступили заместитель Полномочного Представителя правительства Белоруссии в ОИЯИ Н. М. Шумейко, вице-директор ОИЯИ А. Н. Сисакян, депутат Национального собрания, ректор Гомельского госуниверситета М. В. Селькин, академик Д. В. Ширков, председатель Гомельского отделения НАН Белоруссии Ю. М. Плещачевский и др. Школу посетил и выступил с приветствием от имени белорусского правительства министр образования В. И. Стражев. В программе школы было более 50 лекций по актуальным проблемам теоретической и экспериментальной физики элементарных частиц. С лекциями выступили ведущие ученые и специалисты европейских исследовательских центров: Д. В. Ширков, А. Н. Сисакян, Н. А. Русакович (ОИЯИ), В. Ломанн (DESY), Б. Лор (ЦЕРН), А. А. Богущ, Л. М. Томильчик (НАН Белоруссии), И. А. Карнаухов, Л. Л. Енковский (НАН Украины) и др.

Впервые со времени открытия 40 лет назад первой школы *Европейская школа по физике высоких энергий* прошла в Швейцарии, в Беетенберге, с 26 августа по 8 сентября. На школу съехались 95 студентов из 30 стран. Школу традиционно организуют ЦЕРН и ОИЯИ, а в этот раз в ее организации принял участие Университет Берна.

Европейская школа по физике высоких энергий является одним из главных мероприятий в календаре форумов по физике частиц. Традиция проведения этих школ берет свое начало в 1962 г. Вначале программа школы включала лекции по исследованиям в ядерной физике с помощью пузырьковых камер и эмульсионных технологий. С 1965 г. и по сегодняшний день целью школы является преподавание молодым экспериментаторам теоретической физики элементарных частиц.



## УЧАСТИЕ В МЕЖДУНАРОДНЫХ И НАЦИОНАЛЬНЫХ КОНФЕРЕНЦИЯХ

В 2001 г. ученые и специалисты Объединенного института ядерных исследований участвовали в 231 конференции.

Наиболее крупные делегации представляли Институт на 15-й Международной конференции по ультрарелятивистским ядро-ядерным столкновениям (Стоуни-Брук, США), 37-й зимней школе по теоретической физике (Карпач, Польша), 4-м Международном совещании по циклотронам и их применению (Каир, Египет), Международной конференции «Мюонный катализ и экзотические атомы» (Шимода, Япония), Школе ЦЕРН по ускорителям для медицины и промышленности (Пругонице, Чехия), Международной конференции «Охлаждение пучков и связанные с ним проблемы» (Бад-Хоннеф, Германия), Международной конференции по ядерной физике (Мессина, Италия), 3-й Национальной конференции по применению рентгеновского и синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования материалов (Москва, Россия), Международной конференции «Ядерная и радиационная физика» (Алма-Ата, Казахстан), конференции «Крым-2001» (Судак, Украина), Международном программном комитете по ядерной физике (Вако-ши, Япония), Международной конференции по ускорителям заряженных частиц (Чикаго, США), 10-м Международном коллоквиуме «Квантовые группы и интегрируемые системы» (Прага, Чехия), 12-й Всероссийской конференции «Исследовательские реакторы для науки и технологий» (Дими-

тровград, Россия), Международной конференции «Динамика пучков и оптимизация» (Саратов, Россия), 2-м Международном симпозиуме «Квантовые теории и симметрии» (Краков, Польша), Международной конференции по ядерной физике (Беркли, США), 51-й Международной конференции по ядерной спектроскопии и структуре ядра (Саров, Россия), Международной конференции по рассеянию нейтронов (Мюнхен, Германия), Международной конференции «Кристаллы: рост, свойства, реальная структура, применение» (Александров, Россия), 17-м Международном семинаре по ускорителям заряженных частиц (Алушта, Украина), 17-й Международной конференции по магнитной технологии (Женева, Швейцария), Международной конференции «Современные проблемы ядерной физики» (Ташкент, Узбекистан), 14-й Международной школе по ядерной физике, нейтронной физике и ядерной энергетике (Варна, Болгария), Всероссийской конференции «Мембраны-2001» (Лянзово, Россия), Международной конференции по ядерным данным (Цукуба, Япония), Международной конференции «Динамические аспекты деления ядер» (Часта-Паперничка, Словакия), Международной конференции «Актиниды-2001» (Хаяма, Япония), Международной конференции «Физика нестабильных ядер» (Киото, Япония), 2-м Международном симпозиуме «Достижения в исследованиях тяжелых элементов» (Токай, Япония).

### Справка о развитии международного сотрудничества и связей Объединенного института ядерных исследований в 1965–2001 гг.

	1965	1975	1985	1990	1995	2000	2001
1. Количество командировок в ОИЯИ специалистов из стран-участниц (без учета приездов на совещания)	203	1026	1469	1050	299	425	348
2. Количество командировок специалистов ОИЯИ в страны-участницы	171	474	600	778	682	682	883
3. Количество научных, методических и научно-организационных совещаний ОИЯИ	19	42	49	44	52	54	55
4. Количество командировок на международные конференции и в научные центры стран-участниц	69	131	119	437	1451	1946	1985
5. Количество приездов специалистов из стран-участниц	27	226	144	563	1036	990	763
6. Количество стипендиатов ОИЯИ		11	3	16	28	17	17

**Перечень научных и научно-организационных совещаний,  
проведенных Объединенным институтом ядерных исследований в 2001 г.\***

№	Наименование совещания	Место проведения	Время проведения	Количество участников
1.	89-я сессия Ученого совета ОИЯИ	Дубна	18–19 января	120
2.	23-е рабочее совещание по экспериментам на нейтринном детекторе ИФВЭ–ОИЯИ и эксперименту NOMAD	Дубна	24–26 января	34
3.	5-я Научная конференция молодых ученых и специалистов	Дубна (Ратимино)	5–10 февраля	140
4.	Рабочее совещание «Роль операционных систем LINUX в вычислительной инфраструктуре будущего»	Дубна	21–22 февраля	120
5.	2-я Школа по использованию рассеяния нейтронов и синхронного излучения	Дубна	19 марта – 27 апреля	80
6.	24-е заседание президиума группы по системам управления физическими экспериментами Европейского физического общества	Дубна	21–25 марта	11
7.	Семинар памяти В. А. Свиридова	Дубна	22 марта	90
8.	Заседание Финансового комитета ОИЯИ	Дубна	23 марта	80
9.	Заседание Комитета Полномочных Представителей правительств государств — членов ОИЯИ	Дубна	26–27 марта	120
10.	2-е Международное совещание «Синхронный источник ОИЯИ: перспективы исследований»	Дубна	2–6 апреля	106
11.	Рабочее совещание «Теория нуклеации и ее применения»	Дубна	2–28 апреля	57
12.	2-е Международное совещание «Физика больших множественностей»	Дубна	7–9 апреля	50
13.	Сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц	Дубна	9–10 апреля	100
14.	2-е германо-российское совещание пользователей ИБР-2	Дубна	21–25 апреля	48
15.	Сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике	Дубна	23–25 апреля	100
16.	Сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред	Дубна	27–28 апреля	70
17.	II Европейское координационное совещание по сотрудничеству Восток–Запад в области ядерной физики	Сандански, Болгария	4–9 мая	100
18.	Совещание «Ядерная медицина в XXI веке: радионуклидные методы диагностики и лечения в клинической онкологии»	Дубна	16–19 мая	60
19.	Рабочее совещание «Исследование взаимодействий релятивистских ядер на пучках нуклотрона методом фотоэмульсий»	Дубна	22–24 мая	40
20.	9-й Международный семинар по взаимодействию нейтронов с ядрами (ISINN-9)	Дубна	23–26 мая	120
21.	Рабочее совещание «ИБР-2 в XX веке»	Дубна	24 мая	150
22.	Рабочее совещание коллаборации «Байкал»	Дубна	28 мая – 2 июня	60
23.	Рабочее совещание «Применение лазеров в исследованиях атомных ядер»	Познань, Польша	28 мая – 1 июня	52
24.	2-й Международный симпозиум «Проблемы биохимии, радиационной и космической биологии», посвященный памяти академика Н. М. Сисакяна	Москва– Дубна, Россия	29 мая – 1 июня	103
25.	90-я сессия Ученого совета ОИЯИ	Дубна	7–8 июня	120

\*Ряд конференций был проведен совместно с другими организациями.

№	Наименование совещания	Место проведения	Время проведения	Количество участников
26.	9-я Международная конференция «Суперсимметрии и объединение фундаментальных взаимодействий»	Дубна	11–17 июня	200
27.	Рабочее совещание «Квантовая гравитация и суперструны»	Дубна	18–28 июня	60
28.	3-я Международная конференция «Новая физика в неускорительных экспериментах»	Дубна	19–23 июня	120
29.	Заседание контрольной комиссии Финансового комитета ОИЯИ	Дубна	21–22 июня	20
30.	Международная летняя студенческая школа «Методы ядерной физики и ускорители в биологии и медицине»	Дубна	27 июня – 11 июля	127
31.	Международный семинар «Компьютерная алгебра и ее приложения в физике»	Дубна	28–30 июня	70
32.	5-я Международная летняя школа молодых ученых и специалистов	Банска Штьявница, Словакия	30 июня – 9 июля	31
33.	Международный симпозиум «Бозе-эйнштейновская конденсация атомов в ловушках и атомные лазеры»	Москва, Россия	2–7 июля	70
34.	Международная конференция «Решения по управлению данными в научных исследованиях»	Дубна	3–5 июля	70
35.	9-я Международная конференция «Методы симметрии в физике»	Ереван, Армения	3–8 июля	350
36.	Рабочее совещание коллаборации NEMO	Дубна	4–8 июля	25
37.	Школа-семинар и совещание «Симметрии и спин»	Прага, Чехия	15–28 июля	70
38.	Международная конференция «Экзотические ядра '2001 – Байкал» (EXON'2001 – Baikal)	Листвянка, Россия	24–29 июля	120
39.	9-е Международное совещание по спиновой физике	Дубна	2–7 августа	76
40.	Совещание коллаборации HERMES	Дубна	7–11 августа	80
41.	VI Международная школа-семинар «Актуальные проблемы физики частиц»	Гомель, Белоруссия	7–16 августа	130
42.	Международная летняя школа «Плотная материя в физике частиц и астрофизике»	Дубна	20–31 августа	45
43.	9-я Европейская школа по физике высоких энергий (школа ЦЕРН–ОИЯИ)	Беетенберг, Швейцария	26 августа – 8 сентября	130
44.	Международная конференция «Новые тенденции в физике высоких энергий»	Ялта, Украина	8–14 сентября	50
45.	Международное совещание-семинар «Релятивистская ядерная физика от сотен МэВ до ТэВ»	Варна, Болгария	10–17 сентября	96
46.	Международный симпозиум по ядерной электронике и компьютерингу (NEC'01)	Варна, Болгария	13–20 сентября	93
47.	16-й Борновский симпозиум «Суперсимметрии и квантовые симметрии III»	Карпач, Польша	21–25 сентября	60
48.	Конференция «Образование и наука в России»	Дубна	22–23 сентября	70
49.	Научный семинар памяти В. П. Саранцева	Дубна	26–28 сентября	60
50.	Рабочее совещание «Исследование структуры экзотических ядер на пучках нуклофона»	Дубна	15–16 ноября	45
51.	Сессия Программно-консультативного комитета по физике частиц	Дубна	19–20 ноября	100
52.	4-е рабочее совещание по научному сотрудничеству ОИЯИ с исследовательскими центрами Германии	Дубна	21–22 ноября	78
53.	Сессия Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред	Дубна	21–23 ноября	70
54.	Сессия Программно-консультативного комитета по ядерной физике	Дубна	26–28 ноября	100
55.	Рабочее совещание коллаборации «Байкал»	Дубна	4–6 декабря	40



Дубна, 26 марта. Торжественное заседание КПП ОИЯИ, посвященное 45-летию Института.  
 Слева направо: профессор Ц. Вылов, губернатор Московской области Б. В. Громов, академик В. Г. Кадышевский, академик М. П. Кирпичников, профессор А. Н. Сисакян, член-корреспондент РАН И. Н. Мешков, В. М. Жабицкий



Дубна, 18–20 января. 89-я сессия Ученого совета ОИЯИ, в рамках которой прошло заседание круглого стола «Польша в ОИЯИ»

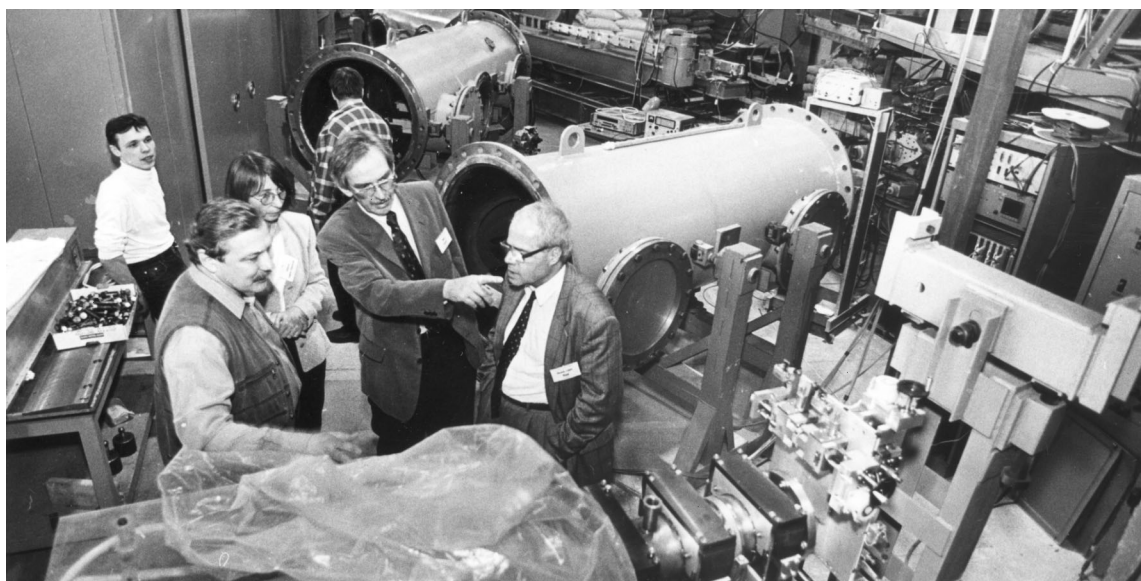


Дубна, 5 апреля.  
 Полномочный представитель  
 Президента РФ  
 в Центральном федеральном  
 округе Г. С. Полтавченко  
 (третий справа)  
 во время визита в ОИЯИ





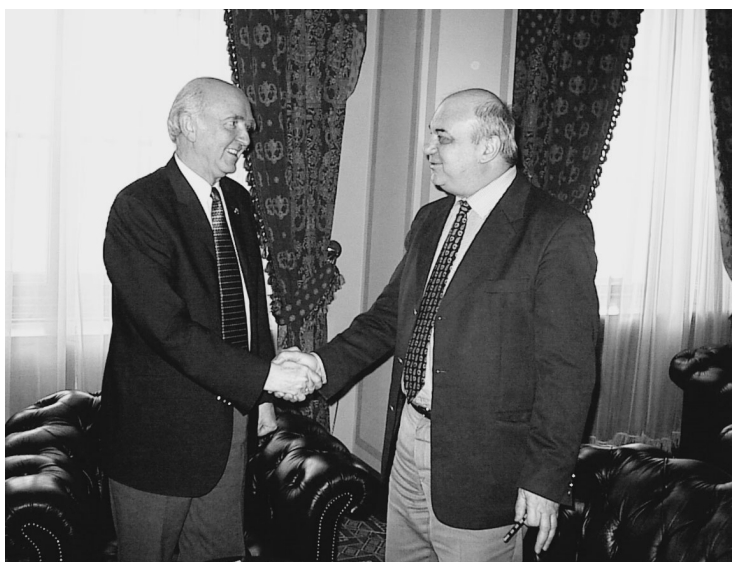
Дубна, апрель.  
Участники сессий  
программно-консультативных  
комитетов по физике частиц,  
по ядерной физике,  
по физике конденсированных сред







Лейпциг, 6 февраля.  
Участники 11-го Координационного комитета  
по выполнению Соглашения о сотрудничестве  
между ОИЯИ и ВМБФ (Германия)  
после подписания итоговых документов



Будапешт, 26 февраля.  
Визит делегации ОИЯИ в Венгрию.  
На снимке: генеральный секретарь  
Венгерской академии наук академик Н. Кроо  
и вице-директор ОИЯИ профессор Ц. Вылов

Дубна, 23 марта.  
Заседание Финансового комитета ОИЯИ





Дубна, 28 февраля. Общественный научный семинар, посвященный 75-летию академика А. М. Балдина



Прага, 5 марта.  
Участники заседания  
Координационного комитета  
по сотрудничеству ОИЯИ –  
Чешская Республика

Дубна, 2 апреля. Президиум второго рабочего совещания  
«Синхротронный источник ОИЯИ: перспективы исследований» (ДЭЛСИ-2001)





Дубна, 1 июня.  
Визит Полномочного Представителя  
правительства Вьетнама академика  
Нгуен Ван Хьеу (в центре) в ОИЯИ.  
Встреча с директором Института  
академиком В. Г. Кадышевским



Сандански (Болгария), 4–9 мая.  
II Европейское координационное  
совещание по сотрудничеству  
Восток–Запад в области  
ядерной физики



Москва–Дубна, 29 мая – 1 июня. II Международный симпозиум под эгидой ЮНЕСКО  
«Проблемы биохимии, радиационной и космической биологии», посвященный памяти академика Н. М. Сисакяна







Дубна, 26 мая. Участники 9-го Международного семинара по взаимодействию нейтронов с ядрами (ISINN-2001)

Дубна, 11–17 июня. 9-я Международная конференция  
«Суперсимметрия и объединение фундаментальных взаимодействий» (SUSY'01)



Дубна, 19–23 июня. 3-я Международная конференция по неускорительной физике







Москва, 10 октября. Открытие совместной ОИЯИ–ЦЕРН постерной фотовыставки «Наука сближает народы» в Государственной Думе Российской Федерации

Дубна, 18 октября. Подписание протокола о продлении Соглашения о сотрудничестве ОИЯИ и Венгерской академии наук



Дубна, 8 ноября. Встреча дирекции ОИЯИ с депутатом Государственной Думы РФ В. В. Гальченко (второй слева)







Бухарест, 16 октября. Директор ОИЯИ В. Г. Кадышевский (слева) на встрече с Президентом Румынии И. Илиеску (справа)

Лауреат премии ОИЯИ им. Б. М. Понтекорво 2001 г. доктор Н. Самиос (США) (справа)  
в Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Дзелепова



**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ  
И ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ  
ПРОГРАММЫ ОИЯИ**



# ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ ИМ. Н. Н. БОГОЛЮБОВА

В 2001 г. исследования в Лаборатории теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова проводились по трем темам первого приоритета: «Поля и частицы»,

«Теория атомного ядра и других конечных систем», «Теория конденсированных сред», утвержденным на 85-й сессии Ученого совета ОИЯИ.

## ПОЛЯ И ЧАСТИЦЫ

Теоретические исследования по теме «Поля и частицы» охватывали широкий круг проблем квантовой теории поля (КТП) и теории элементарных частиц. С точки зрения физики высоких энергий современные исследования в КТП далеки от эксперимента и сосредоточены в основном в области математической физики. С другой стороны, феноменология при высоких энергиях развивается в тесном контакте с современными ускорительными экспериментальными данными. Хотя кажется, что эти два направления не пересекаются, появляются новые возможности взаимного влияния теории и эксперимента, например, в астрофизике и космологии.

Основная активность в квантовой теории поля была сконцентрирована на следующих направлениях:

- суперсимметрия и суперструны;
- интегрируемые модели, некоммутативные теории поля;
- непертурбативные подходы в КХД, калибровочные теории на решетке;
- квантовая гравитация и космология.

Феноменологические исследования в физике частиц включали стандартную модель фундаментальных взаимодействий и ее расширения, а также физику

адронов при низких и высоких энергиях. Основными направлениями здесь были:

- SUSY и поиски бозона Хиггса;
- новые направления в нейтринной физике;
- КХД структурные функции;
- спиновые и поляризационные явления;
- киральные модели и спектроскопия мезонов;
- физика процессов с очень большой множественностью.

В 2001 г. был достигнут значительный прогресс в нескольких направлениях. Ниже представлено краткое описание некоторых результатов, полученных в ЛТФ в области КТП и теории элементарных частиц.

Была сформулирована и детально исследована *интегрируемая модель*, названная «Квантовая релятивистская цепочка Тоды в корне из единицы». Это простейшая «гибридная» модель, в которой пространством динамических переменных служит расслоение, слой которого является локальной алгеброй Вейля — квантовой алгеброй наблюдаемых, а базой — пространство центров алгебры наблюдаемых. «Гибридность» модели позволила не только получить уравнение Бакстера на квантовой алгебраической кривой, накрывающей классическую гиперэллиптическую кривую высокого рода, но и явно построить квантовое разделение переменных как следствие

классического разделения. По этой теме выполнен ряд работ, обзор которых опубликован в [1].

В *некоммутативной модели Янга–Миллса* существует класс локализованных решений, не имеющих аналогов в коммутативной теории. Конфигурации, состоящие из нескольких подобных объектов, называемых «лампами», не являются статическими, возникает их взаимодействие. Была рассмотрена динамика подобных взаимодействующих нетривиальных вакуумных конфигураций, или лампов, возникающих в некоммутативной теории Янга–Миллса. Было показано, что данная динамика эффективно описывается матричной моделью, которая проявляет стохастическое поведение [2].

Рассматривались двумерные некоммутативные механические системы в магнитном поле. Оказалось, что в зависимости от магнитного поля и параметра некоммутативности система может находиться в одной из двух фаз, отличающихся, например, симметриями [3].

Было изучено движение фермионных  $N = 2$  струн в нетривиальных фоновых полях в присутствии  $D$ -бран и NS-NS поля  $B$ . Введено взаимодействие поля  $B$  с полями материи суперсимметричной  $2d$  сигма-модели на мировой поверхности с границей, и выведено действие, совместное с  $N = 2$  суперсимметричными граничными условиями. Показано, что открытая  $N = 2$  струна в постоянном поле  $B$  в присутствии  $D3$ - или  $D2$ -бран приводит к некоммутативной автодуальной модели Янга–Миллса или к некоммутативной  $2+1$ -мерной модифицированной  $U(n)$  сигма-модели. Были построены и детально исследованы различные классы точных мультисолитонных решений, описывающих  $D0$ -браны, движущиеся в  $D2$ -бранах [4, 5].

Впервые построено немассовое  $N = 3$  суперсимметричное расширение  $D = 4$  теории Борна–Инфельда с использованием действия суперсимметричной теории Максвелла в  $N = 3$  гармоническом суперпространстве [6].

С использованием  $N = 2$  суперполевого подхода построено полное суперполевое низкоэнергетическое эффективное действие для  $N = 4$  SYM моделей, с включением  $N = 2$  калибровочных суперполевых напряженностей и суперполей гипермультиплетов. Доказано, что эффективные потенциалы вида  $\ln W \ln \bar{W}$  могут быть дополнены до  $N = 4$ , и представлена точная структура соответствующих обобщений [7].

Показано, что любое сферически-симметричное решение *уравнений Эйнштейна* можно использовать для построения новых решений, которые описывают пространство-время с некоторым числом бесконечно тонких радиально направленных космических струн.

Каждая такая струна приводит к дефициту угла вокруг ее оси, однако метрика вне струны остается локально сферически-симметричной. Доказано, что возможны произвольные конфигурации струн при условии, что направления струн удовлетворяют определенному условию равновесия. В общем случае это условие может быть записано в виде уравнения баланса сил или как ограничение на произведение голономий вокруг струн [8].

Предложен новый класс интегрируемых моделей  $(0+1)$ - и  $(1+1)$ -мерной дилатонной гравитации, связанной с любым числом скалярных полей. Решения моделей, выраженные через элементарные функции, описывают среди прочего сферические черные дыры и космологические модели, возникающие в теориях супергравитации высших размерностей, и выявляют нетривиальные соотношения между этими двумя объектами [9].

*Квантовая теория поля* с нетривиальными граничными условиями требует развития новой вычислительной техники, и прежде всего новых методов регуляризации. Построены высокотемпературные асимптотики термодинамических функций для электромагнитного поля со сферически- или цилиндрически-симметричными граничными условиями, при этом использовано разложение теплового ядра соответствующего оператора. Воспроизведены все асимптотики, полученные другими методами, а также приведен ряд новых высокотемпературных разложений [10].

На основе недавно сформулированной глобальной *аналитической теории возмущений* (АТВ) проведен анализ ряда наблюдаемых КХД в пространственно- и времениподобных областях с  $f = 3, 4$  и  $5$ . Все примеры демонстрируют эффект значительного улучшения численной сходимости нестепенных АТВ-разложений по сравнению с обычными степенными (по степеням  $\bar{\alpha}_s(Q^2)$  или  $\bar{\alpha}_s(s)$ ). Трехпетлевой вклад (порядка  $\bar{\alpha}_s^3$ ) в АТВ-разложении, как правило, оказывается численно несущественным [11].

Развитый в лаборатории метод непertурбативного  $a$ -разложения, дающий самосогласованное описание пространственноподобной и времениподобной областей, был применен для анализа  $D$ -функций и «смиринг»-величин, которые соответствуют экспериментальным данным по  $e^+e^-$ -аннигиляции в адроны и инклюзивному  $\tau$ -распаду. Пороговые эффекты были учтены на основе нового релятивистского кулоновского фактора, который суммирует сингулярности пертурбативного разложения вида  $(\alpha_s/v)^n$  и является обобщением известного фактора Зоммерфельда–Сахарова. Показано, что предложенный метод позволя-



ет получить хорошее согласие с экспериментальными данными вплоть до низкоэнергетических масштабов [12, 13].

В рамках *минимальной суперсимметричной стандартной модели* осуществлен глобальный  $\chi^2$ -анализ данных с учетом влияния высших поправок к вероятности распада  $b \rightarrow s\gamma$ , а также последних данных по аномальному магнитному моменту мюона. Показано, что существует разрешенная область в пространстве параметров модели, ограниченная снизу ненаблюдением хиггсовского бозона, а сверху данными по аномальному магнитному моменту [14, 15].

Показано, что перенормировка члена Файе–Илиопулоса в мягко нарушенной суперсимметричной калибровочной теории определяется в жесткой, или ненарушенной, теории в полной аналогии с перенормировками других параметров мягкого нарушения суперсимметрии. Вычислена перенормировка члена Файе–Илиопулоса, пропорциональная скалярным массам и трilinearным константам связи в 4-петлевом приближении [16].

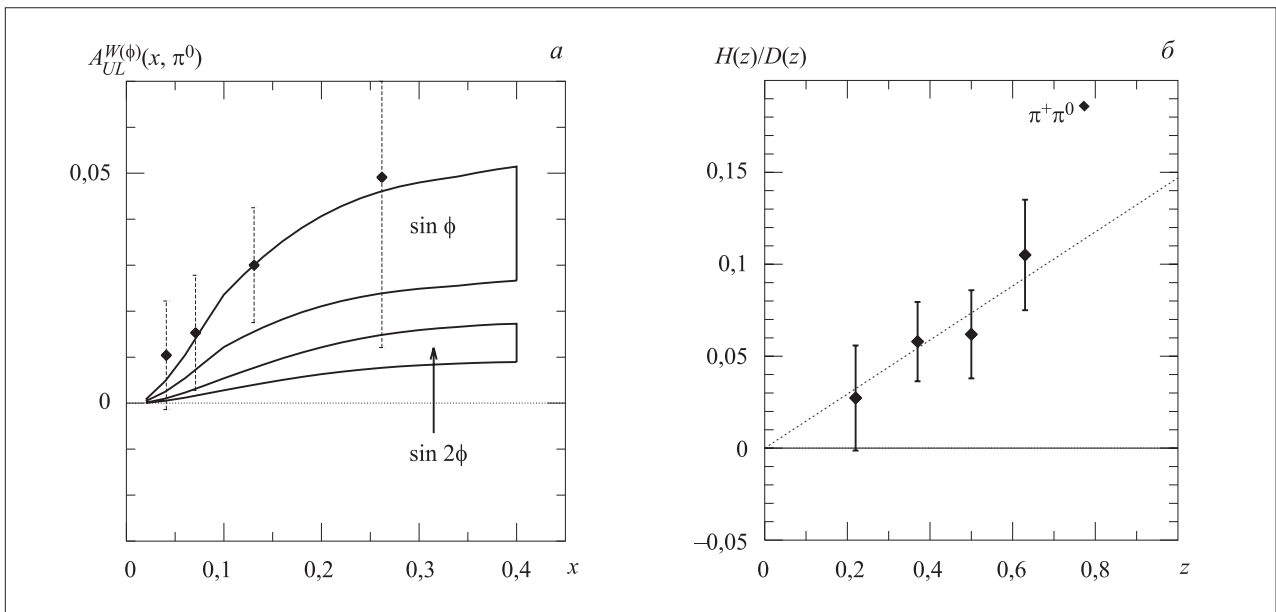
Вычислены пертурбативные части *структурных функций*  $F_2^c$  и  $F_L^c$  при ненулевом значении квадрата импульса глюона в процессе фотон-глюонного слияния. Полученные результаты имеют довольно компактный вид для двух типов поляризации глюонов: для поляризации глюонов в фейнмановской калибровке и для БФКЛ-подобной поляризации глюонов. Полученные результаты применены для анализа не-

давно измеренных данных для чармированной составляющей структурной функции  $F_2$  (т. е. для  $F_2^c$ ).

Анализ был выполнен при использовании нескольких наиболее популярных параметризаций неинтегрированных партоновых распределений. Найдено хорошее согласие результатов при  $Q^2 \geq 7 \text{ ГэВ}^2$  с экспериментальными данными для структурной функции  $F_2^c$ , полученными на ускорителе HERA. Было получено также достаточно большое значение чармированной составляющей структурной функции  $F_L^c$  при малых значениях  $x$  и  $Q^2 \geq 30 \text{ ГэВ}^2$  [17].

Рассмотрен процесс нелинейного обратного комптоновского рассеяния циркулярно поляризованных фотонов, являющийся одним из основных на фотонных коллайдерах, планируемых к эксплуатации в будущем. Достаточно высокая интенсивность лазерного пучка ведет к уширению энергетического спектра (светимости) и сдвигу к более низким энергиям (инвариантным массам). Обращение к данной задаче объясняется необходимостью оптимизации области конверсии на фотонных коллайдерах, а также изучения физических процессов там, где важны монохроматичность взаимодействий и четкость края спектра светимости [18].

Определена величина односпиновой асимметрии в процессе глубоконеупругого комптоновского рассеяния. Задача крайне важная, т. к. ее решение позволяет определить вновь введенные в КХД обобщенные



а) Азимутальная асимметрия  $A_{UL}^W$  для  $\pi^0$  как функция  $x$ . Замкнутая область соответствует статистической ошибке в усредненной величине анализирующей способности  $H_1^\perp/D_1$ . б)  $H_1^\perp/D_1$  как функция  $z_h$ , извлеченная из комбинированных данных HERMES для  $\pi^+$  и  $\pi^0$



партонные распределения (частным случаем которых являются распределения, введенные еще Фейнманом), и, как следствие, *спиновую структуру нуклона* [19].

Недавно коллаборация HERMES измерила азимутальную асимметрию  $A_{UL}^{\sin\phi}$  в электророждении  $\pi^0$  в полуинклюзивном глубоконеупругом рассеянии поляризованных позитронов продольно-поляризованными протонами. Показано, что эта асимметрия хорошо воспроизводится теоретически без каких-либо свободных подгоночных параметров, если использовать вычисления распределения поперечного спина кварков в нуклоне в эффективной киральной кварк-солитонной модели, развитой группой Университета Бохума (Германия) и экспериментальные данные DELPHI по среднему значению анализирующей способности  $\langle H_1^\perp/D_1 \rangle$  эффекта Коллинза, ответственного за право-левую асимметрию при фрагментации поперечно-поляризованных кварков в неполяризованные адроны (см. рисунок, а).

С использованием  $z$ -зависимости азимутальных асимметрий  $\pi^+$  и  $\pi^0$  и вычисленного теоретически распределения поперечного спина впервые была получена  $z$ -зависимость анализирующей способности эффекта Коллинза, показавшая линейный рост  $H_1^\perp(z_h)/D_1^\perp(z_h) = 0,15z_h$  (рисунок, б) [20].

Показано, что двойная спиновая асимметрия для продольно-поляризованных лептонов и поперечно-поляризованных протонов в области энергий HERMES велика при дифракционном рождении  $Q\bar{Q}$ -пар и мала при рождении векторных мезонов [21].

Впервые дана интерпретация *19 скалярных мезонных состояний* с массами от 0,4 до 1,7 ГэВ [22].

Показано, что эти состояния могут быть рассмотрены как два нонета: нонет основных состояний (легче 1 ГэВ) и нонет их первых радиальных возбуждений (тяжелее 1 ГэВ) — и скалярный глобол. Учтено смешивание скалярных изоскалярных кваркониев и глобола.

Предложен новый механизм для эмпирического правила  $\Delta I = 1/2$ , установленного в слабых  $\Delta S = 1$  распадах [23]. Этот механизм происходит от инстантонных вкладов в амплитуды слабых распадов и очень важен для понимания большого  $CP$ -нарушения, обнаруженного в распадах  $K$ -мезонов.

Предложено описание *экстремально неупругих высокоэнергетических взаимодействий адронов*, когда множественности рожденных адронов значительно превышают соответствующую среднюю множественность. При обобщении инклюзивного и полуинклюзивного подходов к неупругим процессам развит новый метод, опирающийся на статистическую картину процессов в области очень больших множественностей. Чтобы иметь возможность получить модельно-независимые предсказания, построена реально-временная теория  $S$ -матрицы при конечных температурах. Это позволяет развить новый феноменологический подход к процессам с большой множественностью и сделать ряд предсказаний, представляющих интерес для научных программ будущих экспериментов (LHC, тэватрон и др.) [24].

Следует также отметить работы по исследованию эволюции частоты вращения для аккрецирующих компактных звезд [25] и возможности  $CP$ -нарушения в лептонном секторе из экспериментальных данных по безнейтринному двойному  $\beta$ -распаду [26].

## ТЕОРИЯ АТОМНОГО ЯДРА И ДРУГИХ КОНЕЧНЫХ СИСТЕМ

Исследования по теме «Теория атомного ядра и других конечных систем» в 2001 г. велись в рамках четырех проектов:

- «Ядерная структура в экстремальных условиях»;
- «Динамика и структурные эффекты в ядерных и мезоскопических системах»;
- «Физика малочастичных систем»;
- «Релятивистская ядерная динамика».

В исследованиях по *теории структуры ядра* получены следующие основные результаты.

Разработан метод, позволяющий связать точными соотношениями экспериментально измеряемые приведенные матричные элементы квадрупольного оператора. Метод использует инварианты квадрупольной формы, правила отбора схемы  $Q$ -фононов и опирается на факт малости поправок из-за некоммутативности компонент оператора квадрупольного момента. В качестве примера построены  $Q$ -инварианты четвертого порядка для основного состояния ядра. Согласие теории с экспериментом удовлетворительное [27].

Исследовано распределение силы магнитных дипольных переходов в интервале энергии возбуждения 4–10 МэВ ядра  $^{154}\text{Sm}$ . Расчеты выполнены в рамках квазичастично-фононной модели ядра с широким базисом одно- и двухфононных состояний. Основная сила переходов связана со спиновыми возбуждениями. Показано, что наблюдающиеся экспериментально два широких максимума силовой функции связаны с расщеплением протонных и нейтронных возбуждений. Напротив, сила изоскалярных и изовекторных спиновых переходов распределена по широкому энергетическому интервалу. Расчеты исключают интерпретацию указанных пиков как следствия расщепления  $K^\pi = 0^+$  и  $K^\pi = 1^+$  возбуждений [28].

Энергии, спектроскопические факторы и структура возбужденных состояний ядра  $^{208}\text{Pb}$  с энергиями вплоть до  $E_x \neq 7\text{МэВ}$  рассчитаны с учетом взаимодействия одно-, двух- и трехфононных конфигураций. Согласованным образом расчеты проведены и для соседних нечетных ядер. Теоретические результаты сопоставлены с новейшими экспериментальными данными. Рассчитанный спектр  $0^+$ -,  $2^+$ -,  $4^+$ - и  $6^+$ -уровней, включающий смешивание с уровнями мультиплета, образованного двумя октупольными фононами, сопоставлен с экспериментальными состояниями вплоть до  $E_x = 5230\text{кэВ}$ . Измеренные вероятности возбуждения согласуются с предсказанной фрагментацией состояний указанного двухфононного мультиплета [29].

Высокоспиновые состояния ядер  $^{32}\text{S}$  и  $^{56}\text{Ni}$  исследованы в рамках метода Хартри–Фока со взаимодействием Гони и принудительным учетом вращения без дополнительного предположения о наличии зеркальной симметрии относительно оси. Обнаружено, что неаксиальная октупольная деформация типа  $Y_{31}$  важна для описания ирраст-состояний ядра  $^{32}\text{S}$ . Аналогичный эффект предсказан для ядра  $^{56}\text{Ni}$  [30].

В сотрудничестве с экспериментаторами исследовано влияние мод деления на множественность  $\gamma$ -квантов от продуктов деления в реакции  $^{208}\text{Pb}(^{18}\text{O}, f)$ . Рассчитанные формы ядер-фрагментов деления помогают объяснить наблюдаемые множественности для симметричного и асимметричного деления и подтвердить интерпретацию каждой из делительных мод как идущей вдоль ее собственной долины. Отсюда следует вывод, что концепция структуры долин на поверхности потенциальной энергии универсальна и позволяет объяснить свойства как делящегося ядра, так и фрагментов деления [31].

Проблема бозонизации физических степеней свободы нагретой многочастичной системы рассмотрена в контексте использования метода бозонных

разложений в рамках формализма термополевой динамики. Подчеркнута важность бозонизации однобозонных (фермионных) операторов помимо бозонизации бозонных (фермионных) пар. Результаты расчетов в ведущих порядках разложений для двух моделей: бозонной модели  $O(N)$  ангармонического осциллятора и фермионной модели Липкина — показали согласие с требованиями как симметрии задач, так и статистики частиц. Для первой из упомянутых моделей показано также, что без последовательного проектирования одночастичных операторов среди тепловых возбуждений системы не появляются голдстоуновские [32].

Гипердеформированные ядра предлагается рассматривать как квазимолекулярные кластерные конфигурации (двойные ядерные системы), которые могут быть образованы в столкновениях тяжелых ионов. Сформулированы требования к оптимальным экспериментальным условиям, при которых возможно обнаружить эти состояния. Предложен новый метод их идентификации, заключающийся в том, чтобы измерять в совпадениях кластерные продукты распада ядра и  $\gamma$ -переходы между гипердеформированными состояниями [33].

Различные проблемы были исследованы в рамках проекта «Физика малочастичных систем».

Рассмотрена модель, допускающая точное решение и построенная специально для того, чтобы выяснить взаимное влияние ширин ядерных и молекулярных резонансов в молекуле. Эта модель раскрывает механизм, приводящий к увеличению вероятности синтеза в ядерной подсистеме молекулы при наличии у этой подсистемы очень узкого предпорогового резонанса. Рассмотрены  $n$ -мерные ( $n \geq 1$ ) кристаллические структуры, образованные из молекулярных ячеек с соответствующими гамильтонианами. Показано, в частности, что если вещественная часть узкого ядерного резонанса лежит в пределах спектральной зоны, порождаемой (из молекулярного уровня) взаимодействием между ячейками, то непременно существуют экспоненциально распадающиеся молекулярные состояния, скорость распада которых обратно пропорциональна ширине ядерного резонанса [34].

В двухчастичной системе с парным взаимодействием, обратно пропорциональным квадрату расстояния при достаточной слабости этого взаимодействия, существует связанное состояние с бесконечно большой энергией связи, т. е. происходит коллапс. Чтобы выяснить, возможен ли такой же коллапс в системе трех частиц, методом гипергармоник исследованы уравнения Шредингера и Фаддеева с парными взаимодействиями, обратно пропорциональными квадратам расстояний. Точные решения этих уравне-

ний построены в виде произведений зависящей от гиперрадиуса функции Бесселя и конечной линейной комбинации гипергармоник. Доказан и исследован критерий существования точных решений. Показано, что указанные точные решения описывают состояния, в которых коллапс всех трех частиц не происходит даже в том случае, если условия двухчастичного коллапса выполняются для каждой из парных подсистем [35].

Разработана динамическая модель, позволяющая описать большую часть экспериментальных данных по фото- и электророжению пионов как в околопороговой, так и в резонансной областях энергий (Dubna–Mainz–Taipei model, <http://www.kph.uni-mainz.de/MAID/dmt/dmt2001.html>). Для околопорогового фоторождения  $\pi^0$ -мезонов показано, что взаимодействие в конечном состоянии насыщается вкладами от связи с каналами перезарядки пионов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что учет вкладов только однопетлевых диаграмм для описания околопорогового фоторождения нейтральных пионов в рамках киральной теории возмущений является хорошим приближением [36].

Околопороговое когерентное фоторождение  $\eta$  мезонов на мишенях  $^3\text{H}$  и  $^3\text{He}$  исследовано на основе динамики систем малого числа частиц. Сечение фоторождения рассчитано с помощью уравнений приближения конечного ранга (ПКР), который учитывает все порядки элементарного  $\eta N$ -взаимодействия. Результаты ПКР указывают на сильное взаимодействие в конечном состоянии  $\eta$ -мезона с ядром, что приводит к быстрому росту сечения. Исследуется чувствительность сечения к амплитудам  $\eta N \rightarrow \eta N$  и  $\gamma N \rightarrow \eta N$  [37].

Перечислим основные результаты реализации проекта «Релятивистская ядерная динамика».

Высокоэнергетическое приближение адаптировано к задачам ядро-ядерного рассеяния при энергиях несколько десятков МэВ/нуклон. Показано, что явного вида эйкональная фаза, полученная для реалистического потенциала типа Вудса–Саксона, перспек-

тивна для дальнейших приложений. Полученные дифференциальные сечения упругого рассеяния и полные сечения реакций хорошо совпадают с результатами соответствующих численных решений волнового уравнения. Показано, что ядерная поверхность играет важную роль в формировании сечений упругого рассеяния и реакций. Изучена природа непрерывной неоднозначности параметров оптических потенциалов, проявляющаяся при интерпретации полных сечений [38].

Установлено, что изоскалярно-изовекторная  $(\rho-\omega)$ -интерференция в эксклюзивных реакциях  $\pi^- p \rightarrow ne^+ e^-$  и  $\pi^+ n \rightarrow pe^+ e^-$  вблизи порога рождения  $\omega$  приводит к вполне определенным различиям распределений инвариантной массы диэлектронов, зависящим от энергии пучка. Величина предсказанного эффекта определяется связью резонансов с каналами нуклон–векторный мезон и другими свойствами резонансов. Поэтому обнаруженный эффект может служить хорошим инструментом изучения динамики барионных резонансов. Эффект может быть проверен измерением углового распределения распадных частиц в реакциях типа  $\pi N \rightarrow NV \rightarrow Ne^+ e^-$ , что вполне возможно на пионном пучке со спектрометром HADES в GSI [39].

Динамика партонов, возникающих в результате вакуумного туннелирования в пространственно-однородном нестационарном поле, исследована в условиях, характерных для ультррелятивистских столкновений тяжелых ионов. Связанная самосогласованная система уравнений, куда входят кинетическое уравнение Власова с источником и перенормированное уравнение Максвелла, решалась численно. Обнаружены явные указания на стохастическую природу колебаний временной зависимости функции распределения партонов в ячейках фазового пространства и существенная нерегулярность импульсного распределения на больших временах. Если пренебречь влиянием обратной реакции, эти явления совершенно исчезают и осцилляции приобретают обычную регулярную форму [40].

## ТЕОРИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

Исследования по теме «Теория конденсированных сред» были продолжены в рамках следующих проектов:

- «Сильно коррелированные системы»;
- «Динамические системы: хаос, интегрируемость и самоорганизация»;

— «Неупорядоченные структуры: стекла, топологические дефекты, наноструктуры и джозефсоновские переходы»;

— «Мезоскопические и когерентные явления в квантовых системах».

Основные результаты по проекту «Сильно коррелированные системы» были получены при исследо-

вании электронных спектров и механизмов сверхпроводимости в купрат-оксидных материалах и при изучении магнитных свойств материалов со сложными фазовыми переходами типа манганитов.

Развита теория сверхпроводящего спаривания, обусловленного антиферромагнитным обменом, в рамках которой объясняется недавно обнаруженная в ртутных сверхпроводниках сильная зависимость температуры сверхпроводящего перехода от постоянной решетки.

Расчеты проведены на основе двухзонной модели Хаббарда в пределе сильных корреляций. Большая величина энергии возбуждения при антиферромагнитном обмене двух электронов из разных хаббардовских подзон приводит к подавлению эффектов запаздывания и спариванию всех электронов в подзоне проводимости, что обеспечивает высокую температуру сверхпроводимости. Изотопический эффект объясняется зависимостью обменного взаимодействия от амплитуды нулевых колебаний ионов кислорода [41].

Вычислен спектр спиновых волн в ферромагнитном состоянии для манганитов в рамках обобщенной решеточной модели Кондо при учете сильных одноузельных корреляций для зонных электронов и антиферромагнитного обменного взаимодействия локализованных спинов. В пределе длинных волн спектр имеет стандартную зависимость  $Dq^2$ , однако на границе зоны Бриллюэна наблюдается сильное отклонение от спектра для изотропной модели Гейзенберга в соответствии с недавними экспериментами [42].

В рамках проекта «Динамические системы: хаос, интегрируемость, самоорганизация» следует отметить следующий результат:

Предложен новый вид интегрируемых стохастических процессов, описывающих одномерную лавинную динамику в диссипативных системах. Метод анзаца Бете и итеративная процедура, основанная на принципе детального баланса, использованы для получения точных результатов для асимметричного лавинного процесса на кольце. Средняя скорость потока частиц  $v$  получена как функция вероятности релаксации и плотности частиц  $\rho$ . При возрастании  $\rho$  система обнаруживает фазовый переход от прерывистого к непрерывному потоку, а скорость  $v$  расходится при приближении к критической точке  $\rho_c$  с показателем  $\alpha$ . Получена фазовая диаграмма процесса, и показано, что  $\alpha$  зависит от скорости релаксации [43].

При исследовании *неупорядоченных структур* были получены следующие основные результаты:

В рамках самосогласованного теоретико-полевого подхода исследована электронная структура графитовых конусов. Для различных типов конусов рассчитаны локальная и полная плотности электронных

состояний вблизи вершины. Обнаружено, что полная плотность состояний обращается в ноль при любом угле раствора конуса за исключением  $60^\circ$ , где имеет место локальная металлизация графита [44].

Изучена проблема электронного и фононного рассеяния дальними полями напряжений, вызванными диполями клиновых дисклинаций (ДКД). Рассчитан вклад в остаточное сопротивление нанокристаллических металлов, обусловленный ДКД. Показано, что рассеяние фононов произвольно ориентированными ДКД приводит при низких температурах к явно выраженному кроссоверу ( $\propto T^3$  на  $T^2$ ) в теплопроводности  $\kappa$ . Результаты находятся в хорошем согласии с экспериментальными значениями  $\kappa(T)$  в  $\alpha\text{-SiO}_2$ ,  $\alpha\text{-GeO}_2$ ,  $\alpha\text{-Se}$  и в полистирене [45].

Исследован вклад в теплоемкость кристаллов, обусловленный закрепленными дисклинациями кручения. С этой целью сформулирована модель неоднородной струны для колеблющейся дисклинации. Получено линейное по температуре и плотности дефектов поведение удельной теплоемкости. Изучены частотно-зависимые потери, вызванные дисклинациями кручения. При этом дисклинация рассматривается как неоднородная струна в среде с трением. Обнаружено, что затухание носит резонансный характер. Показано, что внутреннее трение пропорционально четвертой степени длины дисклинационной нити, что может являться предметом экспериментальной проверки в кристаллах с ротационной разупорядоченностью [46].

Тематика исследований по проекту «Мезоскопические и когерентные явления в квантовых системах» была сосредоточена на основных квантовых эффектах для конечных (мезоскопических) систем.

Исследования бозе-эйнштейновской конденсации (БЭК) в оптических атомных ловушках в последнее время стали одним из основных направлений изучения квантовых жидкостей и твердых тел. Было оценено [47] соотношение между кинетической и потенциальной энергиями атомов в ловушке при температурах, близких к нулю. Рассмотрены физические предпосылки для положительных или отрицательных значений длины рассеяния атомов вследствие взаимодействия между ними. Были выведены условия, при которых каждый из этих режимов мог быть обнаружен экспериментально.

Поскольку потенциальные барьеры ловушек весьма малы ( $\sim 10^{-9}$  эВ), атомы в них чувствительны к наличию (или отсутствию) поля тяжести. Сдвиг критической температуры БЭК, обусловленный в ловушке гравитационным полем, оценен в [48]. Этот результат имеет отношение к проектам НАСА по проведению новых физических экспериментов в космосе.



## РАЗВИТИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Впервые в ЛТФ установлен сервер на двух процессорах Athlon с тактовой частотой 1,2 ГГц (<http://thsun1.jinr.ru/guide/athlon/>). Пиковая производительность в 4.8 Гфлопс и 1 Гбайт оперативной памяти позволяют решать на новом компьютере самые сложные задачи с применением Fortran, C, C++, Reduce, Form и Mathematica. На сервере запущен менеджер лицензий пакета Mathematica, обеспечивающий выдачу по сети до 30 лицензий на использование Mathematica for Windows на персональных компьютерах ОИЯИ.

В 2001 г. приобретено и установлено 24 современных персональных компьютера на базе Pentium-III. На базовом компьютере ЛТФ thsun1.jinr.ru установлены новые дисковые накопители, которые позволили удвоить доступное пользователям про-

странство для хранения файлов и ускорить выполнение операций чтения/записи. Обновлено системное программное обеспечение и некоторые прикладные пакеты (TeX/LaTeX, Acrobat Reader) на кластере компьютеров Sun. На файловом сервере TFS удвоено пользовательское дисковое пространство.

Центральный стек коммутаторов ЛТФ расширен до 120 портов. Продолжено подключение ПК на рабочих местах к новому сетевому оборудованию. В настоящее время к сети Fast Ethernet подключены все серверы ЛТФ и около 80 наиболее мощных ПК.

Кэширующий прокси-сервер и архив программного обеспечения (<http://thsun1.jinr.ru/guide/web/>) перенесены на новый двухпроцессорный ПК-сервер, работающий под управлением Linux. Данная работа финансировалась по гранту РФФИ.

## КОНФЕРЕНЦИИ, СОВЕЩАНИЯ, СОТРУДНИЧЕСТВО

В 2001 г. лаборатория участвовала в организации 10 международных конференций, рабочих совещаний и школ, проходивших в Дубне, Праге, Ереване, Карпачи и Ялте.

С 11 по 17 июня 2001 г. в Дубне проходила IX международная конференция по суперсимметрии и объединению фундаментальных взаимодействий (SUSY'01). Она явилась первой конференцией этой серии в новом тысячелетии и ознаменовала собой 30-летний юбилей суперсимметрии. Вначале конференции по суперсимметрии проходили в США, но затем, превратившись в широкий форум, посвященный выходу за рамки стандартной модели фундаментальных взаимодействий на наиболее популярном направлении, они стали попеременно проходить на обоих берегах Атлантики. В 2000 г. такая конференция была организована в ЦЕРН в ожидании открытия суперсимметрии на ускорителе LEP и, наконец, достигла России, как бы отдавая дань родине суперсимметрии в юбилейном году. На конференции нашли отражение практически все ключевые вопросы физики частиц, а также связанной с ней математической физики. Высокий научный уровень докладов, широкая география участников и представительство крупнейших научных центров, а также большой процент молодежи свидетельствуют об актуальности тематики конференции, отражающей самые последние достижения в теоретической и экспериментальной областях. Конференция была организована при финансовой под-

держке ЮНЕСКО, РФФИ, РАН, ОИЯИ и в рамках программ «Гейзенберг–Ландау» и «Боголюбов–Инфельд». Следующая конференция из этой серии — SUSY'02 — состоится в DESY (Гамбург, лето 2002 г.).

С 18 по 28 июня в ЛТФ проходило международное рабочее совещание «Квантовая гравитация и суперструны» и параллельно — школа «Некоммутативная геометрия и теория поля». В работе совещания и школы приняли участие около 90 ученых из многих стран, в том числе 25 — из ОИЯИ. Делегации из Германии, Польши и России включали студентов: 7, 2 и 10 соответственно. В научной программе были представлены следующие направления теоретической физики: некоммутативная геометрия и теория поля; М-теория и струны; дополнительные размерности и браны; интегрируемые модели в квантовой гравитации и калибровочных теориях. Программа была составлена в виде часовых лекций, которые или содержали обзор современных достижений в указанных направлениях, или являлись вводными лекциями. Организованная таким образом программа была интересна как для активно работающих исследователей, так и для молодых ученых. Оргкомитет надеется, что такое совместное проведение рабочих совещаний и школ станет регулярным. Школа и совещание проводились при финансовой поддержке ВМБФ (Германия), ИНТАС, ЮНЕСКО, РФФИ и в рамках программ «Гейзенберг–Ландау», «Боголюбов–Инфельд».



С 20 по 30 августа в Дубне проходила международная летняя школа «Плотная материя в физике и астрофизике». Она проводилась при поддержке Министерства образования, науки и технологий Германии и Немецкого комитета научных обменов (ДААД) в рамках новой программы ДААД «Распространение немецкого опыта обучения». В школе участвовали профессоры и студенты из Аргентины, Армении, Германии, Португалии, России, Украины и других стран. В программе школы были лекции и обзорные доклады по непертурбативным явлениям в квантовой хромодинамике (КХД), фазовой структуре КХД, неравновесным процессам в столкновениях тяжелых ионов, астрофизике. Инициатива проведения таких летних школ в Дубне исходит от профессоров Университета в Ростке (Германия). Очередная школа в рамках этой программы пройдет летом 2002 г. в Дубне по теме «Квантовая статистика в многочастичных системах».

Лаборатория участвовала в работе и организации ряда научных мероприятий в странах-участницах: X Международного коллоквиума «Квантовые группы и интегрируемые системы» (21–23 июня, Прага, Че-

хия), международного рабочего совещания «Симметрии и спин» (15–28 июля, Прага, Чехия), международной конференции «Методы симметрии в физике» (3–8 июля, Ереван, Армения), международного рабочего совещания «Суперсимметрии и квантовые симметрии» (17–21 сентября, Карпач, Польша), международной конференции «Новые тенденции в физике высоких энергий» (22–29 сентября, Ялта, Украина).

