

СЗМ
П-472



**ПОЗДРАВЛЕНИЯ
И НАУЧНЫЕ ДОКЛАДЫ
К 40-ЛЕТИЮ ОИЯИ**

502126



СЗМ
П-472

**ПОЗДРАВЛЕНИЯ
И НАУЧНЫЕ ДОКЛАДЫ
К 40-ЛЕТИЮ ОИАИ**

члена-корреспондента РАН
В.Г.Колышевского
на торжественном заседании
Комитета Полномочных Представителей
и Ученого совета ОИАИ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1996

Составители:

В.А.Бирюков

Т.Б.Киселева

Б.М.Старченко

Л.П.Устенко

Фото

Ю.А.Туманова

Е.В.Сметаниной

Обложка

Ю.Г.Мешенкова

ISBN 5-85165-458-9

© Объединенный институт ядерных исследований. Дубна. 1996

40 ОИЯИ

**Доклад
директора Института
члена-корреспондента РАН
В.Г.Кадышевского
на торжественном заседании
Комитета Полномочных Представителей
и Ученого совета ОИЯИ**

Глубокоуважаемые полномочные представители правительств стран — членов Объединенного института ядерных исследований, члены Ученого совета Института!

Дорогие гости! Дамы и господа!

Я очень рад приветствовать в этом зале всех вас, собравшихся на торжественное заседание в связи с 40-летием нашего Института!

Объединенный институт был создан в годы бурного развития ядерной физики. Особое внимание к этой области физики объясняется не только важностью фундаментальных выводов для общего познания природы, но также глубоким ее влиянием на все естественные науки и, в конечном счете, на технический прогресс.

В этом зале находятся ученые, которые стояли у истоков послевоенной ядерной физики. Нам очень приятно, что они почтили своим присутствием наше собрание.

К середине 50-х годов стало понятно, что ядерная наука не должна замыкаться в засекреченных лабораториях. Дальнейшее поступательное развитие этой фундаментальной области знаний, мирное использование атомной энергии могло быть обеспечено только в условиях широкого сотрудничества. Быстро возрастающая сложность и глубина научных исследований потребовали объединения не только отдельных научных учреждений или различных отраслей промышленности, но и специалистов из разных стран. В 1954 году близ Женевы был создан ЦЕРН — Европейская организация ядерных исследований — с целью консолидации усилий западноевропейских стран в изучении фундаментальных свойств микромира.

В этих условиях правительство Советского Союза выступило с предложением создать объединенный институт социалистических стран для совместного выполнения фундаментальных исследований в области ядерной физики с целью расширения возможностей использования атомной энергии в мирных целях на благо всего человечества. Советский Союз располагал кадрами специалистов, техническим и промышленным потенциалом, позволяющим вести исследования в области ядерной физики на высоком уровне. Накопленный здесь опыт был необходим странам социалистического содружества, также начавшим работы в этой области.

20—26 марта 1956 года в конференц-зале президиума Академии наук СССР в Москве было созвано совещание по вопросу организации Объединенного института ядерных исследований. В совещании приняли участие де-

легации 11 стран: Албании, Болгарии, Венгрии, ГДР, Китая, КНДР, Монголии, Польши, Румынии, СССР и Чехословакии. Совещание открыл глава советской делегации академик А.В.Топчиев, сформулировавший задачи совещания как учредительные. С докладом о проекте создания нового института выступил профессор Д.И.Блохинцев.

Советское правительство безвозмездно передало в распоряжение нового института оборудование двух крупных исследовательских лабораторий АН СССР: Института ядерных проблем и Электрофизической лаборатории. Здесь, в 120 километрах на север от Москвы, в деревне Ново-Иваньково Калининской области, уже действовал самый крупный ускоритель протонов — синхротрон на энергию 680 МэВ и создавался крупнейший в мире синхрофазотрон на энергию протонов 10 ГэВ. В Институте ядерных проблем под руководством молодых физиков М.Г.Мещерякова и В.П.Джелепова успешно реализовывалась широкая программа как фундаментальных, так и прикладных исследований свойств ядерной материи. В ЭФЛАН под руководством В.И.Векслера завершались работы по созданию синхрофазотрона.

Подчеркну, что уже на учредительном собрании шла речь о создании в институте новых лабораторий: теоретической физики с расчетным отделом, оснащенным электронно-вычислительными машинами, и нейтронной физики на основе импульсного реактора с высокой плотностью нейтронов. Предполагалось также создать в институте ускоритель многозарядных ионов.

21 марта все делегации посетили Институт ядерных проблем и Электрофизическую лабораторию, увидели практические возможности для непосредственного начала исследовательских работ и дальнейшего развития института в соответствии с предлагаемым планом.

26 марта состоялось подписание Соглашения об учреждении Института, утвержденное на 4-м заседании совещания. На этом заседании была избрана дирекция Института: директор профессор Д.И.Блохинцев, его заместители профессор М.Даныш (Польша) и профессор В.Вотруба (Чехословакия). Дирекции было поручено в трехмесячный срок разработать проект Устава Института. Принято решение послать приглашение вступить в Институт правительству Демократической Республики Вьетнам.

Созданная на заседании комиссия внесла предложение именовать новый институт Объединенным институтом ядерных исследований. Отдельным протоколом заседание утвердило это предложение. 26 марта 1956 года считается датой организации Объединенного института ядерных исследований.

23 сентября на совещании полномочных представителей правительств государств — членов ОИЯИ был принят Устав, регламентирующий деятельность Института. На этом совещании уже присутствовал представитель ДРВ, вступившей в ОИЯИ.

В Институте были организованы Лаборатория теоретической физики и Лаборатория нейтронной физики, в которой началось строительство импульсного реактора на быстрых нейтронах — ИБР.

1956 год был отмечен многими другими событиями. Быстро растущий научный поселок был преобразован в город Дубну Московской области, сюда начали приезжать ученые из стран-участниц Института. Началась публикация научных работ сотрудников Института, в их числе — выдающиеся исследования ведущих ученых ОИЯИ. Н.Н.Боголюбовым было дано строгое доказательство дисперсионных соотношений, которое заложило математические основы этого метода и на многие годы оказало большое влияние на развитие теории сильных взаимодействий. В.И.Векслер впервые высказал идеи об использовании для ускорителей заряженных частиц собственных сил плотных ступков электронов, послужившие прообразом коллективного метода ускорения.

В 1957 году была организована Лаборатория ядерных реакций и началось строительство ускорителя многозарядных ионов У-300. В апреле на синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий получен пучок протонов, ускоренных до проектной энергии 10 ГэВ. М.А.Марковым предложены эксперименты по изучению взаимодействия нейтрино с ядрами. Б.М.Понтекорво выдвинул гипотезу о существовании осциллирующей нейтрино.

1957—1958 гг. Н.Н.Боголюбовым построена микроскопическая теория сверхпроводимости. Разработанные при этом идеи и методы получили в дальнейшем широкое применение в статистической механике, ядерной физике и физике элементарных частиц. Было сформулировано представление о сверхтекучести ядерной материи и предложен вариационный принцип в задаче многих тел (1958—1963 гг.). На их основе получила развитие микроскопическая теория ядра.

1959 г. В Лаборатории высоких энергий впервые получены экспериментальные данные о важнейших свойствах странных частиц, образующихся в пион-протонных взаимодействиях при энергии 7—8 ГэВ. Б.М.Понтекорво показал, что в опытах с нейтрино от ускорителей высоких энергий можно ответить на вопрос, отличается ли мюонное нейтрино от электронного нейтрино.

1960 г. Учеными ЛВЭ открыта новая частица антисигма-минус-гиперон. В ЛЯР запущен трехметровый циклотрон для ускорения тяжелых ионов (У-300), а в ЛНФ — исследовательский импульсный реактор периодического действия на быстрых нейтронах — ИБР. Н.Н.Боголюбов сформулировал концепцию квазисредних, оказавшую большое влияние на развитие квантовой теории поля. В ЛЯП развернулись широкие исследования нейтронодефицитных изотопов, в ходе реализации которых (1955—1979 гг.) открыто более 100 новых радиоактивных изотопов.

1961 г. Впервые присуждены учрежденные в Институте премии за лучшие работы:

1. «Открытие антисигма-минус-гиперона и комплекс работ по изучению свойств странных частиц, рожденных пионами с энергией 7—8 ГэВ в пропановой пузырьковой камере». Ван Ганчан, В.И.Векслер и коллектив авторов.

2. Цикл работ «Циклотрон с пространственной вариацией напряженности магнитного поля». В.П.Джелепов, В.П.Дмитриевский и коллектив авторов.

3. Цикл работ, посвященных физике слабых взаимодействий при высоких энергиях. Д.И.Блохинцев, М.А.Марков, Б.М.Понтекорво.

1962 г. В ЛЯП экспериментально обнаружен бета-распад положительно заряженного пиона, измерена вероятность процесса. Эти исследования подтвердили закон сохранения векторного тока в слабых взаимодействиях. (Золотая медаль им. И.В.Курчатова и премия АН СССР.) Сотрудниками ЛЯП и ЛТФ открыто явление захвата отрицательно заряженных пионов ядрами химически связанного водорода, что привело к созданию нового научного направления — мезонной химии. В ЛЯР открыты новая разновидность радиоактивного распада — протонный распад ядер и новое физическое явление — спонтанное деление ядер из изомерных состояний.

1963 г. Учеными ЛЯП открыто явление двойной перезарядки пионов. В ЛЯР синтезирован 102-й элемент. В ЛТФ А.А.Логуновым и А.Н.Тавхелидзе разработан квазипотенциальный подход в теории поля.

1964 г. Сотрудниками ЛЯР синтезирован 104-й элемент, изучены его радиоактивные и химические свойства.

1965 г. В ЛЯР синтезирован 103-й элемент. В ЛТФ Н.Н.Боголюбовым, А.Н.Тавхелидзе с сотрудниками выдвинута идея о наличии у кварков нового квантового числа, называемого ныне «цветом». В ЛВЭ осуществлен запуск установок с пузырьковыми камерами в магнитном поле: двухметровой пропановой и метровой жидководородной. Введена в действие система импульсного бустера на ИБР — сочетание реактора с инжектором — ускорителем электронов для получения очень коротких импульсов при большой светосиле. В ЛНФ создан первый в странах-участницах лабораторный измерительно-вычислительный центр.

1966 г. Создана Лаборатория вычислительной техники и автоматизации, где концентрируются разработки, связанные с вычислительной техникой и автоматизацией обработки экспериментальных данных. В ЛТФ закончена разработка и математическое обоснование кварковой модели, получившей название «дубненский мешок». В ЛЯР обнаружено явление глубоконеупругой передачи нуклонов в ядерной реакции. В ЛНФ впервые наблюдался альфа-распад нейтронных резонансов тяжелых ядер. На синхроциклотроне ЛЯП создан протонный пучок для радиобиологических и онкологических исследований.

Я хочу ограничиться этим кратким обзором, так как не имею возможности рассказать о всех крупных событиях и важных научных результатах, полученных учеными ОИЯИ. Мне хотелось лишь показать динамику первого десятилетия жизни Института. За короткий период были построены новые

лабораторные корпуса, в городе строились жилые дома и здания обслуживающего сектора. Болгарские архитекторы спроектировали для нас жилой квартал на берегу Волги, по их проекту построена отличная гостиница.