Международное сотрудничество ЛТФ в 2001 г. было поддержано грантами Полномочных Представителей Болгарии, Венгрии, Словакии, Польши, Чехии и дирекции ОИЯИ. Сотрудничество с теоретиками Германии проходило при поддержке программы «Гейзенберг–Ландау», с теоретиками Польши — программы «Боголюбов–Инфельд», а с теоретиками Чехии — программы «Блохинцев–Вотруба».

Ряд исследований выполнен совместно с зарубежными учеными в рамках соглашений ОИЯИ–INFN, ОИЯИ–IN2P3 и по проектам, поддержанным грантами INTAS, РФФИ–DFG, РФФИ–CNRS.

Продолжают действовать соглашения о сотрудничестве между ЛТФ, теоретическим отделом ЦЕРН и МЦТФ (Триест).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pakuliak S., Sergeev S. // J. of Appl. Math. (in press).
2. Sochichiu C. hep-th/0104076.
3. Bellucci S., Nersessian A., Sochichiu C. // Phys. Lett. B. 2001. V. 522. P. 345–349.
4. Lechtenfeld O., Popov A. D., Spindig B. // J. High Ener. Phys. 2001. V. 6. P. 11.
5. Lechtenfeld O., Popov A. D. // J. High Ener. Phys. 2001. V. 11. P. 40; Phys. Lett. B. 2001. V. 523. P. 178.
6. Ivanov E. A., Zupnik B. M. // Nucl. Phys. B. 2001. V. 618. P. 3–20.
7. Buchbinder I. L., Ivanov E. A. hep-th/0111062; Phys. Lett. B (принято к печати).
8. Frolov V. P., Fursaev D. V., Page D. N. hep-th/01121129.
9. Филиппов А. Т. // ЯФ (принято к печати).
10. Bordag M., Nesterenko V. V., Pirozhenko I. G. // Nucl. Phys. (Proc. Suppl.). 2002. V. 104. P. 228–231.
11. Shirkov D. V. JINR Preprint E2-2001-153. Dubna, 2001; hep-ph/0107282, Europ. Phys. J. C (in press).
12. Сисакян А. Н., Соловцов И. Л., Соловцова О. П. // Письма в ЖЭТФ. 2001. Т. 73. С. 166–199.
13. Milton K. A., Solovtsov I. L. // Mod. Phys. Lett. A. 2001. V. 16. P. 2213–2219.
14. de Boer W. et al. // Eur. Phys. J. C. 2001. V. 20. P. 689–694.
15. de Boer W. et al. // Phys. Lett. B. 2001. V. 515. P. 283–290.
16. Kazakov D. I., Velizhanin V. N. hep-ph/0110144.
17. Kotikov A. V. Preprint US-FT/7-01. Santiago de Compostela, 2001; hep-ph/0107135.
18. Galynskii M. et al. // Nucl. Instr. Meth. A. 2001. V. 472. P. 267.
19. Akushevich I., Kuraev E., Shaikhatdenov B. // Phys. Rev. D. 2001. V. 64. P. 094010.
20. Efremov A. V., Goeke K., Schweitzer P. // Phys. Lett. B. 2001. V. 522. P. 37; hep-ph/0108213.
21. Goloskokov S. V. // hep-ph/0110212.
22. Volkov M. K., Yudichev V. I. // Eur. Phys. J. A. 2001. V. 10. P. 223.
23. Kochelev N. I., Vento V. // Phys. Rev. Lett. 2001. V. 87. P. 11601.
24. Mandjavidze J., Sissakian A. // Phys. Rep. 2001. V. 246.
25. Poghosyan G., Grigorian H., Blaschke D. // Astrophys. J. 2001. V. 551. P. L73.
26. Bilenky S. M., Pascoli S., Petcov S. T. // Phys. Rev. D. 2001. V. 64. P. 053010.
27. Werner V., von Brentano P., Jolos R. V. // Phys. Lett. B. 2001. V. 521. P. 146.
28. Iudice N. Lo, Sushkov A. V., Shirikova N. Yu. // Phys. Rev. C. 2001. V. 64. P. 054301.

29. *Valnion B. D. et al.* // Phys. Rev. C. 2001. V. 63. P. 024318.
30. *Tanaka T., Nazmitdinov R. G., Iwasawa K.* // Phys. Rev. C. 2001. V. 63. P. 034309.
31. *Chubarian G. G. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2001. V. 87. P. 052701.
32. *Aouissat Z. et al.* // Phys. Rev. C. 2001. V. 64. P. 015201.
33. *Adamian G. G. et al.* // Phys. Rev. C. 2001. V. 64. P. 014306.
34. *Motovilov A. K., Sandhas W., Belyaev V. B.* // J. Math. Phys. 2001. V. 42. P. 2490.
35. *Пуньшев В. В.* // ТМФ. 2001. Т. 128. С. 268.
36. *Katyalov S. S. et al.* // Phys. Lett. B. 2001. V. 522. P. 27.
37. *Belyaev V. B. et al.* // Few Body Syst. (Suppl.). 2001. V. 13. P. 262.
38. *Лукьянов В. К., Словински Б., Земляная Е. В.* // ЯФ. 2001. Т. 64. С. 1349.
39. *Titov A. I., Kämpfer B.* // Eur. Phys. J. A. 2001. V. 12. P. 217.
40. *Винник Д. и др.* // ЯФ. 2001. Т. 64. С. 836.
41. *Плакида Н. М.* // Письма в ЖЭТФ. 2001. Т. 74. С. 38–42.
42. *Mancini F., Perkins N. B., Plakida N. M.* // Phys. Lett. A. 2001. V. 284. P. 286–293.
43. *Priezzhev V. B. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2001. V. 87. P. 084301.
44. *Осинов В. А., Кочетов Е. А.* // Письма в ЖЭТФ. 2001. Т. 73. С. 562.
45. *Krasavin S. E., Osipov V. A.* // J. Phys.: Cond. Mat. 2001. V. 13. P. 1023.
46. *Churochkin D. V., Osipov V. A.* // Phys. Lett. A. 2001. V. 282. P. 92; *ibid.* 2001. V. 289. P. 273.
47. *Cherny A., Shanenko A.* // Phys. Rev. E. 2001. V. 64. P. 027105-1–027105-4.
48. *Баранов Д., Ярунин В.* // Письма в ЖЭТФ. 2001. Т. 71. С. 384.

## ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

В 2001 г. научная программа Лаборатории высоких энергий, как и в предыдущие годы, концентрировалась в направлении исследований взаимодействий релятивистских ядер в энергетической области от нескольких сотен МэВ до нескольких ТэВ на нуклон с целью поиска проявлений кварк-глюонных степеней свободы в ядрах, асимптотических законов для ядерной материи, а также на изучении спиновой структуры легчайших ядер [1–3, 22]. Эксперименты в этом направлении проводятся с использованием ускорительного комплекса ЛВЭ, а также на других ускорителях ЦЕРН, BNL, GSI, CELSIUS и др.

### РАЗВИТИЕ УСКОРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

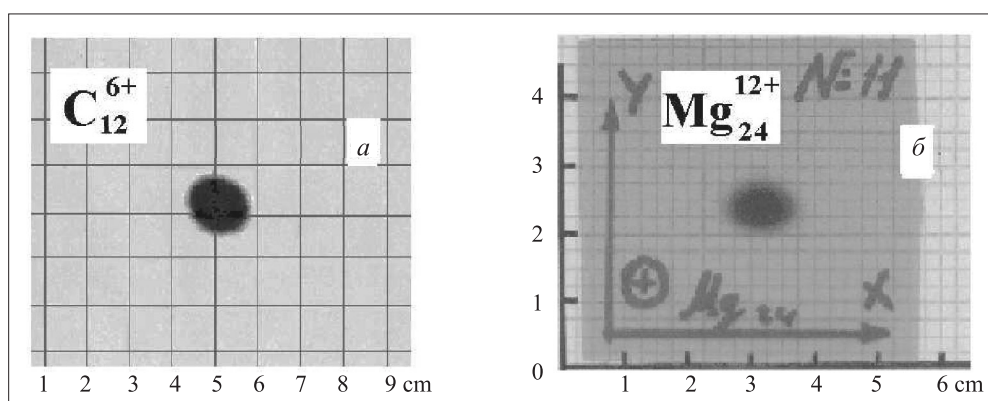
В 2001 г. в ЛВЭ проведено три сеанса на нуклотроне общей продолжительностью 1280 ч. Получены выведенные пучки ионов бора ( $^{10}\text{B}$ ,  $I \approx 1 \cdot 10^5$  частиц за цикл), углерода ( $^{12}\text{C}$ ,  $I \approx 8 \cdot 10^9$  частиц за цикл) и магния ( $^{24}\text{Mg}$ ,  $I \approx 1 \cdot 10^7$  частиц за цикл). Профили выведенных пучков углерода и магния приведены на рис. 1. Амплитудный спектр пучка бора ( $^{10}\text{B}$ )

Ускорительный комплекс ЛВЭ состоит из синхрофазотрона и нового сверхпроводящего ускорителя — нуклотрона. В последнее время программа исследований переводится в большей степени на нуклотрон, а синхрофазотрон используется практически только для исследований с пучком ускоренных поляризованных частиц. Нуклотрон создан на основе уникальной технологии сверхпроводящих магнитных систем, которые были разработаны и исследованы в лаборатории [4]. В ближайшем будущем планируется получить поляризованный пучок на нуклотроне. В течение двух лет научно-исследовательская программа ЛВЭ будет перенесена на нуклотрон.

со сцинтилляционных счетчиков представлен на рис. 2.

В последних сеансах на нуклотроне интенсивность выведенных пучков дейтронов и протонов составила примерно  $3,5 \cdot 10^{10}$  частиц/с, эффективность вывода пучка из сверхпроводящего ускорителя близка к 100 %. Временная структура пучка была также значительно улучшена.

Рис. 1. Профили выведенных пучков ионов углерода (а) и магния (б) во время 19-го сеанса в марте 2001 г.



Потребление нуклотроном жидкого азота уменьшено более чем в два раза, что позволило значительно увеличить продолжительность сеансов. Последний сеанс продолжался более месяца (ноябрь–декабрь 2001 г.).

Во время последнего сеанса была получена хорошая информация для физических и прикладных исследований.

Продолжительность работы синхрофазотрона составила 580 ч. Затраты компенсировались потребителями пучков. Основным условием работы синхрофазотрона является привлечение средств заинтересованных пользователей. Это прежде всего потребители пучков поляризованных дейтронов. По-прежнему имеется большой интерес к традиционным пучкам легких релятивистских ядер.

В лаборатории получила дальнейшее развитие технология создания быстроциклирующих сверхпроводящих магнитов для будущего сверхпроводящего ускорителя в Дармштадте с использованием магнитов типа нуклотрон. В рамках соглашения между Дармштадтом и Дубной проведено 6 тестовых сеансов с различными модификациями магнитов (новое

## ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА НУКЛОТРОНЕ

В 2001 г. на внутреннем и выведенном пучках нуклотрона были продолжены исследования научными коллективами из различных стран. Например, в марте и декабре в них принимали участие итальянские физики из коллаборации «Памела». Они провели облучение микросхем на выведенном пучке ионов  $^{24}\text{Mg}$ .

На установке «Стрела» проведены два методических сеанса на выведенном из нуклотрона пучке дейтронов с импульсом 1,65 ГэВ/нуклон. Главный результат — получено хорошее амплитудное разрешение для отдельного черенковского счетчика (9 %) с радиатором из сапфира, что позволит осуществить выделение двухпротонных событий на уровне  $10^4$  фоновых однопротонных случаев. Это должно в принципе позволить решить задачу проекта по определению спин-зависимой части  $np \rightarrow pn$  процесса в  $d\bar{p}$ -взаимодействиях. Необходимо получить выведенный пучок малого поперечного сечения ( $< 1$  см в диаметре) и равномерной временной структуры. Необходимо также использовать жидководородную мишень и улучшить геометрию опыта.

Коллаборация Дубна–Марбург–Страсбург–Юлих–Салоники–Сидней во время декабрьского сеанса на нуклотроне на установке ГАММА-2 получила новые экспериментальные данные для изучения методов уничтожения радиоактивных отходов.

В рамках коллаборации ЕМУ01 в декабрьском сеансе на нуклотроне проведено облучение ядерных фотоэмульсий ионами  $^{10}\text{B}$ . Для получения пучка

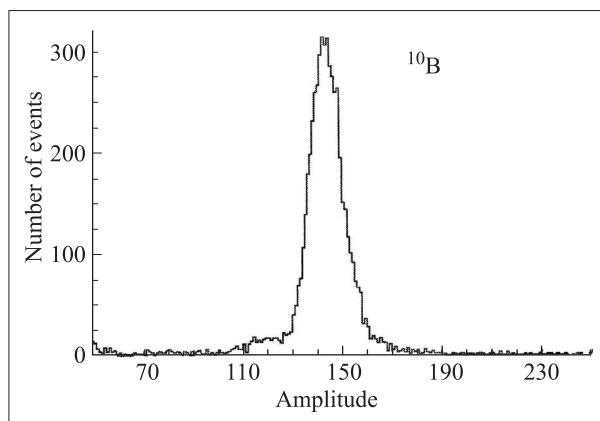


Рис. 2. Амплитудный спектр пучка  $^{10}\text{B}$  с 8-мм сцинтилляционных счетчиков. 22-й сеанс на нуклотроне в декабре 2001 г.

ядро для магнитов и две сверхпроводящие обмотки). Испытания двух прототипов магнитов были проведены при температуре ядра 80 К.

ионов бора использовался лазерный источник ионов и исходный образец гексаборида лантана ( $\text{LaB}_6$ ).

На экспериментальных установках СКАН-1 и МАРУСЯ продолжены исследования с использованием внутренней мишени.

Коллаборацией СКАН-1 получены новые данные по кумулятивному образованию узких протонных пар при взаимодействии  $p$ ,  $d$ , He, C с тяжелыми мишенями.

На циркулирующем пучке нуклотрона были исследованы особенности и условия создания поляриметра на внутреннем пучке. Временной разброс между приходящими значимыми сигналами составил  $\sim 2$  нс, что позволяет в рабочем режиме использовать импульсы более короткой длительности. Показано, что без ухудшения качества измерение поляризации может быть выполнено за короткое время. При первичной интенсивности  $10^9$  для измерений с точностью 1 % требуется около 10 мин. Поляриметр состоит из двух симметричных плеч (рис. 3). Тестирование установки было проведено в декабрьском сеансе на пучке дейтронов (с интенсивностью  $10^9$  ионов в цикле) с энергией 1,2 ГэВ/нуклон.

По проекту «Кристалл-W» проводилась работа по подготовке к исследованию кристаллических диффлекторов на выведенном пучке ядер нуклотрона. Проведены тестовые эксперименты с кристаллом на участке вывода. Необходимо улучшение фоновых условий.

На установке МАРУСЯ при взаимодействии внутреннего пучка сверхпроводящего ускорителя с тяже-



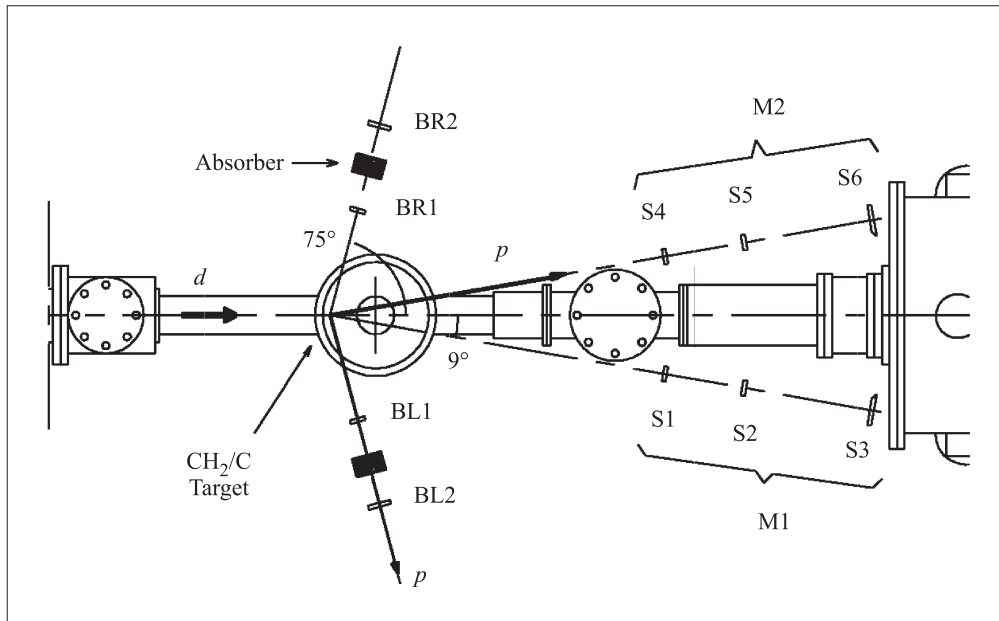


Рис. 3. Схема поляриметра

лыми мишенями получены новые результаты, очень важные для изучения полного развала ядер. Эта работа является продолжением исследований, начатых в ЛВЭ профессором К. Д. Толстовым.

На внутреннем пучке нуклотрона проведены первые калибровочные измерения по программе поиска  $\eta$ -ядер в совместном эксперименте ЛВЭ–ФИАН.

### ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ ЛВЭ

В 2001 г. синхрофазотрон проработал 580 ч. Основное внимание было уделено двум основным экспериментам: «Дельта–Сигма» и изучению анализирующей способности реакции  $p \uparrow + \text{CH}_2 \rightarrow p + \dots$

Первый эксперимент выполнен коллаборацией «Дельта–Сигма». В измерениях принимали активное участие физики из Болгарии, России, Украины, Франции и Чехии, а также специалисты из ЛВЭ, ЛЯП, и ЛНФ ОИЯИ. Получены новые результаты по спин-зависимой разности полных  $np$ -сечений  $\Delta\sigma_L(np)$  при кинетических энергиях пучка нейтронов 1,4; 1,7; 1,9 и 2,0 ГэВ. Квазимонохроматический пучок нейтронов создавался путем развала ускоренных и выведенных поляризованных дейтронов. Измерялось пропускание нейтронного пучка большой поляризованной протонной мишенью. Значения  $\Delta\sigma_L$  определялись как разность полных  $np$ -сечений для параллельно и антипараллельно направленных поляризаций пучка и мишени, ориентированных вдоль направления импульса пучка. Предварительные результаты эксперимента «Дельта–Сигма» за последний год и полученные ранее [5, 6] представлены на рис. 4.

Второй эксперимент был посвящен изучению анализирующей способности реакции  $p \uparrow + \text{CH}_2 \rightarrow p + \dots$  для следующих значений импульсов протона: 3,8; 4,5; 5,3 ГэВ/с. На установке АЛПИОМ (гибрид

установки «Альфа» и привезенного из Франции поляриметра ПОММЕ) в пучке поляризованных прото-

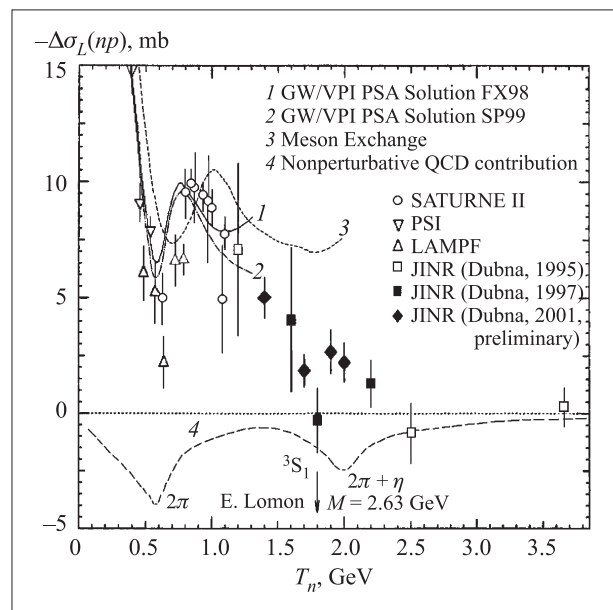


Рис. 4. Энергетическая зависимость величины  $-\Delta\sigma_L(np)$ , полученная с использованием пучка поляризованных нейтронов

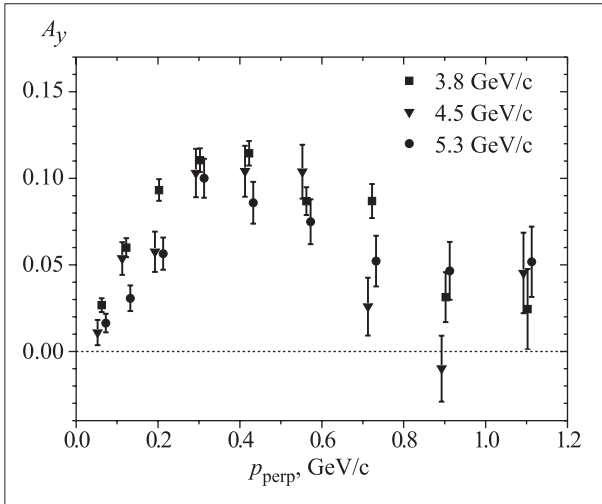


Рис. 5. Результаты измерений анализирующей способности реакции  $p \uparrow + \text{CH}_2 \rightarrow p + \dots$  для импульсов налетающего протона 3,8; 4,5 и 5,3 ГэВ/с

нов, полученных от стриппинга ускоренных векторно-поляризованных дейтронов, была измерена анализирующая способность блоков полиэтилена различной толщины. Окончательные результаты будут опубликованы после завершения обработки. В этой работе принимали участие физики из Франции, США, Болгарии и Словакии. Полученные данные будут использованы при планировании экспериментов на CEBAF (США). Предварительные результаты представлены на рис. 5.

Продолжено исследование в рамках сотрудничества СФЕРА (Дубна–Нагоя–София). Одним из оснований для измерения тензорной анализирующей способности при фрагментации дейтронов в кумулятивные пионы является возможность получения существенно новой информации о структуре дейтрона на малых расстояниях, когда в рассмотрение вводятся мезонные и кварковые степени свободы в дейтроне.

Измерение тензорной и векторной анализирующих способностей в реакции  $\mathbf{d} + A \rightarrow \pi(\theta) + X$  выполнено с использованием поляризованных дейтронов, выведенных из синхрофазотрона с помощью системы медленного вывода. При фиксированном импульсе дейтронов  $p_d = 9$  ГэВ/с импульс пионов  $p_\pi$  при  $\theta_\pi = 0^\circ$  варьировался от 3,5 до 5,3 ГэВ/с, чтобы перекрыть интервал кумулятивной переменной от 1,08 до 1,76. В рамках ПРМ-механизма величина  $x_c$  может быть связана с  $k_{\min}$  — минимальным импульсом нуклона в дейтроне, который необходим для рождения пиона с кумулятивным числом  $x_c$ . Данные по тензорной анализирующей способности  $A_{yy}$  в реакции  $\mathbf{d} + A \rightarrow \pi + X$  как функции от  $x_c$  и  $k_{\min}$  показаны на рис. 6 (при нулевом угле  $A_{yy}$  связано со значением  $T_{20}$ , определенным в сферическом представлении как  $A_{yy}(0^\circ) = -T_{20} \sqrt{2}$ ).

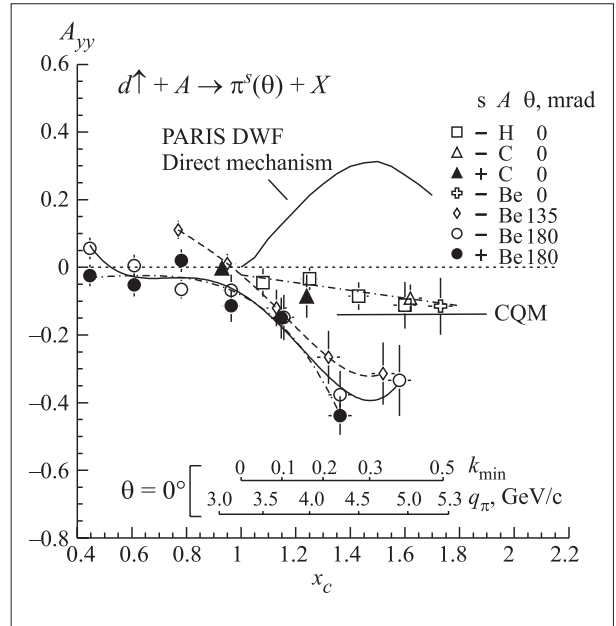


Рис. 6.  $A_{yy}$  как функция кумулятивной переменной  $x_c$  при фрагментации 9 ГэВ дейтронов на H-, Be- и C-мишенях [7]. Для  $\theta = 0^\circ$  показаны шкала импульсов пионов,  $q_\pi$ , и шкала минимальных внутренних импульсов,  $k_{\min}$ . CQM — оценка  $A_{yy}$  на основе конституентной кварковой модели [8]. Полиномиальные фиты для точек при 135 и 180 мрад представлены немаркированными кривыми

Сравнение данных при  $0^\circ$  и данных ПРМ-расчетов (кривая «Paris DWF») показывает, что  $A_{yy}(0^\circ)$ , вопреки ИА-предсказаниям, имеет отрицательный знак и плавно растет с увеличением  $x_c$  без какой-либо особенности вблизи  $k \approx 0,3$ , где эффект  $D$ -состояния в реакции развала  $dA \rightarrow pX$  максимален. При анализе  $dA \rightarrow \pi X$  данных, полученных на H-, Be- и C-мишенях, было установлено, что  $A_{yy}$  не зависит от массового числа  $A$ , тем самым было подтверждено, что поведение кумулятивных спектров определяется внутренней структурой фрагментирующего ядра.

Для изучения угловой зависимости значение  $A_{yy}$  измерено при  $\theta_\pi = 135$  и 180 мрад. Эти измерения выполнены в широком интервале импульсов пионов от 2 до 5 ГэВ/с, чтобы перекрыть как докумулятивную ( $x_c < 1$ ), так и кумулятивную ( $x_c > 1$ ) области. Знак  $A_{yy}$  в кумулятивной области отрицателен при всех углах эмиссии  $\pi^\pm$ . По мере увеличения поперечного импульса пионов от  $P_T = 0,4$  до 0,8 ГэВ/с тензорная анализирующая способность растет от значения, близкого к нулевому при  $x_c \approx 1$ , до  $A_{yy} = -0,4$  при  $x_c = 1,4-1,6$ .

Можно отметить, что при фрагментации тензорно-поляризованных дейтронов в кумулятивные пионы наблюдается большой эффект  $D$ -волны. Характер его зависимости от кинематических переменных таков, что он не может быть объяснен на основе гипотезы прямого механизма рождения пионов с участием высокоимпульсной нуклонной компоненты в дейтроне. Можно заключить, что структура мезонного облака

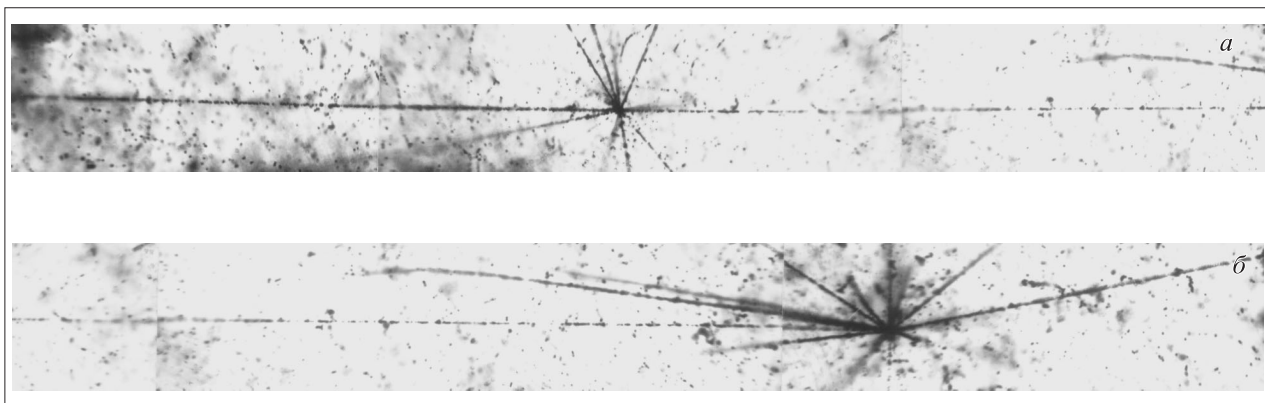


Рис. 7. Событие взаимодействия ядра  ${}^6\text{He}$  с фрагментацией в  $\alpha$ -частицу. Трек от  $\alpha$ -частицы прослежен до неупругого взаимодействия

дейтронного кора не может быть сведена к простой суперпозиции мезонных облаков квазисвободных нуклонов. В данном случае получена новая информация о свойствах мезонной компоненты при малых межнуклонных расстояниях в ядрах. Новые данные по спин-зависимым наблюдаемым могут быть использованы для более углубленного изучения структуры мезообменных и кварк-обменных токов при  $NN$ -взаимодействиях на малых расстояниях.

Сотрудничество СФЕРА предполагает продолжить изучение  $A_{yy}$  в расширенной области  $x_c$  и  $P_T$  и изучить энергетическую зависимость  $A_{yy}(E_d)$ . Новая информация о спиновых эффектах при фрагментации дейтронов в пионы и более тяжелые мезоны, несомненно, будет полезна для достижения понимания структуры дейтрона на кварковом уровне.

На синхрофазотроне ОИЯИ на выведенном пучке ядер  ${}^6\text{Li}$  с импульсом  $2,67A \cdot \text{ГэВ/с}$  сформирован вторичный пучок, содержащий около 1 % ядер  ${}^6\text{He}$  и 99 %  ${}^3\text{H}$ . Получены предварительные результаты по характеристикам ядро-ядерных взаимодействий ядер

${}^6\text{He}$  и процесса перезарядки ядра  ${}^3\text{H}$  в ядро  ${}^3\text{He}$  с помощью ядерных фотоэмульсий, облученных на вторичном пучке.

Зарегистрированы взаимодействия внешних нейтронов ядра  ${}^6\text{He}$  с ядрами фотоэмульсии и процесс когерентного срыва внешних нейтронов ядра  ${}^6\text{He}$  (рис. 7). Средний свободный пробег ядер  ${}^3\text{H}$  до неупругого взаимодействия в фотоэмульсии равен  $(23,7 \pm 3,0)$  см. Средний свободный пробег для процесса перезарядки ядер  ${}^3\text{H}$  в ядро  ${}^3\text{He}$  в фотоэмульсии составляет  $(40 \pm 16)$  м. Сечения перезарядки с образованием и без образования заряженного мезона примерно равны, а сечение перезарядки с возбуждением ядра мишени превышает сечение без возбуждения. Средний поперечный импульс ядер  ${}^3\text{He}$  в событиях без возбуждения ядра мишени равен  $(0,16 \pm 0,03)$  ГэВ/с, а в событиях с возбуждением ядра мишени —  $(0,24 \pm 0,05)$  ГэВ/с.

Некоторые новые результаты на синхрофазотроне в последних сеансах опубликованы в 2001 г. [6, 9, 10, 23].

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Проанализированы спиновые корреляции при регистрации нефакторизуемых спиновых состояний для случая систем двух частиц со спином  $1/2$ . Появление таких корреляций связано с общим квантово-механическим эффектом, предсказанным Эйнштейном, Подольским и Розеном. При наличии спиновых корреляций рассеяние одной из двух неполяризованных конечных частиц приводит к поляризации другой (не рассеянной) частицы, образовавшейся в том же акте столкновения. Исследованы корреляции плоскостей рассеяния двух частиц, рассеянных на бесспиновой или неполяризованной мишени после их совместного рождения [11].

Проведен теоретический анализ аналогичных спиновых корреляций в системе двух нестабильных частиц со спином  $1/2$  с использованием их асимметричных распадов с несохранением пространственной четности [11, 12]. Показано, что соответствующий корреляционный тензор может быть определен при изучении угловых корреляций между анализаторами распадов, в частности, в случае распадов двух  $\Lambda$ -частиц по каналу  $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$  — из корреляций между направлениями импульсов распадных протонов в соответствующих системах покоя двух  $\Lambda$ -частиц. Исследована разница между свойствами корреляционного тензора для факторизуемых и нефакторизуе-

мых состояний. Установлены неравенства для линейных комбинаций компонент корреляционного тензора в случае некогерентных смесей факторизуемых двухчастичных спиновых состояний. Спиновые корреляции для таких смесей имеют классический характер. Неравенства «некогерентности» включают хорошо известные неравенства Белла и могут нарушаться для нефакторизуемых когерентных суперпозиций двухчастичных спиновых состояний. Нарушение этих неравенств является следствием квантовых корреляций и может служить решающим критерием справедливости принципов квантовой механики для двухчастичных систем. Проанализирована возможность проверки следствий квантово-механической когерентности при исследовании угловых корреляций в распадах пар частиц со спином  $1/2$  с несохранением четности (мюонов,  $\tau$ -лептонов, топ-кварков или  $\Lambda$ -гиперонов). Было показано, что в процессах  $e^-e^+$ ,  $q\bar{q} \rightarrow \mu^-\mu^+, \tau^-\tau^+, t\bar{t}$  фермионная пара рождается преимущественно в нефакторизуемых триплетных состояниях, в которых нарушаются неравенства «некогерентности» для компонент корреляционного тензора. В рамках модели независимых одночастичных источников мы рассмотрели спиновые корреляции при испускании двух  $\Lambda$ -частиц с малыми относительными импульсами. Было показано, что угловые корреляции между импульсами протонов в системах покоя двух  $\Lambda$ -частиц выражаются через «веса» (доли) синглетного и триплетных состояний и эти «веса» зависят от пространственно-временных параметров

области генерации  $\Lambda$ -гиперонов. При разности импульсов, стремящейся к нулю, система  $\Lambda\Lambda$  рождается только в синглетном состоянии (полный спин  $S = 0$ ).

Проанализированы условия нарушения одного из неравенств Белла в этой ситуации [11, 12]. Соотношения для угловых корреляций между импульсами продуктов распада двух нестабильных частиц со спином  $1/2$  были обобщены на случай распадов двух резонансов с произвольными спинами. Применяя модель независимых одночастичных источников, испускающих неполяризованные нестабильные частицы с ненулевым спином, мы исследовали угловые корреляции при распадах двух тождественных частиц с близкими импульсами. Эти угловые корреляции отражают спиновые корреляции, обусловленные эффектами квантовой статистики и взаимодействия в конечном состоянии. Построена общая феноменологическая теория угловых корреляций при распадах произвольно поляризованных частиц (резонансов) в терминах мультипольных параметров образования системы двух нестабильных частиц и мультипольных параметров их распадов [13].

В рамках импульсного приближения были изучены поляризационные эффекты и спектр относительных импульсов двух протонов при зарядово-обменном развале дейтрона  $d + p \rightarrow (pp) + n$  в направлении «вперед», с учетом тождественности, сильного и кулоновского взаимодействия протонов и вклада  $D$ -волнового состояния дейтрона. Показано, что в этом процессе протоны рождаются в синглетном состоянии.

## ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Дальнейшее развитие работ в рамках проекта «Энергия плюс трансмутация» идет по пути использования пучков сверхпроводящего ускорителя — ну-клотрона, увеличения размеров уран-свинцовой сборки и усовершенствования методик, используемых в эксперименте [14, 15].

Проведена обработка результатов, полученных в экспериментах на 2-секционном бланкете (синхрофазотрон, июнь 2000 г.) и на 4-секционном бланкете (ну-клотрон, декабрь 2000 г.) при энергии протонов, равной 1,5 ГэВ. В этих экспериментах с помощью разных методик (твердотельные трековые и активационные детекторы) были изучены пространственно-энергетические распределения нейтронов и осколков деления в уран-свинцовой сборке, включая восстановление (по экспериментальным данным) спектра нейтронов. Результаты этих исследований показывают, что максимум нейтронного спектра находится выше 1 МэВ, т. е. деление в урановом бланкете производится преимущественно быстрыми нейтронами. По-

средством процесса деления определены скорости трансмутации нептуния-237 и плутония-239, накапливающихся в атомных реакторах (экологический аспект).

В декабре 2001 г. на протонном пучке ну-клотрона с достаточно высокой интенсивностью проведено облучение большой свинцовой мишени, окруженной 4-секционным бланкетом из естественного урана. В поле электроядерных нейтронов экспонировалось значительное число активационных (Al-, La- и U-) и пороговых (Au-, Vi- и Co-) детекторов, твердотельных трековых детекторов с радиаторами из урана (обедненного и обогащенного по изотопу урана-235) в комбинации с кадмиевым фильтром и без фильтра, а также спектрометры нейтронов по протонам отдачи в ядерных фотоэмульсиях. В лабораториях ОИЯИ, институтах и университетах коллаборации Дубна–Марбург–Ржеж–Салоники–Улан-Батор – Сверк – Пекин–Страсбург–Шиллонг и др. началась интенсивная работа по обработке экспериментальной информации.



## СОТРУДНИЧЕСТВО С ДРУГИМИ УСКОРИТЕЛЬНЫМИ ЦЕНТРАМИ

Специалисты ЛВЭ принимают участие в исследованиях по физике тяжелых ионов в ЦЕРН (SPS) в NA45 (CERES) (руководитель от ЛВЭ Ю. А. Панебратцев), NA49 (руководитель от ЛВЭ Г. Л. Мелкумов) и работе коллаборации EMU01 (руководители от ЛВЭ А. Д. Коваленко и П. И. Зарубин).

Наши специалисты активно участвуют в развитии программы исследований по физике тяжелых ионов для эксперимента CMS, а также совместно с ЛФЧ — в подготовке тестирования мюонных камер. Для эксперимента CMS предложен метод определения радиуса источника образования Z-бозонов, осно-

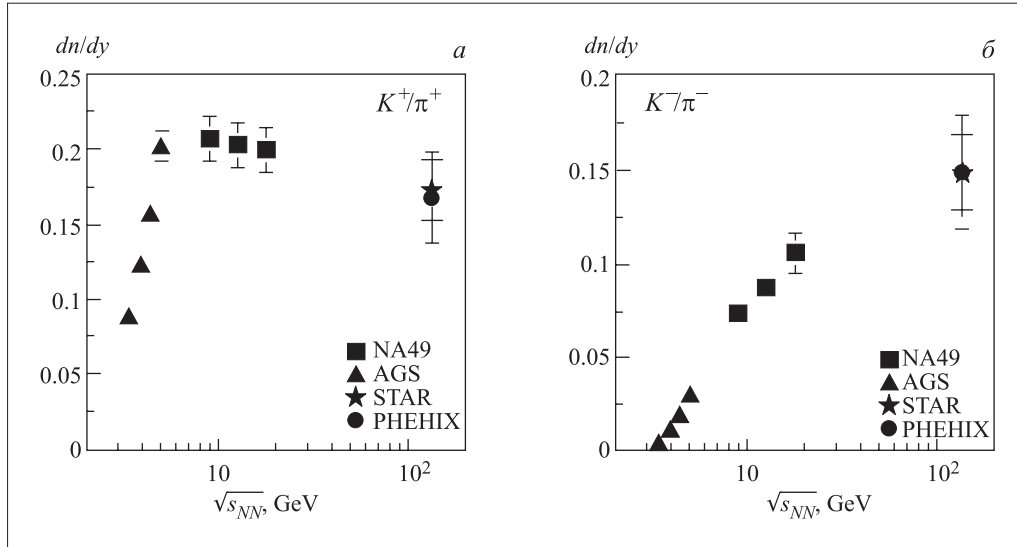


Рис. 8. Распределение отношения  $K/\pi$ : а)  $K^+/\pi^+$ ; б)  $K^-/\pi^-$

Основные результаты эксперимента NA45 в 2001 г. следующие:

- завершен анализ 8 миллионов событий Pb+Au-взаимодействий (данные 1999 г.) при  $40 A \cdot \text{ГэВ}$ . Обнаружено увеличение выхода пар  $e^+e^-$  с фактором  $4,7 \pm 1,6$  в области масс  $m_{ee} > 0,2 \text{ ГэВ}/c^2$  [16];
- продолжается анализ данных 2000 г. (32 миллиона Pb+Au-событий при  $158 A \cdot \text{ГэВ}$ ).

Основные результаты эксперимента NA49 в 2001 г.:

- участие в наборе данных на протонном пучке (SPS);
- обработка данных и физический анализ:
  - а) для  $K^+$  и  $K^-$  получены  $p_T$ -спектры и плотности при  $40$  и  $80 A \cdot \text{ГэВ}$  Pb+Pb-взаимодействиях [17];
  - б) изучалась зависимость отношения  $K/\pi$  от энергии [18] (рис. 8).

В 2001 г. продолжалась подготовка экспериментов ALICE и CMS на LHC.

В ЛВЭ разработана и испытана в лабораторных условиях времяпроекционная камера (ТЕС) размером  $40 \times 40$  см как небольшой прототип детектора TRD. Работы по созданию полномасштабного прототипа камеры TRD ведутся совместно с Физическим институтом Университета Гейдельберга. В ЛВЭ запланировано создание в 2002 г. специализированных помещений и оборудования для изготовления этих детекторов.

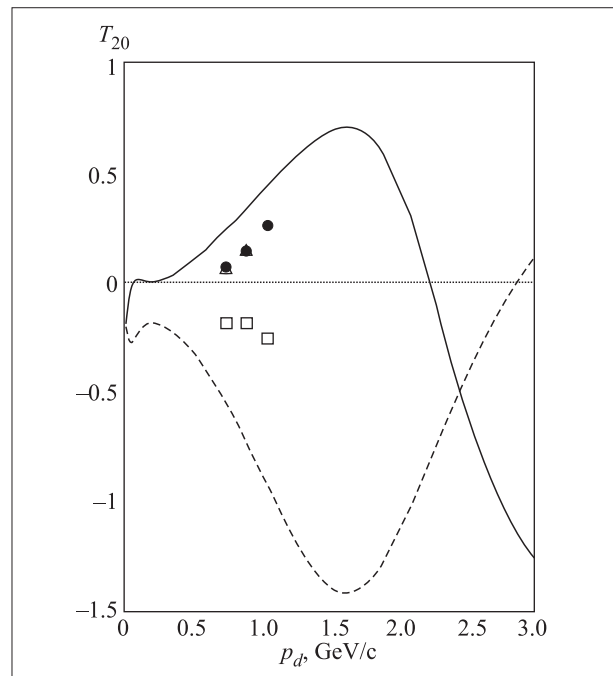


Рис. 9. Тензорная анализирующая способность  $T_{20}$  в реакции  $d+d \rightarrow {}^3\text{H}+p$  (квадраты) и реакции  $d+d \rightarrow {}^3\text{He}+n$  (кружки). Сплошная и пунктирная линии — теоретическое описание с использованием ONE-вычислений [21] для вылетающих вперед или назад  ${}^3\text{H}({}^3\text{He})$  в системе центра масс

ванный на эффекте интерференции между двумя тождественными мюонами [19].

Две группы физиков участвуют в экспериментах STAR (руководитель от ОИЯИ Ю. А. Панебратцев) и PHENIX (руководитель от ОИЯИ А. Г. Литвиненко) на RHIC в BNL. Эти группы участвуют в подготовке сеансов и наборе данных на новом ядерном коллайдере RHIC при энергии 130 А·ГэВ.

Для эксперимента HADES в GSI (руководитель от ОИЯИ Ю. В. Заневский) специалисты ЛВЭ разработали и создали 7 многослойных дрейфовых камер (для плоскости 2) с малым количеством вещества и пространственным разрешением  $\sim 70$  мкм, а также аналоговую электронику считывания информации. Создано и развивается матобеспечение для обработки данных с системы дрейфовых камер. Первые эксперименты по исследованию дилептонных распадов в реакциях  $CC(1,5-2 А \cdot ГэВ)$  проведены в ноябре 2001 г.

В 2001 г. получены первые результаты совместного эксперимента ОИЯИ–RIKEN R308n (руководитель от ЛВЭ В. Л. Ладыгин). В этом эксперименте была измерена тензорная анализирующая способность  $T_{20}$  для реакций  $d+d \rightarrow {}^3\text{H}+p$  и  $d+d \rightarrow {}^3\text{He}+n$  (рис. 9). Знак  $T_{20}$  положителен и отрицателен, когда  ${}^3\text{H}({}^3\text{He})$  испускаются соответственно вперед и назад в системе центра масс. Этот факт отражает чувствительность этих данных к отношению  $D/S$  — волновых функций в  ${}^3\text{H}({}^3\text{He})$  и дейтрона. В пределах полученных экспериментальных точностей эти данные находятся в хорошем согласии для обоих каналов  $d+d \rightarrow {}^3\text{H}(0^0)+p$  и  $d+d \rightarrow {}^3\text{He}(0^0)+n$ . В этом эксперименте также выполнены измерения тензорных анализирующих способностей  $A_{yy}$ ,  $A_{xx}$  и  $A_{xz}$  при 200 и 270 МэВ во всем угловом интервале для  $d+d \rightarrow {}^3\text{H}+p$  и в передней полусфере для  $d+d \rightarrow {}^3\text{He}+n$ . Проводится дальнейший анализ данных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Baldin A. M., Malakhov A. I., Sissakian A. N. // Phys. of Part. and Nucl. 2001. V. 32, Suppl. 1. P. 4–30.
- Research Program of the Laboratory of High Energies / Eds. A. M. Baldin et al. Dubna, 1999. P. 99–266.
- Малахов А. И. // ЯФ. 2002. Т. 65, № 2. С. 1–9.
- Kovalenko A. D. // Proc. of the Intern. Symp. «The 50th Anniversary of the Discovery of Phase Stability Principle», July 12–15, 1994 / Eds A. M. Baldin et al. Dubna, 1996. P. 44–55.
- Sharov V. I. et al. // Eur. Phys. J. C. 2000. V. 1. P. 255–265.
- Lehar F. JINR Preprint E1-2001-238. Dubna, 2001.
- Afanasiev S. et al. // Proc. of Intern. Conf. «INPC-01», San Francisco, USA, July 30–Aug. 3, 2001 (to be published by AIP).
- Kobushkin A. et al. // Few Body Syst. (Suppl). 1999. V. 10. P. 447.
- Zolin L. et al. // Nucl. Phys. A. 2001. V. 689. P. 414c–417c.
- Bondarev V. K. et al. // Phys. of Atom. Nucl. 2001. V. 64, No. 9. P. 1618–1623.
- Lednický R., Lyuboshitz V. L. // Phys. Lett. B. 2001. V. 508. P. 146.
- Lednický R., Lyuboshitz V. L. // Proc. of the IX Intern. Workshop on High Energy Spin Physics (Spin-2001), Dubna, Aug. 2–7, 2001 (in press).
- Ледницки Р., Любошиц В. В., Любошиц В. Л. Препринт ОИЯИ Р2-2001-263. Дубна, 2001 (в печати); направлено в журнал «Ядерная физика».
- Чултэм Д., Тумэндэлгэр Ц., Кривонустов М. И. Трековый интегратор деления для исследования энерговыделения в урановом бланкете электроядерной установки «Энергия плюс трансмутация». Препринт ОИЯИ Р1-2001-126. Дубна, 2001 (направлено в «Nuclear Tracks and Radiation Measurements»).
- Гончарова Л. А. и др. Автоматизация измерений и анализа трековой информации об энерговыделении в урановом бланкете электроядерной системы. Препринт ФИ РАН, № 25. Москва, 2001.
- Damjanovic S. et al. // Proc. of NEP2001 Conf., Budapest, 2001.
- Afanasiev S. V. et al. // Phys. Rev. Lett. 2001. V. 86. P. 1965–1970.
- Kollegger T. et al. // Proc. of the 6th Intern. Conf. on Strange Quarks in Matter (SQM2001), Frankfurt, Germany, Sept. 24–29, 2001.
- Penev V. N., Chklovskaya A. I. JINR Preprint E1-2001-149. Dubna, 2001.
- Skoro G. P., Tokarev M. V. JINR Preprint E2-2001-40. Dubna, 2001.
- Ladygin V. P. et al. // Part. and Nucl. Lett. 2000. No. 3[100]. P. 74.
- Proc. of the Intern. Workshop «Relativistic Nuclear Physics: from hundreds MeV to TeV», Stara Lesna, Slovak Republic, June 26–July 1, 2000. Dubna, 2001.
- Адамович М. И. и др. // Письма в ЭЧАЯ. 2002. № 1[110]. С. 5.

## ЛАБОРАТОРИЯ ФИЗИКИ ЧАСТИЦ

Деятельность Лаборатории физики частиц в 2001 г. была сконцентрирована на проведении текущих и подготовке новых экспериментов по физике

частиц, а также разработке и исследовании детекторов частиц и различных ускорительных систем.

### ТЕКУЩИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Эксперимент **ЭКСЧАРМ** посвящен изучению рождения очарованных и странных частиц в нейтрон-нуклонных взаимодействиях на серпуховском ускорителе У-70.

Получены окончательные результаты по измерению полных сечений инклюзивного рождения гиперонов во взаимодействиях нейтронов с ядрами углерода [1]:

$$\Lambda^0 \text{ — } (3330 \pm 280) \text{ мкб/нуклон,}$$

$$\Xi^- \text{ — } (95 \pm 6) \text{ мкб/нуклон,}$$

$$\Sigma(1385)^- \text{ — } (337 \pm 33) \text{ мкб/нуклон,}$$

$$\Sigma(1385)^+ \text{ — } (277 \pm 18) \text{ мкб/нуклон,}$$

$$\Xi(1530)^0 \text{ — } (17 \pm 3) \text{ мкб/нуклон.}$$

Также получены предварительные результаты по измерению сечений инклюзивного рождения антигиперонов [2]:

$$\bar{\Lambda}^0 \text{ — } (184,3 \pm 11,2) \text{ мкб/нуклон,}$$

$$\bar{\Xi}^+ \text{ — } (6,04 \pm 0,51) \text{ мкб/нуклон,}$$

$$\bar{\Sigma}(1385)^- \text{ — } (11,9 \pm 1,3_{\text{стат}} \pm 0,9_{\text{сист}}) \text{ мкб/нуклон,}$$

$$\bar{\Sigma}(1385)^+ \text{ — } (10,4 \pm 1,9_{\text{стат}} \pm 0,7_{\text{сист}}) \text{ мкб/нуклон.}$$

Наблюдены деструктивные корреляции  $\Lambda^0$ -пар в области малых четырехимпульсов [3]. Получены первые результаты по ассоциативному рождению пар  $\phi$ - $\Lambda$  и  $\phi$ -каон [4].

Группа физиков ЛФЧ активно участвует в эксперименте **NA48** в ЦЕРН, посвященном точному измерению отношения  $\epsilon'/\epsilon$  в  $CP$ -нарушающих распадах  $K_L^0 \rightarrow \pi\pi$ . На основе экспериментальной статистики, набранной в 1997–1999 гг., получено значение  $\text{Re}(\epsilon'/\epsilon) = (15,3 \pm 2,6) \cdot 10^{-4}$  [5] (см. рис. 1). Таким образом, подтверждено существование прямого  $CP$ -нарушения, предсказываемого стандартной моделью (СМ). Значительный вклад в этот анализ был внесен группой ЛФЧ.

Получено значение квадратичного параметра наклона далитц-плота распада  $K_L \rightarrow 3\pi^0$ :  $(-6,1 \pm 0,9_{\text{стат}} \pm 0,5_{\text{сист}}) \cdot 10^{-3}$  [6]. Это наиболее точное измерение этой величины, основанное на анализе  $14,7 \cdot 10^6$  полностью реконструированных распадов  $K_L \rightarrow 3\pi^0 \rightarrow 6\gamma$ . Обработаны данные, полученные в 1999 г. в специальном сеансе облучения на  $K_S^0$ -пучке высокой интенсивности. Установлен новый верхний предел на парциальную вероятность этого распада:  $1,4 \cdot 10^{-7}$  с уровнем достоверности (УД) 90 % [7].

В тестовом сеансе в рамках подготовки нового эксперимента NA48/2 исследованы различные триггеры для распадов заряженных каонов.