История становления Института связана с именами таких крупнейших ученых и руководителей науки, как Д.И.Блохинцев, Н.Н.Боголюбов, В.И.Векслер, И.В.Курчатов, А.Л.Минц, М.Г.Мещеряков, А.М.Петросьянц, Е.П.Славский, Д.В.Скобельцын, И.Е.Тамм, А.В.Топчиев, Л.Инфельд, Г.Неводничанский, Х.Хулубей и другие.

Огромен вклад всех государств-членов, многих организаций и ведомств страны местонахождения ОИЯИ, в особенности Министерства по атомной энергии и Министерства науки и технической политики России, других наших партнеров в разных странах мира в становление и развитие Института. Особую признательность хотел бы выразить присутствующим здесь полномочным представителям государств — членам ОИЯИ, членам Ученого совета, дирекций Института и его лабораторий прежних лет за их большой вклад в развитие ОИЯИ и его успешную деятельность.

С первых лет своей деятельности ОИЯИ развернул широкое научное сотрудничество. Даже в период напряженных международных отношений практически со всеми мировыми физическими центрами были установлены плодотворные научные контакты. В Дубну приезжали выдающиеся ученые, в том числе Ф.Жолио-Кюри и Ф.Перрен из Франции, Н.Бор из Дании, П.Дирак, Дж.Адамс, С.Пауэлл, П.Блэккетт и Д.Кокрофт из Англии, В.Енчке из Германии, Х.Баба из Индии, Т.Редже и М.Чини из Италии, Г.Сиборг, Р.Маршак, Н.Рамзей, В.Панофский из США и другие, а также крупнейшие политические деятели: Г.Макмиллан, Г.А.Насер, О.Хаммаршельд. Институт посетили послы практически всех стран, аккредитованные в Москве, большое число правительственных и научных делегаций.

Успешно развивалось сотрудничество с ЦЕРН. Ученые ОИЯИ — из Венгрии, Китая, СССР — работали в ЦЕРН, а в лабораториях ОИЯИ работали физики из Англии, Франции, ФРГ, Швейцарии.

Объединенный институт стал организатором крупных международных конференций. В 1963 г. в Дубне проходила Международная конференция по ускорителям высоких энергий, а в 1964 г. состоялась XII Международная конференция по физике высоких энергий.

За четыре десятилетия своей деятельности Объединенный институт стал крупнейшим многоплановым физическим комплексом. Сегодня это всемирно известный центр фундаментальных ядерных исследований, объединяющий усилия ученых в их стремлении понять, как устроен окружающий нас мир.

Членами Института в настоящее время являются 18 государств: Азербайджан, Армения, Белоруссия, Болгария, Вьетнам, Грузия, Казахстан, КНДР, Куба, Молдавия, Монголия, Польша, Россия, Румыния, Словакия, Узбекистан, Украина и Чехия.

В Институте работают более 6000 человек (вместе с обслуживающими подразделениями), из них более 1000 — научные сотрудники, около 2000 — инженерно-технический персонал. В составе Института 7 крупных лабораторий, каждая из которых по масштабам и объему проводимых исследований сопоставима с большим институтом.

ОИЯИ располагает уникальными в своем классе источниками излучения частиц и ядер в широком диапазоне энергий. Помимо упомянутых синхротрона и синхрофазотрона, здесь построены и действуют ускорители тяжелых ионов У-200 и У-400. В 1993 г. получен выведенный пучок ионов из циклотрона У-400М, в 1994 г. введен в действие сверхпроводящий ускоритель релятивистских ядер нуклотрон, ведутся исследования с помощью импульсных реакторов на быстрых нейтронах ИБР-30 (1969 г.) и ИБР-2 (1984 г.).

Перспектива фундаментальных исследований связана с реализуемой в Институте программой создания современных базовых установок. В 1994 г. началась реализация проекта ИРЕН, направленного на создание высокопоточного импульсного источника резонансных нейтронов. Разрабатываются проект с-т-фабрики — электрон-позитронного коллайдера с универсальным детектором и проект специализированного источника синхротронного излучения.

Широкий спектр научных исследований, ведущихся в ОИЯИ, мы обычно подразделяем на три основных направления. Первое из них — физика высоких энергий (или физика элементарных частиц). Ученые Института вели или ведут сейчас эксперименты не только в Дубне, но и на ускорителях других научных центров: ИФВЭ (Протвино), ЦЕРН, FNAL (Батавия), DESY (Гамбург). С целью концентрации исследований в этой области в 1990 году в Институте была организована Лаборатория сверхвысоких энергий. На ускорительном комплексе Лаборатории высоких энергий по инициативе и под руководством академика А.М.Балдина реализуется широкая программа исследований в области релятивистской ядерной физики. Дубненские эксперименты, нацеленные на поиск и изучение кварк-глюонных степеней свободы в ядрах и спиновых эффектов, привлекают физиков крупнейших мировых центров.

Второе направление — исследования по ядерной физике. В Дубне реализуется широкая программа по изучению свойств ядер, ядерных реакций, новых элементов, в том числе трансурановых и сверхтяжелых. Наш Институт является одним из мировых лидеров в этой области.

Третье направление наших исследований — физика конденсированных сред. Это быстро развивающаяся область фундаментальной науки, связанная с использованием экспериментальных методов ядерной физики для изучения физических явлений в твердых телах, жидкостях, новых свойств материалов. Уникальным инструментом для этих исследований общепризнан наш реактор ИБР-2.

Большое влияние на проводимые в ОИЯИ экспериментальные исследования оказывают ученые Лаборатории теоретической физики им. Н.Н.Боголюбова. В сферу интересов теоретиков входят практически все современные раз-

делы квантовой теории полей и частиц, теории фундаментальных взаимодействий, теории ядра, физики конденсированных сред, статистической механики. Наши научные школы в области теоретической физики, основанные Н.Н.Боголюбовым, Д.И.Блохинцевым, А.А.Логоновым, М.А.Марковым, В.Г.Соловьевым, А.Н.Тавхелидзе, Д.В.Ширковым, пользуются всемирным признанием. Научная репутация крупнейшего в мире коллектива дубненских теоретиков чрезвычайно высока.

Помимо трех основных направлений исследований, в которых концентрируется деятельность Института, где сильные научные позиции ОИЯИ являются общепризнанными, необходимо отметить успешные работы в других, более узких, но также важных направлениях. Сюда можно отнести фундаментальные и прикладные задачи радиационной биологии. На синхротроне велись широкие исследования биологической эффективности протонов, результаты которых использовались при подготовке первых пилотируемых космических полетов. На всех ускорителях и реакторах Института изучаются механизмы летального и мутагенного действия на живые клетки ионизирующих излучений с разными физическими характеристиками. На специально сформированных пучках протонов и пионов синхротрона ведутся работы, связанные с лечением злокачественных опухолей у человека. В Институте разработана методика получения высокочистых радиоактивных изотопов. Разработана методика изготовления высокоэффективных пленочных ядерных фильтров, методы радиоизотопного и рентгенофлуоресцентного анализа, применяемые в геологии, медицине, биологии и др.

Научный потенциал ОИЯИ органично дополняется развитыми научно-информационными службами и производственной базой. Огромным подспорьем для ученых является научно-техническая библиотека. Труды многих конференций и научные публикации Объединенного института оперативно печатаются в издательском отделе. В Опытном производстве и его отделениях изготавливается не только уникальное оборудование для экспериментальных установок, но и крупные узлы для ускорителей и реакторов. Эти и другие производственные подразделения обеспечивают эффективное функционирование нашего международного научного центра.

Более подробный обзор проводимых в Институте работ сделать здесь, конечно, невозможно. Их результаты в виде более 1000 научных статей и докладов направляются ежегодно в редакции журналов многих стран мира и оргкомитеты конференций. Публикации ОИЯИ рассылаются в 44 страны. Что касается уровня проводимых в Институте исследований, следует отметить, что многие из них уникальны. Институт является основоположником многих новых научных направлений. В ОИЯИ сделано около 40 открытий в области физики, зарегистрированных в Советском Союзе, что составляет половину от общего числа. Мировым научным сообществом признан приоритет ОИЯИ в открытии 102—105-го элементов и большой вклад в открытие 106—108-го

элементов. Как признание выдающегося вклада наших ученых в современную физику и химию можно расценить предложение присвоить элементу 104 имя «дубний». Всемирно известны результаты дубненских теоретиков по изучению автомодельности в сильных взаимодействиях и правилам кваркового счета. Авторы многих работ, выполняемых в ОИЯИ, удостоены международных и национальных премий, других наград.

Своими успехами Объединенный институт во многом обязан широкому международному научно-техническому сотрудничеству, которое является одним из главных принципов его деятельности. Практически во всех темах плана исследований ОИЯИ участвуют ученые физических центров стран-участниц Института. Подписание в 1970 г. Соглашения о научно-техническом сотрудничестве между ОИЯИ и ГКАЭ СССР стимулировало широкую программу совместных экспериментов с Институтом физики высоких энергий на ускорителе в Протвино. Важные научные результаты получены в совместных работах с Российским научным центром «Курчатовский институт» (Москва), Институтом ядерной физики (Гатчина), Институтом теоретической и экспериментальной физики (Москва), Институтом ядерных исследований (Троицк), Физическим институтом РАН (Москва), Институтом ядерной физики им. Г.И.Будкера (Новосибирск).

Успешно развивается, особенно в последние годы, научное сотрудничество со многими физическими центрами Германии, Дании, США, Франции, Италии, Швейцарии, Швеции, Японии, ЮАР и других стран.

С целью укрепления сотрудничества и координации научных исследований в качестве членов Ученого совета приглашены ведущие ученые не только стран-участниц, но и известные физики ЦЕРН, Германии, Италии, США, Франции.

В соответствии с соглашениями между ОИЯИ и Федеральным министерством по образованию и науке Германии, а также с Венгерской академией наук, немецкие и венгерские ученые работают в лабораториях ОИЯИ. Подписаны соглашения о совместных работах с Национальным институтом ядерной физики Италии, с Национальным институтом физики ядра и физики частиц Франции. В последнее время соглашения подписаны также с Комиссариатом по атомной энергии Франции; с DESY (Германия); LBL, FNAL, BNL (США); Институтом «Винча» и Институтом физики (Югославия), Институтом биофизики АН Чехии и рядом других.

Тесные контакты с ЦЕРН имеют исключительно важное значение. Уже 25 лет с большим успехом проходят школы ЦЕРН—ОИЯИ для молодых ученых, работающих в области физики высоких энергий. Объединенный институт — участник крупнейшего научного проекта, связанного со строительством в ЦЕРН большого адронного коллайдера (LHC). К этому «мегапроекту», нацеленному в будущее, уже привлечены сотни ученых из разных стран, десятки научных центров.

Ученые и специалисты практически всех лабораторий и Опытного производства Объединенного института участвуют в подготовке экспериментов, изготовлении детекторов по программам ATLAS, CMS, ALICE, а также

разработке отдельных узлов ускорителя. В июле 1995 года в Дубне состоялся представительный международный симпозиум «Физика и детекторы на LHC». Более 200 ученых из 20 стран провели широкое обсуждение вопросов сотрудничества научных центров, вовлеченных в проект LHC.