Дубненская группа принимает активное участие в наборе данных и техническом обеспечении систем мини-дрейфовых вершинных камер (ДВК) переднего трекера спектрометра **HERMES** на ускорителе HERA

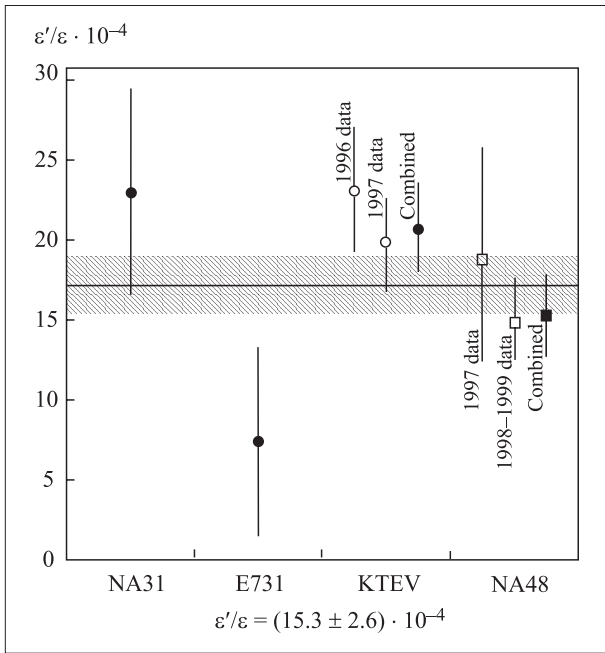


Рис. 1. Экспериментальные измерения отношения  $\text{Re}(\epsilon'/\epsilon)$ . Заштрихованная область отвечает среднему мировому значению с соответствующими экспериментальными ошибками

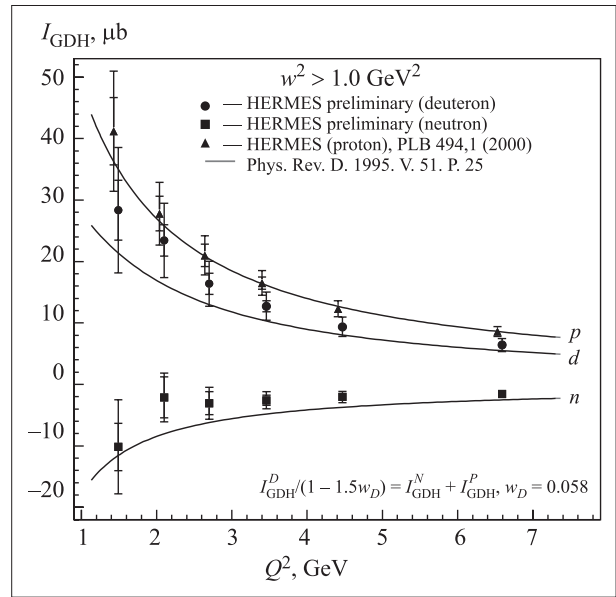


Рис. 2.  $Q^2$ -зависимость интеграла ГДХ для протона, дейтрона и нейтрона. Внутренние (внешние) границы интервалов ошибок соответствуют статистическим (систематическим) неопределенностям. Кривые показывают предсказания, основанные на  $Q^2$ -эволюции структурных функций  $g_1$  и  $g_2$  без явного вклада нуклонных резонансов (модель Шаффера–Теряева)

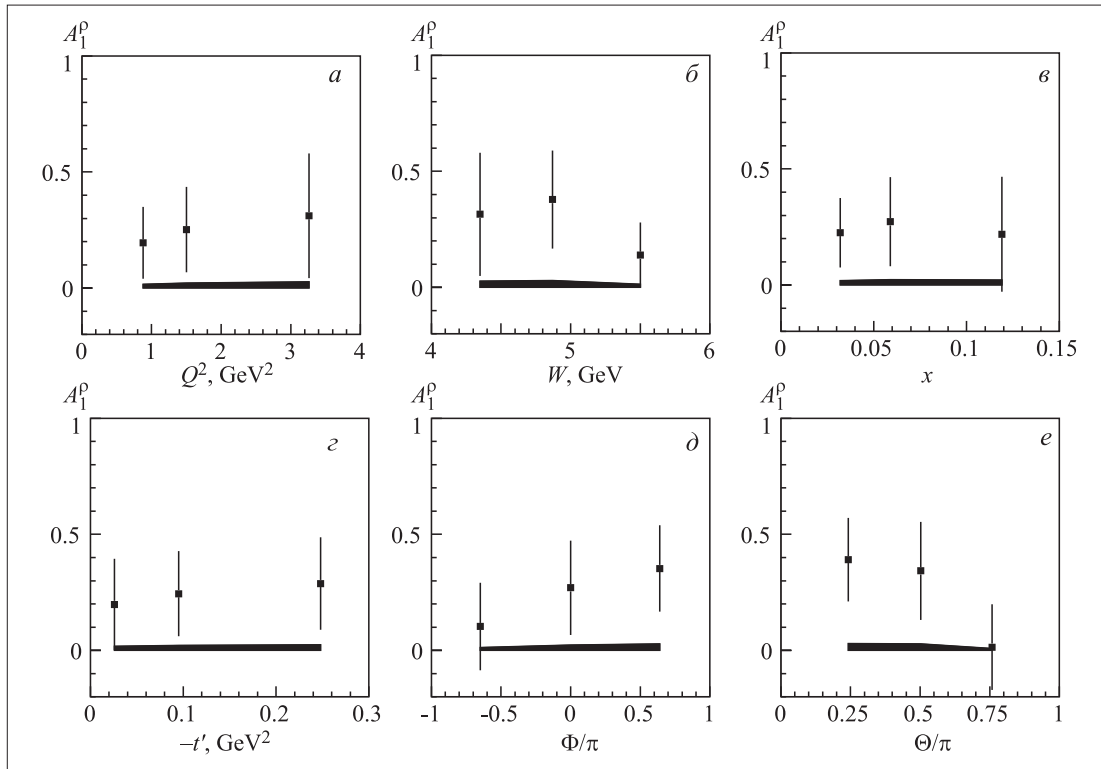


Рис. 3. Протон-нуклонная асимметрия  $A_1^{\rho^0}$  эксклюзивного рождения  $\rho^0$ -мезонов в зависимости от  $Q^2$  (а),  $W$  (б),  $x$  (в),  $-t'$  (г),  $\Phi$  (д), и  $\Theta$  (е) (углы рассеяния). Статистические неопределенности указаны интервалами ошибок экспериментальных точек, систематические неопределенности — заштрихованными полосами



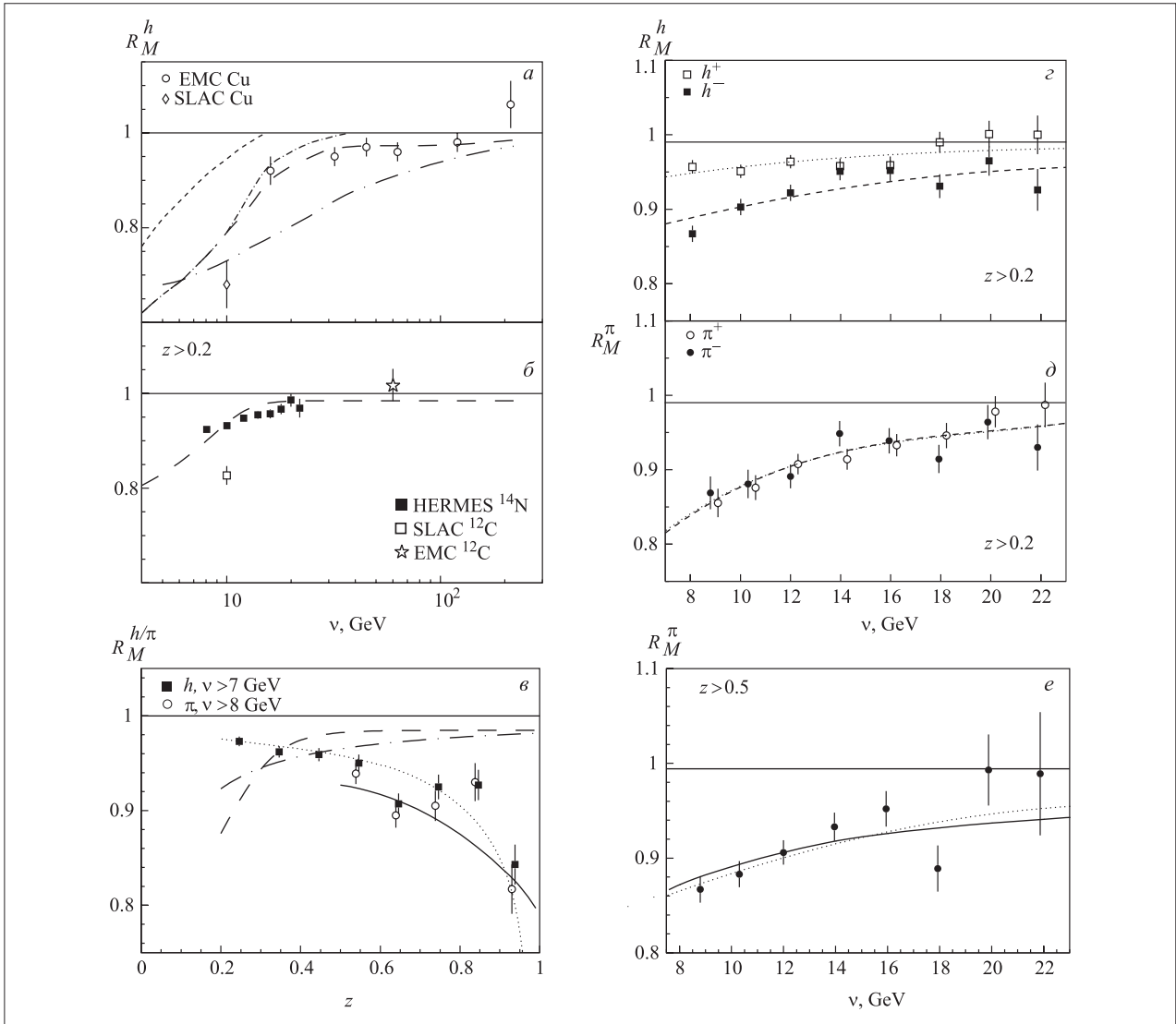


Рис. 4. Отношение множественностей  $R_M^I$ , как функция  $\nu$  и  $z$  для всех заряженных каонов (светлые кружки) и всех заряженных адронов, включая пионы (темные кружки). Сплошные кривые показывают результаты вычислений для пионов в рамках модели глюонного тормозного излучения. Пунктирные, штриховые и штрихпунктирные кривые соответствуют феноменологическим расчетам в терминах времен формирования

в DESY, Гамбург. В период остановки ускорителя HERA для его модернизации с целью увеличения светимости группа ОИЯИ начала производство новых ДВК.

Продолжен анализ поляризованных данных, набранных на установке HERMES в 1998–2000 гг., для извлечения  $Q^2$ -зависимости обобщенного интеграла Герасимова–Дрелла–Херна (ГДХ) для дейтрона и нейтрона [8]. Обобщение интеграла ГДХ для ненулевой виртуальности фотона  $Q^2$  позволяет исследовать переход от поглощения поляризованного реального фотона нуклоном к инклюзивному и поляризованному лептонному рассеянию на кварках. Предварительные данные показаны на рис. 2.

Получено указание на существование положительной продольной двойной спиновой асимметрии в полном сечении эксклюзивного дифракционного рождения  $\rho^0$ -мезонов в поляризованном лептон-протонном рассеянии [9] (см. рис. 3). Среднее значение двойной спиновой асимметрии  $0,24 \pm 0,11_{\text{стат}} \pm 0,02_{\text{сист}}$ . Величина отношения этого результата к соответствующей спиновой асимметрии в инклюзивном глубоконеупругом рассеянии (ГНР) согласуется с теоретическим предсказанием, основанным на обобщенной модели доминантности векторных мезонов.

В эксперименте HERMES также исследовалось формирование адроном в ГНР позитрона в ядерной среде [10]. Результаты показаны на рис. 4. Дифференциальные множественности заряженных адронов и

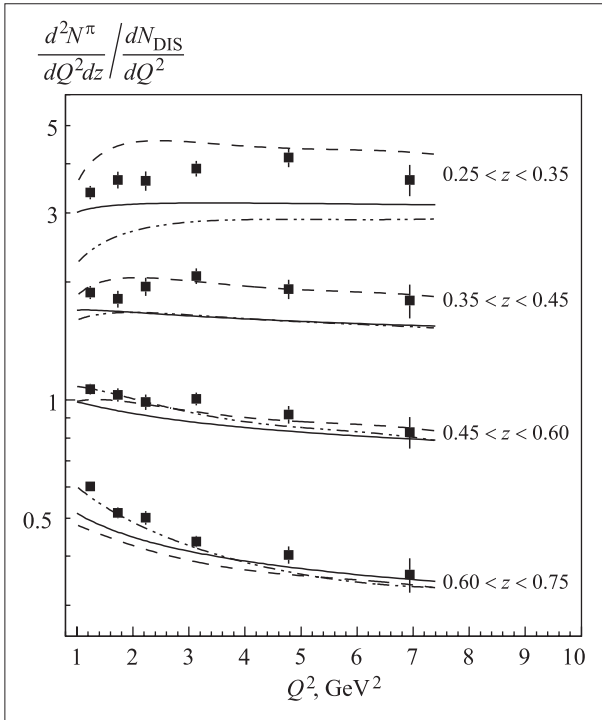


Рис. 5. Полная множественность (нейтральных и заряженных) пионов в зависимости от  $Q^2$  для разных интервалов по  $z$ . Систематические неопределенности экспериментальных данных составляют 8,5%. Кривые показывают результаты вычислений функций фрагментации в следующих за лидирующим порядках КХД

идентифицированных заряженных пионов измерены на водороде и дейтерии, как функции энергии виртуального фотона  $\nu$  и доли этой энергии  $z$ , переданной адрону. Значительное уменьшение отношения множественностей  $R_M^h$ , наблюдаемое как при малых  $\nu$ , так и больших  $z$ , хорошо описывается моделью адронизации с учетом тормозного излучения глюонов. Обнаружена значительная разница  $\nu$ -зависимостей отношений  $R_M^h$  для положительных и отрицательных адронов. В рамках феноменологической модели, используемой для описания  $\nu$ - и  $z$ - зависимости отношения  $R_M^h$ , этот факт объясняется разницей времен формирования протонов и пионов.

Результат эксперимента HERMES по множественностям заряженных и нейтральных пионов в ГНР позитронов с энергией 27,5 ГэВ на водороде показан на рис. 5 [11]. Совпадение средних множественностей заряженных и нейтральных пионов в области значений  $z$  до 0,7 согласуется с изотопической инвариантностью.

Наблюдаемая зависимость от квадрата изотопической передачи импульса  $Q^2$  согласуется количественно с ожидаемым поведением в следующих за лидирующим порядках КХД, в то время как зависимость от бьеркеновской переменной  $x$  согласуется с предыдущими данными после внесения поправок на ожидаемую  $Q^2$ -зависимость.

На рис. 6 показан результат по одиночной спиновой азимутальной асимметрии электророждения нейтральных пионов в полуинклюзивном ГНР [12] позитронов на предельно поляризованных протонах. Эта

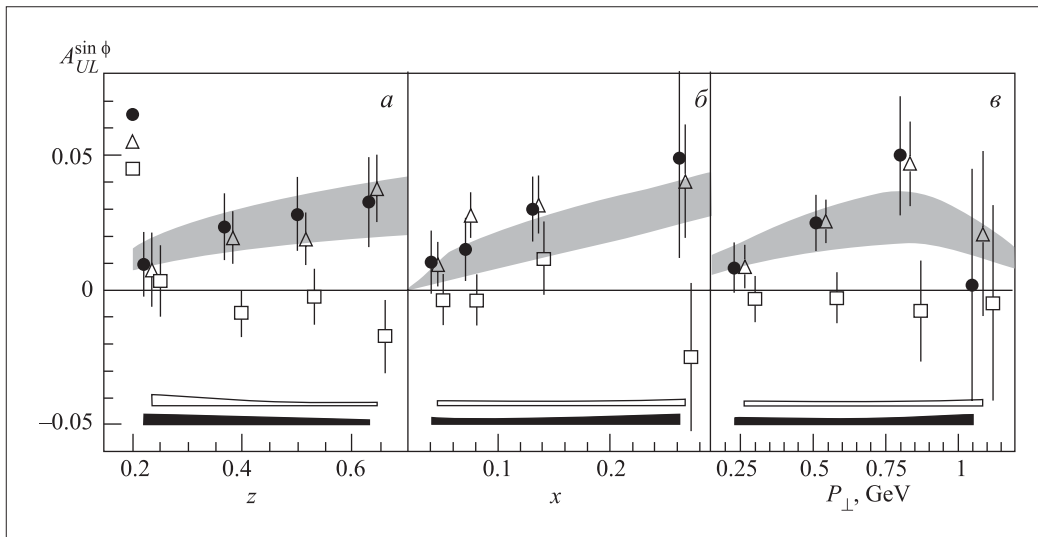


Рис. 6. Анализирующая способность  $A_{UL}^{\sin \phi}$  по моменту  $\sin \phi$  для  $\pi^0$  (кружки) в сравнении с предыдущими результатами для  $\pi^+$  (треугольники) и  $\pi^-$  (квадраты), как функция доли энергии пиона  $z$  (а), бьеркеновской переменной  $x$  (б) и поперечного импульса пиона  $P_{\perp}$  (в). Ошибки экспериментальных точек включают только статистические неопределенности. Заполненные и пустые полосы внизу показывают систематические неопределенности для нейтральных и заряженных пионов соответственно. Заштрихованные полосы соответствуют границам предсказаний модельных расчетов для случая электророждения  $\pi_0$ -мезонов

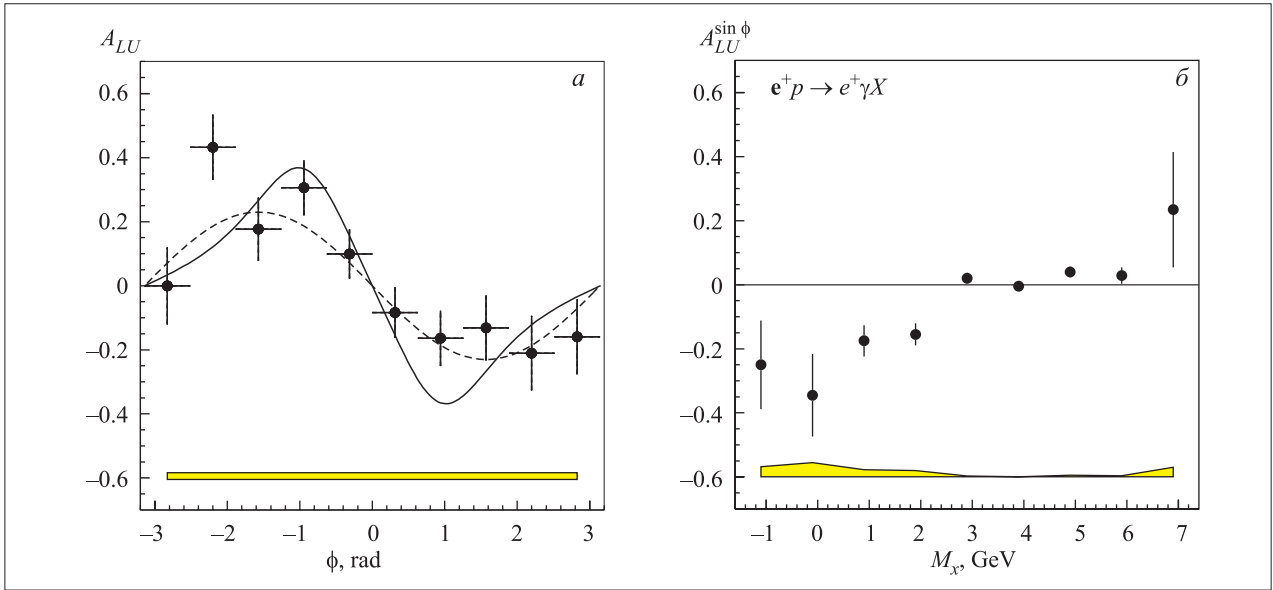


Рис. 7. Асимметрия спина пучка  $A_{LU}$  для жесткого электророждения фотонов как функция азимутального угла  $\phi$ . Данные соответствуют области недостающих масс от  $-1,5$  до  $+1,7$  ГэВ. Штриховая кривая показывает  $\sin \phi$ -зависимость с величиной амплитуды, равной  $0,23$ , в то время как сплошная кривая показывает результат SPD-вычислений. Полоса внизу показывает систематическую неопределенность. Анализирующая способность  $A_{LU}^{\sin \phi}$  для жесткого электророждения фотонов на водороде как функция недостающей массы

асимметрия описывается феноменологически с использованием функций фрагментации, чувствительных к поперечной поляризации участвующего в столкновении кварка. На рис. 7 показан окончательный результат по спиновой асимметрии пучка, связанной с глубоковиртуальным комптоновским рассеянием (ГВКР) [13]. Наблюдаемая асимметрия обусловлена интерференцией процессов Бете–Гайтлера и ГВКР.

Физики ЛФЧ участвуют в модернизации детектора **H1**, созданного для изучения процессов ГНР на  $ep$ -коллайдере HERA, DESY, главным образом, в программном и техническом обеспечении работы спектрометра вперед летящих протонов (СВП), модернизации адронного PLUG-калориметра и создании новых пропорциональных камер. Группа ЛФЧ внесла основной вклад в анализ данных по процессам с лидирующим протоном, регистрируемым в СВП: фоторождение, полуинклюзивное дифракционное ГНР и упругое фоторождение  $p$ -мезонов.

Полные сечения процесса фоторождения с лидирующим протоном в конечном состоянии были измерены при энергиях  $W$  в системе центра масс  $\gamma p$ , равных  $91, 181, 231$  ГэВ [14] (см. рис. 8). Измеренные сечения относятся к кинематической области с границей по поперечному импульсу рассеянного протона  $p_T < 0,2$  ГэВ и  $0,68 < z < 0,88$ , где  $z = E_p' / E_p$  — отношение энергии рассеянного протона и энергии пучка.

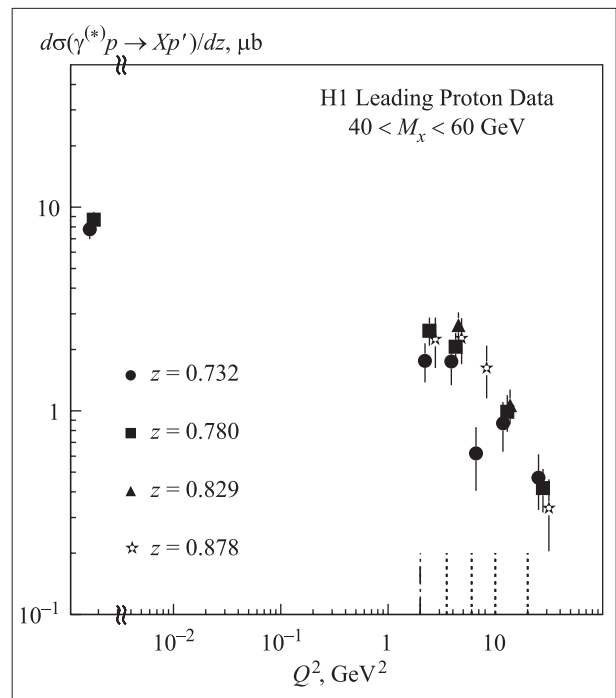
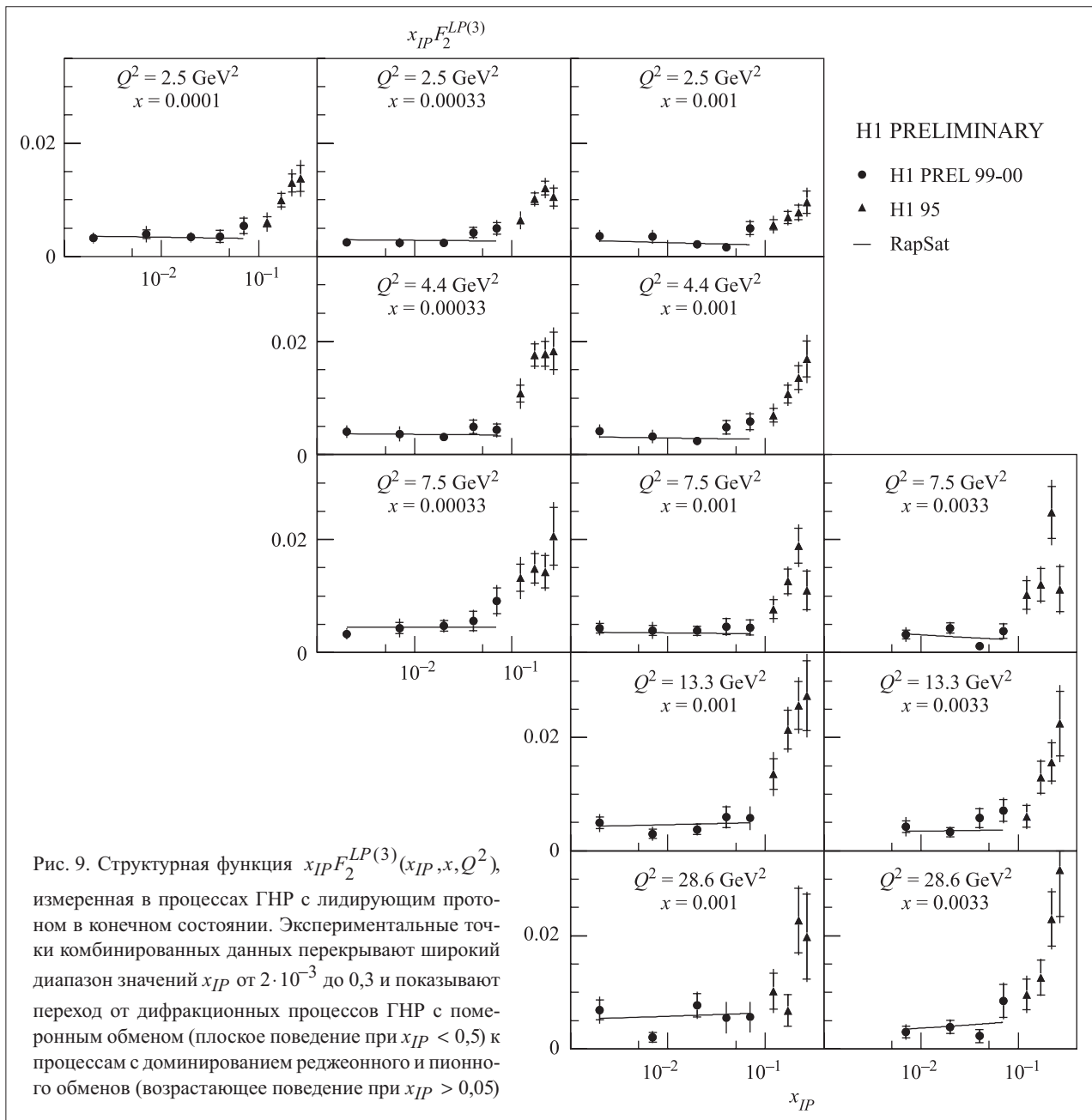


Рис. 8. Полное сечение процесса  $\gamma^{(*)}p \rightarrow Xp'$  с лидирующим протоном в конечном состоянии как функция  $Q^2$  для различных значений  $z = 1 - x_{IP}$ . Насыщение полного сечения наступает при малых  $Q^2$ , когда процессы ГНР с виртуальными фотонами ( $Q^2 > 0$ ) переходят в процессы фоторождения с квазиреальными фотонами ( $Q^2 \sim 0$ )



В пределах ошибок измерений дифференциальное сечение  $d\sigma_{\gamma p \rightarrow X p'}(W, z)/dz$  оказалось независимым от  $W$  и  $z$ , и его среднее значение составило величину  $(8,05 \pm 0,06_{\text{стат}} \pm 0,89_{\text{сист}})$  мкб.

В процессах дифракционного ГНР с лидирующим протоном в конечном состоянии измерены дифференциальное сечение  $d\sigma/dt$  и структурная функция  $F_2^{D(3)}(x_{IP}, x, Q^2)$  [15]. Проведено сравнение данных по  $F_2^{D(3)}$  с результатом, полученным ранее с помощью СВП-установки Н1 в недифракционной области больших  $x_{IP}$ , где  $x_{IP}$  — доля импульса пучкового протона, унесенная помероном. Наблюдаемое поведение согласуется с переходом от померонного об-

на при  $x_{IP} > 0,05$  к доминированию реджеонного и пионного обменов при  $x_{IP} > 0,05$ . Сравнение  $F_2^{D(3)}$  в процессах с лидирующим протоном с данными для процессов, выделенных по разнице быстрот между дифракционными состояниями [16], показало хорошее согласие между двумя методами и подтвердило малый вклад протонной диссоциации в процесс с большим интервалом по быстроте (см. рис. 9). Модель насыщения, основанная на подходе цветных диполей, находится в хорошем согласии с данными в дифракционной области.

С помощью измерения лидирующего протона в конечном состоянии также изучалось упругое фоторождение  $\rho$ -мезонов [17]. Полученный в эксперимен-



те H1 результат расширил область энергий в системе центра масс до диапазона  $25 < W < 70$  ГэВ, тем самым дополнительно уменьшив кинематический разрыв между измерениями на встречных пучках HERA и

фиксированных мишенях. Результаты согласуются с моделью доминантности векторных мезонов и реджевской теорией.

## ПОДГОТОВКА НОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Спектрометр **COMPASS** (проект NA58) был предложен для проведения серии экспериментов с мюонами высоких энергий на адронных пучках ЦЕРН. В 2001 г. были полностью смонтированы, отлажены и проверены с помощью источников и на пучке 480 модулей адронного калориметра HCAL1. Также полностью смонтирована на пучке и оснащена аналоговой электроникой мюонная стенка MW1 первой стадии спектрометра COMPASS. Установлены и отлажены на пучке многопроволочные пропорциональные камеры трековой системы установки COMPASS. В рамках контракта с Университетом Людвиг Максимилиана (Мюнхен) в ЛФЧ ОИЯИ производятся также «straw»-камеры для трекера. Четыре двойные плоскости размером  $3,5 \times 2,5$  м доставлены в ЦЕРН.

В соответствии с обязательствами ОИЯИ в рамках подготовки в ЦЕРН эксперимента **ATLAS** ЛФЧ участвует в создании жидкоаргонного адронного торцового калориметра (LArHEC) и трекера на основе детекторов переходного излучения (TRT). Медный поглотитель для LArHEC производится в ОИЯИ и на минском заводе МЗОР в Белоруссии. Сборка модулей ведется в ОИЯИ.

На пучке канала N3 реактора ИБР-2 проводятся исследования свойств материалов, используемых в серийном производстве модулей. Электроды калориметра, помещенные в заполненный жидким аргоном криостат, облучались в потоке быстрых нейтронов до дозы  $10^{16}$  н/см<sup>2</sup>. Чистота жидкого аргона до и после облучения измерялась с помощью ионизационной камеры. Исследования показали, что облучение не вызывает выделения с поверхности материала в жидкий аргон электроотрицательных примесей, уменьшающий собранный заряд. Изучены электрические и функциональные характеристики 64 предформирователей для электроники считывания LArHEC. Завершена точная калибровка температурных датчиков, которые будут использованы для измерения температуры жидкого аргона в криостате детектора ATLAS.

Продолжается анализ новых экспериментальных данных, набранных в ЦЕРН во время испытаний модулей. Изучаются спиновые эффекты в процессах одиночного и парного рождения *t*-кварков в *pp*-столкновениях на LHC.

В проекте **CMS** основными задачами, на которых сконцентрирована деятельность ЛФЧ, являются

изучение, разработка, интеграция и производство торцовых детекторов, за которые ОИЯИ несет полную ответственность в рамках RDMS (Russia and Dubna Member States) коллаборации CMS. Группа ОИЯИ участвует в создании торцового адронного калориметра (HE), первой передней станции мюонов (ME1/1), торцового предливневого детектора (SE), а также в развитии физической программы исследований на CMS.

ОИЯИ координирует деятельность RDMS коллаборации CMS по разработке и созданию адронного калориметра HE и несет ответственность за его поглотитель, для которого проработана полная технологическая цепочка производства механической и оптической частей. Первый поглотитель HE-1 произведен на минском заводе МЗОР и доставлен в ЦЕРН. Изготовлены и доставлены все тайлы для HE-1. Первая партия из 38 серийно произведенных мегатайлов была проверена и откалибрована на пионах и мюонах в ЦЕРН.

В Дубне налажено производство стриповых камер с катодным считыванием (СККС) для мюонной станции ME1/1 [19]. Произведено 90 % панелей для СККС, и начато изготовление деталей для СККС и их сборка, а также производство анодной электроники ME1/1. Произведена первая партия элементов для системы охлаждения электроники и начато ее испытание. В Болгарии разработан прототип системы низковольтного питания и начато массовое производство системы высоковольтного питания. Продолжаются работы по предливневому детектору, включая массовое производство кремниевых детекторов совместно с НПО ЭЛМА (Зеленоград). В 2001 г. произведено 215 радиационно стойких детекторов, из которых 2 % детекторов облучено быстрыми нейтронами.

В рамках RDMS коллаборации CMS физики ОИЯИ участвуют в развитии программного обеспечения и моделировании физических процессов, прежде всего для торцовой и передней областей. Моделировался совместный отклик системы HE/HF-калориметров CMS с целью изучения возможности калибровки адронного калориметра с помощью фотон-струйных событий. Проведено тестирование и модификация программ CMSIM и ORCA для реконструкции мюонных треков в торцовой мюонной системе. Компьютерная группа участвует в разработке концепции региональных распределенных центров.

Ведутся работы по развитию физической программы исследований тяжелых ионов на CMS, главным образом, по изучению глобальных характеристик ультра-релятивистских ядро-ядерных столкновений [19]. Для изучения  $B$ -физики на CMS в Дубне разработан пакет программ SIMUB для моделирования рождения и распадов  $B$ -мезонов. Ведется массовая генерация событий распада  $B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi$  для изучения эксклюзивного  $B$ -триггера.

В соответствии с обязательствами ОИЯИ ЛФЧ участвует в эксплуатации внешнего трека детектора **HERA-B** — широкоапертурного спектрометра, созданного для изучения взаимодействий протонов с энергией 920 ГэВ с ядрами проволочной мишени, помещенной в гало протонного пучка HERA. Физики ОИЯИ участвуют в разработке программного обеспечения, облучения установки и анализе данных. В 2001 г. дубненская группа внесла значительный вклад в модернизацию внешнего трека, проведенную во время остановки ускорителя HERA. Продолжалось дальнейшее развитие программного обеспечения и изучение работоспособности внешнего трека на основе обработки данных, набранных в 2000 г. [20].

## УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

В соответствии с графиком работ по проекту **ЛНС** основная деятельность в 2001 г. была сфокусирована на разработке и производстве электростатических кикеров и усилителей мощности для системы подавления поперечных колебаний (СППК) ЛНС, а также исследованиях цепи усилителя мощности и режимов подавления для последующей модернизации СППК. Испытания усилителя мощности (классический вариант) в ЦЕРН подтвердили, что его параметры полностью отвечают требованиям, заложенным в проекте. Постоянно улучшается методика моделирования вакуумных трубок. В ОИЯИ создан и испытан каскадный усилитель мощности до 16 кВт. Разрабатывается покрытие керамических изоляторов.

В течение 2001 г. группа по лазерам на свободных электронах (ЛСЭ) продолжала экспериментальные и теоретические исследования осцилляторов на основе мазеров на свободных электронах (МСЭ) миллиметрового диапазона в качестве возможных источников СВЧ-мощности для линейного коллайдера **CLIC** в ЦЕРН. Предложены две новые технологии измерения частоты: точная механическая волнометрия и гетеродинная спектрометрия. Также была внедрена новая технология производства брэгговских резонаторов, основанная на штамповке из нержавеющей стальных труб. Экспериментально исследовалась стабильность работы МСЭ, а также проводилось численное моде-

лирование процессов колебаний в МСЭ с различными брэгговскими резонаторами.

ЛФЧ принимает также участие в конструировании и создании центральной и торцевой систем электромагнитного калориметра  $4\pi$ -детектора **STAR** на коллайдере RHIC в Брукхейвене, BNL. В 2001 г. группа ЛФЧ участвовала в первых измерениях инклюзивного рождения антипротонов в Au–Au-столкновениях при 130 ГэВ на установке STAR [21].

Специалисты ЛФЧ участвуют в создании низкошумового нейтринного детектора «**Борексико**», размещенного в подземной лаборатории Гран-Сассо, в Италии. В основном, группа ОИЯИ несет ответственность за систему сбора данных, калибровку детектора, проверку и монтаж фотоумножителей. Смонтирован прототип детектора «Борексико», CTF2, предназначенный для изучения жидкого сцинтиллятора нового типа, эффективности радиационной очистки, а также методов контроля низкой радиоактивности. Прототип CTF2 был использован для изучения стабильности электрона. Установлен новый нижний предел для среднего времени жизни электрона:  $\tau(e \rightarrow \gamma\nu) > 4,6 \cdot 10^{26}$  лет с 90 % УД [22].

лирование процессов колебаний в МСЭ с различными брэгговскими резонаторами.

В 2001 г. завершен технический проект **TESLA**, создавший концептуальную базу для будущего коллайдера. Специалисты ОИЯИ внесли большой вклад в разработку ЛСЭ рентгеновского диапазона и  $\gamma\gamma$ -коллайдера.

По сравнению с результатами первых испытаний в феврале 2000 г. улучшены характеристики излучения ЛСЭ в области вакуумного ультрафиолета. Длина волны плавно перестраивается в широком диапазоне от 80 до 180 нм. В настоящее время коэффициент усиления мощности излучения достигает величины  $10^6$ , длительность импульса составляет 0,5–1 нс, пиковая и средняя мощность излучения равны 20 МВт и 0,2–0,3 мВт соответственно. Максимальная пиковая яркость достигает величины  $10^{27}$  фотон/с/мрад<sup>2</sup>/мм<sup>2</sup>/(0,1 %  $\Delta\lambda/\lambda$ ). На тестовом ускорителе TESLA Test Facility (ТТФ) смонтировано и испытано оборудование для регенеративного ЛСЭ-усилителя (RAFEL). Успешный эксперимент с RAFEL обеспечит дополнительное усиление пиковой яркости до уровня  $10^{27}$  фотон/с/мрад<sup>2</sup>/мм<sup>2</sup>/(0,1 %  $\Delta\lambda/\lambda$ ).

Продолжаются теоретические исследования и конструкторские разработки по следующим направлениям: физика ЛСЭ, оптимизация устройств для ЛСЭ на ускорителе ТТФ, разработка схем ЛСЭ, обес-

печивающих длительность импульса фемтосекундного масштаба [25], анализ перспективных промышленных приложений [26].

Продолжались экспериментальные и теоретические исследования **источников многозарядных ионов** [27]. С помощью специальной двухэлектродной структуры изучался эффект диска с напряжением смещения в источниках ионов на электронно-циклотронном резонансе (ЭЦР). Определены относительные вклады излучения вторичных электронов с электрода и отражения потерянных электронов обратно в ЭЦР-плазму. С помощью лангморовских проб измерен потенциал плазмы. Инжекция лазерной эрозионной плазмы была успешно осуществлена в ЭЦР-источнике пионов в Университете имени Гете (Франкфурт-на-Майне). Группа ЛФЧ также участвует в экспериментах с лазерной эрозионной плазмой в INFN LNS, Катания, Италия. Для численного моделирования инжекции ионов и нейтральных атомов в ЭЦР-плазму разработана новая версия программы, основанной на использовании уравнений баланса для всех зарядовых состояний ионов и теории электрон-

ного и ионного конфайнмента в открытой магнитной ловушке ЭЦР-источника ионов. Модифицированная библиотека программ, основанных на применении метода макрочастиц, была использована для оптимизации ионного пучка в RIKEN.

В ЛФЧ развивается новое нетрадиционное направление в области **ускорителей для радиационных технологий**. Разработанный многопучковый ускоритель с высокой частотой повторения импульсов обеспечивает среднее отношение периода повторения и длительности импульса на уровне 10. Благодаря этому появляется возможность использовать дешевое постоянное электрическое поле для ускорения вторичных электронов. Модель ускорителя с энергией 200 кэВ была приспособлена к проведению экспериментов с многопучковой инжекцией электронов в постоянное поле радиационной камеры. Разработаны и изготовлены радиационная камера с постоянным электрическим полем и все конструктивные узлы для ускорителя с энергией 500–700 кэВ и выходной мощностью 30 кВт.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Aleev A. N. et al.* JINR Preprint D1-2001-98. Dubna, 2001;  
*Zinchenko A. I.* // Nucl. Phys. (Proc. Suppl.). 2001. V. 93, P. 42.
2. *Goudzovski E. A.* // Proc. of the II Russia Conf. «Phys. of Element. Part. and Atom. Nucl.». M., 2001, P. 23;  
*Guriev D. K.* // Ibid. P. 25.
3. *Bulekov O. V.* // Ibid. P. 29.
4. *Molokanova N. A.* // Ibid. P. 27.
5. *Tatishvili G.* // Nucl. Phys. (Proc. Suppl.). 2001. V. 96. P. 310;  
*Lay A. et al.* hep-ex/0110019.
6. *Lai A. et al.* // Phys. Lett. B 2001. V. 515. P. 261.
7. *Lai A. et al.* // Phys. Lett. B 2001. V. 514. P. 253.
8. *Akopov N., Nagaitsev A.* HERMES Intern. Note 01-023, DESY. Hamburg, 2001;  
*Akopov N., Nagaitsev A.* HERMES Intern. Note 01-031, DESY. Hamburg, 2001.
9. *Airapetian A. et al.* // Phys. Lett. B. 2001. V. 513. P. 301.
10. *Airapetian A. et al.* // Eur. Phys. J. C. 2001. V. 20. P. 479.
11. *Airapetian A. et al.* // Eur. Phys. J. C. 2001. V. 21. P. 599.
12. *Airapetian A. et al.* // Phys. Rev. D. 2001. V. 64. P. 097101.
13. *Airapetian A. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2001. V. 87. P. 182001.
14. *Adloff C. et al.* Preprint DESY 01-062. Hamburg, 2001; hep-ex/0106070.
15. *H1 collaboration.* Talk presented at the Intern. Europ. Conf. on High-Energy Phys. EPS-2001, Budapest, Hungary, July 2001.
16. *H1 collaboration.* Talk presented at the EPS-2001.
17. *H1 collaboration.* Talk presented at the EPS-2001.
18. *Мовчан С. А., Мойсенз К. П., Мойсенз П. В.* Сообщение ОИЯИ P10-2001-50. Дубна, 2001;  
*Golutvin I. A. et al.* // Part. Nucl. Lett. 2001. No. 4 [107];  
*Голутвин И. А.* Препринт ОИЯИ P13-2001-147. Дубна, 2001.
19. *Zarubin P., Savina M., Shmatov S.* // Part. Nucl. Lett. 2001. No. 2[105]. P. 26;  
*Zarubin P., Savina M., Shmatov S.* // Atom. Phys. Nucl. 2001. V. 12. P. 2037;  
*Shmatov S., Zarubin P.* JINR Preprint E1-2001-64. Dubna, 2001;  
*Damgov J. et al.* // Part. Nucl. Lett. 2001. No. 4 [107]. P. 97.

20. Barsukova O., Hulsbergen W., Lanyov A. Note HERA-B 01-007. OTR 01-002, DESY. Hamburg, 2001;  
 Belkov Ar., Lanyov A., Spiridonov A. Note HERA-B 01-005. Software 01-003, DESY. Hamburg, 2001;  
 Bel'kov A. et al. Note HERA-B 01-065. OTR 01-006, DESY. Hamburg, 2001;  
 Бельков Арк. А. Сообщение ОИЯИ P10-2001-182. Дубна, 2001.
21. Adler C. et al. // Phys. Rev. Lett. 2001. V. 86. P. 4778.  
 Adler C. et al. nucl-ex/0110009.
22. Back H. et al. // Phys. Lett. 2001 (to be published).
23. Yurkov M. V. for TTF FEL Team. Talk at FEL2001 Conf. // Nucl. Instr. Meth. A (to be published).
24. Faatz B. et al. // Ibid.
25. Brefeld W. et al. TESLA-FEL 2001-01, DESY. Hamburg, 2001;  
 Brefeld W. et al. TESLA-FEL 2001-02, DESY. Hamburg, 2001;  
 Brefeld W. et al. Preprint DESY 01-056. Hamburg, 2001;  
 Brefeld W. et al. Preprint DESY 01-063. Hamburg, 2001.
26. Pagani C. et al. // Nucl. Instr. Meth. A 2001. V. 463. P. 9.
27. Alexandrov V. et al. Preprint RIKEN-AF-AC-27. RIKEN, 2001;  
 Povyshev V. M. et al. JINR Preprint E9-2001-148. Dubna, 2001.



## ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ ИМ. В. П. ДЖЕЛЕПОВА

В Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Дзепова ведутся экспериментальные исследования в области физики элементарных частиц, структуры ядерной материи, свойств конденсированного состояния; осуществляется теоретическая поддержка экспериментальных работ, проводятся медико-биологические исследования и разрабатываются новые методы детектирования и ускорения частиц. В настоящее время среди всех лабораторий ОИЯИ только в ЛЯП уделяется большое внимание всестороннему исследованию свойств нейтрино и прецизионным экспериментам, направленным на поиск эффектов новой физики, таких как безнейтринный двойной  $\beta$ -распад.

В течение 2001 г. лаборатория приняла участие в организации и проведении трех весьма важных научных мероприятий — конференции по новой физике в неускорительных экспериментах NANP-01, мирового уровня конференции по суперсимметрии SUSY-01 и Гомельской школы-семинара по актуальным проблемам физики частиц.

Конференция NANP-01 была посвящена рассмотрению новых современных направлений физики частиц, связанных с выходом за рамки стандартной модели электрослабых взаимодействий, при этом основное внимание уделялось неускорительным исследованиям. Высокий международный уровень конференций NANP был, в частности, подтвержден решением коллаборации SNO впервые официально представить новые важные свидетельства в пользу осцилляций солнечных нейтрино на конференции NANP-01. Это особенно знаменательно, поскольку идея о нейтринных осцилляциях была предложена Б. М. Понтекерво именно в Дубне. Принято решение посвятить следующую конференцию NANP-03 90-летию со дня рождения Б. М. Понтекерво.

Летом 2001 г. Дубна была удостоена чести проведения престижной (девятой) конференции SUSY-01 «Supersymmetry and Unification of Fundamental Inter-

actions». Впервые конференция по суперсимметрии такого высокого уровня достигла пределов России, где ровно 30 лет назад была выдвинута сама идея суперсимметрии. Практически все ключевые проблемы современной физики частиц, астрофизики и смежные проблемы математической физики были отражены на этой конференции. Очень высокий уровень научных докладов, широкое представительство лидирующих экспериментов и ведущих научных центров, значительное число заинтересованных молодых ученых всего мира, включая и Россию, — все это подтверждает огромную важность суперсимметрии как теории, способной связать воедино ускорительную физику высоких энергий с прецизионной неускорительной физикой, а также с астрофизическими явлениями при экстремально высоких энергиях.

В августе 2001 г. прошла очередная Гомельская школа-семинар по актуальным проблемам физики частиц. Как и предыдущие школы (в 1971, 1973, 1977, 1997 и 1999 гг.), в 2001 г. школа проходила в живописном курортном месте Гомельской области. Инициатива в проведении этих школ принадлежит выдающимся ученым Н. Н. Боголюбову, Ф. И. Федорову, В. Г. Кадышевскому, В. А. Белому и Б. В. Богутю. Научная программа школы была составлена из лекций и оригинальных докладов по физике и технике ускорителей, экспериментальной и теоретической физике элементарных частиц. Впервые в программу школы-семинара были включены новые современные вопросы физики нейтрино, неускорительной физики частиц и астрофизики. В качестве лекторов школы выступали ведущие ученые из белорусских институтов — организаторов школы, а также из всемирно известных научных центров.

Основной целью эксперимента **NOMAD** является поиск нейтринных осцилляций в пучке нейтрино широкого спектра от ускорителя SPS, ЦЕРН. В основе метода регистрации осцилляций лежит детектирование  $\nu_\tau$  в первоначально чисто  $\nu_\mu$ -пучке путем наблюдения различных продуктов распада  $\tau$ -лептонов, возникающих за счет  $\nu_\tau$ -взаимодействий по каналу заряженных слабых токов (CC). Анализ полного набора данных ( $1,3 \cdot 10^6$   $\nu_\mu$  CC-взаимодействий) указывает на отсутствие осцилляций в области  $1 < \Delta m^2 < 1000$  эВ<sup>2</sup>/c<sup>4</sup> [1]. Полученные пределы на вероятность  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  нейтринных осцилляций ( $P_{\nu_\mu \nu_\tau}$ ) и на амплитуду осцилляций ( $\sin^2 2\theta_{\nu_\mu \nu_\tau}$ ) на 90 % уровне достоверности для области больших  $\Delta m^2 > 50$  эВ<sup>2</sup>/c<sup>4</sup> равны (рис. 1) —  $P_{\nu_\mu \nu_\tau} < 1,63 \cdot 10^{-4}$ ,  $\sin^2 2\theta_{\nu_\mu \nu_\tau} < 3,3 \cdot 10^{-4}$ . Верхний предел на амплитуду  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ -осцилляций, полученный в эксперименте NOMAD, более чем на порядок лучше (меньше) предела, полученного в предыдущих экспериментах (FNAL CCFR (1995), E531 (1986)).

Установлены также рекордные верхние пределы на вероятность и амплитуду  $\nu_e \rightarrow \nu_\tau$  нейтринных осцилляций для области больших  $\Delta m^2$ :  $P_{\nu_e \nu_\tau} < 0,74 \cdot 10^{-2}$ ,  $\sin^2 2\theta_{\nu_e \nu_\tau} < 1,5 \cdot 10^{-2}$  (рис. 1, б). Предварительные верхние пределы на вероятность и амплитуду  $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$  нейтринных осцилляций на 90 % уровне достоверности  $P_{\nu_\mu \nu_e} < 0,6 \cdot 10^{-3}$  исключают результат эксперимента LSND для области осцилляционных параметров с  $\Delta m^2 > 10$  эВ<sup>2</sup>/c<sup>4</sup>.

Научная программа эксперимента **NOMAD** включает не только исследования нейтринных осцилляций [2–4]. Получены первые количественные данные о поляризации  $\Lambda^0$ -гиперонов в нейтринных взаи-

модействиях [3]. Результаты данного исследования важны для теоретического изучения спиновой структуры адронов и механизмов передачи спина кварков и антикварков адронам в конечном состоянии. Впервые в нейтринных экспериментах измерялся вектор поляризации  $\bar{\Lambda}^0$ -гиперонов, рожденных в глубоконеупругих взаимодействиях  $\nu_\mu N$  по каналу заряженного тока. Показано, что модуль вектора поляризации  $\bar{\Lambda}^0$ -гиперонов совместим с нулем [4]. Измерены как интегральные, так и дифференциальные выходы нейтральных странных частиц ( $K_S^0, \Lambda^0, \bar{\Lambda}^0$ ) в  $\nu_\mu$ -взаимодействиях по каналу заряженного тока. Исследованы возможные моды распадов резонансов и тяжелых гиперонов с образованием нейтральных странных частиц в конечном состоянии. Идентифицированы следующие резонансы и частицы (рис. 2):  $K^{*\pm}, \Sigma^{*\pm}, \Xi^-$  и  $\Sigma^0$  [3].

Коллаборация **DELPHI** исследовала характер образования мюонных пар в процессе  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\mu^+\mu^-$  на основе данных LEP1 ( $\sqrt{s} \cong m_Z$ ), накопленных детектором DELPHI [5]. Такое исследование позволяет проверить квантовую электродинамику (КЭД) в четвертом порядке по КЭД константе связи  $\alpha$ . Предсказания КЭД тестировались в широком интервале  $Q^2$  от нескольких ГэВ<sup>2</sup>/c<sup>4</sup> до нескольких сотен ГэВ<sup>2</sup>/c<sup>4</sup> путем сравнения экспериментальных распределений с распределениями, полученными путем моделирования. Выбранные события использовались для определения лептон-фотонной структурной функции  $F_2^\gamma$ . Азимутальные корреляции позволяют получить информацию по дополнительным структурным функциям  $F_A^\gamma$  и  $F_B^\gamma$ , которые возникают за счет интерференционных слагаемых амплитуд рассеяния. Измеренные отношения  $F_A^\gamma/F_2^\gamma$  и  $F_B^\gamma/F_2^\gamma$  значительно отличаются от нуля и не проти-

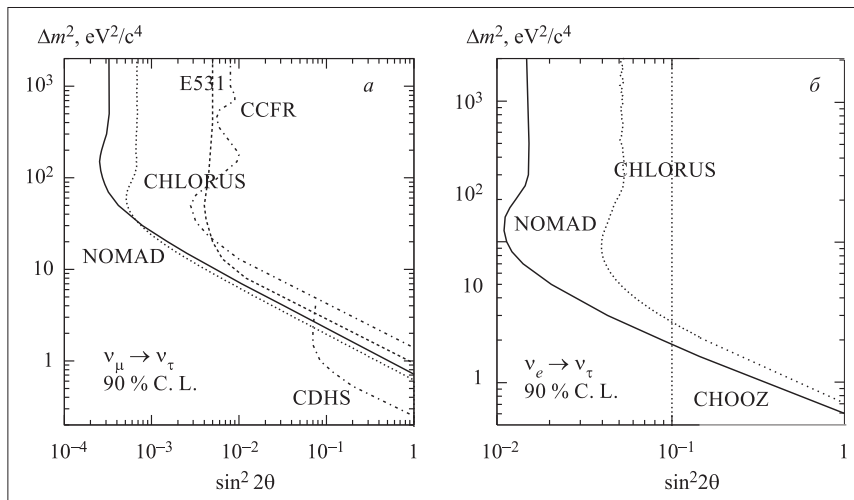


Рис. 1. Ограничения на параметры нейтринных осцилляций в плоскости  $\Delta m^2 - \sin^2 2\theta$  для  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  (а) и  $\nu_e \rightarrow \nu_\tau$  (б). Показаны исключенные (90 % С. Л.) экспериментом NOMAD области (справа от сплошных кривых)

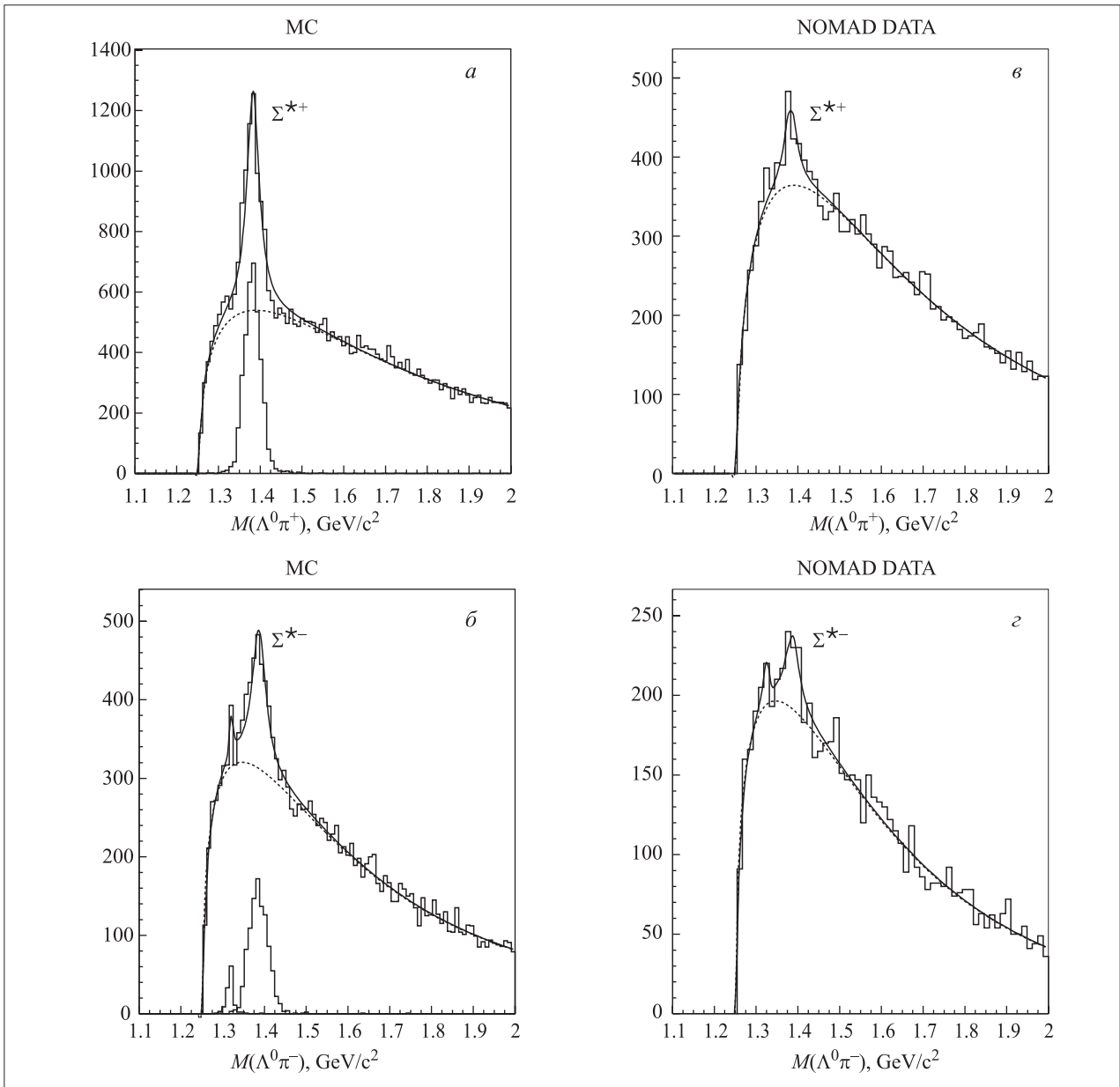


Рис. 2. Распределение по инвариантным массам  $\Lambda\pi^+$  (а, в) и  $\Lambda\pi^-$  (б, г) для MC (а, б) и данных NOMAD (в, г). Ясно видны пики, отвечающие  $\Sigma^{*\pm}$  и  $\Xi^-$ . Сплошная линия — фит, пунктирная — фон. На а, б (MC) дополнительные гистограммы соответствуют восстановленным значениям масс тяжелых странных частиц

воречат предсказаниям КЭД (рис. 3). В 2001 г. дубненская группа в объединенном составе всех коллабораций LEP получила новые значения измеряемых величин и ограничений на параметры стандартной модели [7]. Параметры SM получены как на основе совместных измерений на LEP, так и с использованием всех доступных электрослабых наблюдаемых (см., например, рис. 4).