ОИЯИ как международная организация принимает меры к установлению контактов на взаимовыгодной основе с ЮНЕСКО, МАГАТЭ, Европейским физическим обществом, Международным теоретическим центром в Триесте.

Развитие научных связей создает перспективу партнерства с такими странами, как Китай, Арабская Республика Египет, Южная Корея, Югославия и другие.

Объединенный институт уже давно называют научной школой высшей квалификации. Эту школу прошли многие ученые и инженеры стран-участниц Института, здесь выросли талантливые ученые и руководители науки в своих странах. Такая роль ОИЯИ была предопределена, прежде всего, на этапе формирования Института. Для работы в ОИЯИ были приглашены крупные ученые — создатели активно работающих научных школ: Д.И.Блохинцев, Н.Н.Боголюбов, В.И.Векслер, Б.М.Понтекорво, Г.Н.Флеров, И.М.Франк. Вместе с ними в Дубну приехали их ученики, ставшие в свою очередь научными руководителями молодых ученых. В формировании основных научных направлений и развитии Института принимали участие выдающиеся физики: А.М.Балдин, Н.Н.Говорун, В.П.Джелепов, И.Звара, Д.Киш, Я.Кожешник, К.Ланиус, Ле Ван Тхием, А.А.Логунов, М.А.Марков, В.А.Матвеев, М.Г.Мещеряков, Г.Наджаков, Нгуен Ван Хьеу, Л.Пал, Г.Позе, Б.М.Понтекорво, В.П.Саранцев, Н.Содном, А.Сэндулеску, А.Н.Тавхелидзе, И.Урсу, Х.Христов, А.Хрынкевич, Ш.Цицейка, И.В.Чувило, Ф.Л.Шапиро, Д.В.Ширков, а также в последующие годы В.Л.Аксенов, Ц.Вылов, Ю.Ц.Оганесян, Р.Позе, Н.А.Русакевич, И.А.Савин, А.Н.Сисакян и другие. В настоящее время среди ученых Института 6 академиков и 7 членов-корреспондентов академий наук, более 200 докторов и 640 кандидатов наук. Огромный научный потенциал Института, творческий и демократичный характер взаимоотношений рабочих коллективов — все это создало прекрасные условия для воспитания талантливой молодежи.

Более 30 лет в Дубне действует филиал НИИЯФ МГУ. В 1991 г. создан Учебно-научный центр ОИЯИ, с 1995 г. в Институте работает аспирантура.

Несколько лет назад руководство ОИЯИ, с одобрения Ученого совета и Комитета Полномочных Представителей, приступило к реализации новой концепции развития Института: постепенному превращению Объединенного института в международный центр, в котором фундаментальная наука и инженерно-методические разработки интегрируются с образованием.

По инициативе дирекции ОИЯИ, при активной поддержке Академии естественных наук Российской Федерации и администрации Московской области и нашего города создан Международный университет «Дубна». В 1994 г. университет принял первых 115 студентов, а в 1995 г. — еще около 200. Новый университет налаживает связи с университетами разных стран, ведет обмен учебными программами, планируется обмен студентами. Дубна

все более приобретает черты университетского города. Мы уверены, что образовательная программа ОИЯИ послужит решению стратегически важной задачи привлечения молодежи в науку и будет одним из путей дальнейшего развития Института.

Подводя итоги деятельности Объединенного института на пороге его пятого десятилетия, следует отметить большие трудности, которые испытывает в последние годы Институт. Известные финансовые осложнения последних лет привели к сокращению финансирования научной программы. Положение осложняется несвоевременным и не в полном объеме внесением долевых взносов стран-участниц ОИЯИ. Большое напряжение вызывают вопросы социальной незащищенности сотрудников. Низкая заработная плата не может обеспечить нормального жизненного уровня сотрудников, остро стоит вопрос об обеспечении жильем.

Современный научно-технический потенциал, а также высокая квалификация специалистов и их энтузиазм помогли Институту сохранить свои международные позиции и продвинуться вперед в ряде научных направлений. И не случайно, что многие установки были созданы в последние годы. Так, в основном силами Института менее чем за 4 года построен циклотрон У-400М, в течение 5 лет создан нуклотрон — первый в мире сверхпроводящий ускоритель релятивистских ядер. Созданы новые крупные экспериментальные физические установки. Для некоторых экспериментов была использована аппаратура, привезенная из других научных центров.

Институт оснащен мощными и быстродействующими вычислительными средствами, интегрированными в мировые компьютерные сети. Специалисты ОИЯИ активно участвуют в международных коллаборациях, связанных с разработкой крупных экспериментальных установок. Разрабатываются перспективные проекты.

Хорошим подспорьем к явно недостаточным средствам бюджетного финансирования стали денежные средства целевых национальных программ, гранты разных фондов. В ряде случаев эксплуатация ускорителей оплачивалась пользователями из других институтов. Дирекция Института постоянно ищет новые внебюджетные источники поддержки наших научных программ.

В октябре 1995 года ОИЯИ посетили премьер-министр России В.С.Черномырдин и руководители министерств и ведомств Российской Федерации. Это свидетельствует о внимании российского правительства к проблемам международного центра науки. Главным итогом визита явилось подписание Соглашения между правительством РФ и ОИЯИ об условиях деятельности ОИЯИ в Российской Федерации. После визита В.С.Черномырдин дал ряд конкретных поручений, большая часть которых уже выполнена. Мы надеемся, что и впредь высшее руководство России, на территории которой расположен Институт, будет оказывать ОИЯИ внимание и поддержку.

... Нынешний юбилей наш Институт отмечает на рубеже столетий. Я уверен, что и в будущем роль ОИЯИ как одного из флагманов фундаментальной науки удастся сохранить.

Спасибо за внимание!

Дорогие друзья, любезные коллеги!

40 ОИЯИ

События в истории Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) в Пржемысльской Горе, Словакия имеют долгую историю, в 1950 году по инициативе Советского Союза был создан Центр Института, объединивший усилия ученых ряда стран в проведении фундаментальных ядерно-физических исследований.

За эти годы Институт претерпел все изменения известных научных центров в ходе фундаментальных исследований в области ядерной физики и прикладных разработок в университетском образовании.

Идея ОИЯИ является по существу, единственным эффективным способом международного сотрудничества **Слово благодарности**

Приветствия и поздравительные адреса

На своем сайте публикует приветственные послания, которые ежегодно отправляются от имени ученых и сотрудников Института, зарегистрированных в СССР, посвященные на деле ОИЯИ.

Дорогие друзья будут счастливы видеть в числе Приветствий ученых, которые являются членами Академии Наук Республики Беларусь, а также академиками Ученых — И.И.Ткачевичем, И.И.Белюшиным, А.И.Векслером, Б.М.Понделером, И.Ф.Луквичем, И.М.Френком и др.

Публикация приветствий является известным в мире традиционным и популярным мероприятием, которое способствует установлению дружеских отношений между учеными разных стран, способствует международному сотрудничеству и развитию науки.

Таким образом роль Института с одной стороны является важным фактором в развитии Словакии, а с другой — эффективной реализации научных усилий в широкой международной кооперации. За этой оценкой стоит стремление Института выступать инициатором научных контактов со странами в рамках всего СНГ, создать единое интеллектуальное, научно-исследовательское пространство.

Наша задача — продолжать укреплять научные связи Азербайджана с другими странами ОИЯИ. Наше сотрудничество с ОИЯИ имеет долгую историю успеха и достижения. Азербайджанские ученые совместно с учеными других стран участвуют в научной деятельности и выполняют важные работы ОИЯИ. Сотрудничество с ОИЯИ позволяет нашим ученым участвовать в



Дорогие друзья, глубокоуважаемые дубненцы!

Сегодня в истории Объединенного института ядерных исследований знаменательный день. Сорок лет тому назад, в 1956 году, по инициативе Советского Союза был создан ваш Институт, объединивший усилия ученых ряда стран в проведении фундаментальных ядерно-физических исследований.

За эти годы Институт превратился во всемирно известный научный центр, в котором фундаментальные исследования весьма удачно интегрированы с прикладными разработками и университетским образованием.

Ныне ОИЯИ является, по существу, единственным эффективно работающим международным центром стран Восточной Европы, Азии и Латинской Америки.

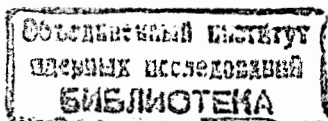
На счету славных дубненских физиков много первоклассных достижений. Достаточно отметить, что около половины мировых открытий в области ядерной физики, зарегистрированных в СССР, приходится на долю ОИЯИ.

Дубна всегда будет синонимом высшего рейтинга в науке. Предметом всеобщей гордости являются школы, основанные великими учеными — Н.Н.Боголюбовым, Д.И.Блохинцевым, В.И.Векслером, Б.М.Понтекорво, Г.Н.Флеровым, И.М.Франком и др.

Объединенный институт обладает известным в мире уникальным и первоклассным экспериментальным оборудованием, мощными и быстродействующими вычислительными средствами, интегрированными в мировые компьютерные сети.

Трудно переоценить роль Института в сохранении научных кадров бывшего Советского Союза, в организации эффективной реализации научных программ посредством широкой международной кооперации. Высокой оценки достойно стремление Института восстановить нарушенные научные контакты со странами и прежде всего с СНГ, создать единое интеллектуальное, научно-техническое пространство.

Нам особенно приятно отметить участие ученых Азербайджана в программах ОИЯИ. Наше сотрудничество с ОИЯИ имеет немалую историю успехов и достижений. Азербайджанские ученые совместно с учеными других стран участвуют в качестве соисполнителей в наиболее важных работах ОИЯИ. Сотрудничество с ОИЯИ позволило нашим ученым участвовать в



выполнении одного из главных научных проектов, разрабатываемых в крупнейшем Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН).

Позвольте в связи со знаменательным событием, 40-летием ОИЯИ, от имени всех ученых Академии наук Азербайджана и от своего имени, от души и искренне поздравить легендарный коллектив ученых «вечного» ОИЯИ, пожелать крепкого здоровья и новых успехов.

Искренне,

Э.САЛАЕВ
президент
Академии наук Азербайджана

РЕСПУБЛИКА АРМЕНИЯ

**Многоуважаемые члены Комитета Полномочных Представителей
и члены дирекции,
многоуважаемые сотрудники и гости
Объединенного института ядерных исследований!**

От имени правительства Республики Армении поздравляю вас со славным юбилеем ОИЯИ и от всего сердца желаю коллективу Объединенного института ядерных исследований новых научных успехов, дальнейшего расширения международных научно-технических связей, усиления интегрирования фундаментальных исследований с прикладными разработками и университетским образованием.

Ученые Армении связаны с учеными ОИЯИ давними и теплыми узами дружбы и опытом совместных научных исследований. Почти сразу после запуска ереванского электронного синхротрона на энергию 6 ГэВ в 1967 году ученые ОИЯИ приняли активное участие в осуществлении прецизионных исследований электромагнитной структуры протона и дейтрона. Совместными усилиями Ереванского госуниверситета, ЕрФИ и ОИЯИ была создана низкофоновая лаборатория в Аванском солеруднике близ Еревана, где впоследствии были получены данные по редким распадам ядер.