Целью эксперимента **DIRAC** является измерение времени жизни основного состояния  $\pi^+\pi^-$ -атома ( $A_{2\pi}$ ) с погрешностью не более 10 % для проверки современных представлений о механизме нарушения киральной симметрии в КХД. В 2001 г. изготовлен и

включен в триггер установки специализированный аппаратный процессор для анализа треков в дрейфовых камерах; изготовлен и введен в эксплуатацию сцинтилляционный годоскоп, состоящий из 4 плоскостей, для измерения энергетических потерь в передней части установки. Введен в эксплуатацию второй уровень триггера, работающего по алгоритму нейронных сетей [8]. Для дальнейшего развития установки была изготовлена и испытана на пучке микродрейфовая камера. Полное число событий, записанных в 2001 г., составляет для никелевой мишени 1100 млн и для титановой мишени 550 млн (рис. 5). Число иден-

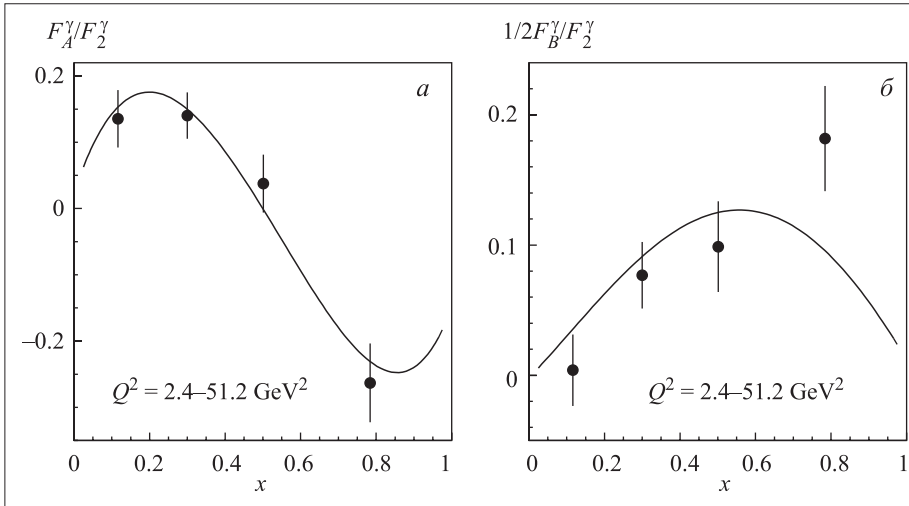


Рис. 3. Отношения лептонных структурных функций  $F_A^\gamma/F_2^\gamma$  (а) и  $\frac{1}{2}F_B^\gamma/F_2^\gamma$  (б), усредненные по  $Q^2$ -области от 2,4 до 51,2 ГэВ<sup>2</sup>, как функции  $x$ . Линиями показаны предсказания КЭД из [6]

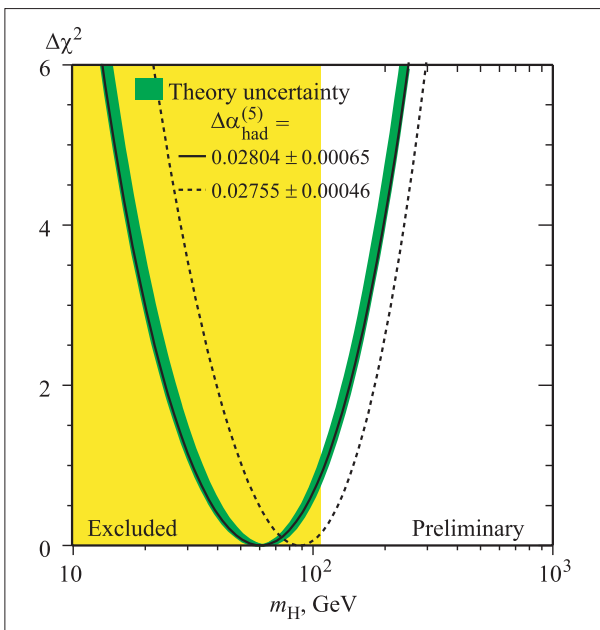


Рис. 4.  $\Delta\chi^2 = \chi^2 - \chi_{\min}^2$  как функция массы бозона Хиггса  $m_H$ . Линия — результат фита всех данных; полоса представляет собой оценку теоретических неопределенностей за счет игнорирования поправок высших порядков. Вертикальная полоса — 95 % С. Л. предел на  $m_H$  из прямого наблюдения бозона Хиггса. Верхний предел (95 % С. Л.) на  $m_H$  — 165 ГэВ/с<sup>2</sup>. Результат фита —  $m_H = 88_{-37}^{+60}$  ГэВ/с<sup>2</sup> при верхнем пределе на  $m_H$  примерно 206 ГэВ/с<sup>2</sup>

тифицированных  $\pi^+\pi^-$ -атомов на мишенях из никеля, титана и платины — около 5500.

Детектор ATLAS создается для проведения на большом адронном коллайдере LHC уникальных экспериментов в области физики элементарных частиц (обнаружение и исследование бозонов Хиггса, изучение механизмов образования и распада топ-кварков, исследование физики В-кварков, обнаружение суперсимметричных частиц и т. д.). На этапе создания уста-

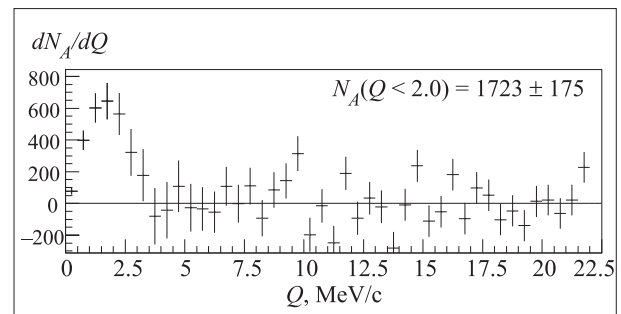


Рис. 5. Распределение по относительному импульсу  $\pi^+\pi^-$ -пар  $Q$  для разности всех зарегистрированных пар и пар, образованных в свободном состоянии. Избыток событий в области малых  $Q$  обусловлен парами от развала  $\pi^+\pi^-$ -атомов в мишени. Число «атомных» пар в интервале  $Q < 2$  МэВ/с составляет  $1723 \pm 175$ . Представлены только данные, полученные на никелевой мишени

новки ATLAS ЛЯП отвечает за производство мюонных камер, производство и монтаж поглотителя barrel-части tile-калориметра, проведение расчетов магнитных полей и разработку программного обеспечения.

В 2001 г. дубненской мюонной группой коллаборации ATLAS произведены дрейфовые трубки для BOS-камер (11800 шт.) и для BMS-камер (2500 шт.). Все детекторы прошли тестовые проверки на отклонение положения сигнальной проволоочки от центра трубы, на герметичность, а также высоковольтные испытания с рабочим составом газа на космических лучах. Количество не удовлетворяющих требованиям труб не превышает 1 %. Отработана и освоена методика сборки (Monitored Drift Tube) МДТ-камер. Проведены испытания и введены в эксплуатацию: система для юстировки опорных линий на гранитном столе, полуавтоматизированная машина для нанесения клея при склеивании дрейфовых трубок. Организована обработка алюминиевых профилей для спейсеров камер на предприятии МЗОР (Минск) [9].



Организовано производство модулей и submodule для **адронного tile калориметра** установки ATLAS. Полное производство submodule (308 шт.) было закончено в июле 2001 г., 55 модулей доставлено в ЦЕРН. Модули представляют собой прецизионные (0,3 мм) конструкции длиной 6 м и весом 20 т.

В рамках нового беспараметрического метода выполнена реконструкция энергии адронов в центральном комбинированном калориметре установки ATLAS, состоящем из свинцово-жидкоаргонного электромагнитного калориметра и железосцинтилляционного адронного калориметра. В методе используются только известные  $e/h$ -отношения и калибровочные константы для электронов и не требуется определения каких-либо параметров с использованием минимизационной процедуры [10]. Спектр энергетических потерь мюонов был измерен с помощью 5,6-м детально сегментированного модуля адронного калориметра установки ATLAS на пучке ускорителя SPS ЦЕРН [11].

Метод развертывания для анализа одноэлектронных сверхкомпактных спектров ФЭУ нового типа R 5600 и R 5900 с металлической канальной диодной системой представлен в [12].

Вместе с запуском тэватрона, 1 марта 2001 г. начала работу установка **D0**. В рамках коллаборации D0 ОИЯИ отвечает за мюонный трекер передней (forward-angle) мюонной системы. Сотрудники ОИЯИ приняли активное участие в разработке математического обеспечения этого узла установки. Достигнута эффективность в распознавании мюонных треков на уровне 99,5 %. Предложен и разработан новый критерий отбора событий с образованием адронной струи и прямых фотонов (или  $Z^0$ -бозонов), который позволяет существенно улучшить точность определения абсолютной шкалы энергии в условиях эксперимента D0.

Дубненская группа начала предварительные исследования нелептонных распадов тяжелых (с  $b$ -кварком) барионов в полностью восстанавливаемые конечные состояния (рис. 6):  $\Lambda_b \rightarrow J/\psi + \Lambda$  и  $\Xi_b \rightarrow J/\psi + \Xi$  с  $J/\psi \rightarrow \mu + \mu$ ,  $e + e$  (аналогично для античастиц). Ожидается, что на статистике  $2 \text{ фб}^{-1}$  будет возможным полностью реконструировать распады 15000  $\Lambda_b$  и несколько сотен  $\Xi_b$ -барионов с лептонами в конечном состоянии, когда значительное число мюонов будет регистрироваться в передней области установки MDT-камерами.

В начале 2001 г. успешно завершена программа совершенствования детектора **CDF**, предназначенного для исследований по физике высоких энергий на модифицированном тэватроне (Run-II), и начался сеанс набора физической информации. В коллаборации с физиками из Италии был создан кремниевый трекер вершин взаимодействия SVT, работающий в on-line режиме. Он необходим для реконструкции в двумерной плоскости траекторий заряженных частиц. Тре-

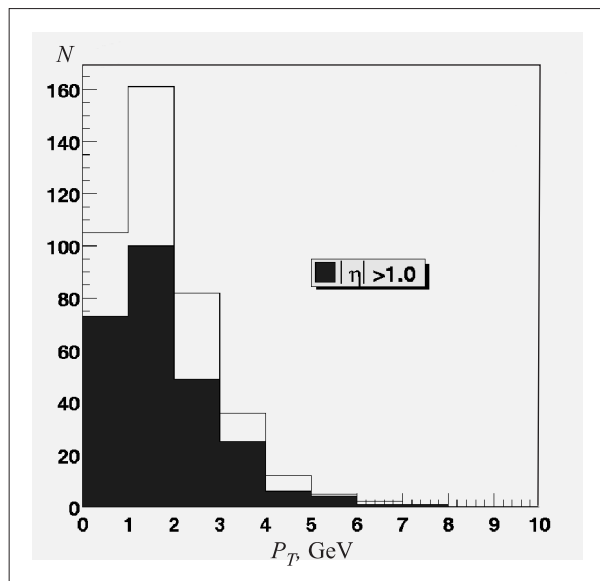


Рис. 6. Распределение по поперечному импульсу мюонов распада  $\Xi_b^-$ -барионов ( $\Xi_b^- \rightarrow \Xi^- + J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ ), образованных в результате  $\bar{p}p$ -взаимодействий при энергии 2,0 ТэВ (метод Монте-Карло). Темная область отвечает мюонам с псевдобыстротой  $|\eta| > 1,0$  ГэВ/с (область работы управляемых дрейфовых трубок ОИЯИ)

кер SVT будет использоваться для выделения событий, содержащих вторичные частицы от распада  $b$ -кварка. Одной из центральных частей SVT является банк ассоциативной памяти (АМ), который представляет собой библиотеку образов треков с очень большой скоростью доступа. Разработка, создание и исследования возможностей этого банка данных выполнены дубненской группой.

**Мюонная система CDF-II** (проволочные камеры и сцинтилляционные счетчики) имеет ключевое значение для проведения широкой программы физических исследований (выделение  $t\bar{t}$ -событий, поиск редких распадов  $B$ -частиц, измерение асимметрий в распадах  $W$ -бозонов и т. п.). В 2001 г. в ОИЯИ было изготовлено, доставлено во FNAL и инсталлировано в установку CDF более 600 сцинтилляционных счетчиков (длиной 1,6–3,2 м). Набрана статистика на уровне  $3,6 \text{ пб}^{-1}$ . Предварительный анализ продемонстрировал высокое качество набранных данных (рис. 7).

Исследование адронной структуры и спектроскопии адронов под углом зрения непertурбативной КХД — основная задача эксперимента **COMPASS** (NA58, ЦЕРН). В коллаборации COMPASS группа из Дубны и Турина отвечает за создание системы многопроволочных пропорциональных камер (MWPC). В 2001 г. в установке COMPASS было инсталлировано 13 таких камер (активная поверхность  $1780 \times 1200$  мм и  $1780 \times 800$  мм) совместно с 18000 каналами электроники. В течение первого сеанса это оборудование

успешно работало при интенсивности пучка  $2 \cdot 10^8$  частиц за сброс.

Другая область ответственности ЛЯП — создание мюонного фильтра спектрометра COMPASS (так называемой первой  $\mu$ -стенки), т. е. 16 плоскостей из камер, содержащих 1200 пропорциональных трубок, оснащенных front-end электроникой. В 2001 г. группа мюонной стенки 1 (MW1) закончила производство всего оборудования, которое было доставлено в ЦЕРН и установлено на пучковом канале M2.

В Институте физики ядер и частиц Карлова университета (Прага) предложено провести новые измерения зависящих от спина разностей полных сечений ( $\Delta\sigma_T$  и  $\Delta\sigma_{T'}$ ) в нейтрон-дейтронном рассеянии при энергии 16 МэВ. Для реализации этой программы усовершенствована существующая поляризованная мишень и создана новая система измерения поляризации ядер дейтерия и лития.

В 2001 г. закончена разработка контейнеров для жидкого сцинтиллятора (в том числе особо тонких  $\approx 5$  мм), мониторинжных счетчиков и налажено их производство в мастерских Института физики ядер и частиц Карлова университета. В Институте ядерных проблем Минского государственного университета изготовлен прототип дискриминатора по форме импульсов, который испытан в Карловом университете. В результате было показано, что он способен разделить импульсы, вызванные нейтронами и  $\gamma$ -квантами в нейтронных детекторах.

Эксперимент **HARP** предполагает прецизионное измерение выходов вторичных адронов в пучках протонов и пионов с импульсами 2–15 ГэВ/с. Для разработки интенсивных источников нейтринных пучков на базе накопления и последующего распада мюонов

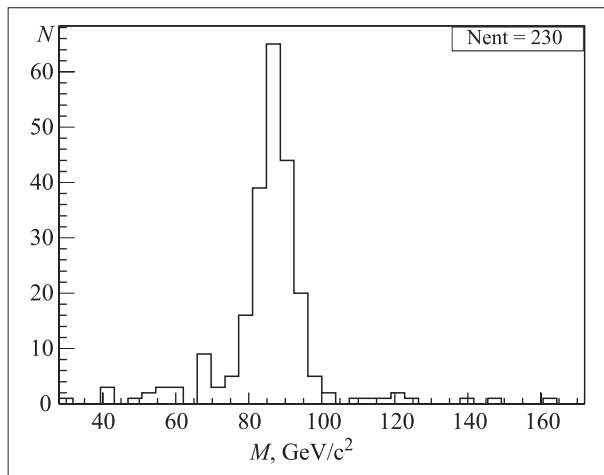


Рис. 7. Массовые распределения выделенных распадов  $Z \rightarrow e^+e^-$

(нейтринные фабрики) необходимо точное знание выхода пионов. Эта информация также необходима для уточнения расчетов потоков атмосферных нейтрино, которые требуются для корректной обработки данных, свидетельствующих в пользу осцилляций в потоках атмосферных нейтрино.

Один из важных узлов установки HARP (рис. 8) составляют большие дрейфовые камеры эксперимента NOMAD, которые используются для измерения треков и импульсов частиц. В зону ответственности ОИЯИ в эксперименте HARP входит обновление, установка, запуск и обеспечение работы этих камер (NDC); сборка, проверка и запуск электромагнитного калориметра, идентификатора мюонов и т. д.

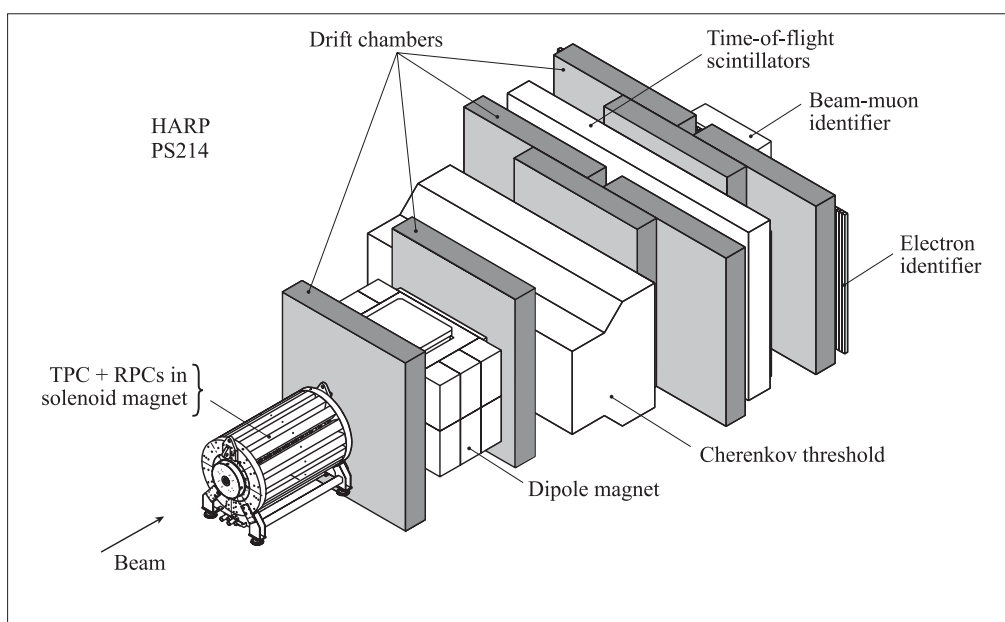


Рис. 8. Схема установки HARP

В 2001 г. все 23 дрейфовые камеры установки NOMAD, необходимые для эксперимента HARP, были модифицированы, испытаны и подготовлены к работе. В рамках единого пакета программ набора и

обработки данных установки HARP предложена и установлена новая DAQ-система для работы NDC. Выполнены сборка, проверка и запуск электромагнитного калориметра, идентификатора мюонов и т. д.

## ФИЗИКА НИЗКИХ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭНЕРГИЙ

Прецизионное измерение вероятности  $\beta$ -распада пиона позволит проверить справедливость гипотезы об универсальности заряженного тока, оценить степень унитарности матрицы смешивания кварков, а также провести поиск проявлений «новой физики». Целью проводимого в PSI на пучке пионов эксперимента **PIBETA** является увеличение точности измерения вероятности  $\beta$ -распада пиона с 4 до 0,5 %.

Продолжен набор статистики для измерения вероятности  $\beta$ -распада пиона. Полученная статистика соответствует возможной точности определения этой вероятности на уровне 0,5 %.

Начаты работы по прецизионному исследованию радиационного распада пиона ( $\pi \rightarrow e\nu\gamma$ ). Есть указание, что в этом распаде проявляется не предсказываемое стандартной моделью тензорное взаимодействие. Предложен новый триггер, позволяющий регистрировать события  $\pi \rightarrow e\nu\gamma$  одновременно с набором данных по  $\beta$ -распаду пиона. Это позволяет увеличить чувствительность эксперимента к возможному существованию тензорного взаимодействия более чем на порядок. Идет набор статистики по этому распаду. Изготовлена и поставлена в PSI новая эффективная электроника для анодных проволочек пропорциональных камер, разработанная в ЛЯП. Отличительная особенность новой электроники заключается в том, что в ней аналоговая (усилители) и цифровая (логика вывода информации в ЭВМ) части совмещены в одном блоке. В результате отпадает необходимость в огромном количестве соединительных кабелей между усилителями и блоками задержки и вывода информации, как это было до последнего времени во всех известных установках.

**DUBTO** — это совместный проект ОИЯИ–INFN по изучению пион-ядерных взаимодействий при энергиях ниже  $\Delta$ -резонанса. Используемая экспериментальная установка **STREAMER** — это самошунтирующаяся стримерная камера, наполненная гелием, в магнитном поле, оснащенная двумя видеокамерами с ПЗС-матрицами для видеорегистрации ядерных событий, происходящих в объеме камеры. Камера (рис. 9) служит одновременно тонкой мишенью и управляемым трековым детектором и позволяет получать измеримые следы вторичных заряженных частиц с очень низкой энергией. Окончательная идентификация тяжелых вторичных частиц основана как на определении ионизационных потерь, так и на полной реконструкции кинематики события; в част-

ности, при идентификации событий применяется искусственная нейронная сеть.

В 2001 г. экспериментальная установка находилась на пучковом канале XIII фазотрона ОИЯИ. Предварительная обработка данных проводилась on-line и включала в себя съем, запись в память, сжатие и создание базы данных из изображений. Примерно 2500 видеоизображений событий  $\pi^+ 4\text{He}$ -взаимодействия были получены и преобразованы для дальнейшей обработки. Много усилий потрачено на создание специального математического обеспечения для чтения, измерения и анализа видеоизображений. Для идентификации событий, т. е. для разделения  $\pi^+ 4\text{He}$ -событий, в которых зарегистрирован пион  $\pi^+ 4\text{He} \rightarrow \pi^+ 2p2n$  и  $\pi^+ 4\text{He} \rightarrow \pi^+ p^3\text{H}$ , была применена техника искусственных нейронных сетей (ИНС): многослойная ИНС из пакета программ JETNET3. На рис. 10, а показаны тестовые распределения выходных сигналов ИНС, соответствующие реакции  $\pi^+ 4\text{He} \rightarrow \pi^+ 2p2n$  (заштрихованная гистограмма) и реакции  $\pi^+ 4\text{He} \rightarrow \pi^+ p^3\text{H}$  (пустая гистограмма) для моделированных событий. На рис. 10, б показано то же распределение для реальных событий. Оказывается, что свыше 50 % зарегистрированных

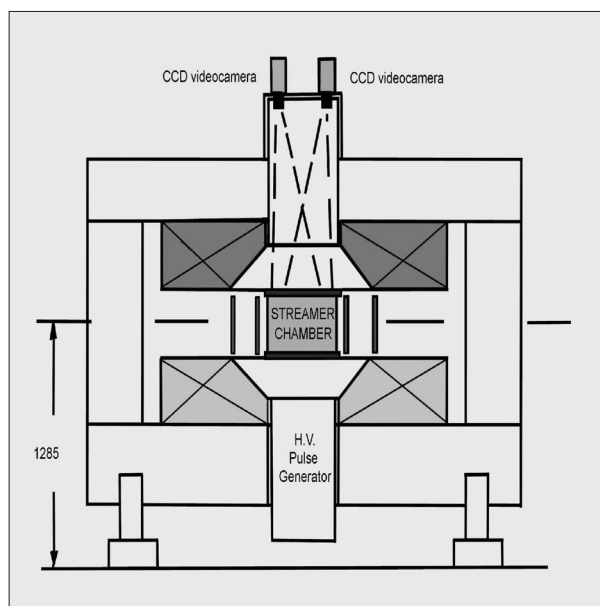


Рис. 9. Схема стримерной камеры (47,0×60,0×16,0) DUBTO в магните MC-4A ( $B = (0,690 \pm 0,005)$  Тл)

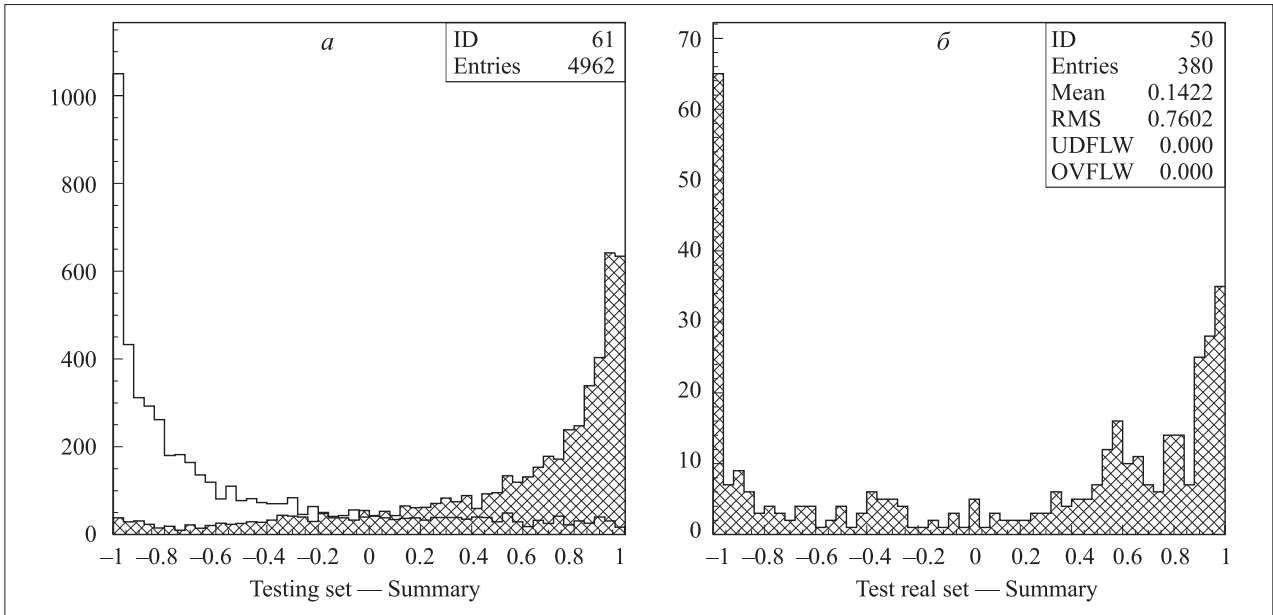


Рис. 10. Распределение выходных сигналов ИНС при обработке набора тестовых моделированных событий (а) и при обработке 212 реальных событий (б). Гистограммы для событий, соответствующих реакции  $\pi^+ {}^4\text{He} \rightarrow \pi^+ 2p2n$ , заштрихованы

трехлучевых событий — события реакции развала ядра  $\pi^+ {}^4\text{He} \rightarrow \pi^+ 2p2n$ .

В 2001 г. дубненская группа физиков с помощью магнитного спектрометра ANKE (с большим акцептансом), расположенного на внутреннем пучке накопительного кольца COSY в Юлихе, выполнила измерения сечения процесса  $pp \rightarrow pn\pi^+$  под малым углом при энергии 492 МэВ [13]. Форма измеренного в эксперименте пика (рис. 11) позволяет сделать заключение, что доля синглетных по спину  $np$ -пар в конечном состоянии не превышает 10 % [14]. Такая малая доля синглетной компоненты согласуется с аналогичными результатами, обнаруженными ранее при более низких энергиях.

На установке ANKE выполнены измерения А-зависимости сечения образования вперед  $K^+$ -мезонов в  $pA$ -столкновениях при энергиях 1,2–2,3 ГэВ [15]. В 2001 г. проведены измерения кумулятивного развала дейтрона  $p+d \rightarrow (pp)s+n$ . Измерялись двухчастичные дважды дифференциальные сечения испускания пары протонов под малыми углами к пучку протонов с энергией от 0,6 до 1,9 ГэВ, проходящих через дейтериевый кластерный пучок. В распределении по недостающей массе был обнаружен явный пик, отвечающий массе нейтрона. Отвечающие этому пику события характеризовались малой относительной энергией ( $< 3$  МэВ), что соответствует  $S$ -волновому конечному состоянию образованной протонной пары. В эксперименте впервые регистрировался развал дейтрона при кумулятивных условиях такого сорта, что позволяет получить информацию о нуклон-нуклонном взаимодействии на малых расстояниях [16].

Целью проекта CATALYSIS является исследование процессов мюонного катализа в смесях изотопов водорода. Эти исследования проводятся с помощью установки TRITON на мюонном канале фазотрона ОИЯИ.

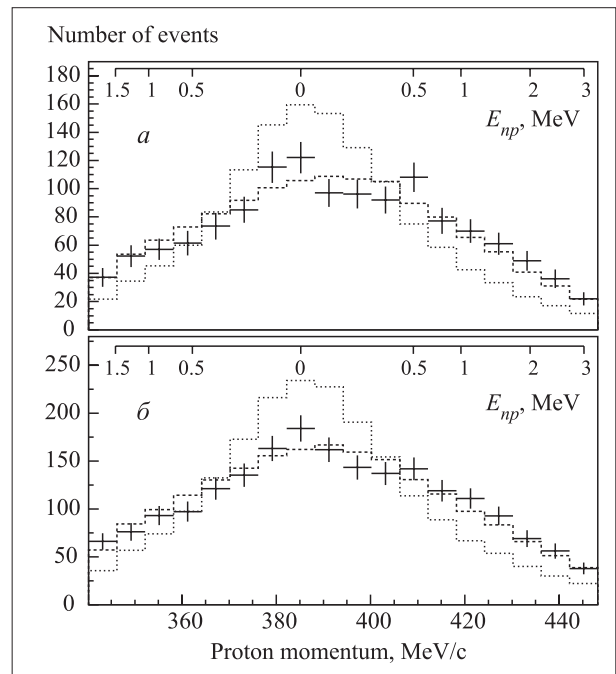


Рис. 11. Распределение по импульсу протонов процесса  $pp \rightarrow pn\pi^+$  для событий с  $\theta_\pi < 2^\circ$  и  $\theta_p < 2^\circ$  (а) и  $\theta_p < 2,5^\circ$  (б). Пунктирная кривая — моделирование на основе чисто триплетного по спину конечного состояния. Простое смешивание спиновых состояний не соответствует данным (показано точечной кривой)



В 2001 г. на дейтериевой мишени высокого давления (1500 атм, 800 К) завершены измерения скорости образования мюонных молекул  $dd\mu$  в диапазоне температур 80–800 К. Результаты в диапазоне 350–800 К получены впервые. С этой же мишенью впервые выполнен поиск реакции радиационного захвата  $d+d \rightarrow {}^4\text{He}+\gamma$  из состояния мюонной молекулы. Достигнута верхняя граница выхода  $\gamma$ -квантов на уровне  $2 \cdot 10^{-5}$  [17]. На тритиевой мишени высокого давления (1500 атм, 800 К) в смеси дейтерия и трития выполнены измерения зависимости скорости цикла  $\mu$ -катализа от температуры (300–800 К), концентрации трития (15–65 %), плотности смеси (0,2–0,8 LHD). Завершен цикл исследований  $\mu$ -катализа в тройной смеси изотопов водорода H/D/T.

Для исследования вероятности безнейтринного распада мюона на электрон и безмассовый голдстоуновский бозон (фамилон) коллаборация ОИЯИ–ПИЯФ создает установку **FAMILON**. Распад  $\mu \rightarrow \alpha e$  может идти только с нарушением закона сохранения лептонного числа, и по этой причине он запрещен в стандартной модели. Установка обеспечит энергетическое разрешение для позитронов от распада мюонов на уровне  $10^{-3}$ , что позволяет улучшить предыдущий результат (полученный в TRIUMF) в 3 раза. В 2001 г. проведен тестовый сеанс на пучке поверхностных мюонов фазотрона. Получены первые  $\mu\text{SR}$ -спектры с магнитным спектрометром. При интенсивности остановок  $10^5$  мюонов/с скорость набора статистики составляла  $10^2$  событий/с.

В рамках программы **MUON** исследования свойств мюонов и их взаимодействия с веществом в ОИЯИ были выполнены измерения магнитного момента отрицательного мюона в  $1S$ -состоянии в различных атомах [18].

Продолжалось изучение конденсированных сред  $\mu\text{SR}$ -методом. Эксперименты с кремнием были направлены на изучение влияния примесей на скорость релаксации магнитного момента акцепторного центра. Температурная зависимость скорости релаксации остаточной поляризации отрицательных мюонов давала информацию о поведении мелких акцепторных центров в кремнии [19]. Обнаружено изменение характера температурной зависимости и многократное увеличение скорости релаксации магнитного момента электронной оболочки мюонного атома в кремнии при концентрации выше  $10^{18} \text{ см}^{-3}$  [20]. Было продолжено изучение соединения  $\text{Ce}_3\text{Pd}_{20}\text{Ge}_6$  (системы с «тяжелыми фермионами»).

На пучке фазотрона ОИЯИ впервые при энергии 216 МэВ измерен энергетический спектр  $\gamma$ -квантов от процесса  $pp \rightarrow \gamma\gamma X$  (рис. 12). Полученный на базе  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений спектр фотонов содержит узкий пик ( $5,3\sigma$ ) при энергии фотонов 24 МэВ и относительно широкий пик ( $3,5\sigma$ ) в области энергий 50–70 МэВ. Такая форма спектра фотонов интерпретируется как проявление экзотического барионного резонанса  $d_1^*$  с массой 1956 МэВ/с, который может возникать в про-

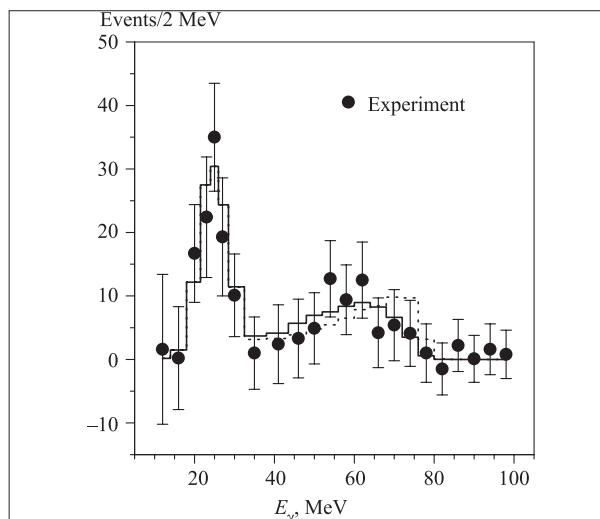


Рис. 12. Измеренный спектр фотонов от процесса  $pp\gamma\gamma$  и спектр фотонов от процесса  $pp \rightarrow \gamma d_1^* \rightarrow \gamma pp$ , полученные путем моделирования для двух возможных распадов  $d_1^*$ : без взаимодействия в конечном состоянии (сплошная линия) и с учетом такого взаимодействия (пунктирная линия)

цессе  $pp \rightarrow \gamma d_1^*$  с последующим электромагнитным распадом путем  $d_1^* \rightarrow pp\gamma$  [21].

В 2001 г. полностью завершено создание спектрометра **NEMO-3**, предназначенного для поиска безнейтринных и исследования двухнейтринных мод двойного  $\beta$ -распада ядер. Полностью завершена химическая и физическая очистка источников. Все 20 секторов детектора полностью смонтированы в подземной лаборатории LSM (Modane, Франция) [22], и спектрометр NEMO-3 помещен в неразборную систему защиты для долгосрочного (5 лет) проведения измерений с образцами  ${}^{100}\text{Mo}$  (7,2 кг),  ${}^{82}\text{Se}$  (1 кг),  ${}^{166}\text{Cd}$  (0,6 кг),  ${}^{130}\text{Te}$  (1,3 кг),  ${}^{150}\text{Nd}$  (48 г),  ${}^{96}\text{Zr}$  (20 г) и  ${}^{48}\text{Ca}$  (10 г). Большинство механических частей спектрометра, большая часть пластиковых сцинтилляторов (6 т), электроника, кабели и т. п. произведены в ОИЯИ. Некоторые обогащенные изотопы также предоставлены ОИЯИ. Первые три сектора NEMO-3 успешно отработали в 2000–2001 гг.

Проект **AnCor** нацелен на измерение нейтринных угловых корреляций в процессах ядерного  $\beta$ -распада и  $\mu$ -захвата, которые чувствительны к скалярным, псевдоскалярным и/или тензорным слабым взаимодействиям.

В 2001 г. завершен анализ данных эксперимента с  ${}^{14}\text{O}$  [23]. Изучение  $\beta$ -распада этого ядра дало информацию о неожиданно сильном (на уровне 10–15 %) межатомном взаимодействии продуктов распада. Этот эффект приводит к возникновению больших систематических неопределенностей, которые не удастся аккуратно учесть. В этой связи следует отметить, что  $\beta$ - $\nu$  — угловые корреляции при  $\beta$ -распаде оказы-

ваются сильно чувствительными к межатомным силам.

С целью определения величины скалярной константы взаимодействия начат новый эксперимент по измерению  $\beta$ - $\nu$ -корреляции в  $\beta$ -распаде  $^{32}\text{Ag}$ . Для этого в ОИЯИ создается новая установка, состоящая из 14 охлажденных планарных германиевых детекторов, которые должны зарегистрировать моноэнергетические (3,35 МэВ) протоны и позитроны ( $E \leq 5,1$  МэВ), испускаемые в чисто фермиевском  $\beta$ -распаде короткоживущего ядра  $^{32}\text{Ag}$ .

Задача эксперимента АС/ $\mu$ С состоит в измерении уширения доплеровской  $\gamma$ -линии, возникающей в результате захвата мюона, и поиске на этой основе скалярного слабого взаимодействия. В 2001 г. с помощью прецизионных германиевых детекторов измерена 277-кэВ  $\gamma$ -линия, возникшая в результате захвата мюона (ОМС) ядром  $^{16}\text{O}$ . Уширение этой линии определяется  $\gamma$ - $\nu$ -корреляцией, которая чувствительна к суммарному вкладу истинного и наведенного скалярного взаимодействия ( $C_S + g_S$ ), а также зависит от величины ядерных матричных элементов ОМС-перехода [24]. Обнаружено, что для дальнейших экспериментов наиболее предпочтительным является ядро  $^{20}\text{Ne}$ .

Проект **TGV** имеет своей целью поиск двойного  $\beta$ -распада  $^{48}\text{Ca}$  и двойного  $e$ -захвата в  $^{106}\text{Cd}$  с помощью низкофонового, высокочувствительного, мультidetекторного Ge-спектрометра TGV. В 2001 г. закончен первый этап эксперимента и установка TGV-1 демонтирована. В Дубне разработан и построен новый спектрометр TGV-2. Он состоит из 32 планарных HPGe-детекторов, расположенных в едином низкофоновом криостате, систем сбора и обработки данных и т. п. Обогащенный  $^{48}\text{Ca}$  (20 г) был химически очищен от радиоактивных элементов Co и Ra и превращен в соединение  $\text{CaF}_2$ . С помощью специальной процедуры, разработанной в ОИЯИ, приготовлены 16 тонких дисков, содержащих образцы 10 г  $^{48}\text{Ca}$ .

В 2001 г. в рамках проекта **LESI**, связанного с исследованиями взаимодействия между легкими ядрами при ультранизких энергиях, на высокоточном ионном ускорителе (Томск) выполнены измерения распределения энергии ионов путем измерения оптического излучения от дейтронного лайнера. Эти исследования привели к заключению о том, что предложенный подход позволяет реконструировать энергетические распределения потоков ионов в лайнере в режиме обратной геометрии Z-пинча [25]. Разработаны и созданы два  $^3\text{He}$ -детектора для измерения выхода нейтронов в  $dd$ -реакции. С помощью этих детекторов, облученных нейтронами от  $dt$ -реакции, от  $^{252}\text{Cf}$  и от Pu-Be-источников, проведены измерения эффективности регистрации нейтронов и времени их жизни [26].

В рамках проекта **ЯСНАПП-2** ведутся радиохимические исследования, изучаются короткоживущие нуклиды, атомно-ядерные процессы и радиоактивные распады долгоживущих нуклидов. Методы ядерной спектроскопии используются для исследования трансмутации радиоактивных нуклидов, процессов, инициируемых электроядерными нейтронами и других реакций.

На ISOL-комплексе ЯСНАПП с помощью современных спектрометров с полупроводниковыми детекторами в on-line режиме исследовался радиоактивный распад ряда короткоживущих нуклидов в переходной области (от  $^{146}_{64}\text{Cd}_{82}$  к сильнодеформированным с  $N > 90$ ). Измерены силовые функции  $\beta$ -распада нечетных изотопов  $^{147,149,151}\text{Tb}$ . Всесторонне изучена структура ядра  $^{156}_{67}\text{Ho}_{89}$ , у которого наблюдается 5 изомерных состояний ( $c T_{1/2} > 10\text{c}$ ). В off-line режиме изучен распад нейтронодефицитных изотопов Ho с  $A = 156, 158, 160$ , а также  $^{152}\text{Tb}$ . Методами  $\alpha$ - $\gamma$ - и  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений построены схемы ядерных уровней, возбуждаемых при  $\alpha$ -распаде  $^{221}\text{Fr}$  и  $\beta$ -распаде  $^{213}\text{Bi}$  и  $^{209}\text{Pb}$ . Обнаружены новые, слабые ветви  $\alpha$ -распада  $^{211}\text{Po}$  и  $^{221}\text{Fr}$ . На спектрометре ESA-50 обнаружен по электронам конверсии низкоэнергетический переход 10,6 кэВ, весьма существенный в схеме распада  $^{225}\text{Ac}$ . Проведены прецизионные исследования спектров низкоэнергетических электронов из распада  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{73}\text{As}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{155}\text{Eu}$ ,  $^{172}\text{Lu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  и  $^{225}\text{Ac}$ . Подтверждено сильное влияние релятивистских эффектов на формирование интенсивности  $\text{KL}_1\text{L}_2$  ( $^3\text{Po}$ )-перехода Оже. Впервые обнаружено влияние подложки радиоактивного источника на энергию конверсионных и оже-электронов. В исследовании  $\beta$ -спектра  $^{241}\text{Pu}$  на двух электростатических спектрометрах ESA-12 и ESA-50 получен верхний предел 0,40 % (95 % С.Л.) на примесь нейтрино с массой от 14 до 17 кэВ/ $c^2$ . Определены скорости трансмутации радиоактивных мишеней ( $^{129}\text{I}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) пучком вторичных нейтронов, образующихся при облучении на синхрофазотроне ОИЯИ металлических мишеней Pb и U протонами с энергией 1,5; 3,7 и 7,4 ГэВ. Активационным методом определено пространственное распределение потока нейтронов.

Исследована структура ядер вблизи дважды магического  $^{208}\text{Pb}$ . Обнаружена новая слабая ( $8 \cdot 10^{-6}$  на распад) ветвь  $\alpha$ -распада  $^{211}\text{Po}$ . Завершены исследования  $\alpha$ - $\gamma$ -совпадений при распаде  $^{225}\text{Ac}$ . Ряд переходов, приписываемых ранее распаду  $^{225}\text{Ac}$ , не подтверждается. Обнаружен  $\gamma$ -переход 10,6 кэВ, который требовался для выполнения баланса интенсивностей [27].

## РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Проект FASA посвящен исследованию механизма тепловой мультифрагментации при столкновении

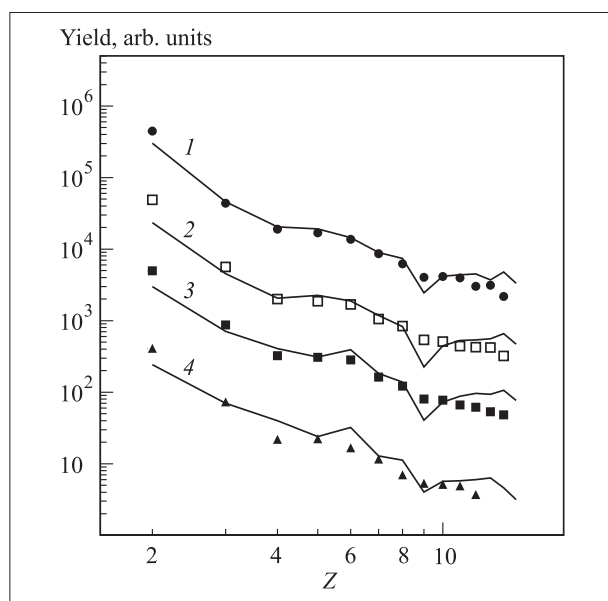


Рис. 13. Распределение заряженных фрагментов для  $P + Au$  при 8,1 ГэВ (кружки, кривая 1),  ${}^4\text{He} + Au$  — при 4 ГэВ (светлые квадраты, кривая 2),  ${}^4\text{He} + Au$  — при 14,6 ГэВ (темные квадраты, кривая 3) и  ${}^{12}\text{C} + Au$  — при 22,4 ГэВ (треугольники, кривая 4). Кривые рассчитаны по статистической модели

легких релятивистских ядер с тяжелой ядерной мишенью. Это новый, многочастичный ядерный распад, при котором из очень горячего ядра спектатора испускается много осколков (фрагментов IMF), массы которых превышают массу  $\alpha$ -частицы. Проведено исследование характера мультифрагментации ядер золота, вызываемой релятивистскими протонами, гелием и ядрами углерода (от сикхрофазотрона ОИЯИ) [28]. Полученные данные подтверждают заключение о том, что во всех случаях имеет место тепловая мультифрагментация, которая представляет собой процесс статистического развала ядра при его нагревании. На рис. 13 показано распределение заряженных фрагментов для различных процессов. Эти распределения очень похожи и хорошо описываются комбинированной моделью, которая учитывает внутриядерный каскад, сопровождающийся статистической мультифрагментацией. Более детальное исследование указывает на переход от чисто «теплого распада» (в случае  $p + Au$ ) к развалу ядра с последующей тенденцией к радиальному коллективному движению фрагментов, которое наблюдается при столкновениях  ${}^4\text{He}(14,6 \text{ ГэВ}) + Au$  и  ${}^{12}\text{C}(22,4 \text{ ГэВ}) + Au$ . Этот коллективный поток возникает за счет теплового давления, его средняя энергия составляет примерно 115 МэВ как для He, так и для C. При этом средняя тепловая энергия возбуждения фрагментирующих ядер равна 400–450 МэВ.

## ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках проекта «Физика и техника ускорителей» выполнена разработка системы электронного охлаждения и начато создание накопителя LEPTA (Low-Energy Particle Toroidal Accumulator). Проведено испытание прототипа электронной пушки системы электронного охлаждения накопительного комплекса MUSES (RIKEN, Япония). Продолжена разработка систем электронного охлаждения для накопителей ACR (RIKEN) и NIRS (Chiba, Япония), системы электронного охлаждения с циркулирующим электронным пучком для накопителя COSY (FZJ, Германия).

Проект LEPTA нацелен на создание небольшого накопительного кольца позитронов с электронным охлаждением циркулирующих позитронов. Созданы основные элементы магнитной системы накопителя LEPTA. Проведено измерение однородности магнитных полей, и выполнена коррекция неоднородностей с помощью дополнительных катушек продольного поля. Начато создание инжектора позитронов. В стадии изготовления находится вакуумная камера и соленоид позитронной ловушки для предварительного накопления частиц перед инъекцией в накопитель, за-

вершено конструирование источника позитронов на основе радиоактивного источника  ${}^{22}\text{Na}$ . Разработана программа для расчета процесса электронного охлаждения позитронов [29].

С помощью электроядерной установки SAD (Subcritical Assembly in Dubna) измерены выход и угловое распределение потоков нейтронов и заряженных частиц при облучении свинца и висмута (Pb–Bi) пучками протонов фазотрона ОИЯИ. Измерения проведены в широком интервале энергий (до 600 МэВ).

Основной целью проекта ОИЯИ «Развитие методов и средств лучевой терапии и сопутствующей диагностики на адронных пучках ОИЯИ» является проведение на медико-техническом комплексе (МТК) ЛЯП ОИЯИ медико-биологических и клинических исследований по лечению онкологических и других больных на медицинских адронных пучках фазотрона ОИЯИ.

В 2001 г. на медицинском протонном пучке с энергией 150 МэВ курс фракционированного лучевого лечения прошли более 50 пациентов, при этом общее количество протонных лучевых сеансов составило 594. На гамма-аппарате «Рокус-М» произведено

лечение 69 пациентов (2520 лучевых сеансов). В процедурной кабине № 1 сформирован, обмерен и занесен в программу планирования терапевтический протонный пучок 150 МэВ поперечным размером 80×80 мм (вместо использовавшегося ранее 60×60 мм), однородный в сечении. В этой же процедурной установлены рентгеновская трубка и приспособления для фиксации рентгеночувствительных экранов серийного диагностического устройства ЭРГА, что позволило получать рентгеновские снимки

пациента с автографом протонного пучка на них за 3 мин непосредственно перед облучением с каждого направления. Такая верификация положения облучаемой области тела пациента относительно пучка гарантирует точность его наведения на мишень 1–2 мм, что также позволило расширить круг доступных локализаций и перейти к терапии и радиохирургии внутричерепных «мишеней» на уровне, не уступающем принятым мировым стандартам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Astier P. et al.* (Nomad Collaboration) // Nucl. Phys. B. 2001. V. 611. P. 3.
2. *Astier P. et al.* // Phys. Lett. B. 2001. V. 506. P. 27.
3. *Naumov D. V., Porov B. A.* JINR Commun. E1-2001-139. Dubna, 2001; hep-ex/0111057.
4. *Astier P. et al.* // Nucl. Phys. B. 2001. V. 605. P. 3.
5. *Abreu P. et al.* (DELPHI Collaboration) // Eur. Phys. J. C. 2001. V. 19. P. 15.
6. *Ong S., Kessler P.* // Mod. Phys. Lett. A. 1987. V. 2. P. 683.
7. LEP Collaborations. A combination of preliminary electroweak measurements and constraints on the standard model. hep-ex/0103048.
8. *Olshevsky V., Trusov S.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2001. V. 469. P. 216;  
*Afanasev L. G. et al.* JINR Preprint E1-2001-1. Dubna, 2001; to be published in «Nucl. Instr. Meth.».
9. *Glonti G. L. et al.* JINR Preprint P12-2001-218; submitted to «PTE»,  
*Bauer F. et al.* The first precision drift tube chambers for the ATLAS Muon spectrometer. To be published in «Nucl. Instr. Meth.».
10. *Kulchitsky Y. A., Vinogradov V. B.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2000. V. 455. P. 499–501.
11. *Amaral P. et al.* // Eur. Phys. J. C. 2001. V. 20. P. 487–495.
12. *Chirikov-Zorin I. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2001. V. 456. P. 310; 2001. V. 461. P. 587.
13. *Barsov S. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2001. V. 462. P. 364.
14. *Abaev V. et al.* Spin-triplet dominance in the  $pp \rightarrow pn\pi^+$  reaction at 492 MeV // Phys. Lett. B. 2001. (in print).
15. *Koptev V. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2001. V. 87. P. 22301.
16. *Smirnov A., Uzikov Yu.* // Phys. of Atom. Nucl. 1998. V. 61. P. 361.
17. *Bogdanova L. N. et al.* JINR Commun. E15-2001-264. Dubna, 2001.
18. *Mamedov T. N. et al.* JINR Preprint E14-2001-101. Dubna, 2001.
19. *Mamedov T. N. et al.* // JETP Letter. 2001. V. 73. No. 12. P. 674–677.
20. *Mamedov T. N. et al.* // JETP 2001. V. 92. No. 6. P. 1004–1009.
21. *Khrykin A. S. et al.* // Phys. Rev. C. 2001. V. 64. P. 034002;  
*Khrykin A. S.* hep-ex/01110140.
22. *Marquet C. et al.* (NEMO Collaboration) // Nucl. Instr. Meth. A. 2001. V. 487. P. 487;  
*Vala L. et al.* Status Report on the Double Decay Experiment NEMO-3. To be published in «Czech. J. Phys. A.».
23. *Vorobel V. et al.* Investigation of  $\beta$ - $\nu$  Angular Correlation in  $\beta^+$ -decay of  $^{18}\text{Ne}$  and  $^{14}\text{O}$ . To be published in «Czech. J. Phys. A.»,  
*Vorobel V. et al.* Beta-neutrino angular correlation in the decay of  $^{14}\text{O}$ : search for scalar coupling and sensitivity to interatomic interaction. To be published in «Eur. Phys. J. A.».
24. *Shitov Yu. et al.* // Nucl. Phys. A. 2002. V. 601;  
*Shitov Yu. et al.* Investigations of weak couplings measuring angular correlations in muon capture: impact of nuclear models. To be published in «Czech. J. Phys. A.»;  
*Shitov Yu.* Investigation of gamma-neutrino correlation in the capture of polarized muons on  $^{28}\text{Si}$  nuclei. Ph.D. thesis. Dubna: JINR, 2001.
25. *Bystritsky V. M. et al.* Measurement of the Deuterium Liner Characteristics in the Inverse Z-pinch Configuration // Proc. of the 28th Intern. Conf. on Plasma Science, Las Vegas, Nevada, USA, June 17–22, 2001.
26. *Boreikov V. F. et al.* JINR Preprint D15-2001-145. Dubna, 2001; submitted to «Nucl. Instr. Meth.».
27. *Chumin V. G. et al.* // Izv. RAN, ser. phys. 2001. V. 65. P. 30;  
*Yakushev E. A. et al.* // Theses of 51st Conf. on Nuclear Spectroscopy, Sarov, Sept. 3–8. 2001. P. 170.
28. *Avdeyev S. P. et al.* // Phys. Lett. B. 2001. V. 503. P. 256;  
*Avdeyev S. P. et al.* // Phys. of Atom. Nucl. 2001. V. 64. P. 1549.
29. *Meshkov I. et al.* Formation of the high dense electron beam in the gun with small cathode diameter; Cooling of Positrons at LEPTA; Betatron program for simulation of particle dynamics in storage ring with strong coupling of degrees of freedom: Talks // Beam Cooling and Related Topics, Bad Honnef, Germany, May 13–18, 2001.



# ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ИМ. Г. Н. ФЛЕРОВА

Программа исследований по физике тяжелых ионов в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова в 2001 г. включала в себя эксперименты по синтезу тяжелых и экзотических ядер с использованием пучков стабильных и радиоактивных изотопов, изучение механизма ядерных реакций, развитие ускорительной техники, изучение взаимодействия тяжелых ионов с веществом и прикладные исследования. Эти исследования подразделялись на 15 лабораторных и один общеинститутский проект:

- синтез новых изотопов, изучение свойств ядер и механизмов реакций с тяжелыми ионами — 9 проектов;
- радиационные эффекты, модификация материалов, радиоаналитические и радиоизотопные исследования на ускорителе ЛЯР — 4 проекта;
- развитие циклотронного комплекса ЛЯР для получения высокоинтенсивных пучков ускоренных стабильных и радиоактивных изотопов — 2 проекта;

Таблица 1

Исследования на установках У-400	Время, ч
ГНС	2100
VASSILISSA	500
CORSET	750
Химия	700
Прикладные исследования	350
DRIBs	700
Другие	250
Полное время	5350

Таблица 2

Исследования на установках У-400М	Время, ч
ACCULINNA	400
MULTI	300
COMBAS	250
FOBOS	50
DRIBs	700
Полное время	1700

- создание ускорительного комплекса циклотронов У-400+У-400М и микротрона МТ25 для получения пучков радиоактивных ионов — проект DRIBs.

Надежная работа ускорителей ЛЯР явилась базой для успешного проведения экспериментов и технических разработок. В 2001 г. мы должны были обеспечить пуск первой очереди проекта DRIBs — получение пучков легких радиоактивных изотопов, поэтому необходимо было разделить время ускорителей между физическими экспериментами и работами по запуску ускорительного комплекса.

Время работы ускорителей ЛЯР У-400 и У-400М в 2001 г. составило почти 7000 ч, что близко к запланированному. Распределение ускорительного времени в часах между экспериментальными установками ЛЯР в 2001 г. приведено в табл. 1 и 2.

## ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ПУЧКАМИ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ СТАБИЛЬНЫХ И РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ

### Синтез новых элементов

Наиболее значительным достижением лаборатории явилось экспериментальное подтверждение теоретических предсказаний о существовании сфериче-

ских оболочек в районе  $Z \approx 114$  и  $N \approx 184$ . Этот результат позволяет надеяться, что в реакциях ускоренных ионов  $^{48}\text{Ca}$  с наиболее тяжелыми мишенями из изотопов U, Pu, Cm действительно удастся приблизиться

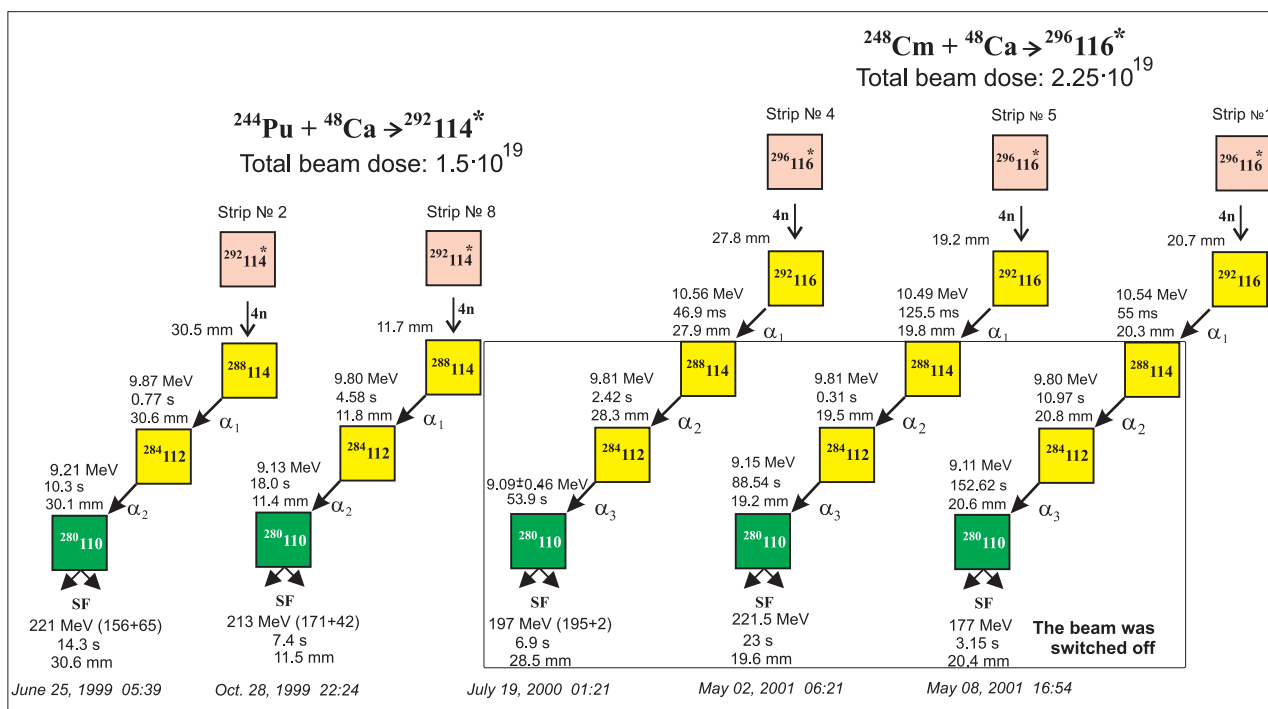


Рис. 1. Цепочки распада ядер, наблюдавшиеся в реакциях  $^{244}\text{Pu} + ^{48}\text{Ca}$  и  $^{248}\text{Cm} + ^{48}\text{Ca}$

к области, в которой становится заметным влияние сферической нейтронной оболочки  $N = 184$ .

В январе и апреле–июле 2001 г. мы продолжали эксперименты по синтезу сверхтяжелого ядра с  $Z = 116$  в реакции полного слияния  $^{248}\text{Cm} + ^{48}\text{Ca}$  на дубненском газонаполненном сепараторе. Суммарная доза ионов  $^{48}\text{Ca}$  на мишени составила  $1,5 \cdot 10^{19}$ .

Для улучшения фоновых условий при детектировании цепочек распада с длительными временами был применен специальный режим измерений. Пучок ускорителя выключался после регистрации сигналов, которые по энергии имплантации и времени пролета соответствовали ожидаемым сигналам от ядра с  $Z = 116$  и сигналу от последующего импульса от  $\alpha$ -частицы с энергией  $10,0 \leq E_{\alpha}(\text{МэВ}) \leq 11,5$  в том же стрипе детектора в позиционном окне  $\Delta u = 2 \text{ мм}$  и временном интервале менее 5 с. Продолжительность паузы в зависимости от загрузки канала  $\alpha$ -частиц варьировалась от 2 до 60 мин. Поэтому все ожидавшиеся события распада дочерних ядер с  $Z \leq 114$  могли наблюдаться при полном отсутствии фона, связанного с пучком ускорителя.

Во время этих сеансов на ускорителе мы наблюдали две новые сходные цепочки распадов из генетически связанных событий. Каждая цепочка начиналась сигналом имплантации ядра в детектор, далее следовали три последовательных  $\alpha$ -распада. Цепочки завершались спонтанным делением. Наблюдавшиеся

нами три цепочки распадов (включая зарегистрированную в 2000 г., см. рис.1) могут быть интерпретированы как имплантация и распад тяжелого ядра с  $Z = 116$ . Энергии и времена распадов последующих нуклидов находятся в согласии с данными, полученными из цепочек распадов четно-четного изотопа  $^{288}114$ , образовывавшегося в реакции  $^{244}\text{Pu} + ^{48}\text{Ca}$ . По этой причине первая  $\alpha$ -частица в цепочках распадов может быть отнесена к распаду родительского ядра  $^{292}116$ , образовавшегося после испарения четырех нейтронов. Ядра  $^{292}116$ ,  $^{288}114$  и  $^{284}112$  являются наиболее тяжелыми  $\alpha$ -распадчиками среди четно-четных ядер.

В процессе наших исследований, выполненных в 1998–2001 гг., нами наблюдались образование и распады наиболее тяжелых ядер  $^{277}\text{Hs}$  ( $Z = 108$ ),  $^{280,281}110$ ,  $^{283,284,285}112$ ,  $^{287,288,289}114$  и  $^{292}116$ . Данные об экспериментах сведены в табл. 3, свойства наиболее тяжелых изотопов Hs —  $^{292}116$  представлены в табл. 4.

Какие выводы можно сделать на основании всего набора полученных нами данных?

В реакциях с  $^{48}\text{Ca}$  при энергии бомбардирующего пучка вблизи кулоновского барьера наибольшую вероятность имеют каналы с испарением трех и четырех нейтронов. Каналы с испарением заряженных частиц (протоны,  $\alpha$ -частицы) сильно подавлены.

Таблица 3

Даты	Мишень	Энергия возбуждения $E^*$ , МэВ	Доза ионов, $\cdot 10^{18}$	Наблюдаемое ядро	Число событий	Сечение, пб
Март 1998 г.	$^{238}\text{U}$	31,0	3,5	$^{283}_{112}$	2	5
Ноябрь–декабрь 1998 г.	$^{244}\text{Pu}$	35,0	5,2	$^{289}_{114}$	1	1
Март 1999 г.	$^{242}\text{Pu}$	33,5	7,5	$^{287}_{114}$	2	2,5
Июнь–октябрь 1999 г.	$^{244}\text{Pu}$	35,3	10	$^{288}_{114}$	2	1
Июнь 2000 г. – май 2001 г.	$^{248}\text{Cm}$	33,1	23	$^{292}_{116}$	3	0,5
Май–июль 2001 г.	$^{248}\text{Cm}$	30,4	8,0	$^{293}_{116}$	0	< 0,5

Таблица 4

Изотоп	Тип распада	$E_{\alpha}$ , МэВ	ТКЕ <sub>изм.</sub> , МэВ	$T_{1/2}$
$^{277}\text{Hs}$	SF		170	11 м
$^{280}_{110}$	SF		210	7,6 с
$^{281}_{110}$	$\alpha$	8,83		1,1 м
$^{283}_{112}$	SF		190	3 м
$^{284}_{112}$	$\alpha$	9,17		44,3 с
$^{285}_{112}$	$\alpha$	8,67		11 м
$^{287}_{114}$	$\alpha$	10,29		5 с
$^{288}_{114}$	$\alpha$	9,83		2,6 с
$^{289}_{114}$	$\alpha$	9,71		21 с
$^{289}_{116}$	$\alpha$	10,56		52,5 мс

Для всех событий последовательных  $\alpha$ -распадов выполняется основное правило Гейгера–Неттола, связывающее энергию  $\alpha$ -распада  $Q_{\alpha}$  с периодом полураспада  $T_{\alpha}$ . В соответствии с этим правилом можно сделать вывод о распаде ядер с большими атомными номерами 110–116 (рис. 2).

События спонтанного деления с ТКЕ  $\approx 200$  МэВ связаны с распадом относительно долгоживущих нуклидов ( $T_{sf} \approx 10\text{--}1000\text{ с}$ ) с  $Z \geq 106$ , которые в свою очередь являются «детьми» или «внуками» более тяжелых ядер.

Значительное увеличение времени жизни  $^{281}_{110}$  по сравнению с  $^{273}_{110}$  на фактор  $8 \cdot 10^5$  и увеличение времени жизни  $^{285}_{112}$  по сравнению с  $^{277}_{112}$  на фактор  $2,7 \cdot 10^6$  может рассматриваться как указание на

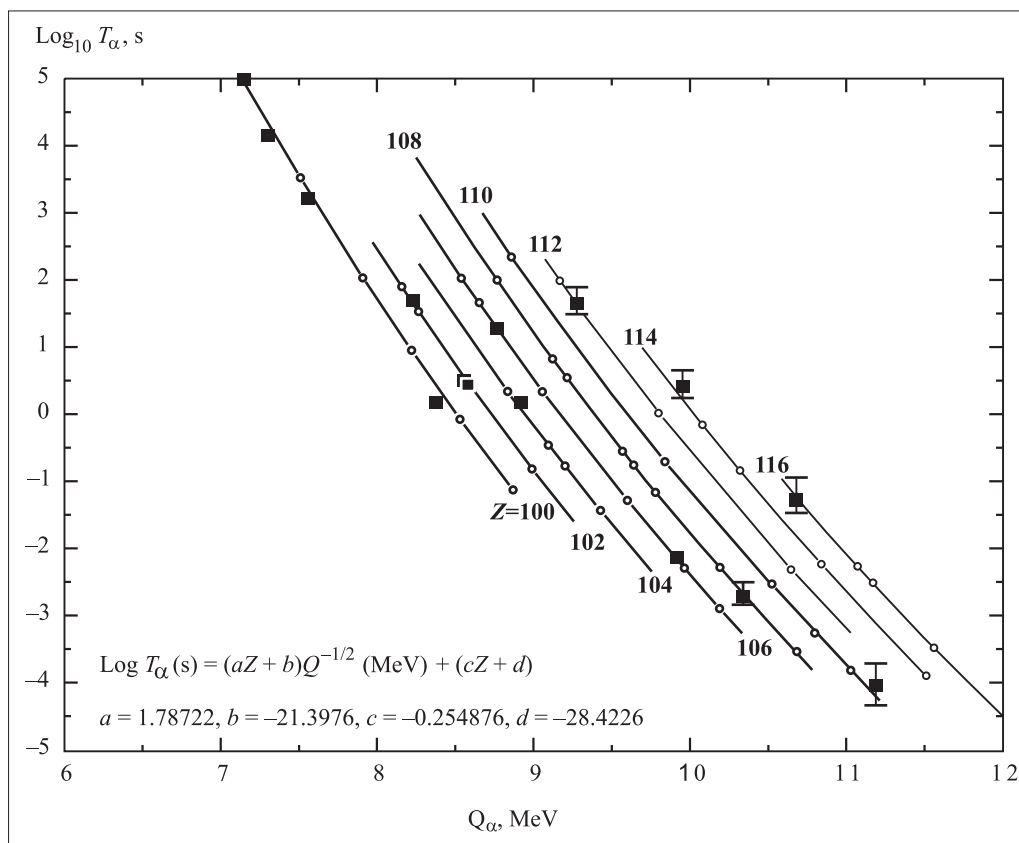


Рис. 2. Зависимость  $\text{Log}T_{\alpha}$  от  $Q_{\alpha}$  для четно-четных изотопов с  $Z \geq 100$

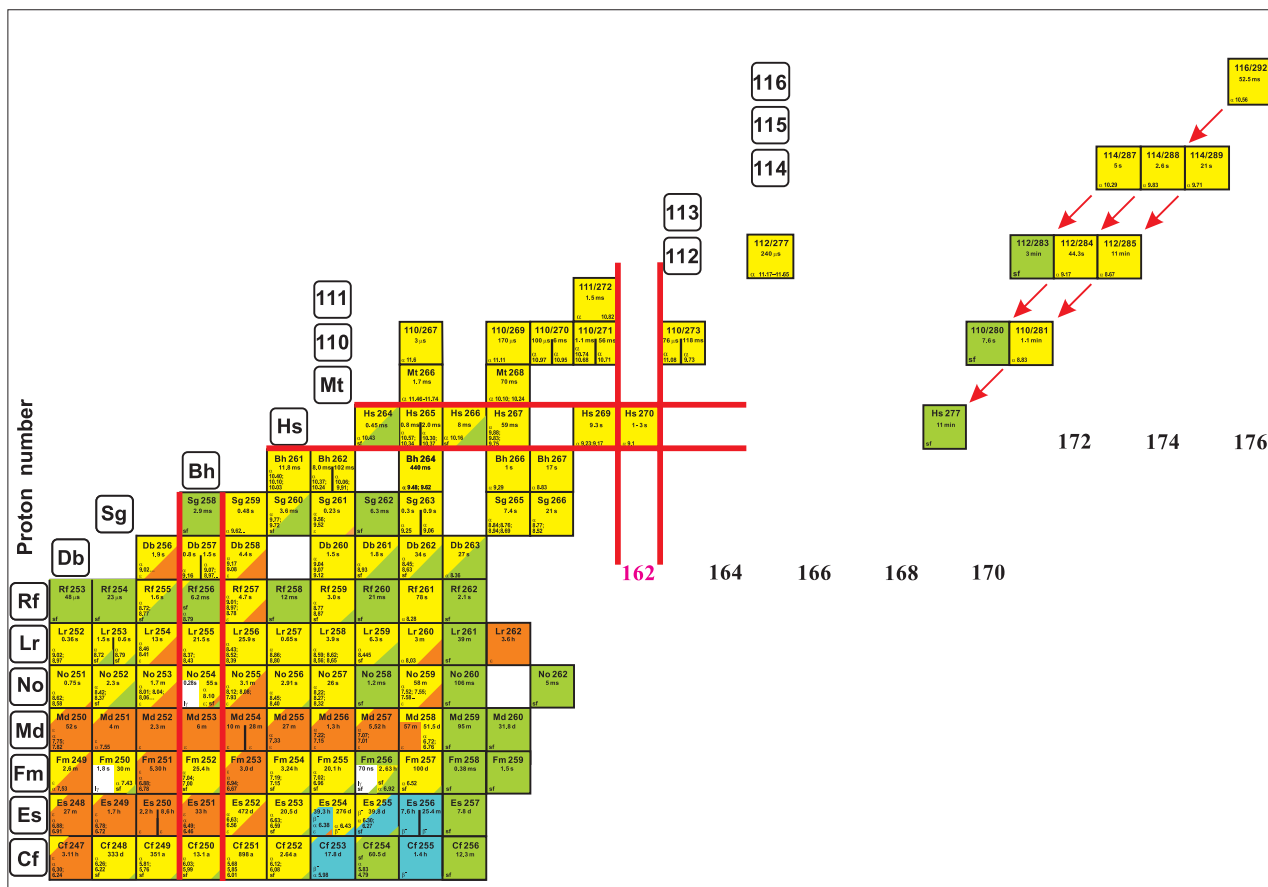


Рис. 3. Таблица изотопов трансфермиевых элементов

существование нейтронной оболочки при более высоких числах нейтронов (см. рис. 3).

Сравнивая времена жизни  $^{292}116$  ( $T_{1/2} = 52,5$  мс) и его «дочки»  $^{288}114$  ( $T_{1/2} = 2,6$  с), можно предположить, что  $Z=114$ , по-видимому, является протонной оболочкой. Имеются также указания на то, что эта оболочка является сферической. В пределах энергетического разрешения детекторов и статистических неопределенностей при оценках времен жизни все три наблюдавшиеся цепочки  $\alpha$ -распада  $^{288}114$  могут быть интерпретированы как распады с основного состояния, которое заселяется после распада составного ядра в реакции или в результате  $\alpha$ -распада родительского ядра  $^{292}116$ . Этот факт можно сравнить с распадом  $^{277}112$ , при котором заселяются различные уровни в деформированном  $^{273}110$  (имеются предсказания существования нейтронной оболочки  $N=162$ ), наблюдавшиеся  $\alpha$ -переходы различаются по энергии на 0,5 МэВ.

Эксперименты выполнялись на циклотроне тяжелых ионов ЛЯР У-400 с использованием электростатического сепаратора VASSILISSA и газонаполненного сепаратора в рамках сотрудничества с GSI

(Дармштадт), LLNL (Ливермор), RIKEN (Вако-ши, Саитама) и Университетом Комениуса (Братислава).

*Мы направили наши данные о синтезе сверхтяжелых ядер с  $Z=112, 114$  и  $116$  в реакциях слияния актиниидных мишеней с ионами  $^{48}\text{Ca}$  для рассмотрения в Международный союз чистой и прикладной химии (IUPAC).*

В 2002–2004 гг. исследования будут направлены на синтез элементов с  $Z \sim 115–118$  в реакциях  $^{243}\text{Am}, ^{249}\text{Cf} + ^{48}\text{Ca}$ . Оба сепаратора, VASSILISSA и ГНС, будут применены в этих экспериментах, которые будут проводиться в широкой международной кооперации.

### Химия трансактинидов

Относительно длительные времена жизни изотопов с  $Z=108–114$ , синтезированных в реакциях с  $^{48}\text{Ca}$ , открывают новые возможности в изучении химических свойств сверхтяжелых элементов — могут быть применены масс-сепарация в пучке и химическое выделение продуктов реакций. Эти методы позволяют получать значительный выигрыш в эффек-



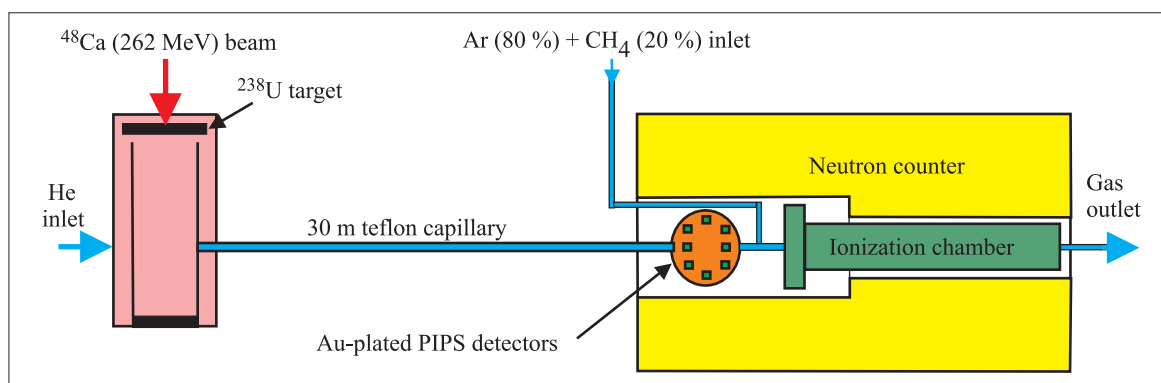


Рис. 4. Схема установки для химического выделения и идентификации элемента 112

тивной толщине мишени и проводить облучения мишеней большими токами ионов.

Первые эксперименты по химическому выделению и идентификации элемента 112 были выполнены на ускорителе У-400 в январе 2000 г. Изотоп  $^{283}112$  с временем жизни  $\sim 3$  мин может быть получен в реакции  $^{238}\text{U}(^{48}\text{Ca}, 3n)$  с сечением  $\sim 5$  пб. Согласно теоретическим предсказаниям элемент 112 (E112) должен принадлежать к группе ПВ — Zn-Cd-Hg. В качестве первого шага мы опробовали методику выделения и идентификации ртути. После десяти суток облучения на мишени была набрана доза ионов  $^{48}\text{Ca}$ , равная  $6,9 \cdot 10^{17}$ . Не наблюдалось ни одного события спонтанного деления. Этот эксперимент не дал однозначной информации о химических и физических свойствах элемента 112.

Следующий эксперимент по химическому выделению 112-го элемента проводился в ноябре–декабре 2001 г. Детектирующая система была дополнена ионизационной камерой, которая располагалась после сборки из восьми пар позолоченных полупроводниковых PIPS-детекторов. Ионизационная камера и сборка PIPS-детекторов находились внутри детектора множественного испускания нейтронов (рис. 4). Ионизационная камера была предназначена для регистрации спонтанного деления Rn-подобных продуктов ядерных реакций в протекающем газе в течение 5–10 мин в зависимости от потока газа.

Мишень  $^{238}\text{U}_3\text{O}_8$  толщиной  $2 \text{ мг/см}^2$  была нанесена на фольгу из сплава HAVAR толщиной 2 мкм. В мишенный материал было добавлено 100 мкг естественного неодима. Ядра отдачи тормозились в чистом гелии и по капилляру длиной 30 м транспортировались к детектирующей аппаратуре. Атомы ртути, образовывавшиеся в реакциях  $\text{Nd}(^{48}\text{Ca}; xn)$ , идентифицировались по  $\alpha$ -частицам с энергией 5,65 МэВ изотопа  $^{185}\text{Hg}$ . Более 90 % атомов ртути абсорбировалось в первой из восьми камер с PIPS-детекторами.

В результате 20-дневного облучения на мишени была набрана интегральная доза ионов  $^{48}\text{Ca}$ , равная  $4 \cdot 10^{18}$ . В этом эксперименте ни одного события спонтанного деления не было зарегистрировано в камерах с PIPS-детекторами. Несколько актов спонтанного деления наблюдалось в ионизационной камере. В настоящее время проводятся контрольные измерения фона. Последующие шаги в этом направлении будут определены после завершения контрольных экспериментов.

В совместных экспериментах с химиками из Швейцарии, Германии и США были получены первые данные о химических свойствах Hs ( $Z=108$ ).

В 2002–2004 гг. мы планируем провести эксперименты по химическому выделению и идентификации тяжелых химических элементов с детектированием  $\alpha$ -распадов и спонтанных делений в совпадении с нейтронами. В ЛЯР будет проведена серия совместных экспериментов с химиками из Германии (GSI, Дармштадт, Университеты Мюнхена и Майнца), PSI (Виллиген, Швейцария) и NINP (Краков, Польша).

### Сепаратор MASHA

Для изотопов с короткими временами жизни (микро- или миллисекунды) необходима сепарация в пучке — «на линии». Все существующие сепараторы имеют примерно одинаковые ограничения: для сохранения кинематических условий необходимо использовать тонкие мишени, примерно  $0,3 \text{ мг/см}^2$ . Однако пробеги ядер отдачи в типичном мишенном материале значительно больше, и, в принципе, можно было бы использовать мишени до  $2 \text{ мг/см}^2$ . Более длительные времена жизни позволяют по-новому взглянуть на подходы к синтезу новых изотопов. Согласно теоретическим предсказаниям свойства сверхтяжелых элементов должны быть близкими к свойствам летучих элементов: Hg, Tl, Pb, Bi, Po, At или Rn, поэтому можно рассматривать использование сепара-

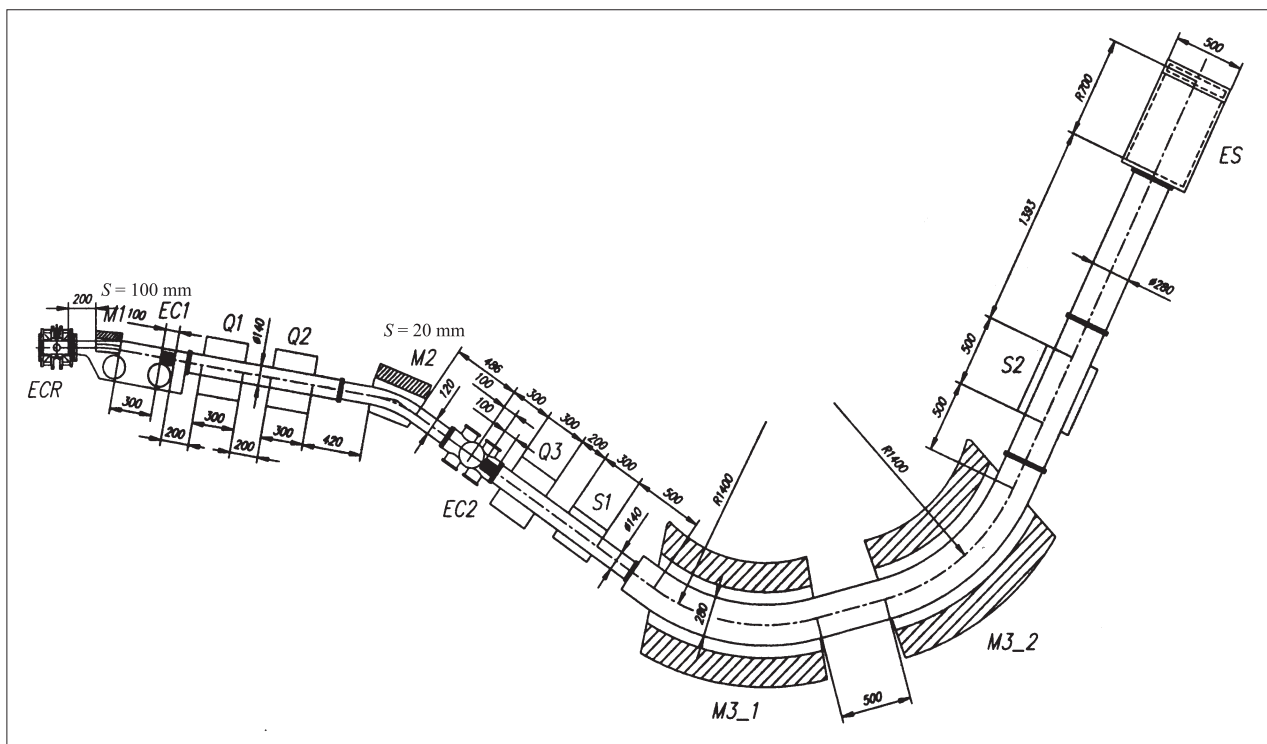


Рис. 5. Сепаратор MASHA

ции вне пучка (off-line). В этом случае мы ожидаем получить точные данные о массе новых ядер. В прошедшем году мы закончили разработку сепаратора MASHA (Mass Analyzer of SuperHeavy Atoms) (рис. 5).

Продукты ядерных реакций будут тормозиться в поглотителе, имеющем температуру  $\approx 2500^\circ\text{C}$ . Из поглотителя летучие продукты будут диффундировать в источник ионов. Для получения однократно заряженных ионов предполагается использование ЭЦР-источника с рабочей частотой 2,4 ГГц с давлением гелия  $10^{-5}$  мбар. После экстракции из ЭЦР-источника пучок ионов формируется для пресепарации. В промежуточном фокусе ионы с массами  $A \approx 300$  будут отделяться от мишенеподобных продуктов ядерных реакций передачи с массами  $A \approx 250$ . Последующая магнитная сепарация должна обеспечить в главном фокусе массовое разрешение примерно 1000. Первые эксперименты с использованием этого сепаратора планируются в 2003 г.

### Деление ядер

Механизмы образования и распада тяжелых и сверхтяжелых ядер в реакциях с ионами  $^{12}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{22}\text{Ne}$ ,  $^{26}\text{Mg}$ ,  $^{48}\text{Ca}$ ,  $^{58}\text{Fe}$ ,  $^{86}\text{Kr}$  изучались на установке CORSET-DEMON в рамках сотрудничества

ЛЯР-IReS-LPC-ULB-Университет Техаса A&M-INFN. Эксперименты выполнялись на ускорителях ЛЯР, Университета Техаса A&M и в INFN. При энергиях в районе кулоновского барьера изучались особенности деления составных ядер  $^{216,218,220}\text{Ra}$ ,  $^{256}\text{No}$ ,  $^{270}\text{Sg}$ ,  $^{266,271,274}\text{Hs}$ ,  $^{286}\text{112}$ ,  $^{292}\text{114}$ ,  $^{290,296}\text{116}$ ,  $^{294}\text{118}$ ,  $^{302}\text{120}$  и  $^{306}\text{122}$ . Установлено, что массовое распределение осколков деления составных ядер  $^{286}\text{112}$ ,  $^{292}\text{114}$ ,  $^{290,296}\text{116}$ ,  $^{302}\text{120}$  и  $^{306}\text{122}$  является асимметричным, и, в отличие от актинидов, оно определяется оболочечной структурой легких осколков деления со средними массами вблизи 132–134 (рис. 6).

Для регистрации нейтронов использовались 49 модулей детектора DEMON. Полученные массовые и энергетические распределения определенно указывают на эволюцию моды деления от симметричной для  $^{256}\text{No}$  к ситуации, когда в делении составных ядер  $^{286}\text{112}$  и  $^{292}\text{114}$  начинает преобладать асимметричное распределение. Эти эксперименты показали, что распределения множественностей нейтронов,  $\gamma$ -квантов и ТКЕ для случаев деления и квазиделения существенно различаются.

Сечения захвата  $\sigma_c$  и слияния-деления ( $\sigma_{ff}$ ) изучались для составных ядер  $^{256}\text{No}$ ,  $^{266,274}\text{Hs}$ ,  $^{286}\text{112}$ ,  $^{292}\text{114}$ ,  $^{296}\text{116}$ ,  $^{294}\text{118}$  и  $^{306}\text{122}$  как функции энергии возбуждения в диапазоне 15–60 МэВ. В этих экс-

периментах было показано, что сечения слияния–деления для компаунд-ядер, образующихся в реакциях с ионами  $^{48}\text{Ca}$  и  $^{58}\text{Fe}$  при энергиях возбуждения  $\approx 30$  МэВ, весьма слабо зависят от комбинации партнеров реакции, т. е. при переходе от ядра  $^{286}_{112}$  к  $^{306}_{122}$  величина  $\sigma_{ff}$  изменяется только на фактор 4–5 или менее. Это наблюдение весьма важно для планирования экспериментов по синтезу сверхтяжелых ядер с  $Z > 114$  в реакциях с ионами  $^{48}\text{Ca}$  и  $^{58}\text{Fe}$ .

В случае реакции  $^{86}\text{Kr} + ^{208}\text{Pb}$ , приводящей к образованию составной системы  $^{294}_{118}$ , в противоположность реакциям с  $^{48}\text{Ca}$  и  $^{58}\text{Fe}$ , вклад квазиделения является преобладающим в области масс вблизи  $A/2$ .

Для тяжелых ядер в районе  $^{216,218,220}\text{Ra}$  и  $^{256}\text{No}$ ,  $^{270}\text{Sg}$  и  $^{266,271,274}\text{Hs}$  впервые наблюдалась многомодовость деления.

В 2002–2004 гг. планируется изучение сечений реакций слияния–деления и квазиделения при взаимодействии ионов  $^{48}\text{Ca}$ ,  $^{58}\text{Fe}$  и  $^{64}\text{Ni}$  с мишенями  $^{238}\text{U}$ ,  $^{244}\text{Pu}$ ,  $^{248}\text{Cm}$  и  $^{249}\text{Cf}$ , приводящих к образованию ядерных систем с  $Z = 112$ – $122$ . Параллельно предполагается изучить множественности нейтронов и  $\gamma$ -квантов, испускаемых при делении сверхтяжелых ядер с  $Z = 116$ – $122$ .

В первых экспериментах на ускорительном комплексе DRIBs в 2002 г. будут измерены характеристики низкоэнергичного деления тяжелых изотопов Th, Cm и Cf, образующихся в реакциях  $^6\text{He}$  и  $^8\text{He}$  с мишенями  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{244}\text{Pu}$  и  $^{248}\text{Cm}$ . Эксперименты будут выполняться в рамках сотрудничества с GSI (Дармштадт, Германия), INFN (Катания, Италия), IReS (Страсбург, Франция), ISN (Гренобль, Франция), Брюссельский университет (Бельгия), Университет Техаса (США), IP (Братислава, Словакия) и INP (Алма-Ата, Казахстан).

### Сепаратор VASSILISSA

В прошедшем году после сепаратора VASSILISSA был установлен новый дипольный магнит с углом отклонения  $37^\circ$ , который в качестве постсепаратора должен обеспечить определение масс синтезируемых сверхтяжелых ядер. Детектирующая система также была существенно модернизирована: установлены новый времяпролетный детектор, новый фокальный детектор, имеющий размеры  $60 \times 120$  мм (32 стрипа), и новая система сбора и накопления данных.

Тестовые эксперименты выполнялись с пучками ионов  $^{40}\text{Ar}$ ,  $^{48}\text{Ca}$  и с мишенями Dy, Yb, Pb. Показа-

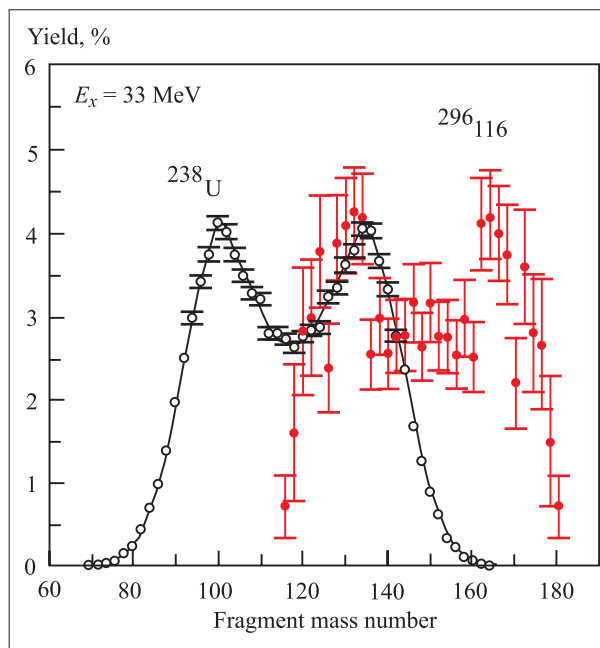


Рис. 6. Массовые распределения осколков деления  $^{238}\text{U}$  и составного ядра  $^{296}_{116}$

но, что новый постсепаратор обеспечивает подавление нежелательных фоновых продуктов примерно в 10 раз и обеспечивает точность определения массы на уровне 2,0 % для тяжелых продуктов ядерных реакций с массами в районе  $A \approx 300$ .

В 2002–2004 гг. планируется продолжить эксперименты по синтезу сверхтяжелых ядер в реакциях ионов  $^{34}\text{S}$ ,  $^{48}\text{Ca}$  с мишенями из  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{236,238}\text{U}$  и  $^{243}\text{Am}$  на модернизированном сепараторе VASSILISSA с определением масс продуктов реакций. Модернизация высоковольтной системы сепаратора (увеличение рабочего напряжения до 250 кВ) позволит проводить эксперименты по изучению влияния оболочечной структуры во входном канале в области энергий вблизи кулоновского барьера в реакциях  $^{86}\text{Kr} + ^{124}\text{Sn}$ ,  $^{136}\text{Xe}$ ,  $^{136}\text{Xe} + ^{124}\text{Sn}$ ,  $^{136}\text{Xe}$ . В качестве первоочередных на ускорительном комплексе DRIBs планируются эксперименты по изучению процессов слияния и девозбуждения с испарением нейтронов и  $\alpha$ -частиц в реакциях  $^{6,8}\text{He} + ^{40,44,48}\text{Ca}$ .

Эксперименты будут выполняться в сотрудничестве с GSI (Дармштадт, Германия), RIKEN (Саитама, Япония), Университет Коениуса (Братислава, Словакия), GANIL (Кан, Франция), Университет Мессины (Италия).

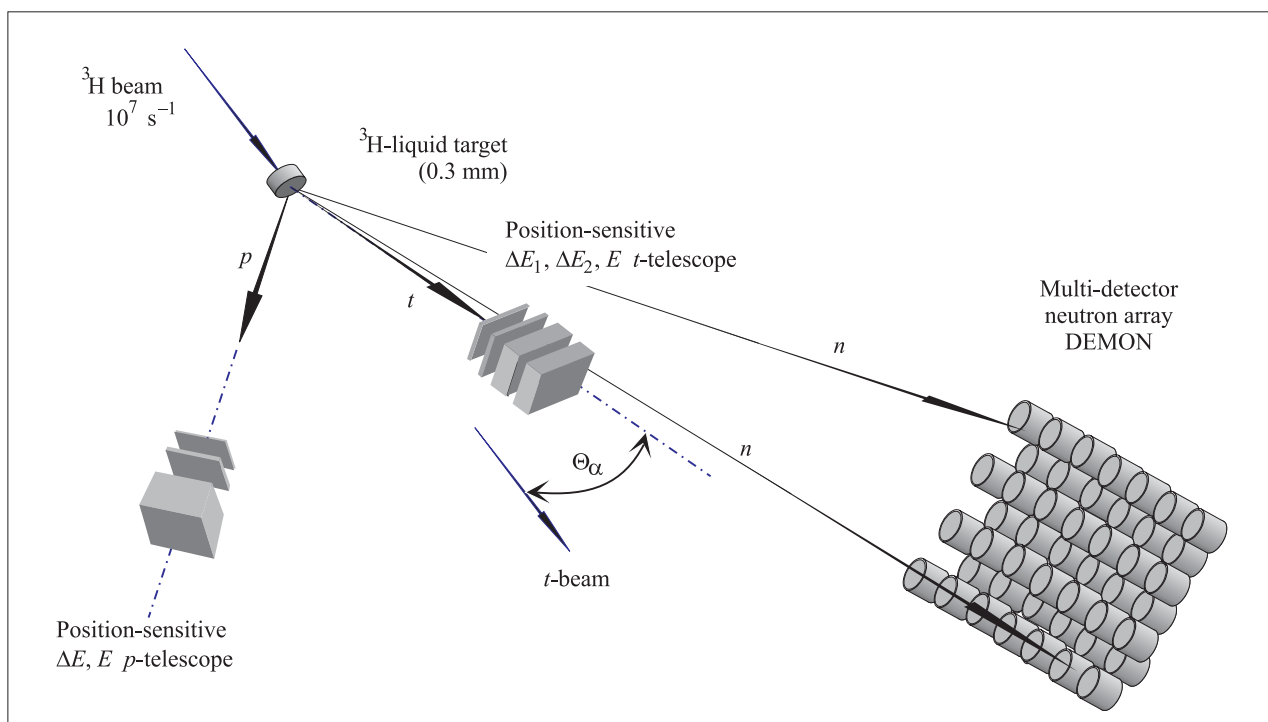


Рис. 7. Модернизированная детектирующая система установки ACCULINNA

### Сепаратор COMBAS

На сепараторе COMBAS изучалось образование изотопов с  $15 \leq A \leq 40$  и  $16 \leq Z \leq 14$  в реакциях с обратной кинематикой  $^{40}\text{Ar} + ^9\text{Be}$  вблизи энергии Ферми ( $37,5 A \cdot \text{МэВ}$ ) и при измерениях в передних углах. В этих экспериментах не было обнаружено какого-либо существенного изменения в механизме периферических взаимодействий ядер по сравнению с реакциями, протекающими при более низких энергиях. Доминирующую роль в изученных процессах играют реакции стриппинга, срыва нуклонов и обмена нуклонами. Было установлено, что выход изотопов в реакциях стриппинга хорошо описывается простой экспоненциальной функцией от  $Q_{gg}$ .

Изучались также выходы изотопов  $^{20,21}\text{N}$ ,  $^{21-24}\text{O}$ ,  $^{23-26}\text{F}$  и  $^{26-30}\text{Ne}$ , которые могут быть использованы в качестве вторичных радиоактивных пучков.

В 2002–2004 гг. на сепараторе COMBAS планируется изучить в реакциях срыва на изотопах водорода в области промежуточных энергий выходы и кластерные свойства тяжелых изотопов  $^{10+14}\text{Be}$ ,  $^{14+17}\text{B}$ ,  $^{16+20}\text{C}$ ,  $^{20+24}\text{O}$  и  $^{23+26}\text{F}$ . Эксперименты будут выполняться в сотрудничестве с GSI (Дармштадт, Германия) и Университетом Коменюса (Братислава, Словакия).

### Линия высокого разрешения ACCULINNA

Установка ACCULINNA была модернизирована для проведения экспериментов с криогенной тритиевой мишенью. Линия транспорта пучков была продолжена за пределы экспериментального зала в специальный павильон, в котором располагалась новая реакционная камера с новой усовершенствованной системой детекторов-телескопов. Для регистрации нейтронов был смонтирован 41 модуль детектора DEMON. Система мониторинга пучка и детектирования были оптимизированы для проведения экспериментов с целью изучения  $^4\text{H}$  и  $^5\text{H}$ , образующихся в реакциях с первичным пучком трития (рис. 7).

Нестабильные ядерные системы  $^4\text{H}$  и  $^5\text{H}$  изучаются уже более 40 лет, однако имеющаяся информация остается неполной и противоречивой. С целью дальнейшего исследования резонансных состояний в  $^4\text{H}$  и  $^5\text{H}$  были использованы реакции передачи, протекающие при облучении тритонами мишеней из жидкого трития (дейтерия). Специальная экологически безопасная криогенная мишень была смонтирована на канале вторичных радиоактивных пучков установки ACCULINNA, которая в этих экспериментах использовалась для транспортировки к мишени пучка ионов трития с энергией 57,5 МэВ, ускоренных на циклотроне У-400М. Эта же линия использовалась для уменьшения углового и энергетического разброса первичного пучка до уровней 7 мрад и 0,3 МэВ по полуширине соответственно. Мишенная ячейка имела



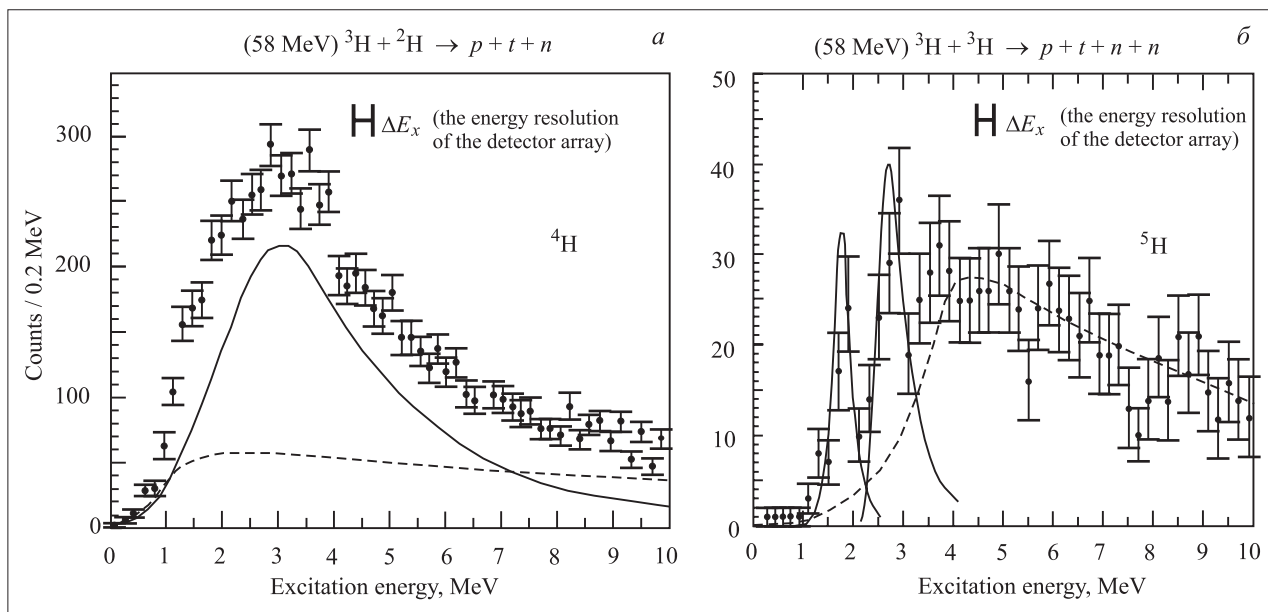


Рис. 8. Спектры  ${}^4\text{H}$  (а) и  ${}^5\text{H}$  (б)

толщину рабочего вещества трития или дейтерия, равную 0,4 мм.

В реакциях  $t+d \rightarrow p+{}^4\text{H}$ ,  $t+t \rightarrow p+{}^5\text{H}$  и  $t+t \rightarrow d+{}^4\text{H}$  детектировались протоны/дейтроны в совпадении с тритонами, испускаемыми из мишени. Для этой цели использовались два кремниевых детекторных телескопа высокой гранулярности. Нейтроны, испускавшиеся при распаде нестабильных  ${}^4\text{H}$  и  ${}^5\text{H}$ , регистрировались в совпадениях с заряженными продуктами ядерных реакций. Типичная интенсивность пучка на мишени составляла  $2 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$ .

Состояние  ${}^4\text{H}$  с  $E_{\text{res}} = (3,22 \pm 0,15) \text{ МэВ}$  и  $\Gamma_{\text{obs}} = (3,33 \pm 0,25) \text{ МэВ}$  наблюдалось в реакции  $t+d$  в спектрах протонов, вылетающих из мишени в интервале углов  $\theta_{\text{lab}} = 18-32^\circ$  и регистрировавшихся в совпадении с тритонами. Значительная часть протонов, зарегистрированных в  $t+t$ -реакции в интервале углов  $\theta_{\text{lab}} = 18-32^\circ$  в совпадениях  $ptn$ , была отнесена к состояниям в ядре  ${}^5\text{H}$ . При энергии  $\approx 2,5 \text{ МэВ}$  над порогом распада по каналу  $tnn$  в спектре  ${}^5\text{H}$  обнаруживается узкий максимум, за которым наблюдается широкий пик при энергии 4–7 МэВ (рис. 8).

На пучках установки ACCULINNA на ускорителе У-400М на период 2002–2004 гг. планируются эксперименты с криогенными мишенями  ${}^1,2,3\text{H}$ . В рамках проекта DRIBS будет создана новая установка ISTRА. На этих установках будет изучаться упругое рассеяние  ${}^6\text{He}$  и  ${}^8\text{He}$  на тритиевой мишени в область задних углов с целью получить информацию о кластерной структуре  ${}^6\text{He}$  ( $t+t$ ) и  ${}^8\text{He}$  ( ${}^5\text{H}+t$ ).

Будет продолжено изучение реакций передач типа  ${}^8\text{He}+{}^3\text{H} \rightarrow {}^{10}\text{He}+p$ ,  ${}^9\text{Li}+{}^3\text{H} \rightarrow {}^{11}\text{Li}+p$ ,  ${}^6\text{He}+{}^3\text{H} \rightarrow {}^8\text{He}+p$ . Целью этих экспериментов станет поиск структур типа тетранейтрон в гало ядер  ${}^{6,8}\text{He}$ . Будет проведен поиск возбужденных состояний  ${}^{11}\text{Li}$  и  ${}^8\text{He}$ , заселяемых в реакциях. Эксперименты будут проводиться в сотрудничестве с исследовательскими группами из GSI (Дармштадт, Германия), GANIL (Кан, Франция), ЕрФИ (Ереван, Армения), RIKEN (Саитама, Япония), ГИЦ «Курчатовский институт» (Москва), Университета Коменюса (Братислава, Словакия).

#### Реакции, вызываемые пучками стабильных и радиоактивных легких ионов

На вторичных пучках ионов  ${}^6\text{He}$ , получаемых на специальном спектрометре Q4DQ на циклотроне У-400М, были проведены эксперименты по изучению реакций слияния–деления  ${}^6\text{He}+{}^{209}\text{Bi}$ . Интенсивность вторичного пучка на мишени достигала  $5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$ . Функции возбуждения реакции измерялись в диапазоне энергий 25–70 МэВ. Изучался также канал испарения  $4n$  из составного ядра  ${}^{215}\text{At}$ . Сравнение экспериментальных данных с расчетами, выполненными по программе ALICE-MP, показало, что величины угловых моментов и радиусов должны быть увеличены на 15–20 % по сравнению с этими же величинами для реакции  ${}^4\text{He}+\text{Bi}$ . Получены новые

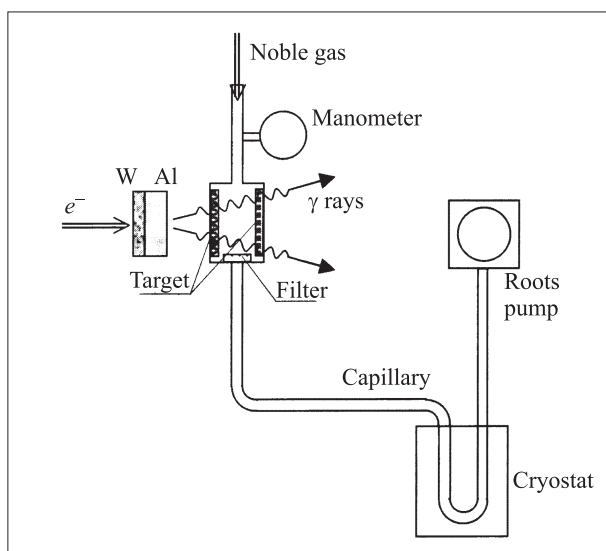


Рис. 9. Схема установки для транспортировки осколков фотоделения

данные об энергетической зависимости полного сечения реакции  $\sigma_R$  для энергетического диапазона 10–28 МэВ/А.

В реакциях  $^{28}\text{Si} (^6\text{He}, ^4\text{He})\text{X}$  изучались сечения эмиссии  $\alpha$ -частиц. Установлено, что при энергиях ниже 17 МэВ/А величина  $\sigma_R$  резко возрастает. Изучение энергетических спектров привело к выводу о наличии двух механизмов образования  $\alpha$ -частиц при взаимодействии  $^6\text{He}$  с кремнием — реакции передачи и реакции срыва.

На тормозном излучении микротрона МТ25 ЛЯР измерялись независимые выходы изотопов криптона и ксенона при фотоделении тяжелых ядер  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{244}\text{Pu}$ . Схема установки приведена на рис. 9. Образующиеся осколки деления тормозились в газе и затем потоком газа по капилляру переносились в криостат. Эффективность переноса осколков на расстояние 30 м за 2 с составляла  $\sim 70\%$ . Изотопы Kr и Xe конденсировались в криостате, прочие активности задерживались фильтром на выходе из мишенной камеры. Идентификация изотопов проводилась по  $\gamma$ -излучению. Удалось определить выходы пяти изотопов Хе. Из полученных зависимостей (рис. 10) видно, что выход тяжелых изотопов ксенона выше для более тяжелых делящихся ядер. Результаты проведенных измерений указывают на перспективность использования фотоделения для изучения свойств осколков и их ускорения в рамках фазы II проекта DRIBs.

Были продолжены совместные GANIL–FLNR эксперименты по изучению структуры и свойств ядер вблизи нейтронных оболочек  $N = 20\text{--}28$  ( $^{30\text{--}36}\text{Mg}$ ,  $^{26\text{--}32}\text{Ne}$ ,  $^{22\text{--}24}\text{O}$ ,  $^{26\text{--}29}\text{F}$ ) в так называемой «области

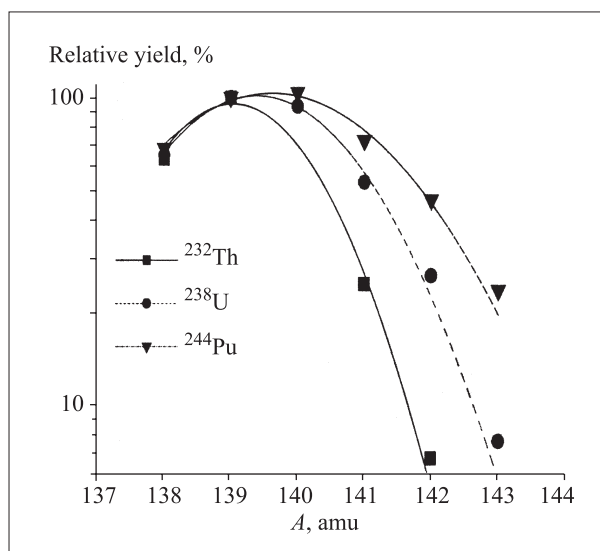


Рис. 10. Выходы изотопов Хе при фотоделении  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{244}\text{Pu}$

инверсии». Было показано, что ядра с числами нейтронов N, близкими к 20, являются деформированными. Обнаружено наличие нового «магического» числа в этой области ( $N \approx 16$ ) и то, что стабильность ядер с наибольшими числами нейтронов  $^{26,31}\text{O}$ ,  $^{31}\text{F}$  обусловлена деформацией этих ядер.