Неоценимая помощь со стороны ученых и специалистов ОИЯИ была оказана при создании самого крупного в Закавказье вычислительно-измерительного центра.

Этот перечень совместных усилий можно продолжить, но достаточно будет сказать, что ОИЯИ сыграл важную роль в становлении и развитии ядерной физики и прикладных аспектов этой науки в Армении, так же как и в подготовке отвечающих современным требованиям высококвалифицированных научных кадров.

В настоящее время, когда научно-технический прогресс должен стать одним из главных условий хозяйственной эффективности и конкурентоспособности, связи специалистов Армении и специалистов ОИЯИ приобретают новый смысл и дополнительное содержание; степень развития науки во многом определяет эффективность экономической деятельности, обороноспособность и защищенность общества по отношению к неблагоприятным природным и антропогенным факторам, уровень духовной и политической культуры в стране.

Армения — страна-участница ОИЯИ с 1992 года; в счет своего долевого взноса она, в частности, поставляет СВЧ-оборудование для проекта ИРЕН. Многие ученые Армении, активно работающие в настоящее время в республике, в период своего становления испытали на себе благотворное влияние всемирно известных научных школ ОИЯИ, основанных Н.Н.Боголюбовым, В.И.Векслером, Б.М.Понтекорво, Г.Н.Флеровым, И.М.Франком. Не один десяток молодых специалистов из Армении повышают в настоящее время свою квалификацию в ОИЯИ. Ученые Армении гордятся тесными связями с учеными Объединенного института, ставшие синонимом высшего рейтинга в науке.

Еще раз от души желаю всему коллективу ОИЯИ больших научных успехов, целеустремленности и преданности науке, оптимизма в наше непростое время, крепкого здоровья и счастья.

**Министр науки и образования
Республики Армении
В.ГНУНИ**

РЕСПУБЛИКА БЕЛОРУССИЯ

**Коллективу
Объединенного института ядерных исследований**

Позвольте мне от имени правительства Республики Беларусь поздравить вас со славным юбилеем — сорокалетием со дня основания Института.

Объединенный институт ядерных исследований создавался в тяжелые годы послевоенной разрухи трудом и талантом ученых многих стран из разных уголков нашей планеты. Это стремление к возрождению, к познанию основ мироздания слилось в единый поток научной мысли, блестящих идей, планов, надежд. И бриллиант засверкал. Уже почти полвека — а это не малый срок — мы знаем ваш Институт как источник смелых проектов и гениальных открытий. Сегодня немислимо представить теорию поля, физику частиц и высоких энергий, ядерную физику лишенными вклада ОИЯИ. Невозможно перечислить даже небольшую долю имен, открытых здесь миру, — лауреатов Нобелевской премии, Государственной премии СССР, премий союзных республик.

Деятельность лабораторий Института — хорошо продуманная и организованная — развивается широким фронтом. Немислимо «закрыть» одно из направлений, не нанося при этом удар и по многим другим наукам.

Существование ряда научных отраслей в Республике Беларусь было бы невозможным без тесного взаимодействия и сотрудничества белорусских ученых с ОИЯИ. Причиной тому — и уникальная экспериментальная база, и доступ к свежей информации, и, что, наверное, самое ценное, — возможность плодотворного общения с учеными вашего Института. В этом плане нельзя не отметить исследования по радиозоологии и медицине: без них не разрешить нашу общую проблему — трагедию Чернобыля.

ОИЯИ по праву можно назвать кузницей кадров. Ваши научные школы воспитали многих выдающихся ученых и специалистов. Здесь царит атмосфера созидания, творчества. Не одно поколение физиков нашей республики выросло и возмужало в стенах лабораторий ОИЯИ. И сегодня они — самостоятельно мыслящие и навсегда преданные идеям и духу «*alma mater*» — энтузиасты и творцы науки.

Объединенный институт вступил в пору зрелости. Он уже опытен, чтобы «отделить зерна от плевел», чтобы выстоять перед любыми трудностями, которые несет с собой время, но при этом он всегда молод и юн,

всегда дышит жадой свершений, неустанно творит, придумывает, пробует.

Желаем вашему коллективу смелого полета творческой мысли, исполнения всех замыслов, сохранения присущего ему потенциала и энергии в работе, рождения оригинальных идей и замечательных результатов!

**Министр образования и науки
Республики Беларусь
профессор В.И.СТРАЖЕВ**

РЕСПУБЛИКА БОЛГАРИЯ

**К участникам юбилейного собрания
по случаю 40-летия образования
Объединенного института
ядерных исследований**

Празднование сорокалетнего юбилея Объединенного института ядерных исследований является подходящим поводом выразить свои чувства уважения и симпатии к одному из больших мировых центров физических наук.

На протяжении четырех десятилетий Объединенный институт в Дубне занимает передовое место в исследованиях на широком научном фронте — от физики ядра, элементарных частиц, реакторов и ускорителей до проблем экологии. Ведущее место Объединенного института ядерных исследований предопределено целым рядом известных в мире русских ученых — строителей и руководителей Института: как уже ушедших от нас Николая Николаевича Боголюбова, Дмитрия Ивановича Блохинцева, Ильи Михайловича Франка, Георгия Николаевича Флерова, так и их достойных преемников.

Дубна, наряду со своими научными достижениями, имеет и славу города с особым климатом. Она является местом сосредоточения высокоинтеллектуальных, свободомыслящих людей, которым при любых обстоятельствах удавалось выразить и отстаивать свою гуманную гражданскую позицию.

Республика Болгария, как страна-соучредитель Объединенного института, имеет сегодня повод отметить свое плодотворное участие в его работе. В лабораториях Дубны работали и получили квалификацию десятки болгарских ученых. Сегодня они — стержень болгарской ядерной физики. В нынешние трудные для наших стран времена работа Объединенного института ядерных исследований пользуется полной поддержкой научной общественности и органов государственной власти Республики Болгарии.

От всего сердца желаю самого наилучшего — успеха в работе, мира и благополучия многонациональному коллективу Института. С оптимиз-

мом смотрю в ваше будущее, когда Объединенный институт ядерных исследований в Дубне встретит, уже в новом — XXI веке, свой полувекковой юбилей.

Желю ЖЕЛЕВ,
Президент
Республики Болгарии

СОЦИАЛИСТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА ВЬЕТНАМ —————

**Директору Объединенного института ядерных исследований
члену-корреспонденту РАН профессору В.Г.Кадышевскому**

Глубокоуважаемый Владимир Георгиевич!

Вьетнамские ученые сердечно поздравляют дирекцию, ученых и весь коллектив Объединенного института ядерных исследований по случаю знаменательного юбилея — 40-летия образования Института.

Высоко ценим выдающуюся роль ОИЯИ в развитии физики во Вьетнаме и выражаем всему коллективу Института глубокую благодарность за ценную помощь.

Желаем Институту дальнейшего развития и новых научных достижений во имя мира, прогресса и счастья народов на Земле.

Президент НЦНТ Вьетнама
академик
НГУЕН Ван Хьеу

*Дирекции Объединенного института ядерных исследований
Полномочным представителям стран-участниц*

Рад представившейся возможности приветствовать и поздравить многонациональный коллектив Объединенного института ядерных исследований в связи с 40-летним юбилеем.

Идея коллективного участия в фундаментальных исследованиях не только самоценна. Это еще одна возможность гармонического сотрудничества представителей разных народов и научных школ в едином процессе развития мировой цивилизации.

Ваш Институт являет собой показательный пример как в деле развития науки, так и в воспитании новых поколений ученых мирового класса. И отраднo, что среди них есть и полпреды грузинской науки; что Грузия, несмотря на сложное положение, является полномочной страной-участницей Объединенного института ядерных исследований и успешно развивает свой потенциал в этой ключевой области знаний.

Уверен, что Институт ваш всегда будет в числе флагманов мировой научной мысли.

**Президент Грузии
Э.ШЕВАРДНАДЗЕ**

Уважаемые коллеги!

Казахстанские физики сердечно поздравляют вас с юбилеем, 40-летием со дня организации Объединенного института ядерных исследований.

Создание вашего Института относится к периоду, когда начиналось практическое использование атомной энергии в мирных целях. Темпы развития ядерной физики потребовали введения новых форм сотрудничества. Только объединение усилий нескольких стран могло позволить сконцентрировать творческие силы ученых, а также материальные и технические средства.

Становление и развитие Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) связано с именами выдающихся ученых: А.М.Балдина, Н.Н.Боголюбова, В.И.Векслера, Б.М.Понтекорво, Д.И.Блохинцева, Н.Н.Говоруна, В.П.Джелепова, Г.Н.Флерова, М.Г.Мецержакова, Д.В.Ширкова и других.

В марте 1992 года на совещании Комитета Полномочных Представителей правительств государств — членов ОИЯИ Республика Казахстан была принята в состав этой международной организации. Решение правительства Республики Казахстан о вхождении в эту организацию было связано с огромным международным авторитетом ОИЯИ и той большой помощью в развитии современной науки, которую он оказывает Республике Казахстан.

Сотрудничество казахстанских физиков с учеными ОИЯИ началось практически с момента его открытия. Проведение совместных экспериментов, участие в работе различных конференций и совещаний в значительной степени способствовали развитию в Казахстане ядерной и теоретической физики, физики высоких энергий и элементарных частиц, физики твердого тела, радиационно-биологических исследований, математического моделирования.

Неоценима роль ОИЯИ в подготовке научных кадров для Казахстана. Только за последние годы защищено 3 докторских и более 30 кандидатских диссертаций с использованием экспериментальных данных, полученных в сотрудничестве с ОИЯИ. Многие ученые Казахстана являются соавторами научных публикаций, получивших международное признание и отмеченных премиями. Сотрудничество ученых ОИЯИ и Казахстана продолжает развиваться. Только в истекшем году казахстанские физики принимали участие в исследованиях по 15 из 26 тем первого приоритета и по 8 темам

второго приоритета плана научно-исследовательских работ Института. В настоящее время в ОИЯИ стажируются, участвуют в международных научных проектах около 50 сотрудников из различных учреждений Казахстана, 15 сотрудников заключили долгосрочные контракты с ОИЯИ.

Отмечая славный юбилей ОИЯИ, ученые Казахстана от души поздравляют своих коллег, желают им крепкого здоровья, творческих успехов и выражают уверенность в дальнейшем укреплении и развитии наших творческих связей.

**Министр-президент
В.С.ШКОЛЬНИК**

**Полномочный Представитель
правительства
Республики Казахстан в ОИЯИ
В.Н.ОКОЛОВИЧ**

КОРЕЙСКАЯ НАРОДНО-ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА —

**Глубокоуважаемый Владимир Георгиевич!
Глубокоуважаемые сотрудники ОИЯИ!
Глубокоуважаемые участники!**

Со дня основания Объединенного института ядерных исследований прошло 40 лет. С этим юбилеем от имени нашей делегации и Полномочного Представителя КНДР в ОИЯИ президента Главного управления по атомной энергии профессора Ли Зай Сена горячо поздравляю директора Института Владимира Георгиевича, всех сотрудников и участников этого торжественного заседания.

За прошедшие 40 лет ОИЯИ прекрасно выполнял свою миссию и вырос в мировой научный центр, где в широком масштабе ведутся фундаментальные и прикладные исследования в области современной ядерной физики. В ОИЯИ сооружены различные ускорители, нейтронный импульсный атомный реактор и другие современные установки для научных экспериментов, которые эффективно работают.

За это время Институт открыл новые элементы и микрочастицы и объяснил закономерности движения микромира, тем самым внес большой вклад в развитие мировой науки и техники. Достигнуты большие успехи и в исследованиях по физике высоких энергий, физике конденсированных сред, нейтронной и квантовой физике. В ОИЯИ работали широко известные в мире ученые, в том числе Н.Н.Боголюбов, И.М.Франк, Г.Н.Флеров и др.

40 лет ОИЯИ — это плодотворный путь, на протяжении которого достигнуты научные успехи, ярко проявились дружба, сотрудничество, соседний ум и усилия ученых из разных стран. Наша страна как одна из стран-инициаторов создания ОИЯИ с первого же дня учреждения внесла вклад в укрепление и научно-техническое развитие Института и активно участвовала в его научной деятельности. В течение 40 лет несколько сотен ученых нашей страны получили здесь большой опыт. Сегодня они играют главную роль в научно-исследовательских и образовательных учреждениях нашей страны.

Я горжусь тем, что наша страна как инициатор создания ОИЯИ с первых дней участвует в совместной научной работе. Сегодня Институт превратился в мировой центр научных исследований, что является результатом энергичных усилий всех стран-участниц, самоотверженно работающих для

развития ОИЯИ. И то, что ОИЯИ развивается, вопреки сложной обстановке и всяким препятствиям, твердо удерживая свои позиции как признанный в мире научный центр, связано с энергичной деятельностью сотрудников из разных стран под руководством дирекции Института.

Я от всего сердца хочу пожелать наилучших успехов в выполнении плана научных программ ОИЯИ на 1996—1998 годы и твердо уверен в том, что Институт еще более укрепится и будет развиваться. Я хотел бы еще раз поздравить всех сотрудников ОИЯИ. Желаю вам крепкого здоровья, исполнения желаний, счастья и успехов. Спасибо!*

КИМ Хи Мун,
заместитель генерального директора
Главного департамента
по атомной энергии КНДР

РЕСПУБЛИКА КУБА

**Уважаемые полномочные представители и представители стран,
присутствующие здесь!**

Дорогие ученые ОИЯИ, дамы и господа!

Сегодня мы с большим удовлетворением отмечаем 40-летие ОИЯИ. В этот день нельзя не сказать о вкладе Института в мировую науку и в изучение структуры модели элементарных взаимодействий. 40 лет ОИЯИ тесно связан с историей современной науки. Одного только научного наследия, оставленного его создателями Д.И.Блохинцевым, И.М.Франком, Г.Н.Флеровым, Б.М.Понтекорво и многими другими, достаточно для того, чтобы оценить, насколько велик вклад Института в мировую науку. Не менее важными для мировой науки являются конкретные открытия, сделанные в Институте в области сверхтяжелых элементов, элементарных частиц и теоретической физики, а также вклад в развитие технологии научных исследований, в частности, это относится к исследовательским и ядерным реакторам, ускорителям и детекторам элементарных частиц.

Все эти годы ОИЯИ является выдающимся центром сотрудничества ученых разных стран и центром воспитания молодых ученых, служит прекрасным примером практического объединения ресурсов, воли и труда для достижения важных научных результатов во имя благополучия человечества.

После трудных лет, когда ОИЯИ, несмотря на влияние перемен, происходящих в его странах-участницах, продолжал свою деятельность, наступил период восстановления и консолидации Института как центра мировой науки. Необходимо отметить большую роль в этом процессе дирекции Института и поддержку стран-участниц.

В 70-х годах Куба стала членом ОИЯИ. Это было для нашей страны большой честью, и хотя в то время у нас делались только первые шаги в развитии ядерной науки, коллектив кубинских сотрудников довольно быстро вырос и окреп. Несколько десятков кубинских ученых и молодых исследователей принимали участие в сотрудничестве, вершиной которого стали 80-е годы. Членство в ОИЯИ было большой поддержкой для нашей страны. Многие из тех, кто работал в Дубне, занимают сейчас высокие посты в научных организациях на Кубе. Мы гордимся тем, что наши ученые внесли скромный вклад в научную деятельность ОИЯИ.

*Стенограмма выступления.

К сожалению, события последних лет, происходящие в мире, имели для Кубы серьезные последствия. Это время можно назвать одним из самых трудных периодов в истории экономической жизни Кубы. Мы не могли сохранить ту степень сотрудничества, которая была бы желательной и необходимой для нашей страны. Упомянутые трудности не позволили нам выполнить наши обязательства перед ОИЯИ, хотя до этого момента мы всегда их безоговорочно выполняли. Наш интерес к ОИЯИ не уменьшился. Напротив, мы заинтересованы в продолжении сотрудничества и ищем формы и пути для достижения этой цели. К счастью, мы постепенно преодолеваем трудности и уже делаем решительные шаги в сложных внешних условиях. В связи с этим я хотел бы отметить большое внимание и поддержку, которые мы получаем в ОИЯИ, в частности, от директора Института профессора В.Г.Кадышевского.

Мы уверены в том, что сообща сможем найти взаимовыгодное решение всех проблем. Несмотря на тяжелую экономическую ситуацию, наше государство поддерживает развитие науки, и по мере того, как будут улучшаться условия, наше сотрудничество будет расширяться и наш вклад в работу ОИЯИ увеличиваться. Я хотел бы поздравить всех присутствующих с 40-летием нашего Института и пожелать успехов в будущем.*

Доктор Хосе БЛАНКО,
заместитель председателя
Агентства по ядерной энергии
Республики Куба

*Стенограмма выступления.

РЕСПУБЛИКА МОЛДОВА

Глубокоуважаемый Владимир Георгиевич!

Правительство Республики Молдова шлет Вам и руководимому Вами коллективу сердечные поздравления и наилучшие пожелания по случаю 40-й годовщины со дня образования Объединенного института ядерных исследований.

Объединенному институту ядерных исследований удалось органично объединить фундаментальные физические исследования с созданием и совершенствованием новейших технологий и с развитием университетского образования в соответствующих областях знаний.

Являясь международным научным центром, Институт играет важную роль как координатор исследований ученых 18 стран — членов этой организации и способствует широкой научной кооперации и интеграции с ведущими физическими центрами мира.

В Республике Молдова развитие науки в области теории ядра, элементарных частиц, статистической физики и высокотемпературной сверхпроводимости во многом обязано помощи и поддержке Вашего Института.

Десятки студентов Молдавского государственного университета закончили свое образование в Учебно-научном центре Института. Стажировка и аспирантская подготовка молодых специалистов привели к созданию в составе Академии наук Молдовы научного коллектива, тесно сотрудничающего с учеными Объединенного института ядерных исследований.

Такие выдающиеся ученые современности, как Н.Н.Боголюбов, Б.М.Понтекорво, Г.Н.Флеров, И.М.Франк, Д.И.Блохинцев и многие другие, работавшие в Институте, оказали огромное влияние на развитие физической науки в нашей республике.

Желаем новых выдающихся научных результатов коллективу Объединенного института ядерных исследований, дальнейшего единения ученых стран — членов Института, достижения ими весомых успехов в решении актуальных проблем современности.

Андрей САНГЕЛИ,
премьер-министр
Республики Молдова

Объединенному институту ядерных исследований

От имени правительства Монголии и от себя лично поздравляю вас с 40-летним юбилеем образования Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ).

Монголия как одна из первых стран-учредителей ОИЯИ высоко оценивает и поддерживает деятельность Института, направленную на использование ядерной энергии в мирных целях на благо человечества, на развитие исследований в области физики элементарных частиц, ядерной физики и конденсированных сред.

За прошедшие 40 лет в сотрудничестве с учеными из других стран наши физики проводили исследования в различных областях ядерной физики и добились значительных результатов. Несколько десятков наших научных сотрудников работали в ОИЯИ и стали специалистами в области теоретической и экспериментальной ядерной физики, ядерной электроники, вычислительной техники, программирования и прикладной математики. Из них 10 научных сотрудников защитили в ОИЯИ степень доктора наук, а 40 — степень кандидата наук. Также некоторые научные сотрудники удостоились премий ОИЯИ.

При поддержке ОИЯИ в 1961 году созданы Лаборатория физики высокой энергии в Физико-техническом институте Академии наук, в Монгольском государственном университете в 1962 году Лаборатория ядерных исследований, в 1992 году Лаборатория микротрона.

Сотрудничество с ОИЯИ играет важную роль в подготовке квалифицированных специалистов в нашей стране по ядерной физике, электронике, программированию, во внедрении ядерной технологии и использовании радиоактивных изотопов в сельском хозяйстве, медицине, геологии и охране окружающей среды.

Мы уверены, что коллектив ОИЯИ приумножит свои успехи и достигнет еще больших результатов.

**Премьер-министр Монголии
П.ЖАСРАЙ**

**Профессору В.Г.Кадышевскому,
директору Объединенного института
ядерных исследований в Дубне**

Уважаемый господин директор!

По случаю юбилея — 40-летия со дня образования Объединенного института ядерных исследований разрешите мне передать в Ваш адрес наилучшие поздравления и слова высокого признания всему международному коллективу ученых, специалистам из различных областей науки и техники, работающим в Институте и сотрудничающим с ним, которые внесли и вносят существенный вклад в развитие мировой науки.

Созданный 40 лет тому назад международный научно-исследовательский центр в Дубне, благодаря творческому потенциалу научных работников и уникальной научно-технической инфраструктуре, на протяжении долгих лет обеспечивал ученым из разных стран условия для проведения исследований на мировом уровне. Объединенный институт прочно вписался в историю развития науки, стал школой для двух поколений высококвалифицированных научных кадров, которые успешно ведут работу в области физики и ядерной техники в исследовательских институтах своих стран, а также в других зарубежных и международных научных центрах. Объединенный институт ядерных исследований в Дубне являлся и является школой повседневного практического взаимодействия и общения представителей разных национальностей, разных культурных традиций и убеждений.

Обращаясь с поздравлениями по случаю юбилея к руководству и всему нынешнему коллективу сотрудников ОИЯИ, позвольте мне также высказать слова глубокого уважения и признания ученым, которые принимали участие в его создании, а затем — на протяжении четырех десятилетий — своей деятельностью способствовали развитию Института и его научным успехам. Сегодняшний 40-летний юбилей ОИЯИ подтверждает, что их энтузиазм, нелегкий труд и настойчивость во внедрении в жизнь самых лучших идей международного сотрудничества ученых не пропали даром; они сумели передать ученикам и преемникам свое понимание того, что для людей науки всегда более существенно то, что их объединяет, чем то, что может их разединить.

С начала 90-х годов в большинстве стран — членов ОИЯИ проходят глубокие политические, общественные и экономические перемены. Нынешнее руководство Объединенного института ядерных исследований и связанные с Дубной ученые нашли в себе достаточно воли, решимости и аргументов для того, чтобы, включаясь в ход этих перемен, взяться за дело глубокой структурной реорганизации Института, соответствующей ожиданиям правительств и научной общественности стран-участниц.

По случаю юбилея нашего общего Института передаю его руководству, а также всем работающим в Дубне и в странах-участницах ученым и специалистам, профессионально связанным с ОИЯИ, самые сердечные поздравления и наилучшие пожелания дальнейших научных успехов и удовлетворения вашими достижениями.