В совместных экспериментах с Университетом Ювяскюля (Финляндия) изучались характеристики распада составной системы  $^{228}\text{110}$ , образующейся в реакции  $^{238}\text{U} + ^{40}\text{Ar}$  при энергии возбуждения  $\sim 70$  МэВ. Было обнаружено, что массовые распределения осколков деления этой системы имеют пики, соответствующие массовым числам  $A = 70\text{--}80$ , 100 и 130, что объясняется существованием в этих областях масс как сферических, так и деформированных магических ядер (кластеров) Ni, Ge, Sn, Zr, Mo, Tl.

Также на циклотроне Университета Ювяскюля (Финляндия) совместно с группой из Манчестера (Англия) проводилось измерение зарядовых радиусов нейтронно-дефицитных изотопов  $^{44}\text{Ti}$  и  $^{45}\text{Ti}$ . Эксперименты показали, что зарядовые радиусы изотопов титана растут при уменьшении числа нейтронов. Эти эксперименты будут продолжены.

Методами резонансной лазерной спектроскопии были выполнены измерения сверхтонкого расщепления оптических линий в атомных спектрах редкоземельных элементов Nd, Sm, Eu, Gd и Lu. Для этих же элементов были измерены константы магнитного дипольного и электрического квадрупольного расщеплений. Изучалась аномалия магнитного расщепления, указывающая на пространственное распределение магнитного момента.

## ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Взаимодействие ускоренных тяжелых ионов с полимерами

Проведены исследования термочувствительных мембран. Изучалось изменение электрических свойств поверхностей в зависимости от температуры. Полученные данные могут быть использованы для создания «умных» мембран с управляемыми свойствами (совместно с ИФХ, Москва, и TRCRE, Такасаки). Исследованы возможности получения толстых «blotting»-мембран и мембран типа «колодцы с пористым дном».

Проведены исследования по использованию метода «ion transmission technique» для изучения структуры трековых мембран (совместно с IPI, Ржеж, и НМИ, Берлин). Исследованы оптические свойства толстых (60–100 мкм) пористых систем, получаемых методом ионных треков.

Развиты новые методические подходы формирования металлических нанометрических проволочек и субмикрометрических трубочек строго заданного размера, указывающие на перспективность использования трековых мембран в качестве шаблона для производства наноструктурных объектов применительно к задачам микротехнологии в микроинженерии, микроэлектронике, оптоэлектронике, порошковой металлургии и т. д.

Исследована возможность изготовления ТМ на основе полиэтиленнафталата (ПЭН) — нового полимера с высокими эксплуатационными характеристиками. Получены и исследованы опытные образцы ПЭН ТМ.

Проведены разработки пористых матриц специальной геометрии для использования в оптоэлектронике. Создана методика изготовления матрицы на основе полиимидной пленки, облученной ионами криптона на циклотроне У-400. Методика включает в себя двухстадийную химическую обработку, обеспечивающую формирование конических микроканалов, фокусирующих электромагнитное излучение.

### Взаимодействие ускоренных тяжелых ионов с металлами и монокристаллами

Проведены исследования изменений структуры поверхностей ряда металлов (Ni, W и хромоникелевая сталь X18H10T) и высокоориентированного пиролитического графита (ВОПГ) при облучении ионами Kr (245 МэВ) и Bi (710 МэВ) при флюенсах

$> 10^{15} \text{ см}^{-2}$  для изучения распыления указанных выше металлов методами «ступеньки» и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), а также при флюенсах  $10^{11}$ – $10^{12} \text{ см}^{-2}$  — исследования изменений структуры методом сканирующей туннельной микроскопии (СТМ).

Исследовалась поверхность монокристаллов  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , облученных ионами Bi с энергиями 710, 557, 269 и 151 МэВ. Установлено, что облучение ионами висмута с энергией выше 269 МэВ приводит к появлению на поверхности монокристаллов  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  радиационных дефектов, ассоциируемых с неупругими потерями энергии. Рассмотрены возможные механизмы образования дефектов в модели термического пика — фазовый переход и генерация термоупругих напряжений в треках высокоэнергетических ионов.

Выполнены работы по изучению процессов распыления поверхности и набухания ряда аморфных сплавов (NiNb, FeNiSi и FeSiB). Показано, что набухание указанных сплавов происходит уже при комнатных температурах облучения и относительно низких флюенсах.

Методами просвечивающей электронной микроскопии в режиме «cross-section» исследована микроструктура монокристаллов SiC и поликристаллических образцов AlN и Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, облученных ионами Kr (245 МэВ) и Bi (710 МэВ) при флюенсах  $10^{12}$  и  $10^{13} \text{ см}^{-2}$ .

### Ультрачистые изотопы и радиоаналитические исследования

Разработаны методы получения на микротроне ЛЯР МТ25 в реакциях  $(\gamma, n)^{99m}\text{Tc}$  ( $^{99}\text{Mo}$ ),  $^{225}\text{Ac}$ ,  $^{235}\text{Np}$ ,  $^{236}\text{Np}$ ,  $^{236}\text{Pu}$  и некоторых других радиоизотопов.

Разработана методика радиохимического выделения  $^{149}\text{Tb}$ , и оптимизированы условия получения этого изотопа в реакции  $^{142}\text{Nd}(\text{C}, xn)^{149}\text{Dy}$  4,1 мин  $\rightarrow$   $^{149}\text{Tb}(x=5-7)$ .

Использованы ядерно-физические методы анализа при определении химического состава и радионуклидов в биологических объектах, почвах, растениях и воде в работах по проекту «Комплексная оценка состояния здоровья населения и окружающей среды в Объединенном Балаковском муниципальном образовании Саратовской области».

## ФИЗИКА И ТЕХНИКА УСКОРИТЕЛЕЙ

В прошедшем году значительные усилия были направлены на дальнейшую оптимизацию основных ускорителей ЛЯР — У-400 и У-400М, а также ионных

ков (рис. 11). Одна из линий будет соединять ускоритель с основным экспериментальным залом, по второй линии пучок будет транспортироваться к уста-

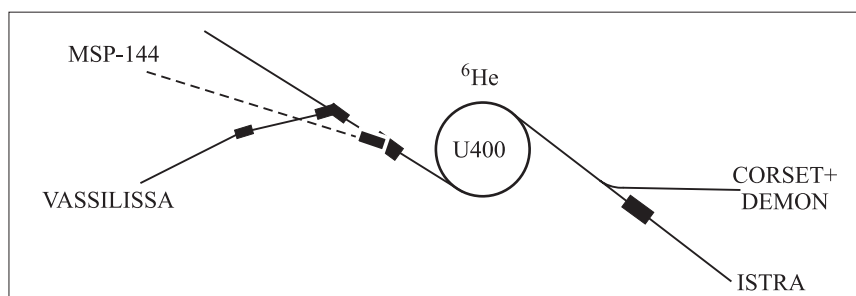


Рис. 11. Линии транспорта радиоактивных пучков в экспериментальном зале ускорителя У-400

источников для обеспечения экспериментов по синтезу сверхтяжелых элементов и экспериментов с пучками экзотических ионов.

Развитие ускорительной техники было сконцентрировано на создании ускорительного комплекса для получения пучков радиоактивных ионов (проект DRIBs). В марте 2001 г. в соответствии с планом первой фазы проекта был создан и испытан комплекс по генерации, сепарации и ионизации  ${}^6\text{He}$  и  ${}^8\text{He}$ . Тесты выполнялись на пучке ионов  ${}^{11}\text{B}$  циклотрона У-400М. Сборка, юстировка и долговременные тесты системы транспорта радиоактивного пучка из зала ускорителя У-400М на расстояние 120 м в зал ускорителя У-400 были начаты в июле 2001 г.

В октябре 2001 г. радиоактивный пучок был проведен через первую четверть транспортной линии, а в ноябре пучок был проведен до ускорителя У-400. В декабре 2001 г. – январе 2002 г. пучок  ${}^6\text{He}$  ускорен на циклотроне У-400 до энергии 12 МэВ/А. Вывод пучка и его проводка к физическим установкам запланированы на первую половину 2002 г., после чего будут начаты первые эксперименты.

В экспериментальном зале У-400 планируется создание двух линий транспорта радиоактивных пуч-

ков CORSET и ISTRА, которые будут работать совместно с модулями нейтронного детектора DEMON.

В экспериментах с радиоактивными пучками в 2002–2004 гг. планируется изучить:

- упругое и неупругое рассеяние  ${}^{6,8}\text{He}$  на  ${}^{40-48}\text{Ca}$  и Rb-мишенях для определения параметров оптической модели для ядер, имеющих структуру гало (установки MSP-144 и VASSILISSA);
- реакции слияния и деления, вызываемые  ${}^6\text{He}$ , вероятности полной передачи момента, моды деления наиболее тяжелых изотопов Pu–Cf (спектрометр CORSET+DEMON);
- нейтронные корреляции в наиболее тяжелых изотопах водорода и гелия вблизи границы нейтронной стабильности (установка ISTRА).

На январь 2002 г. запланированы разработка и окончание технического задания на комплекс урановой производящей мишени, источника ионов и сепаратора осколков деления для фазы II проекта DRIBs. Реализация второй фазы проекта должна завершиться в 2003 г.

Для полной реализации возможностей проекта DRIBs планируется модернизация существующих и создание новых экспериментальных установок.



## ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ им. И. М. ФРАНКА

Научная программа Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка в 2001 г. определялась пятью темами Проблемно-тематического плана (ПТП) научно-исследовательских работ и международного научно-технического сотрудничества ОИЯИ. Она была нацелена на получение новых результатов по физике конденсированных сред (тема «Исследование конденсированных сред с помощью рассеяния нейтронов», 07-4-1031-99/2003, руководители В. Л. Аксенов и А. М. Балагуров); по нейтронной ядерной физике (тема «Нейтронная ядерная физика — фундаментальные и прикладные исследования», 06-4-1036-2001/2004, руководители В. И. Фурман и В. Н. Швецов). Для обеспечения физических исследований осуществлялось развитие и создание

базовых установок лаборатории ИБР-2 (тема «Развитие и совершенствование комплекса ИБР-2», 07-4-0851-87/2002, руководители В. Д. Ананьев и Е. П. Шабалин) и ИРЕН (тема «Разработка проекта ИРЕН», 06-4-0993-94/2004, руководители В. И. Фурман и И. Н. Мешков), а также развитие комплекса спектрометров ИБР-2 (тема «Развитие комплекса спектрометров ИБР-2 и измерительно-вычислительной инфраструктуры», 07-4-1012-96/2003, руководители А. В. Белушкин и В. И. Приходько).

Актуальные вопросы исследований, осуществляемых в кооперации с ведущими ядерными центрами, рассмотрены на международных семинарах по взаимодействию нейтронов с ядрами и «ИБР-2 в XXI веке».

### ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

**Научные результаты. Дифракция.** Изучены кристаллическая и магнитная структуры новых слоистых сложных оксидов марганца  $A_2MnGaO_{5+x}$  ( $A = Sr, Ca$ ). Кристаллическая структура, являющаяся производной структуры перовскита, принадлежит к типу браунмиллерита и состоит из чередующихся слоев  $CaO$ ,  $MnO_2$ ,  $CaO$  и слоев  $GaO$  или  $GaO_{1+x}$ . Валентность марганца меняется от  $Mn^{3+}$  до  $Mn^{4+}$  при изменении кислородного индекса от 5 до 5,5. Аналогично классической системе  $(LaSr)MnO_3$  в браунмиллеритах можно ожидать появления ферромагнитного металлического состояния при промежуточной валентности Mn. Установлено несколько принципиальных фактов, важных для построения модели. Оказалось, что, несмотря на существенно слоевой характер структуры (расстояния между ближайшими атомами Mn в плоскостях  $MnO_2$  и перпендикулярно им различаются в  $\sim 2$  раза) магнитная структура имеет 3D-ха-

рактер. Оба изученных состава,  $Sr_2GaMn^{3+}O_5$  и  $Sr_2GaMn^{4+}O_{5,5}$ , являются антиферромагнетиками с температурой Нееля  $T_N = 160$  и  $100$  К, соответственно, но их спиновые конфигурации существенно отличаются: соседние антиферромагнитные плоскости  $MnO_2$  в  $Sr_2GaMn^{3+}O_5$  связаны антиферромагнитно, тогда как в  $Sr_2GaMn^{4+}O_{5,5}$  — ферромагнитно [1].

Исследовано влияние высокого давления на атомную и магнитную структуру манганитов  $La_{0,67}Ca_{0,33}MnO_3$ ,  $Pr_{0,8}Na_{0,2}MnO_3$ , обладающих эффектом колоссального магнетосопротивления. В  $La_{0,67}Ca_{0,33}MnO_3$  при давлении 4 ГПа с понижением температуры обнаружен переход из ферромагнитного в антиферромагнитное состояние. В  $Pr_{0,8}Na_{0,2}MnO_3$  обнаружено изменение типа анти-

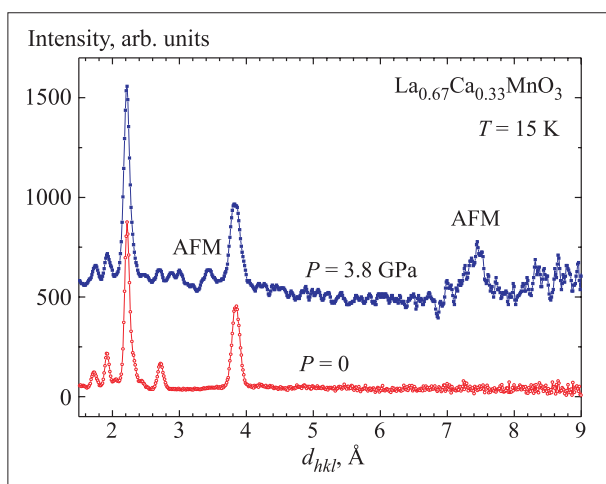


Рис. 1. Участки дифракционных спектров  $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ , измеренных на спектрометре ДН-12 при давлениях 0 и 3,8 ГПа и температуре  $T = 15$  К. С повышением давления при низкой температуре происходит переход из ферромагнитного в антиферромагнитное состояние, о чем свидетельствует появление новых магнитных пиков (помеченных символом AFM)

ферромагнитной структуры с ростом давления (рис. 1).

Исследованы магнитные фазовые переходы в бинарных соединениях марганца —  $\text{MnAs}$ ,  $\text{Mn}_2\text{Sb}$ . В  $\text{MnAs}$  при давлении  $P = 4$  ГПа и температуре ниже 80 К наблюдался магнитный фазовый переход в ранее неизвестную фазу. Определена атомная и магнитная структуры фазы высокого давления. В  $\text{Mn}_2\text{Sb}$  при  $P = 2,8$  ГПа и комнатной температуре обнаружен спин-переориентационный магнитный фазовый переход, приводящий к отклонению магнитных моментов атомов Mn от оси  $c$  тетрагональной структуры.

**Поляризованные нейтроны и нейтронная оптика.** С помощью измерения отражения нейтронов от бислоя Fe/V при температурах выше и ниже критической температуры 5 К перехода объемного ванадия в сверхпроводящее состояние получены результаты, указывающие на существование сверхпроводящего состояния при температуре выше критической или на существование возвратной по температуре сверхпроводимости. Этот факт для бислойных систем является новым и требует проверки [2].

Изучено взаимодействие нейтронного излучения со структурой, возбуждаемой ультразвуковой волной. Для этого проведены измерения коэффициента отражения нейтронов в зависимости от переданного момента при полном отражении от стекла, при дифракционном отражении от слоистой структуры Fe/Cr, при усилении волнового поля в волновом резонаторе и при каналировании нейтронной волны в слое титана. Измерения проведены для продольных и поперечных звуковых волн. Получено, что вероятность отражения в случае поперечных волн в 5 раз превышает

вероятность отражения в случае продольных волн. Это, по-видимому, указывает на то, что в случае продольных волн отражение нейтронов происходит от узлов звуковой стоячей волны. Обнаружено стимулированное звуком явление перехода нейтронов из одной каналируемой моды в другую. Вероятность этого перехода связана с шероховатостью на границах раздела, и это может быть использовано для повышения чувствительности при определении параметров, характеризующих границу (длина корреляции, среднеквадратичная амплитуда).

**Неупругое рассеяние нейтронов.** Исследованы колебательные спектры галогенидов аммония  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NH}_4\text{Br}$ ,  $\text{NH}_4\text{I}$  при давлениях до 8–10 ГПа, которые являются рекордными при неупругом рассеянии нейтронов. В области фазового перехода из неупорядоченной кубической в упорядоченную кубическую структуру типа CsCl в  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и  $\text{NH}_4\text{Br}$  наблюдался излом барической зависимости либрационной моды ионов аммония. В  $\text{NH}_4\text{I}$  при давлениях выше 6 ГПа наблюдалась гибридизация поперечной оптической и либрационной мод [3].

Проведено исследование эффектов кристаллического электрического поля (КЭП) методом неупругого рассеяния нейтронов в системе  $\text{RAgSb}_2$  ( $R = \text{Er}$ ,  $\text{Tm}$ ,  $\text{Ho}$ ). Определены параметры КЭП, схемы уровней и волновые функции для каждого соединения. Температурная зависимость магнитной восприимчивости, рассчитанная вдоль различных кристаллографических направлений, хорошо согласуется с результатами измерений на монокристаллах. Анализ результатов показывает, что магнитокристаллическая анизотропия в этих соединениях обусловлена, главным образом, КЭП.

Методом неупругого некогерентного рассеяния нейтронов в широком диапазоне температур выше и ниже точек фазовых переходов проведено исследование динамики решетки металл-органических соединений  $\text{A}_2\text{MeX}_4$ , где A — органический радикал ( $\text{N}(\text{CH}_3)_4^+$ ,  $\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_4^+$ ); Me — металл (Zn, Cu, Cl); X — галоген. Данные соединения интересны наличием сильного комплексного влияния полной или частичной замены органической группы на структурную организацию и различные типы структурной нестабильности. В результате проведенных исследований предложен механизм наблюдаемых фазовых переходов.

**Малоугловое рассеяние нейтронов (SANS).** Физическая химия поверхностно-активных веществ (сурфактантов) изучалась на примере тетраметиламмониевого бромида, помещаемого в различные растворы, и при изменении температуры. Показано, что размеры образующихся в растворе мицелл уменьшаются с ростом температуры. Интересные изменения наблюдались в форме мицелл, например, сферическая форма переходила в анизометрическую. При увеличении концентрации NaBr в растворе форма ми-

целл становилась стержнеобразной. Эксперимент, выполненный при различных концентрациях электролита, показал, что причиной изменения формы мицелл может быть их постепенная дегидратация.

Эксперимент SANS в реальном времени был проведен для регистрации структурных изменений липидной кубической фазы в процессе кристаллизации бактериородопсина (bacteriorhodopsin, BR) из *Halobium Salinarium* с целью прояснения механизма кристаллизации. Полученные данные были затем использованы для кристаллизации мембранных белков BR, образующих протонный насос, и мембранного комплекса, состоящего из сигнальных рецептора и преобразователя. В результате удалось получить кристаллы указанных компонентов выдающегося качества — дифракционная картина от них наблюдалась вплоть до  $d \approx 1,2 \text{ \AA}$ . Есть все основания считать, что трехмерный дифракционный эксперимент на полученных кристаллах позволит определить атомную структуру с высоким разрешением.

**Прикладные исследования.** Получены уникальные экспериментальные данные о текстурном строении горных пород земной коры и верхней мантии. Проведено изучение коллекции образцов оливиноносодержащих мантийных пород из различных регионов Европы. С использованием количественного текстурного анализа восстановлены текстурные функции ФРО и проведено теоретическое моделирование пространственного распределения скоростей упругих волн в каждом из образцов. По полюсным фигурам (ПФ), измеренным у оливиновых образцов, и на основе данных об условиях пластической деформации оливина определены системы скольжения, а также возможные термодинамические условия и глубины текстурообразования [4].

Изучены образцы архейских пород из разреза Кольской сверхглубокой скважины СГ-3. Обнаружено их поразительное сходство с породами кольской серии в естественных обнажениях не только по мине-

ральному составу, но и по текстурам минеральных компонентов. Микроструктурные и нейтронографические исследования образцов с больших глубин земной коры и их аналогов с поверхности выявили новые особенности текстурного строения этих пород, например, более совершенную преимущественную ориентировку зерен роговой обманки по сравнению с плагиоклазом и плагиоклаза по сравнению с кварцем. Комплексные эксперименты при различных гидростатических давлениях показали, что коэффициент анизотропии амфиболитов с разных глубин СГ-3 с ростом давления (а соответственно, и с глубиной) уменьшается. Эти результаты позволили дать объяснение характеру анизотропии пород на различных глубинах на основе новой модели текстурированной, неоднородной, трещиновато-пористой среды.

С помощью специального деформирующего устройства было изучено влияние одноосного сжатия на внутренние микронапряжения в образцах доломита. При различных значениях внешней нагрузки измерены величины остаточных напряжений и деформаций в этих образцах. Из экспериментальных данных получены значения модулей Юнга. Результаты текстурных измерений, выполненных до деформационных экспериментов, показали существование слабой преимущественной ориентировки, соответствующей плоскости слоистости в доломите.

Проведены измерения остаточных напряжений в элементе корпуса реактора ВВЭР-1000 в сотрудничестве с исследовательскими институтами Министерства атомной энергии. Исследуемый образец представлял собой двухслойную пластину, основным слоем которой изготовлен из конструкционной ферритной стали 15ХГМФАА, а наплавленный слой — из аустенитной нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Измерена  $\sigma_y$ -компонента темплета обечайки корпуса реактора в наплавке и основном металле. При анализе интенсивностей дифракционных пиков была обнаружена сильная текстура в аустенитной фазе наплавки.

## НЕЙТРОННАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

В 2001 г. экспериментальная программа в области нейтронной ядерной физики в ЛНФ им. И. М. Франка включала традиционные направления исследований: экспериментальное и теоретическое исследование электромагнитных свойств нейтрона и его  $\beta$ -распада, изучение процессов нарушения пространственной четности в делении ядер, исследование высоковозбужденных состояний ядра в реакциях захвата тепловых и резонансных нейтронов, получение новых данных для ядерной астрофизики; эксперименты с ультрахолодными нейтронами.

**Экспериментальные исследования.** В 2001 г. на нейтронном бустере ИБР-30 были закончены изме-

рения интерференционных эффектов в делении  $^{239}\text{Pu}$  поляризованными резонансными нейтронами. Была измерена асимметрия вылета легких и тяжелых осколков относительно плоскости импульс нейтрона–спин нейтрона. Эта, так называемая лево-правая асимметрия не нарушает  $P$ -четность и обусловлена интерференцией  $s$ - и  $p$ -резонансов. Вместе с ранее измеренной асимметрией «вперед-назад» эти результаты позволяют получить полностью отсутствующую пока информацию о  $p$ -волновых резонансах в тяжелых ядрах.

Другой измеренный эффект — нарушающая четность асимметрия вылета осколков по и против на-

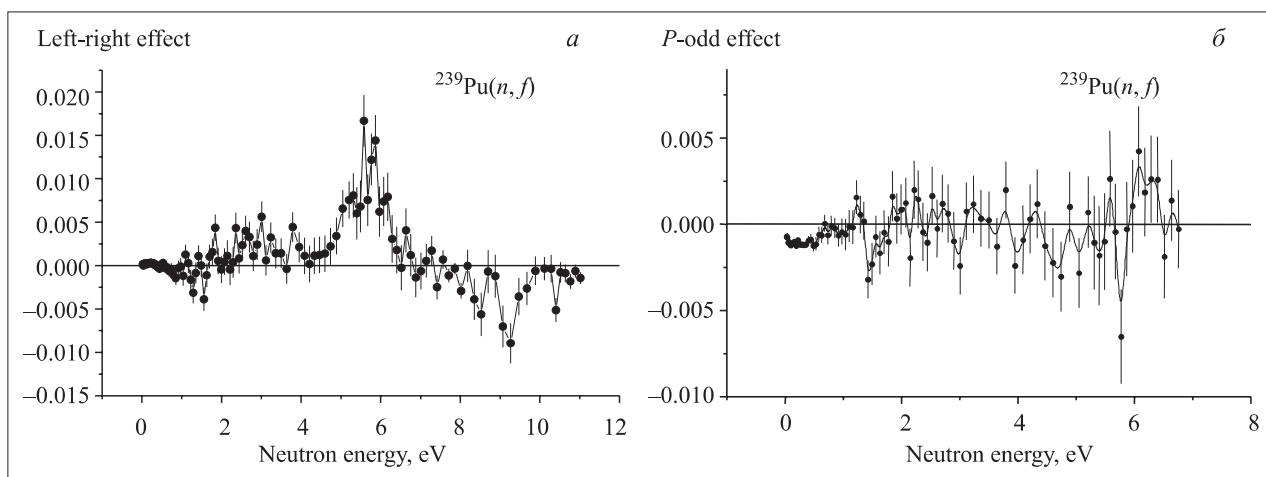


Рис. 2. Эффекты лево-правой (а) и нарушающей четность (б) асимметрий при делении ядра  $^{239}\text{Pu}$  резонансными нейтронами

правления спина захваченного нейтрона. Такие данные для резонансов плутония получены впервые (рис. 2). В настоящее время завершается обработка экспериментальных данных по обоим этим эффектам и готовятся публикации.

В рамках проекта «KaTRIn» проведены первые испытания системы поляризации нейтронов системой с лазерной накачкой  $^3\text{He}$  на пучке № 2 реактора ИБР-30. Поляризация тепловых нейтронов, прошедших сквозь кювету с  $^3\text{He}$  низкого давления (5 атм), составила  $\sim 23\%$ . Измерения при выключенном ведущем магнитном поле показали, что остаточное продольное поле в пермалловых экранах достаточно для оптической ориентации рубидия, что дает возможность в реальном эксперименте обойтись без магнитного транспортного канала и избежать трудностей сопряжения взаимно-перпендикулярных полей канала и мишени.

В коллаборации с сотрудниками ПИЯФ проведен эксперимент по измерению  $p$ -нечетной корреляции типа  $a_\gamma \sim (\sigma_n p_\gamma)$  в реакции  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}^* \rightarrow ^7\text{Li} + \gamma$ . Измерения были проведены на холодных поляризованных нейтронах пучка PF1B реактора Института Лауэ-Ланжевена (Гренобль, Франция). Цель эксперимента — определение вклада нейтрального тока в слабых нуклон-нуклонных взаимодействиях. Согласно теоретической оценке при наличии нейтрального тока величина асимметрии лежит на уровне  $\sim 5 \cdot 10^{-8} - 10^{-7}$ . К настоящему времени достигнута точность  $4 \cdot 10^{-8}$ , что на порядок лучше, чем в предыдущем эксперименте на реакторе ВВРМ в Гатчине, ПИЯФ. Данные обрабатываются.

Выполнен статистический анализ распределения  $\alpha$ -ширин нейтронных резонансов  $^{147}\text{Sm}$  из данных по совместному эксперименту (Дубна-Ок-Ридж-Лодзь) на установке ORELLA в Ок-Ридже, США. Имеется некоторое указание на возможный нестатистический

характер поведения средних  $\alpha$ -ширин в зависимости от энергии возбуждения компаунд-ядра.

Создана программа для расчета нейтронного нуклеосинтеза с использованием параметров, характерных для гидростатического горения гелия в массивных звездах (слабая компонента  $s$ -процесса). Тестовые расчеты для области S-C1-Ag показали хорошее совпадение результатов с работами других авторов.

Получены значения сечений и угловых распределений продуктов реакции  $^{64}\text{Zn}(n, \alpha)$  для  $E_n = 5-7$  МэВ в эксперименте на ускорителе Ван-де-Граафа Института физики тяжелых ионов Пекинского университета [5].

Разработана систематика сечений реакций  $(n, p)$  на быстрых нейтронах на основе положений статистической теории ядерных реакций.

**Прикладные исследования.** В группе нейтронно-активационного анализа успешно развивались ядерные аналитические методы в биотехнологии и биохимии. Совместно с учеными из Тбилисского института физики им. Э. Андроникашвили были изучены селен- и хромсодержащие фармацевтические препараты, базирующиеся на зелено-голубой водоросли *Spirulina platensis*. Комбинация этих жизненно важных элементов с протеинами позволяет создавать на базе водоросли фармацевтические препараты с широчайшим спектром применения — от лечения ишемической болезни сердца до улучшения иммунной системы [6].

В 2001 г. совместно со специалистами ОРПИ была завершена программа калибровок детектора быстрых нейтронов HEND (High Energy Neutron Detector), предназначенного для работы на борту американского исследовательского аппарата Mars Odyssey 2001 в составе комплекса  $\gamma$ -спектрометра. Эти работы выполнялись в рамках долгосрочного договора с Институтом космических исследований РАН, в соответствии с которым ОИЯИ занимается разработкой фи-



зической концепции прибора, физическим и математическим моделированием его характеристик, калибровками эффективности прибора.

Калибровки проводились на одном из трех приборов, изготовленных в ИКИ РАН. Один из приборов

был установлен на борту космического аппарата и в настоящее время успешно работает на марсианской орбите, регистрируя нейтронное излучение планеты.

## НЕЙТРОННЫЕ ИСТОЧНИКИ

### Импульсный реактор ИБР-2

В 2001 г. ИБР-2 работал в соответствии с утвержденным графиком. На физический эксперимент отработано 2000 ч в 8 циклах. В период летней профилактики сделаны важные работы для модернизации ИБР-2: введена в эксплуатацию дизель-электростанция на случай выхода из строя штатных систем электроснабжения ИБР-2, выполнен перенос подвижного отражателя ПО-2 из оперативного хранилища здания 117 в стационарное хранилище.

**Проект модернизации.** Работы по модернизации ИБР-2 продолжались по следующим направлениям: — создание ПО-3 (главная задача). В ОИЯИ и НИКИЭТ изготовлено ~ 50 %;

— изготовление ТВЭЛ. ПО «МАЯК» отработало технологию изготовления таблеток из диоксида плутония;

— исследования 2 отработавших ТВС ИБР-2;

— завершающий этап технического проекта модернизации, разработка механизмов СУЗ.

Начата разработка специальной криогенной гелиевой установки для холодного замедлителя.

### Проект ИРЕН

Выполнение проекта ИРЕН в 2001 г. столкнулось с рядом трудностей, главной из которых было отсутствие финансирования вплоть до конца августа. Несмотря на это, работы по проекту продолжались и утвержденный график работ был выполнен по многим позициям. В первую очередь это касается работ по созданию элементов линейного ускорителя

ЛУЭ-200, выполняемых отделом линейных ускорителей ЛФЧ и конструкторским бюро ЛНФ. Все элементы электронной пушки ускорителя были изготовлены, и начат их монтаж. Все конструкторские работы по ускорительной сборке были выполнены к концу августа, и начаты работы по подготовке зала ускорителя в здании 43. Закончены работы над технической документацией по магнитным фокусирующим системам, технологическая линия по их изготовлению налажена в ЛФЧ. Большая работа проделана по изготовлению полномасштабного высококачественного стенда. В течение лета изготовлена и налажена вакуумная система, достигнуто давление до  $2 \cdot 10^{-8}$  торр. Некоторые вспомогательные системы модулятора М-350 протестированы вместе с клистроном 5045 SLAC в режиме повышения ВЧ-мощности. Последние тестовые эксперименты с длинным (210 нс) электронным импульсом и при высокой ВЧ-мощности (50 МВ) выполнены на прототипе в ИЯФ (Новосибирск) с участием сотрудников ОИЯИ.

15 июня 2001 г. остановлен комплекс ИБР-30 + ЛУЭ-40. Получена лицензия Госатомнадзора на работы по демонтажу реактора ИБР-30, и начаты работы в этом направлении. В октябре начато строительство нового здания 117/6 для хранения активированных элементов ИБР-30. В ГСПИ выполнен окончательный вариант официального проекта демонтажа ИБР-30. В НИКИЭТ Минатома закончено техническое проектирование размножающей мишени.

Скорректированный план-график проекта ИРЕН был утвержден дирекцией ОИЯИ в сентябре и подтвержден на 15-й сессии ПКК по ядерной физике в ноябре. В соответствии с ним запуск первой очереди ИРЕН запланирован на конец 2003 г.

## РАЗВИТИЕ КОМПЛЕКСА СПЕКТРОМЕТРОВ ИБР-2 И КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Работы велись в соответствии с проектами ЛНФ-ИВК, ФСД, СПН и ВМВФ-ЕКС, «Детекторы», ЮМО, «Текстура» и др. Основные направления работ:

- развитие комплекса спектрометров ИБР-2;
- создание систем сбора данных и управления спектрометрами;

- развитие информационно-вычислительной инфраструктуры.

**Развитие комплекса спектрометров ИБР-2.** Продолжено развитие систем окружения образца:

- в состав спектрометров введены новые исполнительные механизмы, адаптированные под суще-

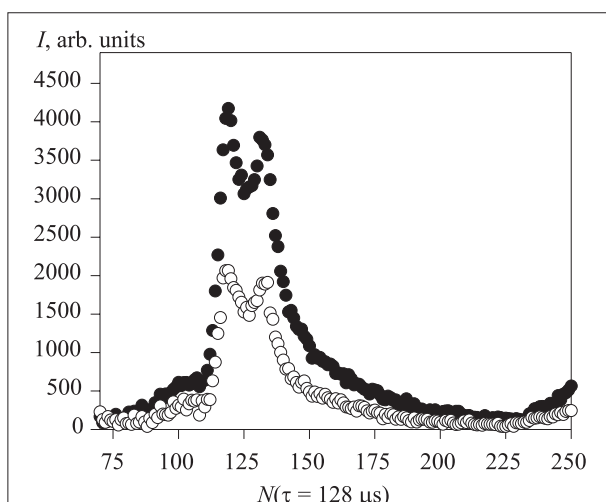


Рис. 3. Времяпролетные спектры ННРН на ванадии, измеренные за 10 ч в одинаковых экспериментальных условиях: ● — новые детекторы; ○ — старые детекторы

ствующие системы управления шаговыми двигателями;

- осуществлялась работа по сертификации существующих устройств: печей, головок рефрижераторов и т. п. для создания базы данных устройств управления и регулирования температуры на спектрометрах ФДВР, ФСД, СПН, ЮМО, ДН-2 и рентгеновском дифрактометре ДРОН;
- выполнены исследовательские работы по подключению двух элементов управления: нагревателя и рефрижератора к одному регулятору Eurotherm типа 902S и 906S. Результаты данной работы используются на дифрактометре ДРОН. Точность системы регулирования составила  $\pm 0,03$  градуса;
- укомплектован и введен в эксплуатацию второй канал контроля температуры печи отжига в комнате для подготовки образцов;
- выполнена разработка и заканчивается изготовление криостата КГУ до 4,2 К на основе рефрижератора RGD-1245.

Продолжались работы по созданию «чистой комнаты» и газового стенда для сборки газовых детекторов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Abakumov A. M. et al.* // *J. of Solid St. Chemistry*. 2001. V. 158. P. 100–111.
2. *Aksenov V. L. et al.* Subm. to journ. «Surface, Roentgen, Synchrotron and Neutron Investigations». 2001.
3. *Kazimirov V. Yu., Natkaniec I., Tylczynski Z.* *JINR Commun.* P14-2001-156. Dubna, 2001.
4. *Lobanov K. V. et al.* // *Petrology*. 2001. V. 6.
5. *Gledenov Yu. M. et al.* // *Nuclear Data for Science and Technology (ND2001)*, Tsukuba, Japan, Oct. 7–12, 2001: Book of Abstr. 1.3-P-23.
6. *Mosulishvili L. M. et al.* *JINR Commun.* E14-2000-281. Dubna, 2000.
7. *Murashkevich S. M., Kirilov A. S.* *JINR Commun.* E10-2001-11. Dubna, 2001.

**Локальная сеть и инфраструктура.** В 2001 г. в двух сегментах сети осуществлен переход на стандарт Fast Ethernet 100 Mbit. В здании 42а установлен и введен в эксплуатацию коммутатор Catalyst 2924XL (CISCO), что позволило увеличить надежность и скорость передачи данных в сегменте НЭОНИКС.

Заключен контракт на приобретение маршрутизатора информационных потоков в ЛВС ЛНФ (CISCO router 8510), и выполнены предварительные работы по его установке. Ввод в эксплуатацию маршрутизатора, планируемый в начале 2002 г., позволит:

- снять ограничение на число IP-адресов;
- увеличить на 50–60 % реальную пропускную способность сети без изменения физических интерфейсов;
- проводить анализ и фильтрацию сетевого трафика;
- создавать виртуальные подсети групп пользователей независимо от их географического расположения и др.

**Системы сбора данных.** В течение года модернизированы детекторные системы на ряде спектрометров. В частности, разработаны, изготовлены и оттестированы новые низкошумящие электронные блоки для детектора NEW на ЮМО, выполнена наладка 32-канального детектора на СПН, полностью заменена детекторная электроника на КДСОГ, в состав ДН-2 включен линейный ПЧД с резистивной нитью (рис. 3).

На спектрометре «Эпсилон» введена в эксплуатацию унифицированная VME-система сбора данных, в которой, кроме стандартного набора функций, при помощи электроники выполняется также коррекция времени пролета нейтронов (временная фокусировка).

Изготовлен и отлажен с программным генератором событий второй TDS/DSP-блок сбора данных с PCI-интерфейсом для MSGC-детектора (ИГМ, Берлин). В настоящее время этот блок используется в ЛНФ для разработки и отладки программного обеспечения.

Продолжались работы по развитию и постановке на спектрометры унифицированного программного комплекса SONIX для систем сбора данных [7].

## ЛАБОРАТОРИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Деятельность Лаборатории информационных технологий в 2001 г. была направлена на выполнение главных задач, поставленных на 88-й сессии Ученого совета ОИЯИ: обеспечение функционирования и развития вычислительной и сетевой инфраструктуры ОИЯИ.

Вычислительная и сетевая инфраструктура как базовая установка ОИЯИ включает в себя:

- внешние каналы компьютерной связи, распределенные информационные системы и телекоммуникационные сервисы;
- локальную сеть ОИЯИ и суперкомпьютерный центр (СКЦ);
- поддержку и развитие стандартного программного обеспечения и современных средств вычислительной физики для пользователей.

Научная программа ЛИТ в 2001 г. определялась двумя темами первого приоритета Проблемно-тематического плана научных исследований и международного сотрудничества ОИЯИ. Сотрудники лаборатории участвовали также в исследованиях по 11 другим темам на уровне проектов и по 14 темам в рамках сотрудничества.

В 2001 г. ЛИТ выступила организатором ряда международных конференций:

- 21–22 февраля — совещание «Роль операционной системы Linux в вычислительной инфраструктуре

будущего» совместно с компанией «Hewlett Packard»;

- 28–30 июня — международное совещание «Компьютерная алгебра и ее приложения в физике» (СААР-2001);

- 3–4 июля — первая конференция в России «Решения по управлению данными в научных исследованиях» совместно с компанией «Техносерв А/С»;

- 12–18 сентября — XVIII Международный симпозиум ОИЯИ по ядерной электронике и компьютерингу (NEC'2001).

Представленные сотрудниками ЛИТ доклады свидетельствовали о высоком уровне проводимых исследований.

Цикл научно-методических работ «Обнаружение и исследование экзотических адронных состояний  $N(3520)$  и  $K(1630)$  с похожими особенностями» авторов В. М. Карнаухова, В. И. Мороза и К. Коки был удостоен второй премии на конкурсе научных работ ОИЯИ за 2001 г.

Для пользователей компьютерной сети ОИЯИ издан первый «Информационный бюллетень ЛИТ» (ОИЯИ, 4-7998. Дубна, 2001) по сетевым, вычислительным и информационным ресурсам.

### ВНЕШНИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ КАНАЛЫ

ОИЯИ имеет доступ к российским сетям и информационным ресурсам (до 30 Мбит/с), используя арендованный канал связи с Москвой у государственного предприятия «Космическая связь» (ЦКС «Дубна»), а также доступ к международным сетям через сеть RBNET в общем потоке и до 1 Мбит/с в рамках гарантированной полосы.

В табл. 1 приведено распределение входного трафика ОИЯИ по лабораториям за 2001 г. (общий объем информации составляет 4,15 Тбайт). Университет «Дубна» и модемный пул (см. табл. 2) имеют значительную долю в общем трафике.

Перспективы улучшения внешней компьютерной связи для ОИЯИ связаны с развитием в России

**Таблица 1. Распределение входного трафика ОИЯИ (> 25 Гбайт)**

ЛИТ+ прокси+ серверы	ЛЯР	ЛЯП	Унив. «Дубна»	Мод. пул.	ЛВЭ	ЛТФ	ЛФЧ	ЛНФ	Упр.	УНЦ
1500	768,45	396	302	249	237	228	222	121	74	26
36 %	18 %	8,7 %	7,1 %	5,8 %	5,6 %	5,4 %	5,2 %	2,8 %	1,7 %	0,6 %

**Таблица 2. Статистика по модемному пулу (часы)**

ЛНФ	ЛЯП	Упр.	ЛЯР	ЛВЭ	ЛИТ	ЛФЧ	Прочие	ЛТФ
12930	10778	9236	7930	7337	6552	3965	1096	216
20,88 %	17,41 %	14,92 %	12,81 %	11,85 %	10,58	6,40 %	1,77 %	0,35 %

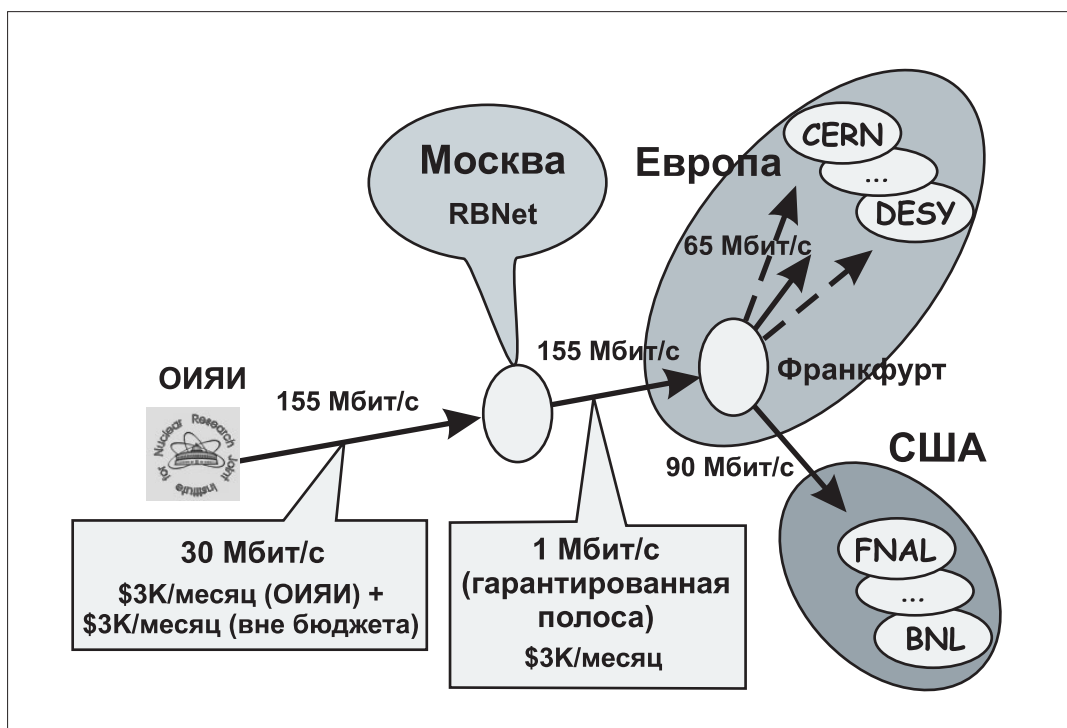


Рис. 1. Внешние каналы компьютерной связи ОИЯИ

системы международных каналов для науки и образования, с развитием высокоскоростной сетевой инфраструктуры, особенно для центров ядерной физики. Развитие сотрудничества ОИЯИ с ЦКС «Дубна», государственным предприятием «Космическая связь» и Российским научно-исследовательским институтом развития общественных сетей в рамках общего соглашения позволит облегчить решение этой задачи.

Приказом директора ОИЯИ образована Комиссия по изучению потребностей научной программы по физике частиц в компьютерных коммуникациях и для разработки рекомендаций по улучшению работы каналов связи. Основная задача состоит в организации специализированных каналов связи с ЦЕРН и DESY (рис. 1).

Систематическая работа по управлению локальной сетью выполнялась Центром управления сети

ОИЯИ (<http://nos.jinr.ru/>). Для удобства пользователей и повышения надежности работы центрального почтового сервера @jinr.ru был предусмотрен ряд новых услуг:

- антивирусная проверка почты;
- псевдонимы почты;
- защита от коммерческих и нежелательных сообщений (SPAM);
- использование многоязычного web-интерфейса (русский, английский язык и т. д.) <https://web-mail.jinr.ru/> для быстрого доступа в почтовые ящики, особенно для пользователей, находящихся вне сети ОИЯИ.

В 2001 г. ОИЯИ получил лицензию на предоставление услуг передачи данных. Правила на подключение пользователей к сети передачи данных ОИЯИ находятся в стадии подготовки.



## ЛОКАЛЬНАЯ СЕТЬ ОИЯИ

В базе данных IP-адресов ОИЯИ на конец 2001 г. зарегистрирован 3451 элемент локальной сети (3105 — в 2000 г.). В настоящее время локальная сеть ОИЯИ работает в критическом режиме по временной схеме на основе технологии Fast Ethernet, что является результатом выхода из строя основного ATM-оборудования.

Проект по модернизации топологии сети и выбору адекватной технологии находится в стадии разработки, а построение опорной локальной сети будет главной задачей в течение ближайших лет. Основанием для работы над проектом служат рекомендации 89-й сессии Ученого совета ОИЯИ по дальнейшему развитию удаленного доступа к экспериментальным установкам, обработке данных и передаче информации, участию в международном сотрудничестве по проекту GRID в Европе и Америке. Высокоскоростная сеть позволит организовывать распределенные вычисления, эффективно используя большие компьютерные комплексы в лабораториях ОИЯИ. Это особенно важно при обработке данных для экспериментов ЛНС в ЦЕРН, где ОИЯИ принимает активное участие.

В 2001 г. проведен ряд обсуждений будущей опорной сети. В течение 2001 г. опорная сеть ОИЯИ использовала две технологии: ATM и Fast Ethernet в трех лабораториях, и начиная с 30 октября 2001 г. вся локальная сеть ОИЯИ перешла на технологию Fast Ethernet (рис. 2) из-за аварийного отказа и выхода из строя центрального оборудования ATM.

Две компании по информационным технологиям из Москвы («Техносерв А/С» и «Инфосистемы Джет») и кафедра телекоммуникаций Российского университета дружбы народов были приглашены для участия в разработке предложений по проекту новой локальной сети ОИЯИ. Все внешние эксперты и специалисты по сетям от лабораторий Института пришли к выводу, что работа по институтским научным программам и участие в международных исследовательских программах требуют создания высокоскоростной надежной опорной сети, которая может быть реализована на основе технологии Gigabit Ethernet. С информацией относительно проектов ЛИТ и организации сети можно ознакомиться на странице <http://noc.jinr.ru/projects.htm>.

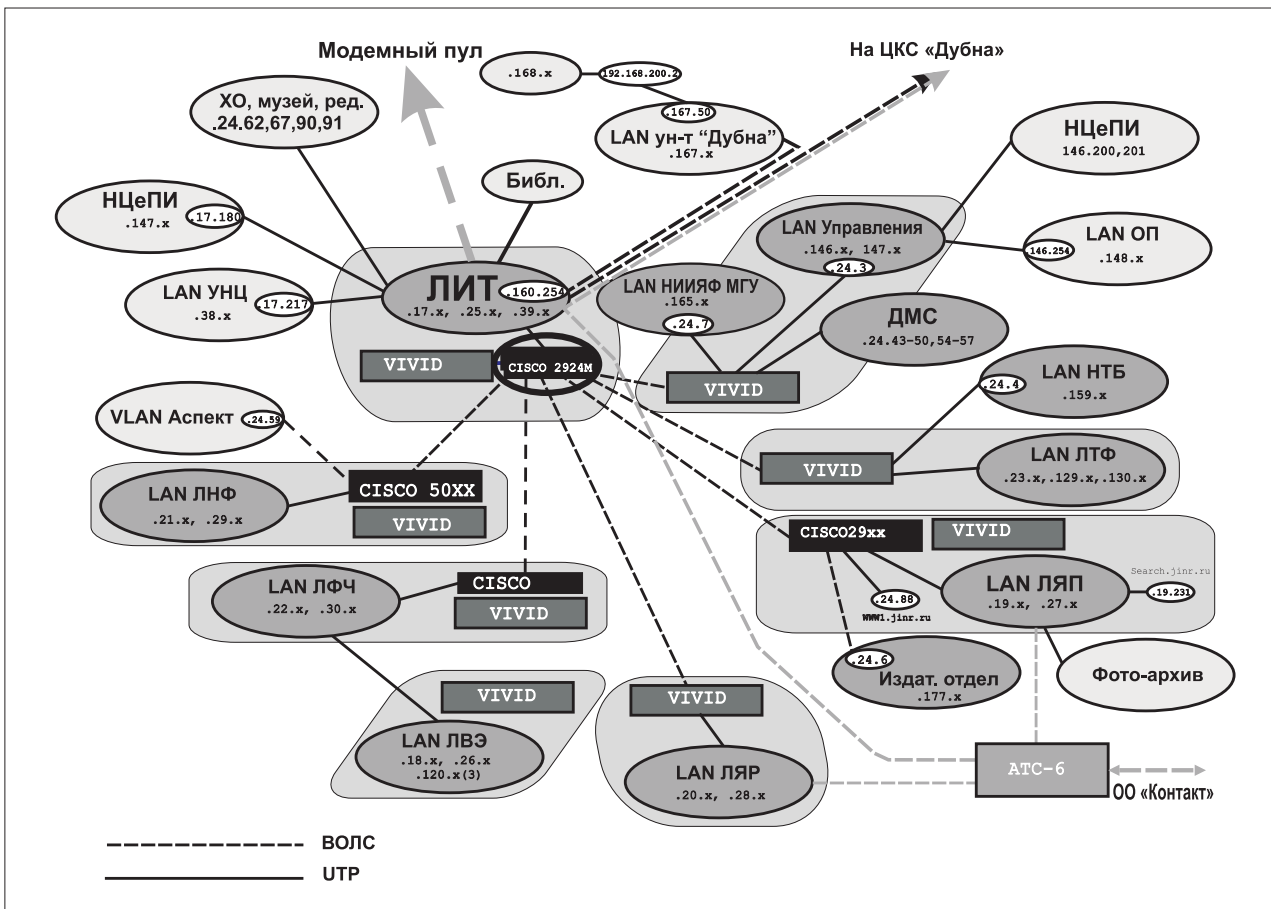


Рис. 2. Схема локальной сети ОИЯИ

Дирекция ЛИТ совместно с Центром прикладных исследований ОИЯИ организовала обучение для четырнадцати сетевых специалистов с помощью лекторов, приглашенных из Москвы. Десять из обучающихся сдали экзамены и получили сертификаты в 2001 г.

В 2001 г. прошел первый прием 10 студентов на кафедру информационных технологий вычислительных систем Московского технического университета радиотехники, электроники и автоматики, организованную на базе ЛИТ.

### Распределенные информационные системы, суперкомпьютерный центр (СКЦ)

Более тысячи специалистов ОИЯИ и других исследовательских центров, сотрудничающих с Институтом, являются пользователями СКЦ. В настоящее время СКЦ (рис. 3) — один из десяти самых производительных российских вычислительных центров. ОИЯИ активно сотрудничает с другими ведущими центрами — Межведомственным суперкомпьютерным центром, Институтом высокопроизводительных вычислений и баз данных (Санкт-Петербург). В сотрудничестве с ведущими центрами ядерной физики России СКЦ ОИЯИ участвует в создании Российского регионального центра обработки данных с ЛНС.

В 2001 г. продолжалось создание сегмента GRID в России. Кроме ОИЯИ, еще десять институтов Российской Федерации приняли участие в проекте. Главное участие ЛИТ состоит в установке системы GLOBUS, организации общего информационного

сервера GRIS (Grid Resource Information Service) и GIS (Grid Index Information Service), создании сертификационного центра, тестировании метадиспетчера, которому пользователи направляют свои задания для их распределения по свободным исполнительным узлам, развитии средств мониторинга ресурсов и сервисов в ОИЯИ, организации управления данными, массовом моделировании физических событий для экспериментов по физике частиц и созданию распределенной базы данных на серверах СКЦ и РС-ферме.

В 2001 г. сервер SPP2000 использовался 81 из 142 зарегистрированных пользователей и был загружен на 96 %. В табл. 3 приведено относительное использование вычислительных мощностей SPP2000 лабораториями ОИЯИ.

Таблица 3

ЛИТ, %	ЛЯР, %	ЛЯП, %	ЛФЧ, %	ЛНФ, %	ЛТФ, %	ЛВЭ, %
22	13	9	8	15	22	11

Convex 220 использовался как вычислительный сервер, сервер электронной почты и web-сервер 1215 пользователями компьютерной сети ОИЯИ. Активно использовали электронную почту 1031 человек. В табл. 4 приведено распределение числа зарегистрированных пользователей по лабораториям и подразделениям ОИЯИ.