**Президент
Республики Польша
Александр КВАСЬНЕВСКИ**

**Коллективу Объединенного института ядерных исследований —
международной межправительственной научной организации**

Дорогие друзья!

Сердечно поздравляю интернациональный коллектив Объединенного института ядерных исследований с 40-летним юбилеем!

Россия может гордиться тем, что в 1956 году на ее территории был основан один из самых авторитетных в мире центров физической науки. У истоков его создания стояли выдающиеся деятели науки — Д.И.Блохинцев, Н.Н.Боголюбов, В.И.Векслер, М.Г.Мещеряков, Б.М.Понтекорво, Г.Н.Флеров, И.М.Франк. Совместными усилиями ученых разных стран в Институте выполнены первоклассные научные исследования, обогатившие мировую науку выдающимися открытиями в области изучения строения материи. Уникальные физические установки позволяют и сегодня проводить в жизнь перспективные научные проекты. Ваш Институт известен мировой научной общественности большим вкладом в развитие международного научно-технического сотрудничества и, в конечном счете, в дело сближения народов.

Большое значение придаю тому, что результаты фундаментальных исследований вы успешно используете для создания и развития высоких технологий, внедрения и реализации прикладных разработок. Особого уважения заслуживает опыт соединения фундаментальной науки и образования Учебно-научного центра, который является сейчас структурным подразделением Международного университета «Дубна». Ведущие ученые и специалисты Института активно развивают современные формы подготовки научных кадров высшей квалификации.

Российское государство, оценивая огромный вклад Дубны в мировую науку, и впредь будет оказывать всемерное содействие развитию Объединенного института ядерных исследований.

От всей души желаю вам новых успехов, интересных открытий и творческих свершений на благо науки!

**Президент
Российской Федерации
Б.ЕЛЬЦИН**

Дорогие братья и сестры — участники настоящего торжества!

Благодарение Богу, что вот уже сорок лет работники Объединенного института ядерных исследований успешно трудятся ради изучения природных явлений и изменения к лучшему условий жизни человеческого рода. Сказав прародителям: «наполняйте землю и обладайте ею» (Быт. 1, 28), Господь вверил попечительству человека полноту окружающей его природы, которую мы призваны познать и преобразовать своим трудом. Это призвание налагает на нас великую ответственность, ибо мы должны быть благоговейными со-работниками Всеблагото Творца.

В вашей сфере деятельности чувство такой ответственности должно быть особенно острым, ведь ядерная энергия, даже когда она используется в мирных целях, может нести в себе безмерную опасность. Вот почему нравственное сознание ученого, трудящегося в данной области, должно всегда стоять на страже жизни и здоровья человека, стремиться к расширению использования ядерной энергии не на разрушение, но на созидание.

Весьма отрадно, что Объединенный институт ядерных исследований продолжает свои богатые традиции международного сотрудничества, ибо через совместные труды, помимо чисто практического взаимодействия, ученые могут внести совершенно особый вклад в развитие мира и доверия между народами, о чем свидетельствует многолетний опыт.

Сердечно приветствую трудящихся в Институте российских ученых — людей, приложивших неоценимые усилия к развитию нашей науки, к защите отчизны от опасностей, к созиданию благосостояния российского народа. Сегодня отечественная наука переживает нелегкие времена. Думается, что и государство наше, и все общество могли бы делать больше для поддержания на традиционно высоком уровне научного потенциала Родины, а равно и для того, чтобы труженики науки всегда имели достойные условия жизни. Прошу вас, дорогие братья и сестры, с мужеством воспринимать трудности, которые, убежден, не продлятся долго. Ибо, «если, делая добро и страдая, терпите, это угодно Богу» (1 Пет. 2, 20).

Господь да дарует труженикам Института и всем участникам настоящих торжеств мир и благополучие, да пребудет с вами во всяком добром деле.

**Патриарх Московский
и всея Руси
АЛЕКСИЙ II**

Коллективу
Объединенного института ядерных исследований

**Уважаемые сотрудники
Объединенного института ядерных исследований,
ветераны-дубненцы,
члены Ученого совета Института,
полномочные представители правительств стран-участниц ОИЯИ!**

Сердечно поздравляю вас со славным и замечательным юбилеем — 40-летием деятельности уникального международного научного центра, каким является ОИЯИ. Сегодня ОИЯИ — это достояние всей современной науки. Вклад, который внес ваш Институт в ее развитие, может быть определен одним единственным гордым и емким словом — выдающийся. Он ясен и неоспорим.

Немало известных физиков, работавших в Дубне, возглавляют сейчас многие научные центры в разных странах, национальные академии наук. Имена великих ученых — создателей ОИЯИ, руководителей его авторитетнейших научных школ навечно вписаны в историю науки.

Сегодня в России появляется существенно больше возможностей для поддержки фундаментальной науки как в экономическом, так и в финансовом плане. Правительство России будет эту работу целенаправленно проводить, и ваш Институт обязательно будет среди тех центров, которые мы будем поддерживать в первую очередь. Очень важно, что все достижения Объединенного института являются блестящим результатом тесной научной кооперации. Этот бесценный опыт необходимо использовать во всех областях сотрудничества с другими странами.

Прочные узы связывают ОИЯИ с ЦЕРН — Европейской организацией ядерных исследований, которая недавно тоже отметила свое 40-летие. Оба центра чрезвычайно интенсивно и плодотворно сотрудничают между собой с самого начала своего существования. Последний убедительный пример этому — участие Объединенного института в перспективной и многообещающей программе по реализации проекта гигантского ускорителя нового поколения, создаваемого в ЦЕРН.

Помимо замечательных научных открытий и разработок, исключительной заслугой ОИЯИ и ЦЕРН является то, что всей своей деятельностью, начавшейся в первое послевоенное десятилетие, они способствовали делу сближения народов, объединению усилий ученых десятков стран на поприще «мирного атома».

Мне представляется, что было бы весьма справедливо, если бы обе международные научные организации — ОИЯИ и ЦЕРН — были выдвинуты на соискание Нобелевской премии мира 1997 года. Как глава правительства

России, являющейся страной-участницей ОИЯИ и страной-наблюдателем в ЦЕРН, я готов поддержать такую инициативу.

В октябре я заверил руководство Института, что правительство России будет оказывать всемерную поддержку Объединенному институту. Как вам известно, все намеченное в качестве первоочередных поручений в адрес правительства России в основном выполнено. Я получил письмо членов вашего Ученого совета, где высоко оценивается Соглашение ОИЯИ с Россией, подписанное в октябре.

Этим соглашением устанавливаются и гарантируются правовой статус, привилегии и иммунитеты Объединенного института с учетом его международного характера. Понимаю, что сейчас очень важно ускорить процесс ратификации соглашения. Этот вопрос находится под моим личным контролем.

Нам есть над чем поработать, соединив наши усилия. Развитие экспериментальной базы Института, реализация крупных конверсионных проектов, привлечение инвестиций в фундаментальную науку и НИОКР, помощь университету в г. Дубне — все это благотворное поле для партнерства между ОИЯИ и правительством России.

Древние философы говорили, что в 40 лет начинается «акме» — пора расцвета всех творческих сил, когда разум и знания превращаются в мудрость, а упорный труд становится служением истине.

Уверен, что это с полным правом можно отнести к вашему центру.

Шлю всему коллективу Объединенного института ядерных исследований самые искренние пожелания здоровья, счастья, уверенности в будущем и новых научных свершений!

**Председатель правительства
Российской Федерации
В. ЧЕРНОМЫРДИН**

Глубокоуважаемый Владимир Георгиевич!

Президиум Российской академии наук сердечно поздравляет многотысячный коллектив Объединенного института ядерных исследований с 40-летней годовщиной образования Института.

За эти годы учеными Института были выполнены первоклассные теоретические и экспериментальные исследования, позволившие значительно обогатить фундаментальную ядерную науку новыми основополагающими результатами.

Коллектив вашего уникального центра возник как объединение представителей лучших школ в области ядерной физики, так бурно развивавшейся в предшествующие годы в нашей стране, в особенности в академических институтах. Большинство основателей лабораторий ОИЯИ были или основателями, или питомцами научных школ Академии наук. В день вашего славного юбилея нам особенно приятно это вспомнить.

Важная особенность Института — многоплановый характер научного поиска. Широкий фронт проводимых в Институте исследований открыл большие возможности для взаимного проникновения смежных разделов науки, дал импульс развитию новых научных направлений.

Школе теоретиков Дубны принадлежит заслуга в формировании сегодняшних представлений о структуре элементарных частиц и атомного ядра, в создании основ современной статистической механики, аксиоматической квантовой теории поля и других. Выполненные здесь теоретические работы привели к математическому обоснованию таких важных явлений, как сверхтекучесть и сверхпроводимость.

Зародившиеся в Дубне релятивистская ядерная физика, «холодный» синтез трансурановых элементов, мезонная химия, физика ультрахолодных нейтронов, ядерная физика на импульсных потоках нейтронов и другие направления, а также фундаментальные работы теоретиков стимулировали исследования во многих научных центрах мира, подняли ядерную науку на новый качественный уровень. Исследования нового состояния материи — кварк-глюонной плазмы позволили установить границу применимости протон-нейтронной модели ядра, привели к необходимости создания теории, учитывающей кварковые степени свободы в ядрах.

Работы в области физики слабых взаимодействий привели к обоснованию существования двух типов нейтрино — электронного и мюонного. В Дубне синтезированы элементы таблицы Менделеева от 102 до 110, открыты новые распады ядер, заложены основы современных методов исследования с помощью нейтронов конденсированного состояния вещества, в том числе и биологических объектов.

Залогом научных успехов ученых Института является широкое международное сотрудничество и мощная собственная экспериментальная база

ОИЯИ. Качественное обновление за последние годы экспериментального арсенала создало необходимые условия для развертывания актуальных программ исследований с использованием уникальных пучков ядер синхрофазотрона, высокопоточных импульсных пучков нейтронов реактора ИБР-2, интенсивных пучков тяжелых ионов циклотрона У-400, протонных и мезонных пучков фазотрона. Исследования на этих установках, а также на синхротроне ИФВЭ (Протвино) и других крупнейших ускорителях мира Институт проводит в тесном сотрудничестве с более чем 400 научными центрами стран-участниц и других стран.

Углубленный поиск в области фундаментальных исследований сочетается в ОИЯИ с практическим применением результатов исследований, созданием в ходе экспериментов новых приборов, технологий, средств автоматизации и телекоммуникации. В Дубне выполнено много интересных и важных разработок, нашедших эффективное использование в таких областях, как ядерная энергетика, геология и экология, материаловедение, медицина и биология, сельское хозяйство и др.

Выполняя свои главные задачи, ОИЯИ в то же время оказал значительное влияние на развитие фундаментальной ядерно-физической науки, подготовку кадров специалистов и повышение научно-технического потенциала всех его стран-участниц. Успехи Института в науке, подготовке высококвалифицированных научных кадров, развитию международного сотрудничества были отмечены высокими правительственными наградами.

Президиум Российской академии наук желает всем сотрудникам Объединенного института ядерных исследований здоровья, счастья и новых творческих свершений.