Таблица 4

ЛЯР	ЛЯП	ЛФЧ	ЛНФ	ЛТФ	ЛВЭ	ЛИТ	Упр.
165	166	124	57	109	129	372	93

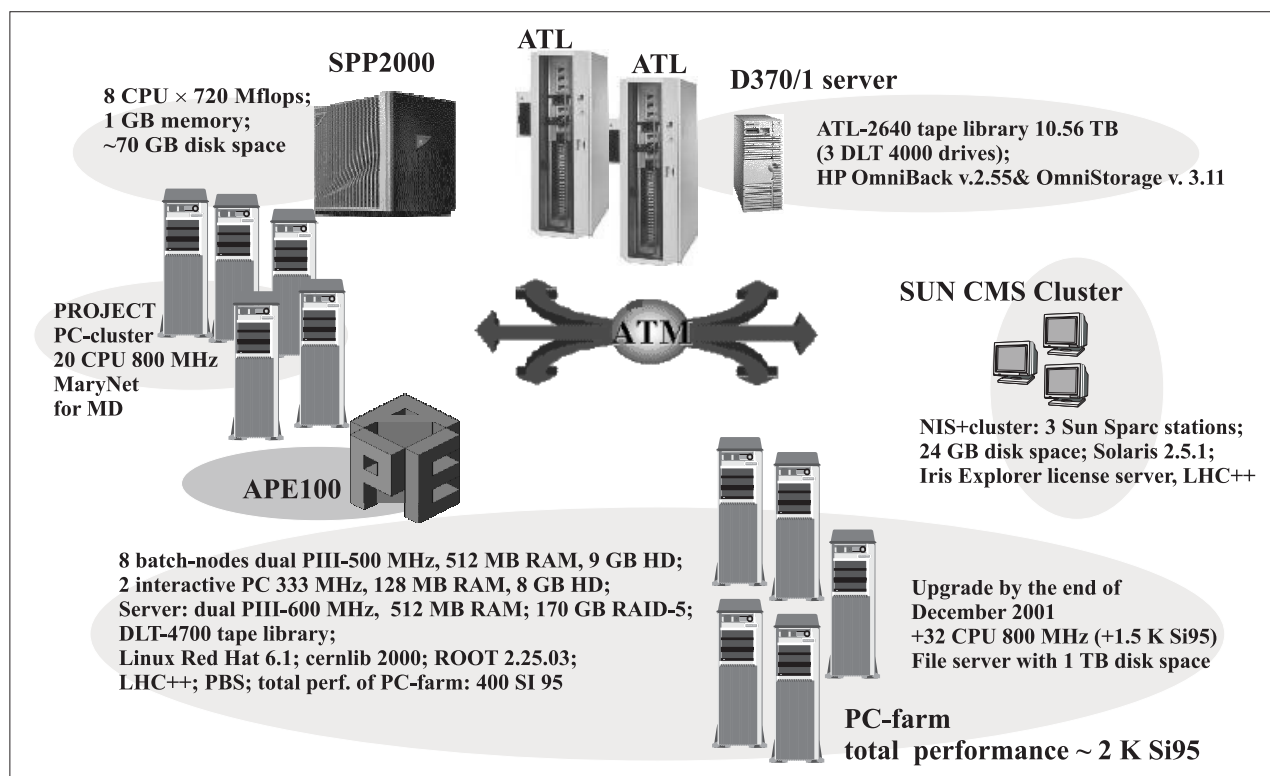


Рис. 3. Основные компоненты СКЦ ОИЯИ

Следует отметить, что устаревшая система OpenVx 220 должна быть заменена кластером серверов на базе процессора Intel.

### Вычислительный сервис

В 2001 г. осуществлялась информационная и компьютерная поддержка совместных экспериментов в ЦЕРН, DESY и BNL. Выполнялись работы по дальнейшей адаптации и поддержке текущих версий библиотеки Anarhe (LHC++) для платформ Linux и Windows NT.

### БАЗЫ ДАННЫХ И WWW-СЕРВИС

Систематическое обновление и обслуживание созданных ранее баз данных (БД) и информационных систем продолжалось с учетом потребностей пользователей. Среди них:

- Информационная система IPDB — интерфейс базы данных IP-адресов ОИЯИ (<http://iis.jinr.ru/ipdb/>);
- База данных ускорителей (<http://iis.jinr.ru/acc/>);
- Система для учета и статистики работы базовых установок ОИЯИ (<http://iis.jinr.ru/basic-fac/>), разработанная с использованием ASP-технологии;
- Система для контроля работы по подготовке элементов установки ATLAS в ОИЯИ, запущена в эксплуатацию и поддерживается на <http://wnlse50.jinr.ru/wf/new/wf.html>. Система разработана в Институте ядерной физики (Санкт-Петербург). В рамках этого проекта создано приложение OAS (Oracle Application Server) на PL/SQL для представления текущего состояния БД в глобальной сети. База данных была перемещена с сервера WinNT на сервер Linux Redhat. Разработан и включен в систему специализированный модуль на Perl для еженедельного архивирования БД в полуавтоматическом режиме;
- Система оцифровки графиков по запросам пользователей и подготовки библиографических данных по физике высоких энергий для базы данных PPDS

### ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Основными задачами направления «Вычислительная физика» являются обеспечение алгоритмической и программной поддержки экспериментальных и теоретических исследований, проводимых в Институте, а также обеспечение эффективного использования вычислительных средств ОИЯИ.

В 2001 г. опубликовано и представлено более 80 научных работ в ведущих научных журналах, сообщениях и препринтах ОИЯИ, а также в материалах конференций.

Новый сеанс массовой генерации событий был проведен на PC-ферме ЛИТ ОИЯИ (16 процессорных единиц по 500 МГц) для триггера высокого уровня CMS. Объем моделируемых данных составляет более 75 Гбайт. Генерация данных была выполнена с использованием программ моделирования и реконструкции событий Pythia и CMSIM для эксперимента CMS.

Выполнен ряд исследований на специализированной вычислительной системе APE-100, основанной на SIMD-архитектуре.

(<http://www.jinr.ru/~diginfo/>). Информация о 150 научных работах была подготовлена для размещения в базе данных PPDS. Более 50 документов были включены в эту базу данных. Более 50 работ в настоящее время находятся в стадии подготовки. Работа выполнена в сотрудничестве с ИФВЭ, BNL и другими физическими центрами. 148 графиков была оцифрованы по заявкам сотрудников ОИЯИ и физиков из стран-участниц;

- Информационная система «Проблемно-тематический план ОИЯИ» (<http://dbserv.jinr.ru/~deadhead/tp/>). Разработано и добавлено программное обеспечение для автоматической трансляции файла с LaTeX в БД Oracle;
- Информационная система «Система расчетов между ОИЯИ и Опытным производством (Access, VBA)» для бухгалтерии ОИЯИ.

Среди работ, связанных с центральными серверами ОИЯИ и ЛИТ (<http://www.jinr.ru>, <http://lit.jinr.ru>), особого внимания заслуживает разработка новой web-страницы ОИЯИ, обновление разделов в соответствии с основными научными результатами и программами исследований ОИЯИ; информация о конференциях, школах и совещаниях, проводимых в ОИЯИ; разработка и техническое обслуживание WWW-JavaStation (<http://dbserv.jinr.ru/js/>).

### Математическое моделирование и информационная поддержка в экспериментальных исследованиях

**Обеспечение обработки данных в физике элементарных частиц.** Работы в этой области были связаны с развитием основных ресурсов (как программных, так и специализированных вычислительных систем) для экспериментов в физике высоких энергий. Разработаны и установлены системы для обработки экспериментальных и моделируемых методом Монте-Карло данных эксперимента ЭКСПАРМ на новом мощном сервере РИСК Linux-кластера. Следует отметить, что по масштабируемости, полноте, ком-

плексному подходу и уровню задач это направление, связанное с созданием и приложением систем обработки данных, является перспективным. Опыт и методические результаты, полученные в эксперименте ЭКСЧАРМ, применяются и в других экспериментах, включая эксперименты в ЦЕРН с участием ОИЯИ [1].

#### Развитие новых методов обработки данных.

Одним из перспективных методов анализа экспериментальных данных является вейвлет-анализ. В ЛИТ разработан программный пакет WASP (Wavelet Analysis of Secondary Particles). Пакет программ написан на языке C++ и применяется для анализа угловых распределений вторичных частиц в высокоэнергетических взаимодействиях ядер с ядрами. (WASP предназначен для анализа данных экспериментов STAR и ALICE). WASP имеет дружественный графический интерфейс для пользователя (GUI), который реализуется с использованием ROOT GUI классов. Первая версия пакета была успешно применена для анализа данных. Проанализированы угловые распределения вторичных частиц, полученных при взаимодействиях ядер серы и ядер кислорода с ядрами фотоэмульсии при энергиях 200 и 60 ГэВ/нуклон. С помощью вейвлет анализа удалось увидеть, что распределения псевдоскорости частиц, просуммированной по всем событиям, имели три подструктуры. Распределения в отдельных событиях имеют больше чем одну подструктуру в 40 % случаев. Вейвлет-анализ позволяет отделять события с различными подструктурами (рис. 4) [2]. Новая версия WASP позволяет выполнять как одно-, так и двумерный вейвлет-анализ. Таким образом, этот метод может использоваться для обнаружения кольцевых структур [3–7].

В рамках запланированной работы в коллаборации HERA-B в ЛИТ проведено исследование по повышению эффективности усовершенствованных программ для камер по распознаванию изображений (PC) внешней следящей системы HERA-B (OTR). Новая версия программы калибровки для PC была разработана на основе согласованного применения робаст-

ного подхода к алгоритмам нахождения треков и вычислению функции калибровки. В дополнение к улучшению точности калибровки эта программа позволила ускорить процедуру калибровки на порядок по сравнению с обычной программой калибровки. Наиболее эффективной была робастная подгонка кубических сплайнов непосредственно к сырым данным, являющимся результатом нескольких тысяч измерений дрейфового времени. Пример фитирования приведен на рис. 5.

В рамках сотрудничества с ЛВЭ проведено сравнение экспериментальных данных о распределениях протонов и  $\pi^-$ -мезонов по быстротам в  $CC$ -взаимодействиях с различной множественностью  $\pi^-$ -мезонов при энергии 3,36 ГэВ/нуклон с предсказаниями моделей RQMD и FRITIOF. Показано, что модель RQMD удовлетворительно воспроизводит распределение  $\pi^-$ -мезонов, но неудовлетворительно описывает характеристики протонов. В модифицированной модели FRITIOF при подборе свободных параметров удается достичь хороших результатов [8].

Завершен цикл обработки экспериментальных данных для выявления экзотических состояний адронных структур. Установлены экзотические состояния  $K$  (1630),  $N$  (3520),  $\Sigma$  (3170). Эти предполагаемые экзотические состояния образуются в процессах с большими четырехмерными переданными импульсами. Особенность распада указывает на пространственную кластеризацию бесцветных продуктов распада  $K$  (1630) и  $N$  (3520), их угловое разделение на две части [9].

**Применение метода объемных и граничных интегральных уравнений в моделях магнитных систем со сверхпроводящими экранами.** Получены новые результаты по моделированию магнитных систем со сверхпроводящими экранами. Выведены нелинейные объемные и граничные интегральные уравнения, которые определяют распределение намагничивания в нелинейной среде и распределение

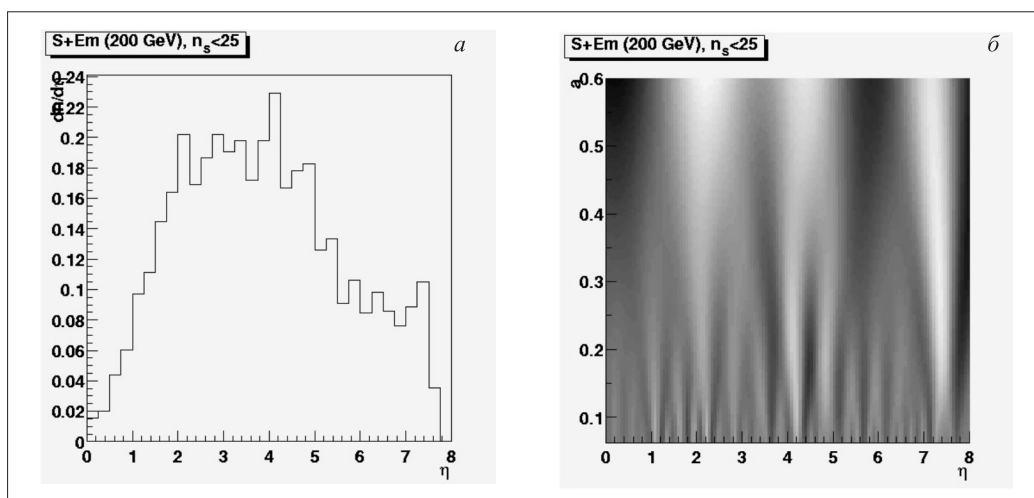


Рис. 4. Распределение частиц по псевдоскоростям в событиях с  $n_s < 25$  (а) и их вейвлет-спектр (б). При 0,4 выделяются три подструктуры



токов по границе сверхпроводника. Разработаны методы дискретизации уравнений и итерационного решения нелинейных систем, полученных таким путем. Созданное математическое и программное обеспечение использовалось для моделирования магнитной системы для установки ALICE [10].

**Применение математического моделирования в физике низких и промежуточных энергий.** С использованием модели температурного пика, измеренных радиусов треков в высокотемпературном сверхпроводнике  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , а также его теплофизических характеристик рассчитано эффективное время электрон-фононной релаксации для этого материала. Оно оказалось в хорошем согласии с экспериментально измеренными (методами лазерной фемтосекундной техники) значениями этой величины. Таким образом, впервые построено самосогласованное описание процесса трекообразования в ВТСП, не содержащее никаких подгоночных параметров [11].

Предложен новый подход к решению задачи локальной аппроксимации и сглаживания кривых с ошибками. Создан простой для вычислений и устойчивый к случайным ошибкам кубический сглаживающий фильтр в режиме адаптации (LOCUS). Эффективность и помехоустойчивость алгоритма подтверждены примерами и сравнением с результатами обработки кривых другими известными непараметрическими сглаживающими фильтрами [12].

Исследована математическая модель подкритического каскадного реактора, управляемого протонным ускорителем и состоящего из первичной свинцово-висмутовой мишени, основного реактора, созданного аналогично реактору на расплавленных солях (MSBR), и реактора-бустера, аналогичного активной зоне жидкометаллического реактора БН-350. Посредством моделирования методом Монте-Карло показано, что изучаемый реактор обеспечивает режимы надежной и безопасной работы ( $k_{эф} = 0,94-0,98$ ), способен эффективно трансмутировать ядерные отходы и уменьшает на порядок требования к величине тока пучка ускорителя. Расчеты дают максимальный поток нейтронов в тепловой зоне  $10^{14} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ , в быстрой зоне —  $5,12 \cdot 10^{15} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$  при  $k_{эф} = 0,98$  и токе протонов в пучке ускорителя  $I = 2,1 \text{ мА}$  [13].

#### Алгоритмическая и программная поддержка теоретических исследований

**Методы вычислительной молекулярной динамики и программное обеспечение.** Оптимизированная версия DL\_POLY — программы для моделирования молекулярной динамики (МД) — использовалась при изучении процессов соударения кластер–поверхность для металлических фаз. Характеристики столкновений кластер–поверхность изучались в широком диапазоне энергий ( $E_{inc} = 0,035-3,5 \text{ эВ/атом}$ ). Модификация поверхности, облучаемой пучками кластеров, исследовалась с помощью мониторинга динамики конфигурации молекулярной системы в реальном времени. Детально были изучены плотность и рас-

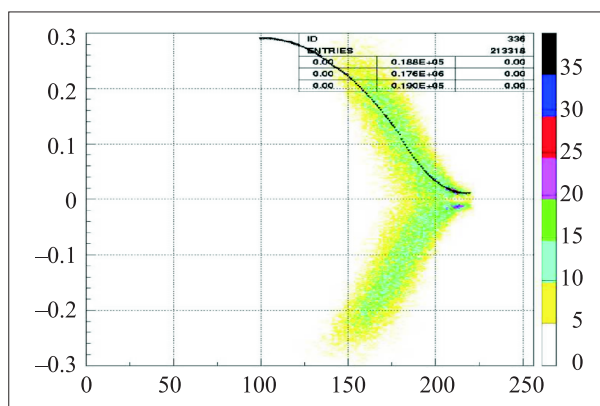


Рис. 5. Результат фитирования кубическим сплайном с 5 мм РС

пределения температур в системе под воздействием энергетически эффективной радиации. Определены и оценены три основных вида ударного воздействия: мягкое оседание, капельное распыление и имплантация. На основе данных о плотности и распределении температур проанализировано низкоэнергетичное соударение кластер–поверхность и дана новая интерпретация процесса капельного распыления [14]. Результат МД-моделирования для энергии  $E_{inc} = 0,56 \text{ эВ/атом}$  приведен на рис. 6.

**Моделирование термоупругого взаимодействия пучка с поверхностью.** Разработан метод численного анализа задачи Стефана для металлического образца, подвергнутого воздействию сильного ионного импульсного пучка [15]. В предположении, что боковые поверхности образца термоизолированы, изучена динамика перемещения межфазовой границы, отделяющей расплавленную и твердую части образца. Установлено, что форма источника влияет на форму межфазовой границы, поэтому путем выбора параметров источника можно управлять эволюцией межфазовой границы.

**Вычислительные схемы высокой точности для исследования квантовых систем.** Предложен корреляционный вариационный метод для вычисления связанного изоэлектронного состояния атома гелия. Новые проективные координаты  $s = r_1 + r_2$ ,  $v = r_2 / (r_1 + r_2)$ ,  $w = (r_1 - r_2) / r_2$  вводятся вместо обычных координат  $s = r_1 + r_2$ ,  $t = r_1 - r_2$ ,  $u = r_{12}$ . Все матричные элементы гамильтониана и весовая функция выражаются простыми произведениями трех одномерных интегралов. Вариационный базис формируется множеством полиномов Лагерра с единственным нелинейным параметром и двумя множествами полиномов Якоби для проективных координат  $s$ ,  $v$ ,  $w$  соответственно. Это обеспечивает высокую скорость сходимости энергии  $E = E(N)$  относительно числа  $N$  членов разложения по базису. Как частный случай, вычислена энергия основного состояния гелия [16].

Построена ньютоновская итерационная схема для решения задачи рассеяния с использованием вариационного функционала Швингера. Задача рассея-

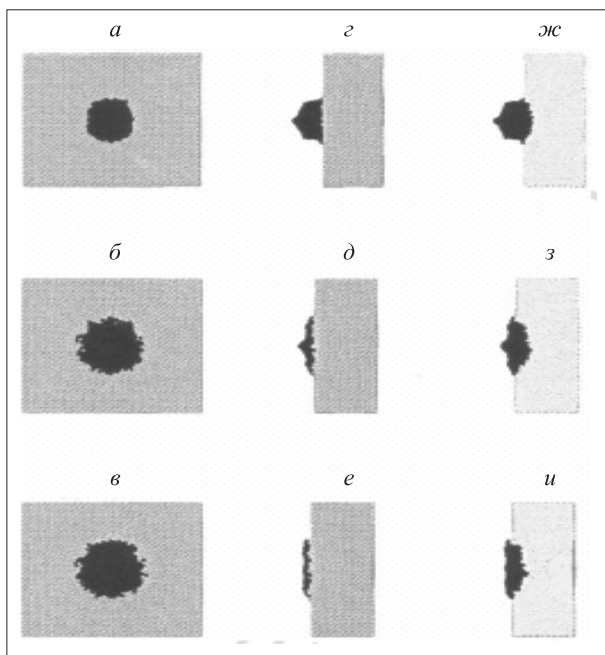


Рис. 6. Результат МД-моделирования для кластера: вид сверху (*а, б, в*), сбоку (*г, д, е*) и в разрезе (*ж, з, и*) МД-конфигураций при  $t = 1,3$  пс (*а, г, ж*),  $t = 2,1$  пс (*б, д, з*) и  $t = 5$  пс (*в, е, и*) для энергии  $E_{inc} = 0,56$  эВ/атом

ния сформулирована как задача на собственные значения относительно пары неизвестных: фазового сдвига и волновой функции. Эффективность предложенной итерационной схемы и ее точность проверены на точно решаемых примерах задачи упругого рассеяния с потенциалом Морзе и сферическим потенциалом [17].

**Численные методы в моделях теории ядра.** В рамках квазичастичной фоновой ядерной модели (КФЯМ) с использованием формализма, разработанного в работах В. Г. Соловьева, выполнены численные расчеты характеристик долгоживущего изометрического состояния нуклида  $^{180}\text{Ta}$ . Результаты расчетов позволили сделать вывод о механизмах переходов промежуточных состояний при дезактивации  $^{180}\text{Ta}^m$  в реакции  $(\gamma, \gamma')$  [18].

**Компьютерная алгебра.** Для эффективного вычисления базисов Жане разработан и реализован на

## МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

В соответствии с соглашением между ОИЯИ и Исследовательским центром FZR (Россендорф, Германия) о сотрудничестве в сфере применения и развития вычислительных систем специалисты ЛИТ приняли участие в реализации проекта «Zentrale Nutzerdatenbank» для администрирования вычислительного комплекса FZR с использованием технологии WWW. Разработан и включен в систему ряд Java-программ. Исследована возможность использования программ-

языках «Редьюс», Си и Си++ новый класс инволютивных алгоритмов. Эти алгоритмы используют специально введенные для них структуры данных, названные деревьями Жане. Использование этих типов данных позволяет значительно ускорить приведение в инволюцию нелинейных систем уравнений. Созданные пакеты программ были сравнены, по эффективности вычислений, с написанной на языке Си системой компьютерной алгебры специального назначения «Сингуляр», которая разработана для задач коммутативной алгебры и алгебраической геометрии и является одной из наиболее быстродействующих программ для вычисления базисов Гребнера. С большинством задач, взятых из широкоизвестной базы данных нелинейных систем, созданной для тестирования программных продуктов, разработанные программы работают быстрее, чем система «Сингуляр». Более того, новые алгоритмы, в отличие от классического алгоритма Бухбергера для построения базисов Гребнера, встроенного в систему «Сингуляр» и во все универсальные системы, такие, как «Математика», «Мэйпл», «Редьюс» и др., допускают эффективное распараллеливание, что было явно показано на двухпроцессорном компьютере. Моделирование многопроцессорных вычислений на этом компьютере выявило зависимость времени счета от числа процессоров, близкую к обратной пропорциональной. Разработанные последовательные версии алгоритмов и программ встроены в виде специальных модулей в систему «Математика» [19–21].

Вычисление когомологий для алгебр Ли и супералгебраическое явное вычисление когомологий (супер)алгебры Ли имеет большое значение для изучения современных моделей теоретической и математической физики. Разработан новый алгоритм для этих задач. Алгоритм разбивает комплексы коцепей, содержащие пространства большого размера, на меньшие. Во многих приложениях эта стратегия ведет к значительно более быстрым вычислениям. Этот алгоритм был осуществлен на языке Си и применялся к некоторым конкретным примерам, представляющим физический интерес. Такой подход может также применяться для явного определения когомологии Спенсера супералгебры Ли в степенях  $Z$  [22].

ного обеспечения на основе протокола LDAP (Lightweight Directory Access Protocol) для автоматизированного удаленного администрирования персональных компьютеров с различными операционными системами (W2000 и Linux).

В сотрудничестве с DESY (Цойтен) выполнялась работа по развитию и созданию прикладного и системного программного обеспечения для высокопроизводительного многопроцессорного вычислитель-

ного комплекса APEmille, по развитию и созданию комплекса areNEXT. Проведена отладка и испытание программного обеспечения и оборудования для APEmille. Выполнено моделирование предварительной модели VHDL для areNEXT. Разработана версия прототипа компилятора Си, включая интерфейс для ТАО-компилятора. Проведены испытания с функциональным моделирующим устройством архитектуры areNEXT на персональных компьютерах с операционной системой LINUX.

Совместно с ЦЕРН в рамках проекта CERN-INTAS выполнены работы по созданию системы «Correlation Engine». Цель этой системы — своевременное обнаружение аномальных состояний на узлах PC-ферм и предотвращение сбоев. Первый прототип системы корреляции написан на языке Perl, и идет его тестирование. Параллельно расширяются возможности созданного прототипа.

В сотрудничестве с ЦЕРН и Национальной лабораторией в Брукхейвене выполнены [23]:

1. Разработка объектно-ориентированной программной среды (в рамках ROOT) для решения широкого класса научных задач с использованием рабочих станций и персональных компьютеров (<http://root.cern.ch>).

2. Разработка, развитие и реализация информационной модели процессоров для сбора, реконструкции и физического анализа данных для больших экспериментов.

3. Развитие современных объектно-ориентированных технологий для эксперимента STAR.

4. Развитие объектно-ориентированной системы ввода-вывода для эксперимента ATLAS.

В рамках совместного проекта DFG/GSI/JINR «Неравновесная сильно взаимодействующая плотная материя, образованная в ядро-ядерных столкновениях» получил дальнейшее развитие кинетический (транспортный) подход с учетом эффектов схода с массовой поверхности, в частности, таких, как конечность ширины распределения по массе нестабильной

## ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сдана в эксплуатацию графическая версия ПРОГРЭС++: программы расчета и оптимизации городских распределительных электрических сетей. ПРОГРЭС++ работает на IBM PC в среде Windows. Сейчас она эксплуатируется на всех 35 электросетевых предприятиях Московской области, а также на отдельных предприятиях других областей России. Программа является эффективным инструментом для решения задач анализа потерь энергии. Исполнение ее рекомендаций позволяет снижать потери в распределительных сетях с 8–10 % до 5–8 %. Программа позволяет создавать и отображать на экране схемы любой сложности, умеет определять индекс связности графа сети, обнаруживать циклы в схеме. Решение системы из  $N$  уравнений Кирхгофа производится за время порядка  $N$  операций. Получен сертификат от Минэнерго за номером 001.

частицы, и возможных фазовых переходов в сжатой возбужденной материи, а также применение разработанных схем в различных динамических моделях, т. е. исследование эволюции резонансной материи и динамики фазовых переходов.

Модель диссоциации чармония в горячем газе мезона была исследована в сотрудничестве с Университетом Ростка (Германия). Полученные результаты способствуют изучению столкновений тяжелых ионов в рамках модифицированной модели Глаубера и явления аномального  $J/\psi$ -подавления [24]. Результаты применимы для случая Pb–Pb-столкновений в экспериментах ЦЕРН.

Активное сотрудничество было продолжено с Германией в области компьютерной алгебры. Совместно с Техническим университетом (RWTH, Ахен), были разработаны два пакета программы «Мэйпл», называемые Involutive и Janet, реализующие оригинальные алгоритмы, разработанные в ЛИТ, для преобразования (приведения) систем нелинейных алгебраических уравнений и линейных PDE-систем, соответственно, в каноническую инволютную форму.

Совместно с университетом Greifswald был создан инструмент Invo в системе «Математика» для приведения нелинейных алгебраических и линейных дифференциальных систем к инволютному виду. Разработанное программное обеспечение позволяет пользователю экспериментировать с различными инволюционными разделами, генерирующими различные алгоритмические процедуры для приведения [21].

В 2001 г. продолжалось сотрудничество с Сольвеевским международным институтом физики и химии (Брюссель). На базе разработанных вычислительных инструментальных средств и методов, основанных на искусственных нейронных сетях и клеточных автоматах, проведен нелинейный анализ временного ряда, полученного при измерениях трафика на входе локальной сети среднего размера [25].

В 2001 г. проведен ряд работ в сотрудничестве с Сольвеевским международным институтом физики и химии (Брюссель) в области прикладных исследований:

- Опубликован обзор, посвященный вычислительным методам и инструментальным средствам для моделирования и анализа различных сложных процессов в физике, медицине, социальной динамике и природе [26].
- Исследована способность искусственных нейронных сетей восстанавливать дискретные хаотические отображения с сингулярными точками [27].
- Предложен новый подход к проблеме эффективного распределения ресурсов в различных типах экономических систем [28].



- Предложено использование эластичных нейронных сетей (ЭНС) для нахождения начальной оценки в автоматизированной процедуре локализации сейсмических событий. Преимущества ЭНС — это простота алгоритма, быстрая сходимость и высокая эффективность. Предложенный метод опробован на модельных сейсмических событиях [29].

В 2001 г. активно развивалось сотрудничество между ЛИТ и Институтом проблем радиационной физики и химии НАН Белоруссии. Важные результаты получены в области исследований по компьютерному моделированию и вычислениям в рамках проекта

подкритической сборки на МОХ-топливе и трансмутации ядерных отходов. Одна из опубликованных совместных работ [30] посвящена теоретическим исследованиям скорости трансмутации для ряда долгоживущих продуктов распада и слабых актинидов, а также нейтронным спектрам, которые формируются в подкритической сборке, управляемой пучками протонов с энергией 660 МэВ и нейтронов с энергией 14 МэВ. Главная цель исследования — сравнение нейтронного спектра в МОХ-сборке для различных внешних источников управления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ivanchenko I. M. et al.* // Scientific session МЕРPhI-2001. Proc. МЕРPhI «Computer Systems and Technologies». 2001. P. 32;  
*Aleyev A. N. et al.* JINR, D1-2001-98. Dubna, 2001 (submitted to the «European Physical Journal C»).
2. *Uzhinskii V.V. et al.* JINR Commun. P7-2001-168. Dubna, 2001.
3. *Ososkov G. et al.* JINR Commun. E11-2001-38. Dubna, 2001.
4. *Soloviev A. G.* JINR Commun. E10-2001-105. Dubna, 2001.
5. *Uzhinskii V. et al.* JINR Commun. E2-2001-119. Dubna, 2001.
6. *Akkerman K. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2001. V. 86. P. 402.
7. *Ososkov G., Stadnik A.* // Advances in Neural Networks and Applications / Ed. N. Mastorakis. Athene, 2001. P. 304.
8. *Galoyan A. S. et al.* JINR Commun. E1-2001-68. Dubna, 2001.
9. *Karnaikhov V.M., Moroz V.I., Coca C.* JINR Commun. E1-2001-185. Dubna, 2001.
10. *Akishin P. G.* // Comp. Math. and Math. Phys. 2001. V. 41, No. 7. P. 1054.
11. *Goncharov L. N., Kostenko B. F., Philinova V. P.* JINR Preprint E14-2001-109. Dubna, 2001 (submitted to «Phys. Lett. A»).
12. *Dikoussar N. D.* JINR Preprint E10-2001-48. Dubna, 2001 (submitted to «Computer Physics Communications»).
13. *Bzmini S. A. et al.* JINR Preprint P2-2001-124. Dubna, 2001.
14. *Kholmurodov K. et al.* // Comp. Phys. Commun. 2001. V. 141. P. 1.;  
*Kholmurodov K. et al.* // J. Chem. Phys. 2001. V. 114, No. 21. P. 9578.
15. *Амирханов И. В. и др.* Сообщение ОИЯИ P11-2001-164. Дубна, 2001.
16. *Chuluunbaatar O., Puzynin I. V., Vinitsky S. I.* // J. of Phys. B: Atomic, Molecular and Optical Physics. 2001. V. 34. P. L425
17. *Chuluunbaatar O., Puzynin I. V., Vinitsky S. I.* JINR Preprint P11-2001-61. Dubna, 2001 (submitted to «JCMASE»).
18. *Соловьев В. Г., Сушков А. В., Шурикова Н. Ю.* // ЯФ. 2001. Т. 64. № 7. С. 1275.
19. *Gerdt V. P., Blinkov Yu. A., Yanovich D. A.* // Comp. Algebra in Scientific Computing (CASC'01);  
*Gerdt V. P., Blinkov Yu. A., Yanovich D. A.* // Progr. and Comp. Software. 2001. V. 27, No. 1. P. 22.
20. *Gerdt V. P.* To be published in «Progr. and Comp. Software». 2001;  
*Yanovich D. A.* To be published in «Progr. and Comp. Software». 2001.
21. *Berth M., Gerdt V. P.* // Proc. of the 3rd Intern. Workshop on Mathematica System in Teaching and Research, Siedlce, Poland, Sept. 5–8, 2001.
22. *Kornyak V. V.* // Comp. Algebra in Scientific Computing (CASC'01). Berlin: Springer-Verlag, 2001.;  
*Kornyak V. V.* // Programming. 2001. V. 27, No. 3. P. 142.
23. *Alverson G. et al.* Summary of the HEPVis'01 Workshop (CHEP 2001), Beijing, China, Sept. 3–7, 2001;  
*Fine V. et al.* // Phys. Rev. Lett. 2001. V. 86. P. 402;  
*Fine V. et al.* «Open Inventor» Viewer to Render ROOT 3D Objects // HEPVis'01 Workshop, Boston, USA, May, 2–5, 2001.
24. *Burau G., Blaschke D., Kalinovsky Yu.* // Phys. Lett. B. 2001. V. 506. P. 297.;  
*Blaschke D. et al.* // Int. J. Mod. Phys. A. 2001. V. 16. P. 2267.
25. *Akritas P. et al.* // Applied Non Linear Dynamics. From Semiconductors to Information Technologies: Book of abstr. Thessaloniki, Greece, Aug. 27–30, 2001. P. 18 (to be published in «Chaos, Solitons & Fractals»).
26. *Antoniou I., Ivanov V. V.* // Unconventional Models of Computation / Eds.: I. Antoniou, C. Calude, M. J. Dinneen, Springer-Verlag; London Limited, 2001. P. 10.
27. *Akishin P. G. et al.* // Discrete Dynamics in Nature and Society. 2001. V. 6. P. 147.
28. *Antoniou I. et al.* // Physica A. 2001 (in press).
29. *Antoniou I., Ivanov V. V., Kisel I. V.* // Discrete Dynamics in Nature and Society. 2001 (in press).
30. *Barashenkov V. S. et al.* // Belarus NAS Journ., Physics and Technique series. 2001. No. 3. P. 150.



## ОТДЕЛЕНИЕ РАДИАЦИОННЫХ И РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Научная программа ОРРИ определяется темой первой категории Проблемно-тематического плана научно-исследовательских работ и международного научно-технического сотрудничества ОИЯИ, в рамках которой ведутся исследования по двум основным направлениям. Радиационное направление традиционно связано с исследованиями в области физики защиты, дозиметрии, спектрометрии и радиационного мониторинга в полях ионизирующих излучений. Основу научной программы по радиобиологии в на-

стоящее время составляют исследования закономерностей и механизмов мутагенного действия ионизирующих излучений разного вида на клетки про- и эукариот. Помимо этого, в рамках темы успешно реализуется проект МИТРА по созданию новых высокоэффективных препаратов для мишенной радиотерапии меланомы человека.

### РАДИАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Важной проблемой физики защиты при проектировании новых ядерно-физических установок является минимизация возможного радиационного воздействия на окружающую среду и население близлежащих районов. Наиболее достоверные оценки с высокой степенью детализации могут быть получены при расчете дозы на больших расстояниях от установки методами статистического моделирования. Другой важной задачей является оценка возможных выбросов в атмосферу радиоактивных нуклидов, образующихся в воздухе помещений ядерно-физических установок за счет активации высокоинтенсивными источниками излучения. Для решения этих проблем были разработаны методики, позволяющие прогнозировать дозу нейтронов и  $\gamma$ -квантов за защитой за счет многократного рассеяния излучения в воздухе и грунте (эффект skyshine), а также определить динамику накопления и выброса образующихся на установках радионуклидов. Результаты использованы при проектировании циклотронного центра в Братиславе (Словакия).

Результаты экспериментальных исследований характеристик полей адронов вокруг толстой свинцо-

вой мишени, облучаемой протонами с энергией 650 МэВ (в рамках проекта SAD), были сравнены с расчетами методом Монте-Карло по программам MCNP4B + LANET и MCNPX. Получено хорошее согласие между расчетными и экспериментальными данными.

С помощью модифицированной программы SCINFUL проведен расчет матрицы эффективностей спектрометра нейтронов на основе сцинтиллятора NE 213. Выполнены точные расчеты эффективностей регистрации  $\gamma$ -квантов сцинтилляционным спектрометром в различных геометриях источник–детектор. Исследованы отклики трековых детекторов на основе CR 39 и PADC (в том числе с радиаторами из делящихся материалов) при их облучении ядрами  $^{12}\text{C}$  с энергией 0,5 и 1,0 ГэВ/нуклон и протонами с энергиями 0,5 и 1,0 ГэВ [1].

Для физического обеспечения радиобиологических экспериментов были проведены измерения и градуировка системы пучковой дозиметрии на пучке ядер  $^{12}\text{C}$  нуклотрона с энергией 0,5 и 1,0 ГэВ/нуклон.

В экспериментах на бактериях изучены закономерности индукции делеционных и генных мутаций в *tonB*-локусе бактериальной хромосомы, формирующихся при действии излучений с разной линейной передачей энергии (ЛПЭ). Работа выполнена на штаммах *E. coli*. С использованием  $\gamma$ -лучей  $^{137}\text{Cs}$ , ускоренных ионов гелия (ЛПЭ 20, 50 и 78 кэВ/мкм) и углерода (ЛПЭ 200 кэВ/мкм) изучены закономерности индукции *tonB*<sup>-</sup>-точковых мутаций и *tonB*trp<sup>-</sup>-делеций. Частота образования делеционных мутаций изучалась путем определения мутационных изменений в двух фланкирующих генах: *tonB* и *trp*. Показано (рис. 1), что в изучаемом диапазоне доз частота образования делеционных мутаций, как при  $\gamma$ -облучении, так и при действии ускоренных ионов линейно возрастает с дозой облучения. Линейный характер зависимости образования делеций обусловлен тем, что, в отличие от точковых мутаций, для реализации предмутационных повреждений в делеционную мутацию не требуется индукция системы SOS-репарации, играющей ключевую роль в формировании генных мутаций. Полученные результаты свидетельствуют о различии механизмов, вовлеченных в формирование точковых и структурных мутаций у бактерий, что находит отражение в характере зависимости ОБЭ (относительной биологической эффективности) от ЛПЭ (рис. 2).

В последние годы становится более видимой взаимосвязь различных компонентов интегрального клеточного ответа на повреждения ДНК, обеспечивающего стабильность и целостность генома. Показана связь механизмов контроля клеточного цикла и механизма репарации повреждений ДНК. Предполагает-

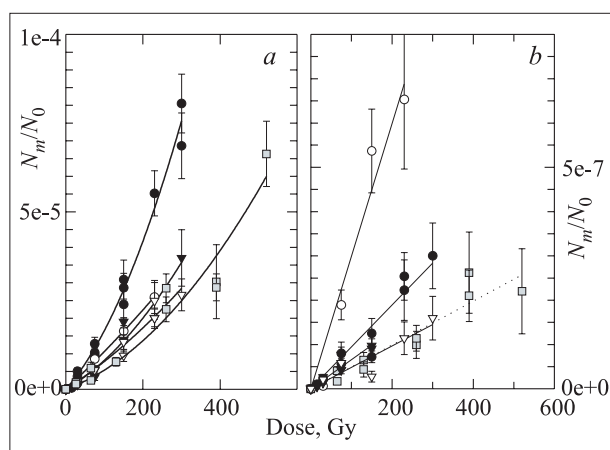


Рис. 1. Частота образования *tonB*-точковых (а) и *tonB*-trp-делецийных (б) мутаций у клеток *E. coli* при действии излучений с разной ЛПЭ: ○ — ионы гелия (20 кэВ/мкм); ● — ионы гелия (50 кэВ/мкм); ▼ — ионы гелия (78 кэВ/мкм); ▽ — ионы углерода (200 кэВ/мкм); ■ —  $\gamma$ -облучение ( $^{137}\text{Cs}$ )

ся, что гены *RAD9*, *RAD17* и *RAD24* принимают участие на первых этапах в распознавании повреждения ДНК. Белковый комплекс RFC-Rad24, по-видимому, осуществляет загрузку белкового комплекса Rad17-Mec3-Ddc1 или репарационных ферментов на место повреждения ДНК. Киназы, в частности *RAD53*, участвуют в передаче сигнала, а киназа *CDC28* функционирует на завершающих этапах регуляции остановки клеточного цикла, необходимой для осуществления репарации повреждений. Предполагается, что нарушение остановки клеточного цикла приводит к повышению чувствительности к повреждающим агентам и генетической нестабильности.

Разветвленная схема генетического контроля регуляции прохождения и остановки клеточного цикла нуждается в интенсивных исследованиях. Для изучения взаимодействия генов *RAD9*, *RAD17*, *RAD24*, *RAD53* и *CDC28* были сконструированы одиночные и двойные мутанты и изучалась их чувствительность к  $\gamma$ -излучению. Показано, что гены *RAD9*, *RAD17* и *RAD24* относятся к одной ветви пути, определяющей радиочувствительность, хотя гены *RAD9* и *RAD24* относятся к различным ветвям, определяющим чувствительность к УФ-лучам и *MMS* и регуляции остановки клеточного цикла. Протеинкиназы *RAD53* и *CDC28* эпистатичны по отношению к гену *RAD9*, но, скорее всего, относятся к различным ветвям, определяющим радиочувствительность. По литературным данным гены *CDC28* и *RAD53* относятся к одной ветви, определяющей остановку клеточного цикла. Полученные данные указывают на несоответствие схем регуляции остановки клеточного цикла и радиочувствительности. По-видимому, гены многофункциональны и их участие в интегральном ответе не сводится к остановке клеточного цикла. Возможно, некоторые из них принимают участие и в репарационных процессах.

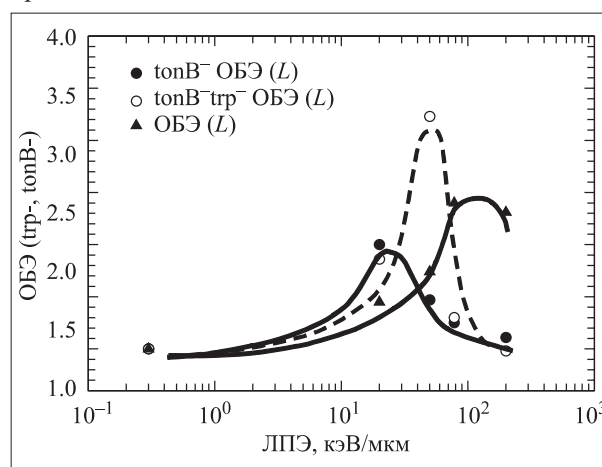


Рис. 2. Зависимость ОБЭ образования *tonB*- и *tonB*-trp-мутаций в клетках *E. coli* X7026 от ЛПЭ излучений

Продолжены исследования закономерностей индукции мутаций различной природы при действии ионизирующей радиации. Завершен анализ индукции мутаций сдвига рамки считывания, как спонтанный, так и при действии  $\gamma$ -излучения. Продолжено исследование индукции замен пар оснований на примере трансверсии АТ-ТА под действием тяжелых ионов гелия (ЛПЭ 80 и 20 кэВ/мкм) и углерода. Показано, что эффективность индукции замен пар оснований падает с увеличением энергии частиц. Наиболее эффективны частицы гелия (ЛПЭ 20 кэВ/мкм), менее эффективны частицы гелия (ЛПЭ 80 кэВ/мкм) и наименее эффективны частицы углерода.

Продолжено изучение эффектов малых доз облучения на клетки млекопитающих. На клетках китайского хомячка и меланомы человека с использованием анафазного и метафазного методов анализа aberrаций хромосом и микроядерного теста изучена зависимость доза–эффект в диапазоне 1–200 сГр [2–4]. По всем цитогенетическим критериям показаны гиперчувствительность (ГЧ) клеток обеих линий при дозах ниже 20 сГр и повышение радиорезистентности (ИР) при более высоких дозах. Феномен ГЧ/ИР воспроизводится как на асинхронной, так и на синхронизированной популяциях клеток китайского хомячка. Это свидетельствует о том, что ГЧ обусловлена высокой радиочувствительностью всей популяции и не связана с гибелью фракции клеток в радиочувствительной фазе клеточного цикла, а повышение радиорезистентности, по-видимому, является следствием индукции процессов репарации также во всех клетках. Данный вывод подтверждается тем, что на фоне индуцированных предоблучением малыми дозами (1 и 20 сГр) процессов репарации ГЧ на кривой доза–эффект не выявляется и имеет место восстановление некоторой части предсуществующих (спонтанных или индуцированных предоблучением) хромосомных нарушений. Предполагается, что в основе феномена ГЧ/ИР и адаптивного ответа лежат аналогичные по своей природе процессы индуцибельной репарации [5].

Изучена относительная биологическая эффективность (ОБЭ) немодулированного протонного пучка с энергией 150 МэВ в области плато и пика Брэгга. Получены кривые выживаемости клеток по критерию клоногенной способности *in vitro*. По сравнению с  $\gamma$ -квантами  $^{60}\text{Co}$ , которые были использованы в качестве стандартного вида излучения, при уровне выживаемости 0,1 ОБЭ протонов в пике Брэгга и на плато составляет 1,17 и 1,03 соответственно. Таким образом, для создания определенного биологического эффекта в мишенном объеме необходимо строго учитывать глубину пучка в области пика и дозу облучения.

Как продолжение предыдущих исследований по генотоксическому эффекту малых доз облучения и изучению индукции стабильных и нестабильных хро-

мосомных aberrаций, проведен эксперимент на ну-клотроне. Клетки млекопитающих и лимфоциты человека были облучены ионами углерода с энергией 480 МэВ/нуклон.

Обширные исследования временных характеристик образования хромосомных aberrаций, индуцированных в клетках млекопитающих ускоренными тяжелыми ионами в широком диапазоне ЛПЭ, завершены в GSI (Дармштадт) в коллаборации с отделом биофизики этого института [6]. В этих экспериментах временная зависимость появления хромосомных aberrаций, индуцированных ускоренными частицами, изучалась на трех линиях клеток китайского хомячка: V79, CHO и xrs5 [7–10]. Клетки, синхронизированные в стадии G1 клеточного цикла, облучали рентгеновскими лучами и ускоренными ионами Ne, Ar, Kr Au с ЛПЭ от 380 до 3980 кэВ/мкм, полученными на ускорителях тяжелых ионов UNILAC и SIS в GSI. Хромосомные нарушения в облученных клетках изучали в широком временном диапазоне от 10 до 34 ч после облучения, в 5–12 последовательных точках, предваряемых двухчасовой обработкой коллечином для накопления делящихся клеток. Это соответствует времени трех клеточных циклов интактных клеток, так что все клетки, включая тяжело поврежденные и задержавшиеся в продвижении по циклу, были проанализированы. Использование дифференциальной окраски сестринских хроматид, позволяющей идентифицировать делящиеся клетки первого, второго и последующих пострадиационных циклов, дало возможность просчитать хромосомные aberrации в клетках первого и второго пострадиационных митозов отдельно [10].

Показано, что облучение приводит к нарушениям в продвижении клеток по циклу и задержке митоза и таким образом сильно влияет на экспрессию (появление) aberrантных клеток и хромосомных aberrаций, так как их анализ возможен лишь при достижении клеткой стадии митоза. Число aberrантных клеток и aberrаций значительно увеличивалось в поздние сроки после облучения, и этот эффект зависел от ЛПЭ излучений: наиболее значительно это число возросло после облучения ионами Ar и Kr (ЛПЭ 1840 и 3980 кэВ/мкм), достигая 100 % aberrантных клеток и 10–15 aberrаций на клетку. Число aberrаций за период эксперимента увеличивалось при этом в 20 раз, тогда как рентгеновское облучение приводило всего к 2–3-кратному его увеличению. Эти различия в задержке митоза и экспрессии хромосомных повреждений, индуцированных редко и плотно ионизирующим излучением, связаны с разным пространственным распределением энергии обоих видов излучений, гомогенно распределенной по клеткам при рентгеновском облучении и вызывающей лишь небольшие различия в задержке митоза отдельных клеток облученной популяции и небольшие вариации числа aberrаций на клетку. Напротив, облучение частицами

с высокой ЛПЭ приводит к неравномерному распределению энергии как внутри трека каждой частицы, так и в распределении треков по клеткам облучаемой популяции. Одним из биологических последствий такой неравномерности является широкий спектр задержек митоза отдельных клеток и зависящий от него растянутый во времени характер появления aberrантных клеток в митозе: клетки с малым количеством попаданий частиц или неповрежденные вообще, с соответственно низким уровнем хромосомных повреждений, достигают митоза гораздо раньше, чем тяжело поврежденные клетки, несущие большое число хромосомных нарушений. Это было ярко продемонстрировано фитированием распределения числа aberrаций между клетками распределением Неймана типа А, которое учитывает как распределение попадания частиц между клетками, так и число aberrаций хромосом, индуцированное попаданием одной частицы. Полученные параметры прямо указывают на зависимость от хромосомных повреждений задержку митоза: число попаданий частиц на клетку возрастает со временем фиксации, то есть тяжело поврежденные клетки, несущие соответственно большое число aberrаций, достигают митоза позже, чем мало поврежденные и интактные клетки с небольшим грузом хромосомных нарушений. Таким образом, тяжело поврежденные клетки полностью выпадают из цитогенетического анализа, традиционно проводимого только в один, обычно ранний (14 ч в данном случае) срок фиксации. Как следствие, значения ОБЭ по цитогенетическим показателям излучений с высокими ЛПЭ, опубликованные до сих пор и полученные традиционным методом, как правило, недооценивают биологическую эффективность этих излучений. Такая вероятность хорошо иллюстрируется данными по облучению ионами Ag (ЛПЭ 1840 кэВ/мкм), когда коэффициенты ОБЭ, рассчитанные отдельно для каждого срока фиксации, варьировались от 0 через 14 ч после облучения (стандартный срок анализа) до 4,0 через 22 ч.

Становится очевидным, что для корректного определения значимых величин ОБЭ тяжелых ионов с высокими ЛПЭ должен применяться режим множественных фиксаций. В связи с этим разработан новый математический подход для учета времязависимого появления хромосомных нарушений [7–10]. Было показано, что примененный метод более адекватен для сравнения экспериментальных данных с использованием излучений разного качества, вызывающих различные пертурбации клеточного цикла. Для ионов, использованных в этой работе, значения ОБЭ по интегрированному полному числу aberrаций составили для ионов Ne (ЛПЭ 460 кэВ/мкм), Ag (ЛПЭ 1226 и 1840 кэВ/мкм) и Kг (ЛПЭ 3980 кэВ/мкм) 3,2; 1,9; 1,4; 1,3, соответственно, что гораздо выше, чем все ранее опубликованные значения ОБЭ, полученные тради-

ционным методом с одним сроком фиксации в этом диапазоне значений ЛПЭ [9].

Использованный математический подход оказался также полезным для реконструкции кривых роста популяции облученных клеток и определения количества клеток, которые были способны достичь первого пострadiaционного митоза за время эксперимента, а также количества клеток, выпавших из анализа из-за интерфазной гибели или неполного сбора. В случае клеток китайского хомячка (в отличие, например, от фибробластов человека) было показано, что подавляющее большинство клеток способно достичь пострadiaционного митоза даже после облучения ионами с очень высокими ЛПЭ, несмотря на продолжительную задержку митоза поврежденных клеток. Кроме того, обнаружены изменения в спектре хромосомных aberrаций, индуцированных плотно ионизирующим излучением по сравнению с редко ионизирующим: с ростом ЛПЭ частиц возрастал процент разрывных aberrаций, составлявший 40 % после X-облучения, где доминантным видом aberrаций были хромосомные обмены, до 55–65% после частиц с ЛПЭ 1000–4000 кэВ/мкм. Другая особенность цитогенетического действия плотно ионизирующей радиации проявилась в увеличении частоты aberrаций хроматидного типа, несмотря на облучение клеток в стадии G<sub>1</sub> клеточного цикла: X-облучение индуцировало 10–15 % aberrаций этого типа, тогда как количество их возрастало с ростом ЛПЭ частиц до 30 % для ионов Ne (ЛПЭ 460 кэВ/мкм), 35–40 % для Ag (ЛПЭ 1226 и 1840 кэВ/мкм) и до 45 % для ионов Kг (3980 кэВ/мкм). Эти данные согласуются с общепризнанными представлениями о большей сложности и меньшей репарбельности повреждений ДНК, вызываемых излучениями с высокой ЛПЭ. В настоящее время в продолжение этих исследований изучаются временные зависимости появления хромосомных aberrаций в нормальных здоровых клетках человека, в частности, фибробластах кожи и лимфоцитах периферической крови [11].

Продолжены исследования возможностей мишенной радиотерапии пигментной меланомы с помощью радиоактивных соединений на основе метиленового синего (МС). Проведены эксперименты с МС, меченым <sup>131</sup>I или <sup>211</sup>At, *in vitro* и *in vivo*.

Накопление <sup>131</sup>I-МС *in vitro* клетками пигментной меланомы человека в 4–5 раз выше по сравнению с непигментированными клетками (рис. 3). Максимум накопления достигается через 2 ч после введения соединения [12]. Полученные результаты находятся в соответствии с данными, полученными ранее по накоплению <sup>211</sup>At-МС *in vitro*. В экспериментах *in vivo* наблюдалось быстрое выведение <sup>131</sup>I-МС из всех нормальных органов мышей с привитой меланомой в течение 24 ч после введения препарата. Накопление соединения в опухоли достигало максимума (5 %/г от введенной активности) через 24 ч после введения и



оставалось на высоком уровне, по крайней мере, в течение двух дней после инъекции. К 24 ч после введения соотношение накопленной активности в опухоли по отношению к нормальным тканям составило: опухоль/кровь — 36, опухоль/мышцы — 47, опухоль/кожа — 7,8 [13, 14].

Предварительные результаты исследования накопления  $^{211}\text{At}$ -МС *in vivo* свидетельствуют о высокой степени накопления данного соединения в опухоли (6 %/г от введенной активности) через 5 ч после введения и медленное выведение соединения из остальных тканей и органов.

Выполнен анализ и проведено сравнение различных моделей для описания радиобиологических эффектов при малых дозах облучения [15]. Все модели представлены линейной беспороговой составляющей выхода повреждений, которая для линейной беспороговой модели является и результирующей. Этот факт отражает закономерность того, что первопричина всех стохастических радиобиологических эффектов (в основном разрывов ДНК) линейно и беспорогово зависят от дозы. Однако линейная составляющая эффекта необходима, но не достаточна для адекватности модели, в общем случае, результатам наблюдения. Линейно-квадратичная модель может быть адекватна результатам наблюдений на клеточном уровне при дозах более 1 Гр, однако при меньших дозах адекватность часто нарушается. Модель индуцибельных ре-

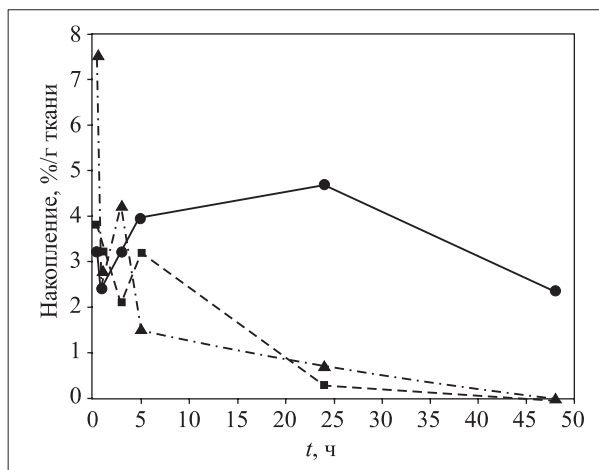


Рис. 3. Накопление  $^{131}\text{I}$ -МТВ в тканях животных с привитой меланомой: ● — опухоль; ■ — мышцы; ▲ — кожа

параций адекватна результатам наблюдений на клеточном уровне. Доверительный уровень модели двух популяций клеток избирательно адекватен данным экспериментов. Доверительный уровень модели двух защитных реакций по совокупности результатов — наибольший из сравненных и пригоден для всех уровней организации организма. На основе этой модели выполнены оценки радиационного риска жителей наиболее загрязненных районов Белоруссии [16].

## РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Радиационный контроль за облучением персонала на ядерно-физических установках ОИЯИ и при работе с радиоактивными источниками осуществлялся в 2001 г. с помощью автоматизированных систем радиационного контроля (АСРК) и переносными приборами.

В 2001 г. в ЛНФ персоналом ОРБ проводился дозиметрический контроль при выполнении следующих работ с оборудованием, имеющим высокую наведенную активность:

- разборка и перемещение в каньон-хранилище очередного отработавшего подвижного отражателя реактора ИБР-2;
- отправка на исследование в спецпредприятие двух ТВС, отработавших свой срок в активной зоне реактора ИБР-2.

Принятые организационно-технические меры и специальный дозиметрический контроль позволили не превысить планируемые дозы облучения персонала.

Завершена в соответствии с соглашением ОИЯИ–НИКНФФ (Нидерланды) транспортировка из

Амстердама в Дубну оборудования ускорителя НИКНФФ, имеющего наведенную активность.

В 2001 г. на индивидуальном дозиметрическом контроле в ОИЯИ состояло 1795 чел., включая 82 прикомандированных специалиста. Средняя годовая доза по ОИЯИ составила 1,43 мЗв. Наибольшее значение средней индивидуальной дозы персонала (2,2 мЗв) наблюдается в ОРРИ. Имел место один случай превышения контрольного уровня годовой индивидуальной дозы, превышений основных дозовых пределов не было зарегистрировано.

Регулярный мониторинг окружающей среды по образцам почвы, растений, воды из водоемов в окрестностях Дубны, водопроводной воды и воды на сбросе очистных сооружений подтвердил тот факт, что радиоактивность окружающей ОИЯИ среды остается постоянной в течение длительного времени и обусловлена лишь естественной радиоактивностью и продуктами глобальных выпадений. Какой-либо вклад в радиоактивность окружающей среды от ядерно-физических установок ОИЯИ не обнаружен.

## НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

С 29 мая по 1 июня в Москве (Институт биохимии им. А. Н. Баха) и Дубне проведены под эгидой ЮНЕСКО II Сисакановские чтения и II Международный симпозиум «Проблемы биохимии, космической и радиационной биологии». В работе симпозиума приняло участие более 120 специалистов из ведущих институтов России и стран Европы. На симпозиуме

было представлено 16 пленарных докладов и более 80 докладов, распределенных по трем секциям: проблемы биохимии; космическая биология и медицина, общая и космическая радиобиология. В рамках симпозиума прошел конкурс работ молодых ученых, победители которого были награждены дипломами и денежными премиями.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Spurný F. et al.* // Radiat. Measur. 2001. V. 34. P. 527.
2. *Shmakova N. L. et al.* // Proc. Intern. Conf. «Biological Affects of Low Dose Irradiation and Radioactive Pollution on Environment», Syktyvkar, 2001 (in press).
3. *Шмакова Н. Л. и др.* // Тр. 4 Съезда по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность), Москва, 2001 (в печати).
4. *Шмакова Н. Л. и др.* Препринт ОИЯИ Р19-2001-184. Дубна, 2001.
5. *Шмакова Н. Л. и др.* // Тр. II Междунар. симп. «Проблемы биохимии, радиационной и космической биологии», Дубна–Москва, 2001 (в печати).
6. *Ritter S. et al.* GSI Scientific Report 2000. GSI-2001-1. P. 154.
7. *Gudowska-Novak E. et al.* // Physica Medica. 2001. V. XVII, Suppl. 1. P. 161.
8. *Nasonova E. et al.* // Int. J. Radiat. Biol. 2001. V. 77. P. 59.
9. *Nasonova E. et al.* // Physica Medica, XVII. 2001, Suppl. 1. P. 198.
10. *Ritter S., Nasonova E., Gudowska-Novak E.* // Int. J. Radiat. Biol. (in press).
11. *Catournikova A. et al.* // Int. J. Radiat. Biol. 2001. V. 77. No. 4. P. 419–429.
12. *Шмакова Н. Л. и др.* Сообщение ОИЯИ Р19-2001-236. Дубна, 2001.
13. *Шмакова Н. Л. и др.* // Мед. физ. 2001. № 11. С. 61.
14. *Шмакова Н. Л. и др.* // Тр. II Междунар. симп. «Проблемы биохимии, радиационной и космической биологии», Дубна–Москва, 2001 (в печати).
15. *Комочков М. М.* // Тр. II Междунар. симп. «Проблемы биохимии, радиационной и космической биологии», Дубна–Москва, 2001 (в печати).
16. *Кнатъко В. А., Комочков М. М., Януш А. Э.* // Тр. II Междунар. симп. «Проблемы биохимии, радиационной и космической биологии», Дубна–Москва, 2001 (в печати).

## УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

Десять лет назад, в январе 1991 г., был подписан приказ № 28/33 от 16.01.91 г. «Об обеспечении кадрами исследовательских и прикладных работ в области физики ядра, физики элементарных частиц, конденсированных сред и высокотемпературной сверхпроводимости», положивший начало специальной подготовке студентов старших курсов МГУ им. М. В. Ломоносова и МИФИ и чуть позже — МФТИ на базе ОИЯИ. 21 марта 2001 г. состоялось торжественное празднование 10-летнего юбилея Учебно-научного центра ОИЯИ, который создан на основании этого приказа. Директор Объединенного института ядерных исследований В. Г. Кадышевский поздравил студентов, аспирантов, преподавателей и учредителей с юбилеем и пожелал дальнейших успехов в деле подготовки молодых специалистов во имя сохранения науки. На торжественном заседании присутствовали представители МИФИ, МФТИ и МГУ.

К 1991 г. в Институте уже существовала система подготовки молодых специалистов, основанная на работе кафедр физического факультета МГУ в Дубне (филиал НИИЯФ МГУ был открыт в 1961 г.). Однако потребности ОИЯИ в научных кадрах различных специализаций росли, и создание УНЦ явилось естественным дополнением и расширением возможностей по использованию уникального научного потенциала ОИЯИ для подготовки молодых специалистов. С 1995 г. в УНЦ успешно работает аспирантура, сейчас уже по 10 физико-математическим специальностям.

Развитие образовательной деятельности потребовало изменений в официальных документах Института. Так, в статью 4 Устава ОИЯИ был включен пункт, в котором говорится, что Институт «развивает образовательную деятельность, в том числе обучение студентов и аспирантов по направлениям, совпадающим с основными областями исследований Института, с целью подготовки высококвалифицированных

кадров для стран-участниц ОИЯИ». А в Проблемно-тематическом плане Института появился раздел «Образовательная деятельность».

В 2001 г. УНЦ ОИЯИ продолжил работу по теме 1-го приоритета «Организация, поддержка и развитие образовательного процесса университетского типа в ОИЯИ».

Традиционно студенты старших курсов завершают в УНЦ высшее образование в следующих областях: ядерная физика, физика элементарных частиц, физика конденсированных сред, теоретическая физика, техническая физика, радиобиология.

В 2001 г. в УНЦ обучалось 167 студентов из вузов стран-участниц ОИЯИ. Учебные планы разработаны совместно с вузами, направившими своих студентов для завершения образования в УНЦ. В табл. 1 приведено распределение студентов УНЦ по вузам.

Таблица 1

Вуз	Число студентов в 2001 г.
МГУ	11
МИФИ	10
МФТИ	30
Вузы других стран-участниц ОИЯИ (Армении, Белоруссии, Грузии, России, Словакии, Украины, Чехии)	37
Всего:	88

В УНЦ также учатся 79 студентов Московского института радиотехники, электроники и автоматики (МИРЭА), из них 26 — первокурсники.

Для отдельных студенческих групп УНЦ разрабатывает программы специальной подготовки.

В рамках подготовки специалистов для словацкого циклотронного комплекса, строящегося с по-

мощью ОИЯИ, в УНЦ продолжают обучение словацкие студенты. В январе 2001 г. успешно прошла защита дипломных работ студентов второй группы Братиславского технического университета. Третья группа, состоящая из студентов Братиславского технического университета и Университета им. Коменского, продолжила свое обучение в УНЦ по специальности «Физика и техника ускорителей». В специализированную учебную программу входят следующие курсы: прикладная математика, динамика пучков заряженных частиц, взаимодействие радиации с веществом, физика и техника ускорителей тяжелых ионов, физика атома и плазмы, источники тяжелых ионов, высокочастотные системы ускорителей. Лекции по перечисленным дисциплинам читают специалисты из ЛЯР, ЛФЧ, ОРПИ и ЛЯП. Лекциям предшествует интенсивный курс русского языка.

В 2001 г. список лабораторных работ, входящих в физический практикум, пополнился новой работой. В рамках лабораторной работы «Двумерный рентгеновский детектор для медико-биологических исследований», которая подготовлена сотрудниками ЛВЭ под руководством Ю. В. Заневского, студенты будут изучать основы работы многопроволочных камер и особенности их применения в медико-биологических исследованиях.

В УНЦ в дополнение к стандартному набору учебных курсов предоставляется возможность выбора дополнительных лекций по следующим дисциплинам: физика элементарных частиц, релятивистская ядерная физика, теория фундаментальных взаимодействий, квантовая хромодинамика, теория ядерных реакций, структура атомного ядра, введение в теорию ускорителей, экспериментальная ядерная физика, современные методы регистрации ядерных реакций и ядерного излучения, программируемые логические устройства, основы радиотехники, цифровые устройства и их применение, электронные методы регистрации ионизирующего излучения, радиационная безопасность и защита окружающей среды, математическая статистика, объектно-ориентированное программирование на C++, программирование в UNIX, компьютеринг в физике высоких энергий, интернет-технологии, компьютерная техника в ядерной физике (семинар), телекоммуникационные системы и мировые информационные ресурсы, визуализация в научных исследованиях, работа с системой «Mathematica», английский язык (для студентов а также аспирантов).

В весеннем семестре для студентов и аспирантов УНЦ ОИЯИ, а также для всех желающих дополнительно к плановым лекциям были прочитаны следующие курсы:

- «Компьютеринг в физике высоких энергий» (лектор Н. Б. Скачков). Программой курса предусматрива-

лось подробное изучение современных программных инструментов обработки больших массивов данных, в частности широко распространенного пакета ROOT, который был разработан в ЦЕРН. Курс сопровождался практическими занятиями:

- «Введение в CalcPHEP (Calculus of Precision High Energy Physics)» (лектор Д. Ю. Бардин). Осуществлена поддержка лекций-семинаров демонстрацией возможностей системы CalcPHEP на сайте <http://brg.jinr.ru>.
- «Изучение процессов взаимодействия элементарных частиц методом компьютерного моделирования с использованием пакетов программ RUTHIA и JETSET» (лекторы М. В. Савина, С. В. Шматов).
- «Физика нейтрино и неускорительные эксперименты» (лектор А. А. Смольников). В рамках данного курса дана общая картина физики нейтрино, складывающаяся на основе исследований в ядерной физике, физике элементарных частиц, астрофизике и космологии. Были рассмотрены современные методы неускорительной физики на примерах действующих и проектируемых подземных, глубоководных и подледных экспериментальных установок. Практические занятия были организованы на базе научно-экспериментальных отделов ЛЯП ОИЯИ.

В рамках лекционного цикла «Современные проблемы естествознания» в 2001 г. прочитаны следующие курсы:

- Пытьев Ю. П. (МГУ им. М. В. Ломоносова) — цикл лекций по математическим, компьютерным и информационным технологиям в экспериментальных исследованиях;
- Краглер Р. (Высшая профессиональная школа, Равенсбург-Вайнгартен; Университет прикладных наук — UAS) — Mathematica Tutorial Course, часть II.

Список учебных пособий, выпускаемых УНЦ для своих студентов и аспирантов, пополнился новыми изданиями:

Папоян В. В. Лекции по классической механике. УНЦ-2001-9;

Папоян В. В. Лекции по векторному и тензорному анализу. УНЦ-2001-10;

Антоненко Н. В., Иванова С. П., Фотина О. В. Статистический подход к анализу ядерных реакций. УНЦ-2001-11.

В 2001 г. продолжила работу аспирантура ОИЯИ по 10 физико-математическим специальностям, в ней обучалось 60 человек.

В табл. 2 представлено распределение аспирантов УНЦ по лабораториям ОИЯИ в 2001 г.



**Таблица 2**

Лаборатория	Число аспирантов, 2001 г.
ЛТФ	7
ЛЯП	15
ЛЯР	5
ЛВЭ	4
ЛНФ	8
ЛФЧ	6
ЛИТ	12
ОРРИ	1
УНЦ	2
Всего:	60

Выпуск аспирантов первого набора состоялся в 1998 г., к настоящему времени 10 из них защитили кандидатские диссертации.

В 2001 г. УНЦ ОИЯИ активно развивало свои традиционные связи с зарубежными вузами. В рамках программы Германской службы академических обменов (DAAD) «Стипендии Леонарда Эйлера» на 2000–2001 гг. поддержан совместный проект УНЦ и Института теоретической физики университета г. Гиссена (Германия). Два аспиранта и один студент УНЦ, занимающиеся теоретическими исследованиями в физике тяжелых ионов, получили в этом учебном году дополнительную стипендию; у них была месячная стажировка в Гиссене.

Четверо студентов УНЦ в течение месяца слушали циклы лекций по физике высоких энергий в Университете г. Павии (Италия). Эта поездка была организована с помощью гранта европейского физического общества (EPS), полученного УНЦ в 2000 г. В 2001 г. EPS выделило УНЦ очередной грант, который позволит одному аспиранту УНЦ провести полгода в одном из университетов Германии. Служба DAAD (Германия) продлила грант Леонарда Эйлера на 2001–2002 гг.

УНЦ активно сотрудничает с Республикой Белоруссией. Студенты Белорусского государственного университета (Минск) регулярно завершают свое образование в стенах УНЦ, участвуют в работе студенческих школ, проводимых в Дубне.

В 2001 г. Учебно-научный центр продолжил организационно-методическое обучение, переподготовку и повышение квалификации специалистов и рабочих, организацию и координацию учебного процесса на базе лабораторий и подразделений ОИЯИ.

12 человек, вновь принятых на работу в ОИЯИ, получили смежные профессии, 28 сотрудников ОИЯИ обучены вторым профессиям. В ОИЯИ

обучены 13 сотрудников дубненских организаций по профессиям, подведомственным Госгортехнадзору РФ.

В 2001 г. было организовано обучение и аттестация руководящих работников и специалистов ОИЯИ (40 человек) по новым правилам устройства и безопасной эксплуатации ГПМ.

21 руководящий работник ОИЯИ прошел обучение и аттестацию по охране труда в МИПК «Атом-энерго».

В 2001 г. в ОИЯИ прошли производственную практику 20 учащихся ГПЛ-67 и ПУ-95, 3 студента Дмитровского политехнического колледжа.

Организована работа филиала подготовительных курсов для поступления в МИФИ. На курсах в 2001–2002 учебном году занимаются 15 учащихся школ города. Два выпускника курсов 2000–2001 учебного года направлены от ОИЯИ для целевого набора в МИФИ.

В Учебно-научном центре организуется специальная лаборатория для демонстрации школьных физических экспериментов. Сейчас лаборатория укомплектовывается оборудованием и материалами. В перспективе планируется расширение физического практикума для старших школьников. Мы рассчитываем организовать также учебные показы лабораторных работ для преподавателей физики школ г. Дубны.

Международная студенческая школа «Ядерно-физические методы и ускорители в биологии и медицине» — очередная школа в цикле летних студенческих школ, проводимых Учебно-научным центром ОИЯИ, проходила с 27 июня по 11 июля 2001 г. на базе санатория-профилактория «Ратмино» ОИЯИ.

Школа проводилась для ознакомления студентов и аспирантов с последними достижениями и современными проблемами прикладной медицинской физики. Широкое применение в медицине ионизирующих и неионизирующих излучений, радионуклидов и гамма-аппаратов, электронных и протонных ускорителей, компьютерных томографов сделало медицинскую физику настоящим и будущим медицины. Сегодня прикладная медицинская физика — это физика лучевой терапии, ядерной медицины, лучевой диагностики; физика неионизирующих методов диагностики и терапии; компьютеры и математическое моделирование в диагностике и лечении; радиационная безопасность и радиоэкология.

В работе школы участвовали слушатели из Словакии, Польши, Чехии, Румынии, Белоруссии, России, Сенегала, Эквадора и Македонии. Рабочим языком школы был английский.

Преподавателями школы стали 37 специалистов ОИЯИ, России, Польши, Чехии, США, Германии и Швейцарии. Из 127 участников школы — 80 студентов из России, Белоруссии, Польши, Румынии, Сло-

вакии, Чехии, 10 аспирантов МГУ, Онкоцентра (Москва), Пражского технического университета, Словакии, ОИЯИ.

В состав оргкомитета входили представители стран-участниц ОИЯИ, наиболее активно работали члены оргкомитета из ОИЯИ, МИФИ, Чехии и Польши. Председателем оргкомитета был вице-директор ОИЯИ А. Н. Сисакян, сопредседателем директор УНЦ — С. П. Иванова.

В число приглашенных на официальное открытие школы вошли вице-директор ОИЯИ профессор Ц. Вылов (Болгария), директор ЛЯП им. В. П. Дзержелова проф. Н. А. Русакович, зав. кафедрой МИФИ, проф. В. А. Климанов, доцент МГУ А. П. Черняев. Первый заместитель министра образования РФ В. М. Жураковский прислал приветствие в адрес школы.

Программа школы была очень разнообразна. Большинство лекторов имело компьютерные презентации. Все они с удовлетворением отметили хорошую техническую и программную оснащенность школы.

Необходимо отметить прекрасные лекции проф. Г. Байера (Швейцария), которые получили наибольший отклик среди студентов.

Интересные результаты были представлены В. А. Климановым (МИФИ), Г. И. Кленовым (МРТИ), Г. Ю. Горлачевым (МАИ), П. Низиним и Р. Хейнтцем (США), И. А. Гулидовым (Обнинск), Т. Байером и Г. Кюнель (Германия). Научная экскурсия со специальной лекцией Е. Л. Щербаковой в Кардиологический центр (Москва) была хорошим дополнением к лекциям школы.

Среди лекторов школы были широко представлены ученые Объединенного института ядерных исследований: В. Алейников («Основные понятия дозиметрии ионизирующего излучения»); Е. Красавин («Радиобиологические исследования в ОИЯИ»); С. Черненко («Многopроволочные детекторы, разработанные в ОИЯИ в медицинских и биологических исследованиях»); Г. Мицын («Адронный терапевтический комплекс в ЛЯП»). Искусственным нейронным сетям и их применению в медицине посвящали свои лекции ведущие сотрудники ЛИТ Г. Ососков и В. Иванов, применениям ускорительной техники в медицинских целях в Японии была посвящена лекция сотрудника ЛФЧ А. Молодоженцева.

Важной особенностью школы стало проведение студенческих сессий, на которых было представлено 23 работы студентами из Польши, России, Чехии.

По окончании школы три лучшие студенческие работы были отмечены призами.

Студенты, активно участвовавшие в работе школы, получили соответствующие сертификаты. Посе-

щаемость занятий была довольно высокой и составила примерно 85 %.

Проведение школы в Ратмино способствовало тесному общению участников, так как студенты не только слушали лекции и работали на семинарах, но и участвовали в разнообразных спортивных и культурных мероприятиях.

Почти все преподаватели оставили свои компьютерные презентации, которые с их согласия сейчас размещены на www-странице Учебно-научного центра, в разделе, посвященном школе (<http://uc.jinr.ru/SummerSchool>), и послужат материалами для дальнейшей работы студентов.

В настоящее время идет подготовка к изданию трудов школы, в которых будут представлены как лекции, так и студенческие работы.

Многие участники школы прислали письма, в которых высоко оценили организацию, проведение и программу школы, и надеются на продолжение школ по этой тематике. Польская сторона предлагает провести следующую школу в 2003 г. в Познани, а представители Чехии — в 2005 г. в Праге.

Успешное проведение школы было обусловлено поддержкой дирекции ОИЯИ. Финансирование осуществлялось из средств темы 10-0-1026-98/2003 «Организация, обеспечение и развитие учебного процесса университетского типа в ОИЯИ». Нас поддержали Полномочные Представители стран-участниц ОИЯИ — Польши (программа «Боголюбов-Инфельд»), Чехии, Словакии, Румынии, Чешский технический университет, Центр прикладной ядерной физики ЛЯР, российская федеральная программа «Интеграция». Финансовую поддержку оказали также Фонд Сороса, фирмы Siemens Medical Solutions и HWM — Dresden GmbH.

Учебно-научный центр принял участие в организации и проведении в Дубне совместно с Региональной общественной организацией «Клуб Соросовских профессоров» 22–23 сентября 2001 г. конференции «Образование и наука в России».

В 2001 г. отчеты о реализации Образовательной программы ОИЯИ, о подготовке и итогах проведения международной летней студенческой школы «Ядерные методы и ускорители в биологии и медицине», 27 июня–11 июля 2001 г. представлены:

- в электронном журнале RUPHYS NEWS Объединенного физического общества РФ, 2001 г., № IV опубликован отчет об образовательной деятельности Объединенного института ядерных исследований (<http://www.uniphys.ru/journal/N4-01/JINR/jinr.htm>);
- на юбилейной конференции EUPEN в Кельне в сентябре 2001 г. — информация о сотрудничестве УНЦ и Словацкого технического университета (Братислава, Чехия);

- на 14-й сессии Программно-консультативного комитета по ядерной физике, 23–25 апреля 2001 г.;
- на 14-й сессии Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред 27–28 апреля 2001 г.;
- на 15-й сессии Программно-консультативного комитета по физике конденсированных сред, 22–23 ноября 2001 г.;

- на 15-й сессии Программно-консультативного комитета по ядерной физике, 26–28 ноября 2001 г.

В рамках совместного проекта УНЦ и Института теоретической физики университета г. Гиссена в УНЦ велись теоретические исследования в области физики тяжелых ионов [1–6].

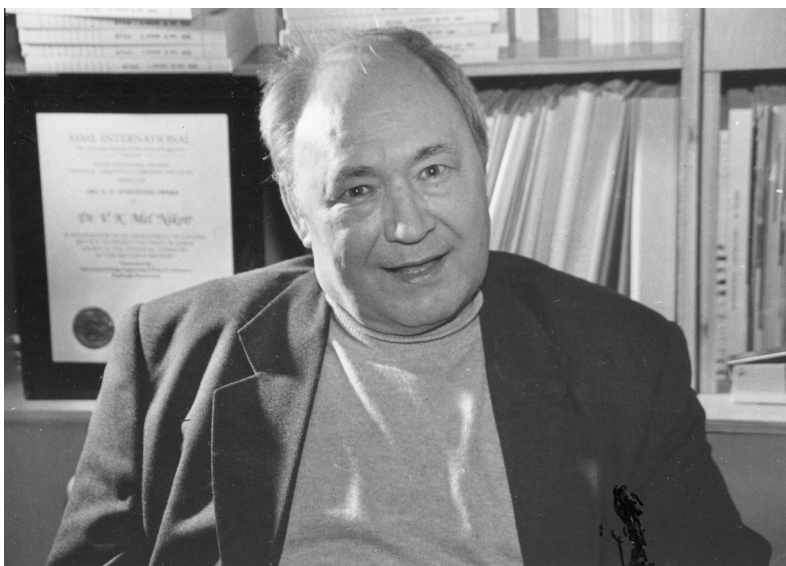
Регулярно обновляется сайт Учебно-научного центра (<http://uc.jinr.ru>).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антоненко Н. В., Иванова С. П., Фотина О. В. Статистический подход к анализу ядерных реакций. Учебно-метод. пособие. УНЦ-2001-11. Дубна, 2001.
2. Ivanova S. P. et al. // Heavy Ion Phys. 2001. V. 14. P. 3.
3. Ivanova S. P. et al. // Phys. Rev. C (in print).
4. Shneidman T. M. et al. // Symp. on Nuclear Structure Physics / Ed. R. Casten et al. Singapore, 2001.
5. Ivanova S. P., Shneidman T. M. et al. // Proc. of the Symp. on Exotic Nuclei, Baikal Lake, Russia, 2001 (in print).
6. Zubov A. S. et al. // Phys. Rev. C. 2002. V. 62. P. 024308.



Лаборатория теоретической физики  
им. Н. Н. Боголюбова.  
В. К. Мельников — лауреат премии  
им. Н. О. Миклстада Американского  
общества инженеров-механиков (ASME)



Лаборатория теоретической физики  
им. Н. Н. Боголюбова, 17 января.  
На общелaborаторном семинаре  
с докладом «Теория гравитационного поля  
(о черных дырах и Большом взрыве)»  
выступает академик А. А. Логунов



Дубна, 18 июня. Участники 3-го Международного рабочего совещания «Квантовая гравитация и суперструны»







Дубна, 17 мая. Гости ОИЯИ — делегация немецких ученых из ГСИ (Дармштадт) — в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова.  
На снимке (слева направо): начальник отдела ГСИ профессор Г. Мюнценберг, директор Общества по исследованиям с тяжелыми ионами профессор В.-Ф. Хеннинг, заместитель директора профессор Х. Гутброт, директор ЛЯР профессор М. Г. Иткис, научный руководитель ЛЯР профессор Ю. Ц. Оганесян

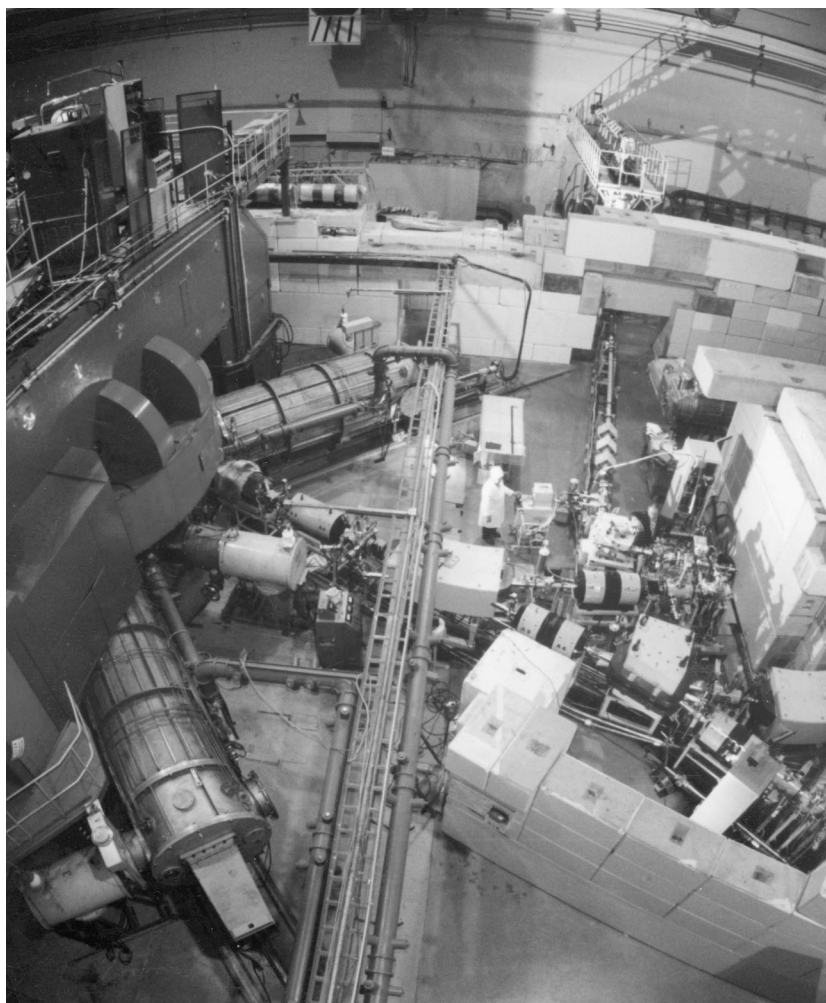


Дубна, 14 октября.  
Визит в ОИЯИ делегации Республики Сербии

Лаборатория ядерных реакций  
им. Г. Н. Флерова.  
Чрезвычайный и Полномочный Посол  
Чешской Республики в РФ  
Я. Башта (в центре) знакомится  
с оборудованием, изготовленным  
фирмой «Вакуум Прага»  
для проекта DRIBs



Лаборатория ядерных реакций  
им. Г. Н. Флерова.  
Монтаж оборудования первой очереди  
проекта DRIBs







Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка.  
15 июня — день остановки одной из первых базовых установок ОИЯИ — реактора ИБР-30

Дубна, 25 мая. Участники рабочего совещания «Реактор ИБР-2 в XXI веке»



Лаборатория нейтронной физики  
им. И. М. Франка.  
Группа специалистов —  
участников работ по проекту ИРЕН



Лаборатория нейтронной физики  
им. И. М. Франка. Монтаж магнитного  
канала спектрометра СПН-2



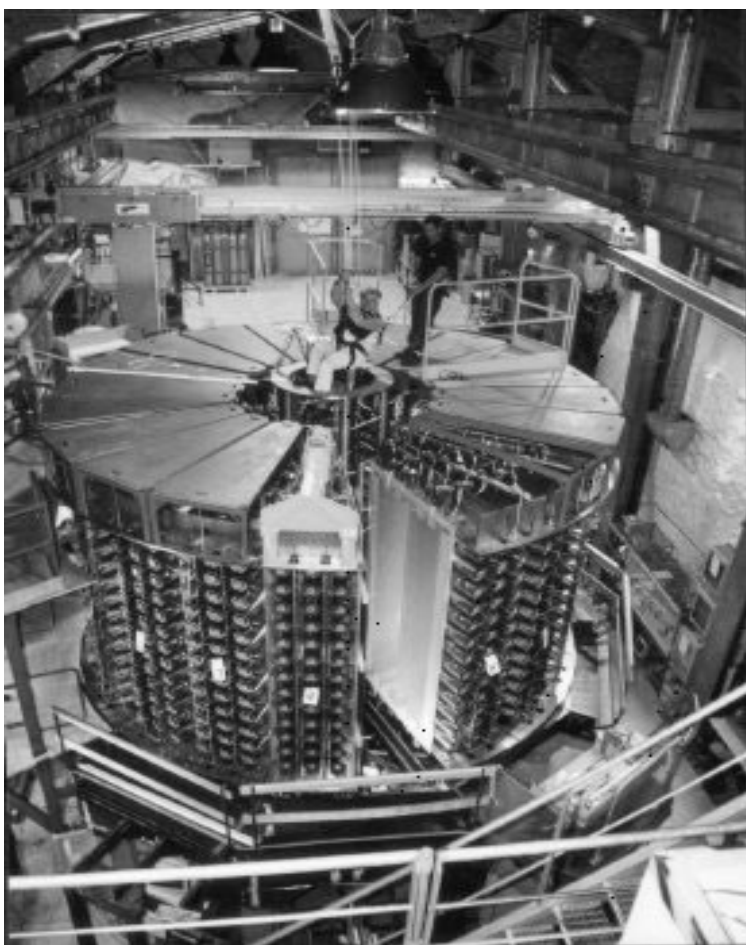
Дубна, 19 марта.  
II Школа по современной нейтрографии







Дубна, 15–16 мая. Визит в ОИЯИ делегации белорусских ученых во главе с Полномочным Представителем правительства Республики Белоруссии академиком А. И. Лесниковичем (в центре)



Модан (Франция).  
Спектрометр NEMO-3  
в подземной лаборатории



Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелєпова.  
Участок по изготовлению дрейфовых трубок для эксперимента ATLAS



Лаборатория ядерных проблем  
им. В. П. Джелєпова.  
Сеанс радиотерапии на медицинских пучках  
дубненского фазотрона





Лаборатория высоких энергий.  
Встреча дирекции ОИЯИ с участниками экспериментальных работ  
на пучках поляризованных дейтронов синхрофазотрона

Лаборатория высоких энергий.  
Поляризованная протонная мишень,  
используемая в экспериментах  
по проекту «Дельта–Сигма»

Варна (Болгария), 10–17 сентября.  
6-е Международное совещание «Релятивистская ядерная  
физика — от сотен МэВ до ТэВ»



Лаборатория информационных технологий.  
19 сентября состоялось торжественное  
открытие скульптурного портрета  
члена-корреспондента РАН  
Михаила Григорьевича Мещерякова.  
Памятник, выполненный народным  
художником Армении М. Сагателяном,  
установлен в холле лаборатории



Варна, 13 сентября.  
18-й Международный симпозиум  
по ядерной электронике  
и информационным технологиям



Дубна, 29 июня.  
Участники семинара «Компьютерная алгебра  
и ее приложения в физике»







Лаборатория физики частиц. На испытательном стенде straw-камер (координатных детекторов на основе тонкостенных дрейфовых трубок) для установки COMPASS

Лаборатория физики частиц. Первое кольцо в режиме массового производства внутреннего детектора установки ATLAS





Гомель (Белоруссия), 7–16 августа. VI Международная школа-семинар «Актуальные проблемы физики частиц». Выступает председатель оргкомитета, вице-директор ОИЯИ профессор А. Н. Сисакян

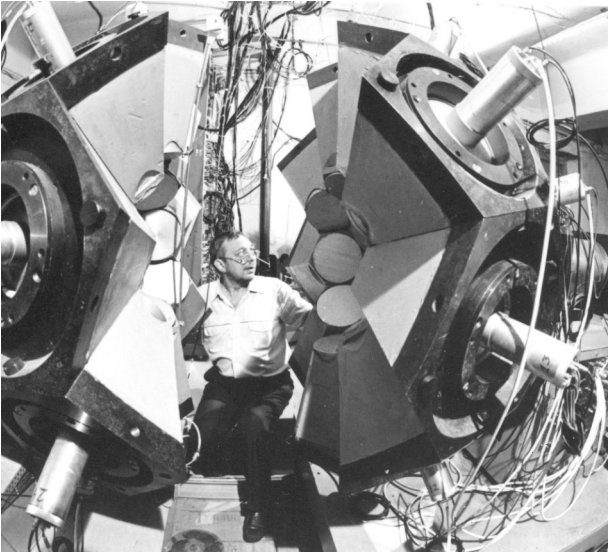
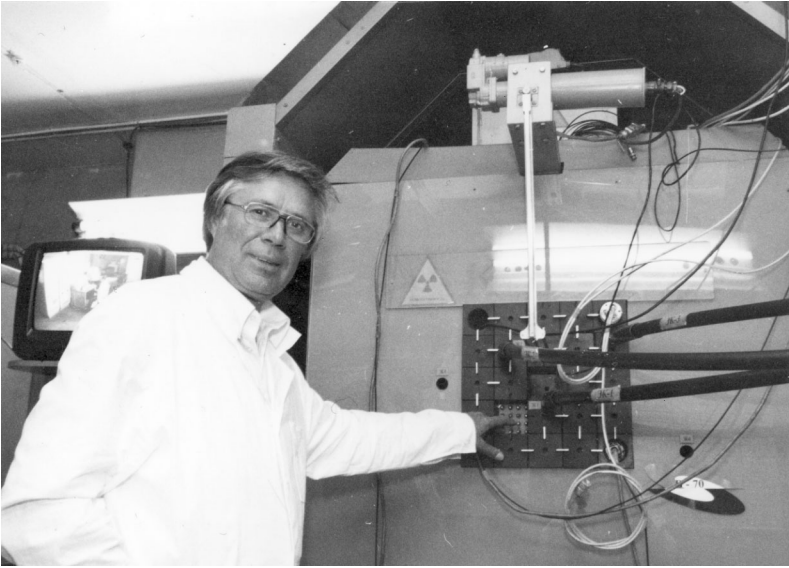
Дубна, 27 июня – 11 июля.  
Международная студенческая  
школа «Ядерно-физические  
методы и ускорители  
в биологии и медицине»



Дубна, 21 марта. Юбилейный семинар, посвященный 10-летию Учебно-научного центра ОИЯИ







Белоруссия, август.  
Многолетнее плодотворное  
сотрудничество связывает ОИЯИ  
с институтами, университетами  
и предприятиями  
Республики Белоруссии

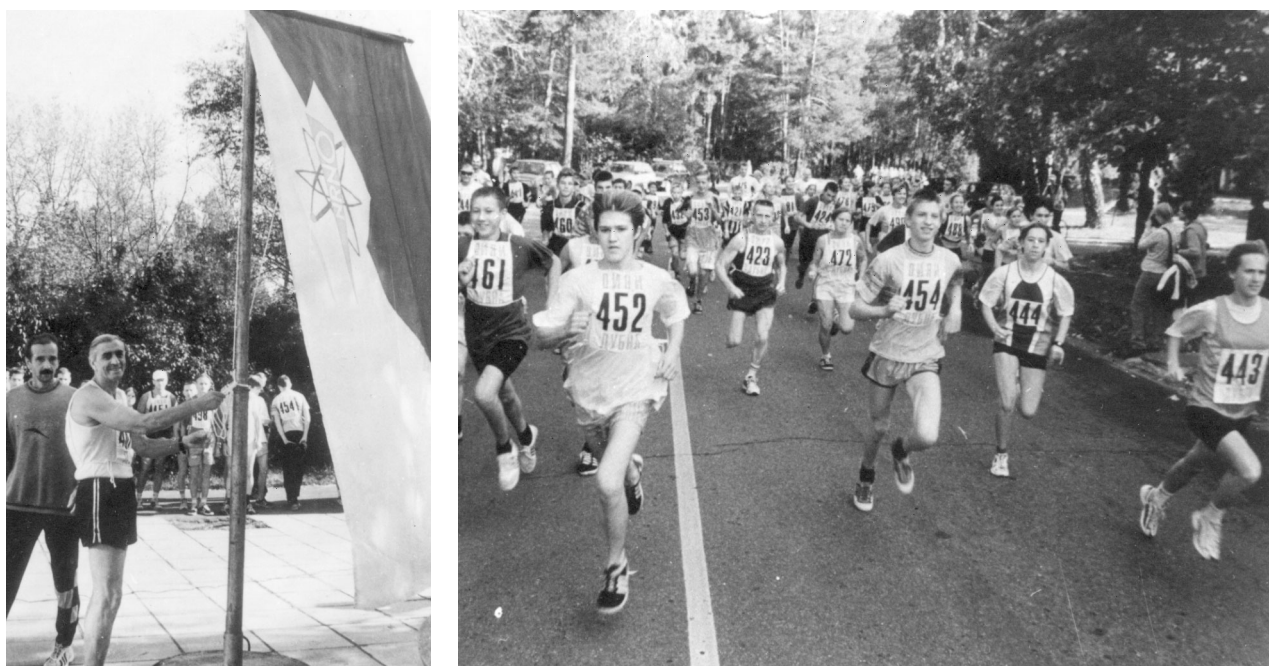






Дубна, 28 июля. Открытие памятника крупнейшему ученому — математику, механику, физику — академику Н. Н. Боголюбову. На празднике присутствуют член-корреспондент РАН Н. Н. Боголюбов (мл.), академик А. А. Логунов, президент Союза развития наукоградов А. В. Долголаптев, глава города Дубны В. Э. Прох, академики В. Г. Кадышевский, Е. М. Примаков, М. Н. Боголюбов, В. А. Матвеев, В. С. Владимиров и др.

Дубна, 23 сентября. 32-й традиционный легкоатлетический пробег памяти академика В. И. Векслера



# ОБЩЕИНСТИТУТСКИЕ СЛУЖБЫ



## ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ

В 2001 г. издательский отдел выпустил в свет 292 наименования сообщений и препринтов ОИЯИ. Издано 125 служебных материалов.

Вышел из печати 41 сборник трудов различных конференций, школ и совещаний, организованных ОИЯИ. Среди них: труды Международного симпозиума «Физика и детекторы на ЛНС» (в трех томах), труды Международного совещания «Релятивистская ядерная физика от сотен МэВ до ТэВ», труды Международного совещания «Актуальные проблемы астрофизики», труды Международной школы молодых ученых «Проблемы ускорения заряженных частиц». Увидели свет годовые отчеты ОИЯИ за 2000 г. (на русском и английском языках), годовой отчет Лаборатории нейтронной физики за 2000 г., годовой отчет Лаборатории теоретической физики за 1999–2000 гг. и годовой отчет Лаборатории ядерных реакций за 1999–2000 гг. Материалы круглого стола, состоявшегося в ходе работы 89-й сессии Ученого совета ОИЯИ в январе 2001 г., были включены в сборник «Сотрудничество ОИЯИ с институтами и университетами Польши».

Книга «Владислав Павлович Саранцев: Жизнь, отданная науке» посвящена памяти известного российского ученого, ведущего специалиста в области ускорительной техники. В сборник вошли статьи В. П. Саранцева, опубликованные в научно-популярных изданиях, воспоминания его друзей, коллег и учеников, полный библиографический список научных трудов.

В 2001 г. вышли в свет семь выпусков журнала «Физика элементарных частиц и атомного ядра», включающих 60 обзоров. В седьмой, дополнительный выпуск ЭЧАЯ, посвященный 45-летию со дня основания Объединенного института ядерных исследований, редколлегией журнала была включена часть обзоров наиболее крупных результатов, полученных научным коллективом Института в последние годы в области фундаментальных исследований. Вторая часть будет опубликована в выпуске 3, том 33, в

2002 г. Было издано шесть номеров журнала «Письма в ЭЧАЯ», в которые вошли 54 статьи, содержащие оригинальные научные, научно-технические, методические и прикладные результаты. В четырех номерах журнала (№ 1, 3, 5, 6) были опубликованы труды Международной конференции «Неускорительная новая физика в нейтринных наблюдаемых» (NANPino-2000). Продолжался выпуск информационного бюллетеня «Новости ОИЯИ» на русском и английском языках.

Издано 4 учебно-методических пособия УНЦ ОИЯИ.

В редакции журналов, на различные конференции, симпозиумы, совещания и школы, проводившиеся как в странах-участницах ОИЯИ, так и в других странах, издательским отделом было направлено около 300 статей и докладов, содержащих результаты работ дубненских ученых. Статьи сотрудников ОИЯИ публиковались в таких журналах, как «Журнал экспериментальной и теоретической физики», «Теоретическая и математическая физика», «Приборы и техника эксперимента», «Ядерная физика», «Физика элементарных частиц и атомного ядра», «Physical Review», «Journal of Physics», «Physics Letters», «Nuclear Physics», «Nuclear Instruments and Methods», «European Physical Journal» и др.

В 44 страны мира рассылались публикации Объединенного института.

Оперативному информированию читателей научно-технической библиотеки о новых поступлениях служат выпускаемые издательским отделом экспресс-бюллетени НТБ и бюро интеллектуальной собственности, лицензирования и стандартизации. Увидел свет «Библиографический указатель работ сотрудников ОИЯИ за 2000 г.».

Издательским отделом выполнялись многочисленные заказы лабораторий на ксерокопирование и переплетные работы. Для обработки экспериментальной информации и других целей отпечатано более 150 тысяч различных бланков.

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА

В 2001 г. число читателей НТБ составило 4711 человек. Количество выданной литературы достигло 360 тыс. экземпляров. По заявкам читателей по межбиблиотечному абонементу получено 846 изданий.

Еженедельно выпускались экспресс-бюллетени «Книги», «Статьи», «Препринты» (вышло в свет 156 номеров) с информацией относительно 17248 названий. Экспресс-бюллетени получают около 200 сотрудников Института, они рассылаются по 50 адресам вне Института. Информационные бюллетени и списки конференций регулярно пополняются в WWW и передаются в службу ИНФОМАГ (Москва) и в телеконференции. Базы данных статей и препринтов доступны в Интернете по адресу: <http://lib.jinr.ru>.

По всем источникам комплектования поступило 8736 книг, периодических изданий, препринтов; 6164 из них — на иностранных языках. Все поступившие издания фиксировались в центральном каталоге и в каталогах филиалов.

Каждую неделю обновлялись выставки новых поступлений книг, препринтов, периодических изда-

ний; на них представлено 6403 названия. Организовано 5 тематических выставок. На 1 января 2002 г. библиотечный фонд составил 426470 экземпляров, из них 190873 — на иностранных языках.

Подготовлен к изданию «Библиографический указатель работ сотрудников Института за 2000 г.» (1335 записей). База данных работ сотрудников ОИЯИ (библиографические описания публикаций с 1987 г.) доступна в Интернете.

За 2001 г. в порядке обмена на публикации ОИЯИ, выпускаемые издательским отделом, поступило 3507 изданий из 30 стран. Из них на долю России приходится 487, Германии — 556, Италии — 222, США — 803, Франции — 154, Швейцарии — 32, Японии — 411, ЦЕРН — 653.

В 2001 г. в НТБ ОИЯИ введена в эксплуатацию автоматизированная библиотечно-информационная система «Liber Media». В базу данных «Liber Media» с 2000 г. вводится информация о всех новых книгах и периодических изданиях, поступающих в библиотеку.



## БЮРО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ, ЛИЦЕНЗИРОВАНИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИИ

В 2001 г. работа бюро проводилась по нескольким направлениям.

*В области лицензирования.* Оформлены лицензии для ОГЭ на эксплуатацию объектов газового хозяйства; ЛЯП — на проведение экспериментальных исследований фундаментальных свойств частиц и космического излучения ядерно-физическими методами; РСУ — на выполнение строительно-монтажных работ; ЛНФ — на эксплуатацию сосудов, работающих под давлением, и грузоподъемных кранов; отдела охраны труда — по страхованию гражданской ответственности организаций, эксплуатирующих опасные производственные объекты.

Создан реестр лицензий, имеющих в ОИЯИ; бюро принимало участие в работе комиссии по экономической безопасности ОИЯИ.

*В области стандартизации.* Внесены изменения по информационным указателям ГОСТов и ТУ в картотеку, стандарты и указатели, оказывалась консультационная и методическая помощь в разработке и

оформлении вновь разрабатываемых НТД, а также проводилась подборка документов по теме, проверка имеющихся в подразделениях ГОСТов на наличие изменений по ним и их срока действия.

Выпущены и прошли государственную регистрацию: изменение к ТУ «Мембрана трековая» и «Вода деионизированная»; пересмотрен сборник СТП «Металлы черные и цветные», выпущены изменения к нему.

В 2001 г. поступило 72 официальных патентных бюллетеня РФ, фонд бюро составил 1804 бюллетеня. Это издание обрабатывалось с учетом тематики ОИЯИ. Выпущено 12 номеров бюллетеня «Патенты».

В 2001 г. было оформлено 3 проекта заявок на изобретения для получения патентов: «Способ получения селеносодержащих препаратов биомассы спирулины», «Способ диагностики пучка ускорителя» и «Способ многоэлементной ионной имплантации». Проводилась работа по защите ранее поданных 5 заявок на изобретения.

## ОПЫТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

В 2001 г. Опытное производство ОИЯИ изготовило для лабораторий и других подразделений Института продукции на сумму 14,0 млн рублей.

В рамках международного сотрудничества продолжались работы по изготовлению модулей и субмодулей адронного и жидкоаргонного калориметров по проекту ATLAS (ЦЕРН), деталей субмодуля установки COMPASS (ЦЕРН). Для BNL (Брукхейвен, США) изготавливались отдельные детали установки STAR. По заказу Технического университета Мюнхена были изготовлены камеры для спектрометра по исследованию холодных нейтронов. Были начаты работы по выполнению заказа ЦЕРН на производство оборудования для сборки восьми обмоток баррель-тороида и

двух энд-кап-тороидов. Изготавливалось оборудование для электромагнитного калориметра Университета Вейна (Детройт, США).

Продолжались работы по модернизации спектрометра поляризованных нейтронов и изготовлению узлов подвижного отражателя для реактора ИБР-2 ЛНФ.

По-прежнему значительный объем в структуре заказов, выполненных Опытным производством, составило оборудование НПЦ «Аспект» по контролю за перемещением радиоактивных материалов. Выполнялись работы для предприятий различных отраслей народного хозяйства.

**АДМИНИСТРАТИВНО-  
ХОЗЯЙСТВЕННАЯ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ**



## ФИНАНСОВАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Комитет Полномочных Представителей правительств государств — членов ОИЯИ для проведения научно-исследовательских работ, сооружения базовых установок и других мероприятий, связанных с деятельностью Института, на 2001 г. утвердил бюджет в сумме 37500,0 тыс. долларов США. Фактическое поступление средств за год составило

19287,7 тыс. долларов США, или 51,4 % по отношению к годовым ассигнованиям.

Фактические затраты на научно-исследовательские работы Объединенного института ядерных исследований за 2001 г. составили 21321,5 тыс. долларов США.

Фактические расходы характеризуются следующими показателями:

Наименование раздела	План годовых ассигнований в тыс. долл. США	Фактические расходы за 2001 г. в тыс. долл. США	% к плану
1. Научные исследования	14710,9	11301,8	76,8
2. Базовые установки	6268,1	2781,5	44,4
3. Инфраструктура лабораторий	5287,4	3551,0	67,2
4. Инфраструктура Института	5581,6	3687,2	66,1
5. По соглашению с ФМИТ ФРГ за вычетом на инфраструктуру ОИЯИ и в резерв дирекции	738,5		
6. По соглашению с АН Венгрии за вычетом на инфраструктуру ОИЯИ и в резерв дирекции	127,5		
7. Гранты полномочных представителей — 8 % долевых взносов стран-участниц	2918,5		
8. Резерв дирекции — 5 % бюджета	1867,5		
Итого — расходы:	37500,0	21321,5	56,9



## КАДРЫ

Численность сотрудников Объединенного института ядерных исследований на 1 января 2002 г. составила 5511 человек (без временных членов персонала).

В ОИЯИ работают: академики Российской академии наук [А. М. Балдин], В. Г. Кадышевский, Д. В. Ширков; члены-корреспонденты РАН И. Н. Мешков, Ю. Ц. Оганесян; действительные члены других академий наук В. Л. Аксенов, И. А. Голутвин, А. В. Еремин, В. И. Корогодин, А. А. Кузнецов, А. М. Петросьянц, А. Г. Попеко, А. Н. Сисакян; члены-корреспонденты других академий наук А. С. Водопьянов, Б. Н. Захарьев, И. Звара, С. П. Иванова, Р. М. Мир-Касимов, А. И. Титов, В. А. Халкин;

## НАГРАЖДЕНИЯ

Постановлением губернатора Московской области за особые заслуги, плодотворную научную деятельность, способствующую развитию Московской области, повышению ее авторитета в Российской Федерации и за рубежом, звание «Почетный гражданин Московской области» присвоено Кадышевскому Владимиру Георгиевичу — директору Объединенного института ядерных исследований.

Постановлением губернатора Московской области за особые заслуги, плодотворную научную деятельность, способствующую развитию Московской области, повышению ее авторитета в Российской Федерации и за рубежом, знаком отличия «За заслуги перед Московской областью» награждены:

- Балдин Александр Михайлович — научный руководитель Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований,
- Оганесян Юрий Цолакович — научный руководитель Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова Объединенного института ядерных исследований,
- Сисакян Алексей Норайрович — вице-директор Объединенного института ядерных исследований,
- Ширков Дмитрий Васильевич — почетный директор Лаборатории теоретической физики

239 докторов наук, 634 кандидата наук, в том числе 86 профессоров и 14 доцентов.

В 2001 г. в ОИЯИ принято на работу 599 человек, уволено за этот период в связи с окончанием срока работы и по другим причинам 806 человек.

В течение года присвоены ученые звания: профессора — 1, старшего научного сотрудника — 4.

В 2001 г. защитили кандидатские диссертации 28 сотрудников, докторские — 8. Среди защитившихся — сотрудники ОИЯИ (23), граждане Республики Армения (1), Республики Белоруссии (1), Республики Болгарии (1), Российской Федерации (7), Словацкой Республики (2), Республики Узбекистан (1).

им. Н. Н. Боголюбова Объединенного института ядерных исследований.

Постановлением губернатора Московской области за особые заслуги, плодотворную научную деятельность, способствующую развитию Московской области, повышению ее авторитета в Российской Федерации и за рубежом, почетное звание «Заслуженный деятель науки и техники Московской области» присвоено:

- Замятнину Юрию Сергеевичу — советнику при дирекции Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка Объединенного института ядерных исследований,
- Красавину Евгению Александровичу — начальнику Отделения радиационных и радиобиологических исследований Объединенного института ядерных исследований,
- Мешкову Игорю Николаевичу — главному инженеру Объединенного института ядерных исследований,
- Савину Игорю Алексеевичу — почетному директору Лаборатории физики частиц Объединенного института ядерных исследований,
- Филиппову Александру Тихоновичу — директору Лаборатории теоретической физики им. Н. Н. Бого-

любова Объединенного института ядерных исследований.

За выдающиеся заслуги перед ОИЯИ в области развития приоритетных направлений науки и техники, подготовки научных кадров звание «Почетный доктор ОИЯИ» присвоено: профессору А. М. Петросьянцу (Россия), профессору Г. Пираджино (Италия), профессору З. Хофманну (Германия), профессору

Ж. Дойчу (Бельгия), профессору Дж. Триллингу (США), профессору С. Озаки (США).

За заслуги перед ОИЯИ, многолетнюю и плодотворную деятельность и в связи с 45-летием ОИЯИ 30 сотрудникам Института присвоено звание «Почетный сотрудник ОИЯИ».

Почетными дипломами ОИЯИ награждены 8 сотрудников Института.

Ответственный за подготовку отчета *Б. М. Старченко*

Отчет подготовили:

<i>В. А. Бедняков</i>	<i>А. Е. Назаренко</i>
<i>А. А. Бельков</i>	<i>Е. Б. Плеханов</i>
<i>В. И. Данилов</i>	<i>А. Г. Попеко</i>
<i>Т. Я. Жабицкая</i>	<i>В. В. Сиколенко</i>
<i>А. И. Журавлев</i>	<i>Т. А. Стриж</i>
<i>С. П. Иванова</i>	<i>Г. Н. Тимошенко</i>
<i>Т. Б. Киселева</i>	<i>Л. А. Тютюнникова</i>
<i>Л. Г. Лукьянова</i>	<i>Т. Н. Харжеева</i>

Художник

*Ю. Г. Мешенков*

В отчете использованы фотографии

*Ю. А. Туманова*  
*П. Е. Колесова*

**Годовой отчет ОИЯИ**  
**2001 г.**

2002-41

Редакторы: *М. И. Зарубина, А. Н. Шабашова*  
Технический редактор *Е. Н. Водоватова*  
Компьютерная верстка *И. Г. Андреевой*

ЛР № 020579 от 23.06.97.

Подписано в печать 20.05.2002.

Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 18,37. Уч.-изд. л. 22,51. Тираж 300. Заказ 53253.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.