**Президент
Российской академии наук
академик
Ю.С.ОСИПОВ**

**Директору Объединенного института ядерных исследований
члену-корреспонденту РАН В.Г.Кадышевскому**

**Коллективу Объединенного института
ядерных исследований**

Комитет Государственной Думы Российской Федерации по образованию и науке поздравляет коллектив Объединенного института ядерных исследований с 40-летием Института!

За эти годы учеными вашего Института получены результаты, открывающие новые страницы в понимании фундаментальной структуры материи. Научные и технические разработки, выполненные в ОИЯИ, нашли многочисленные практические применения и стали основой для развития технологической базы во многих сферах хозяйства страны.

Созданный в послевоенные годы для исследований в области «мирного атома», ваш Институт превратился в один из ведущих физических центров в мире, стал гордостью и символом отечественной науки.

Объединенный институт ядерных исследований сыграл выдающуюся роль в развитии фундаментальной науки, являя пример плодотворного международного сотрудничества.

Желаем всем сотрудникам Объединенного института ядерных исследований больших творческих успехов, новых научных побед!

**Председатель Комитета
по образованию и науке
Государственной Думы
Федерального Собрания
Российской Федерации
И.И.МЕЛЬНИКОВ**

**Интернациональному коллективу
Объединенного института ядерных исследований**

Весной 1956 года полномочные представители 11 стран приняли решение о создании в г. Дубне международного исследовательского центра — Объединенного института ядерных исследований. За сорок лет существования Объединенный институт ядерных исследований стал ярким примером интеграции научного и технического интеллекта ученых и инженеров различных стран для изучения важнейших законов физики микромира.

История создания Объединенного института в Дубне тесно связана с именами крупнейших организаторов отечественной науки и техники: И.В.Курчатова, Е.П.Славского, А.В.Топчиева. В его организации принимали участие такие видные ученые и руководители крупнейших коллективов, как А.П.Александров, Д.И.Блохинцев, В.И.Векслер, В.С.Емельянов, Д.В.Ефремов, Е.Г.Комар, М.Г.Мещеряков, К.Н.Мещеряков, А.Л.Миц, Д.В.Скобельцын, И.Е.Тамм. Формирование основных научных направлений Института было связано также с именами выдающихся ученых: Н.Н.Боголюбова, М.А.Маркова, А.А.Логонова, Б.М.Понтекорво, Г.Н.Флерова, И.М.Франка, А.М.Балдина, Н.Н.Говоруна, В.П.Джелеева, Ф.Л.Шапиро, Д.В.Ширкова.

Основу экспериментальной базы Института при его создании составили два самых современных в те годы ускорителя заряженных частиц, безвозмездно переданных Советским Союзом. В дальнейшем экспериментальная база Института пополнилась новыми уникальными исследовательскими установками: импульсными реакторами на быстрых нейтронах ИБР-30 и ИБР-2, ускорителем тяжелых ионов У-400, сверхпроводящим ускорителем ядер — нуклотроном. В разработку, изготовление и монтаж экспериментальных установок ОИЯИ был вложен труд многих проектных организаций, промышленных предприятий и строителей. Особенно важная роль в этом принадлежит коллективу опытно-экспериментального производства Института.

Объединенный институт ядерных исследований с момента его образования занял одно из ведущих мест в мировой науке благодаря выдающимся научным результатам, достигнутым в области теоретической физики, физики элементарных частиц и атомного ядра, физики тяжелых ионов, нейтронной физики, физики конденсированного состояния вещества. Важнейшие результаты получены в области релятивистской ядерной физики, где Институт занимает самые передовые позиции.

В соответствии со своим статусом Объединенный институт ядерных исследований осуществляет самое широкое международное сотрудничество: совместные исследования ведутся более чем с 300 институтами и научными центрами в 54 странах.

Минатом России желает Объединенному институту ядерных исследований новых творческих успехов, дальнейшего укрепления его международного престижа, а всем членам многонационального коллектива — здоровья, счастья, благополучия.

**Министр по атомной энергии
Российской Федерации
В.Н.МИХАЙЛОВ**

**Многоуважаемый господин министр Борис Георгиевич Салтыков!
Уважаемые гости, дамы и господа!**

Мне оказана высокая честь и в то же время особое удовольствие передать со стороны правительства Румынии горячий привет к 40-летию со дня создания Объединенного института ядерных исследований и пожелания дальнейших новых и важных успехов в современных областях физических исследований и ядерных технологий.

Как известно, Румыния является одной из стран, представители которых ровно 40 лет тому назад подписали Соглашение об организации ОИЯИ.

В течение этого периода Румыния активно участвовала и поддерживала Объединенный институт как материально, так и интеллектуальным вкладом многих ученых и сотрудников, приехавших в Дубну на более или менее длительные стажировки. Во время этих поездок решались проблемы тематического плана ОИЯИ, а также проблемы собственных программ в румынских институтах. С другой стороны, наша страна участвовала в создании комплексной аппаратуры в Румынии по контракту с ОИЯИ; теперь эта аппаратура работает в ЛЯР, ЛНФ, ЛВЭ и высоко оценивается. Из основных научных достижений ОИЯИ отмечаю работы в области конденсированных сред, физики элементарных частиц, теоретической физики, синтеза и изучения ядер, полученных в реакциях с тяжелыми ионами, а также важные результаты пуска уникальных устройств: нуклотрона, ускорительного комплекса тяжелых ионов У-400, У-400М, в которых Румыния также участвовала с аппаратурой стоимостью 380 тыс. долларов.

В книге, изданной в ОИЯИ по случаю 40-летия, вы найдете, кроме позитивной оценки сотрудничества между Румынией и ОИЯИ, и приятные воспоминания, и красивые думы румын, которые проживали в Дубне либо участвовали в разных совещаниях. Поэтому я хочу отметить в моем кратком выступлении теплый прием, оказанный им сотрудниками ОИЯИ и жителями города Дубны, прочные дружеские отношения и хочу пожелать дальнейшего развития ОИЯИ и городу Дубне.*

**Профессор С.РЫПЕАНУ,
Полномочный Представитель
правительства Румынии в ОИЯИ**

*Стенограмма выступления.

**Глубокоуважаемые члены Комитета Полномочных Представителей
и члены Ученого совета,
уважаемая дирекция Института и гости,
дамы и господа!**

Я очень рад, что имею честь присутствовать на торжествах, посвященных 40-летию Объединенного института ядерных исследований, который за годы своей плодотворной работы превратился в одну из крупнейших в мире научных организаций и на деле продемонстрировал эффективность международного сотрудничества.

Хотя Словацкая Республика является страной-участницей Объединенного института ядерных исследований с 1 января 1993 года, словацкие специалисты сотрудничали с Институтом с самого его образования. Таким образом, мне отрадно сказать, что первую научную зачатку десятки наших студентов получили именно здесь, в Институте, что более 80 процентов наших специалистов по ядерной физике, физике элементарных частиц и смежных областей получили профессиональную подготовку в лабораториях Объединенного института ядерных исследований. Они участвовали в самых разных и уникальных экспериментах. Некоторые из них стали хорошо известны в научном мире, как, например, поиск монополя Дирака по излучению Вавилова — Черенкова. Здесь была воспитана школа физиков-теоретиков Словакии. Научные сотрудники, вернувшись домой, стали «фундаментом», на котором строились многие научные центры в университетах и институтах Словацкой академии наук. Их научная программа и сейчас тесно связаны с Объединенным институтом.

С другой стороны, многим сотрудникам Объединенного института ядерных исследований запомнились такие очаровательные места в Словакии, как окрестности Смоленце и Стара Лесна в Татрах, где в коллаборации институтов Словацкой академии наук, университетов Словакии и вашего Института регулярно проводятся международные конференции и симпозиумы. Все это заставляет нас в Государственном комитете по науке и технике Словацкой Республики уделять пристальное внимание нашей участию в ОИЯИ как страны-участницы.

Я рад вам сообщить, что в настоящее время ведутся переговоры на межправительственном уровне о строительстве с помощью Объединенного

института ядерных исследований циклотрона Национального центра прикладных исследований в Словацкой Республике. Последнее будет бесспорно ярким доказательством тесного сотрудничества Словакии и Объединенного института ядерных исследований.

В заключение я бы хотел пожелать вашему Институту в Дубне в его сорокалетнем возрасте появления оригинальных мыслей, научных достижений, а всем сотрудникам — крепкого здоровья и успехов в жизни.

Профессор К.ИВАНИЧКА,
заместитель председателя
Госкомитета по стратегии
развития общества,
науки и техники СР

РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН

Директору Объединенного института ядерных исследований
профессору В.Г.Кадышевскому

Глубокоуважаемый Владимир Георгиевич!

От имени научной общественности Узбекистана сердечно поздравляю Вас и в Вашем лице весь коллектив Объединенного института ядерных исследований со славной датой — 40-летием со дня образования Института.

40 лет тому назад на базе Института ядерных проблем, Электрофизической лаборатории АН СССР и научных коллективов ряда восточно-европейских стран, Китая и Кореи был образован ОИЯИ, который за истекший период стал одним из крупнейших международных ядерных центров. В ОИЯИ ведутся научные исследования по самым актуальным проблемам современной ядерной физики, таким как физика высоких энергий и элементарных частиц, нейтронная физика, радиационная физика твердого тела, теоретическая физика, радиохимия и синтез новых трансурановых элементов, информатика и т.д.

Научные открытия интернационального коллектива ОИЯИ по достоинству занимают ведущие позиции в мировой науке.

Мы знаем и ценим ОИЯИ как центр мировой науки и подготовки высококвалифицированных специалистов для стран-участниц. Практически с первых дней создания ОИЯИ ученые из Узбекистана успешно работали и работают в настоящее время в его лабораториях. За прошедшие годы сотни молодых специалистов Узбекистана прошли замечательную школу в лабораториях ОИЯИ; многие из них стали кандидатами, докторами наук, избраны членами-корреспондентами и академиками АН РУ, руководят научными коллективами и плодотворно работают во многих отраслях науки, техники и народного хозяйства Узбекистана.

Ученые Узбекистана успешно сотрудничают с ОИЯИ и совместно с ОИЯИ участвуют в крупных международных программах по современным проблемам ядерной физики.

Академия наук Республики Узбекистан выражает свое искреннее восхищение достижениями Института, поздравляет его сотрудников с замеча-

тельной датой и выражает надежду, что плодотворное научно-техническое сотрудничество между ОИЯИ и Республикой Узбекистан будет продолжаться и развиваться. Желаем всему коллективу ОИЯИ новых научных и трудовых достижений, творческих успехов и крепкого здоровья.

**Президент Академии наук
Республики Узбекистан
Т.Д.ДЖУРАЕВ**

УКРАИНА

ПРАВИТЕЛЬСТВЕННАЯ ТЕЛЕГРАММА

**Объединенный институт ядерных исследований
Директору Кадышевскому**

По случаю 40-летия образования Объединенного института ядерных исследований от имени Государственного комитета Украины по вопросам науки, техники, промышленной политики, научной общественности нашей страны, высоко оценивающей весомый вклад вашей организации в развитие ядерной физики, поздравляю ваш Институт со знаменательной датой. Желаю дальнейших творческих успехов, достижений в проведении научных исследований на благо наших стран.

**Полномочный Представитель
правительства Украины в ОИЯИ
председатель ГКНТП Украины
В.Е.СТОРИЖКО**

Уважаемые полномочные представители,
уважаемая дирекция,
уважаемые члены Ученого совета,
дорогие коллеги, друзья!

Объединенному институту ядерных исследований в Дубне исполняется сегодня 40 лет. В течение четырех десятков лет своего существования Институт прославился рядом фундаментальных открытий в ядерной физике и физике элементарных частиц и стал одним из ведущих институтов в мире. Десятки крупных ученых, работавших или работающих в Дубне, сдвинули рубежи мировой науки на значительный шаг вперед. С фамилиями этих ученых встречаются сейчас студенты в учебниках физики.

Для государств — членов ОИЯИ особенно важно то, что Дубна дала начало развитию ядерной физики в их странах. Трудно переоценить роль Дубны, особенно при развитии экспериментальной базы для ядерной физики в странах-участницах. Подавляющее большинство ускорителей и другой экспериментальной техники, которая используется в этих странах, разработана и поставлена специалистами из ОИЯИ. Не менее важно то, что практически все специалисты по ядерной физике среднего и старшего поколения в странах-участницах получили свое образование и свои ученые степени здесь, в Дубне.

Понятно, что характер сотрудничества между странами-участницами и ОИЯИ постепенно меняется. Тогда как раньше речь шла о сотрудничестве в рамках некоторого замкнутого сообщества, сегодня быстро развивается процесс интеграции и глобализации мировой науки. Поэтому все чаще и чаще ученые из ОИЯИ и стран-участниц вступают совместно в крупные международные коллаборации, включающие десятки и сотни лабораторий всего мира.

В наше время переопределяется роль науки в обществе и возрастают требования к эффективному использованию средств, выделяемых для науки. Все это заставляет научные институты, в том числе и ОИЯИ, трансформировать свою деятельность в сторону повышения эффективности финансирования, повышения прозрачности потоков финансовых средств, к повышению результативности научной деятельности в целом.

ОИЯИ уже сделал важные шаги на этом пути. Хочу отметить только принятие нового Устава Института, введение принципов целевого

финансирования и в последнее время заключение договора между ОИЯИ и страной местонахождения Института — Российской Федерацией, который дает Институту прочную правовую основу для дальнейшего существования и развития.

На этом пути, на котором следует приложить еще немало усилий, я хотел бы пожелать ОИЯИ много успехов. Я уверен, что и в будущем в ОИЯИ будут поступать талантливые студенты, что в ОИЯИ будет сделан ряд фундаментальных и волнующих открытий в ядерной физике и физике элементарных частиц.

Разрешите мне поздравить всех сотрудников ОИЯИ и дирекцию Института с юбилеем и пожелать им много успехов в работе и в личной жизни.*

Полномочный Представитель
правительства
Чешской Республики в ОИЯИ
P.MAX

*Стенограмма выступления.

Дорогие коллеги, дорогие друзья!

*Вы сами понимаете, что мое положение особое. Особое, с одной стороны, так как, к моему глубокому сожалению, Венгрия сегодня не является страной-участницей, хотя и сотрудничает с Институтом. С другой стороны, я был директором этого Института, единственным иностранным директором, и, конечно, очень много воспоминаний, остались связи с Дубной. Кроме этого, я практически десять лет работал в Дубне. Я, конечно, не имею официального права сейчас выступить от венгерского правительства, но имею право выступить от научного коллектива, который уважает Институт, который благодарит очень многих в этом Институте, как и все наши страны-участницы. Мы можем сказать, что все наши ученые в области ядерной физики, физики частиц научились работать здесь, получили опыт здесь, в Дубне, и сейчас используют этот опыт в разных лабораториях мира. Кроме этого, много венгров работали здесь, и не только физиков, и эти венгры вспоминают Дубну всегда с хорошим добрым сердцем, с хорошими чувствами. Откровенно говоря, многие из них с удовольствием приехали бы в Дубну работать. В общем, разрешите мне закончить это очень короткое неофициальное поздравление тем, что (моя личная тайная надежда) когда будем отмечать 50-летие Института, Венгрия опять будет страной-участницей ОИЯИ. Желаю вам дальнейших научных успехов и все время улучшающихся условий. Спасибо.**

*Академик Д.КИШ,
директор ОИЯИ с 1989 по 1992 г.*

*Стенограмма выступления.

Уважаемый господин профессор Кадышевский!

От имени Федерального правительства хочу сердечно поздравить Вас, дирекцию и всех ученых и сотрудников Института по случаю 40-летия создания Объединенного института ядерных исследований.

В конце нашего века, который перед наукой выдвигает новые большие задачи, беспрепятственное международное сотрудничество ученых — одна из самых важных предпосылок для освоения огромного потенциала науки и техники на пользу человечества. Я убежден в том, что ОИЯИ как признанное международное учреждение с выдающимися научно-исследовательскими достижениями будет и в дальнейшем вносить важный вклад в это великое дело.

Желаю Вам и Вашим сотрудникам дальнейших больших успехов в Вашей научно-исследовательской деятельности.

С уважением

Бернд НЕУМАНН,
*парламентский штатс-секретарь
при федеральном министре
образования, науки, исследований
и технологии*

*Кроме приведенных выше,
в адрес Объединенного института ядерных исследований
присланы приветствия и поздравления
от многих институтов,
научных центров,
организаций стран-участниц и неучастниц
и от международных организаций.*



Дубна, 26 марта 1996 г., площадь им.Ф.Жолио-Кюри

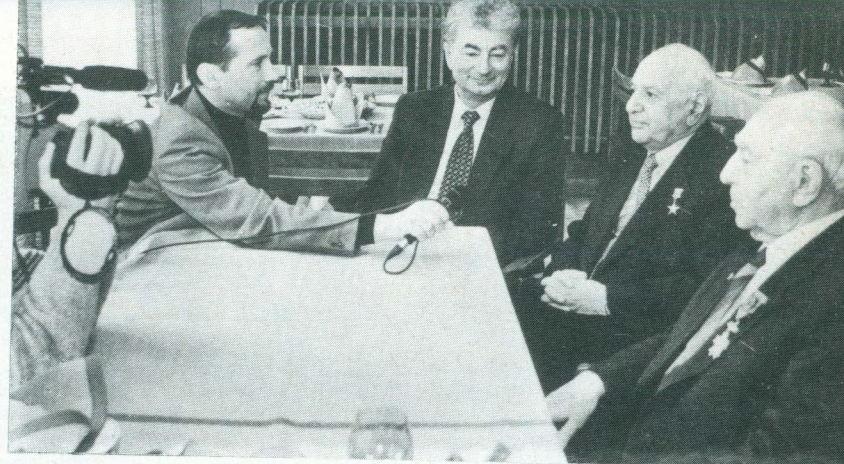


Дубна, 26 марта 1996 г., ДК «Мир». Торжественное заседание Комитета Полномочных Представителей и Ученого совета ОИЯИ с участием ветеранов, посвященное 40-летию Института





Дубна, 26 марта 1996 г.,
ДК «Мир». В президиуме
торжественного заседания



Дубна, 26 марта 1996 г.
Пресс-конференция
участников торжественного
заседания





Дубна, 25 марта 1996 г., Дом международных совещаний. Заседание Комитета Полномочных Представителей ОИЯИ



Дубна, 25 марта 1996 г. Полномочные представители стран-участниц ОИЯИ на юбилейном заседании КПП



Дубна,
25 марта 1996 г.,
ДМС ОИЯИ.
Заседание
КПП ОИЯИ









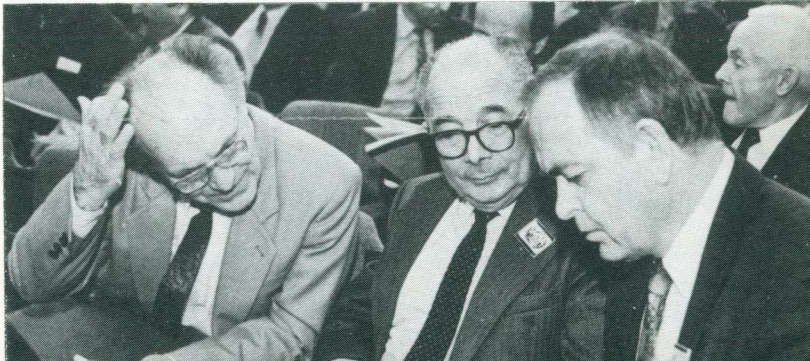
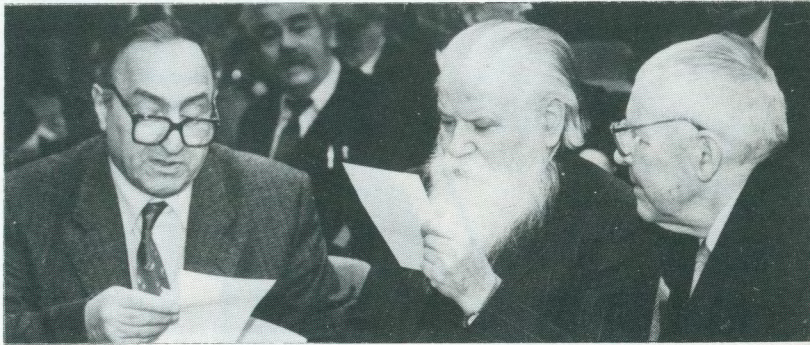
Дубна, 25 марта 1996 г.,
ДМС ОИЯИ.
Вручение правительственных
наград стран-участниц ОИЯИ

Дубна, 27 марта 1996 г., ДМС ОИЯИ.
80-я сессия Ученого совета ОИЯИ

Выступает почетный директор
Лаборатории ядерных проблем
В.П.Джелепов (на фото справа)

На трибуне А.М.Петросьянц (на фото внизу)

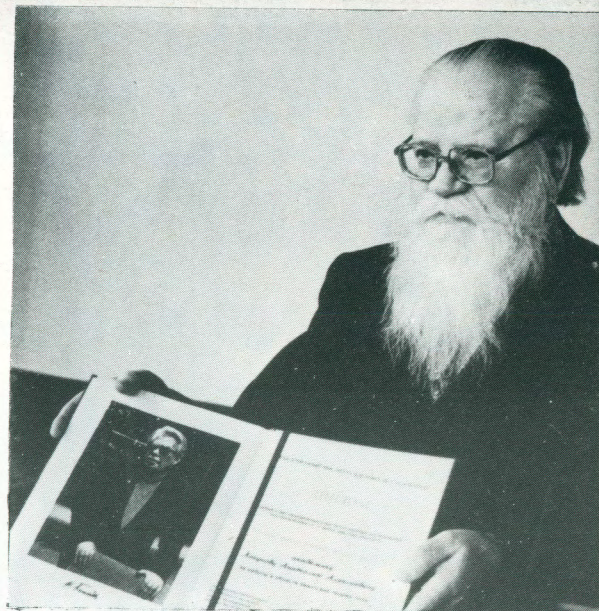




Дубна, 27 марта 1996 г. ДМС ОИЯИ

Первый лауреат премии им.Н.Н.Боголюбова академик А.А.Логунов
(на фото справа)

Вручение почетных дипломов за заслуги перед ОИЯИ





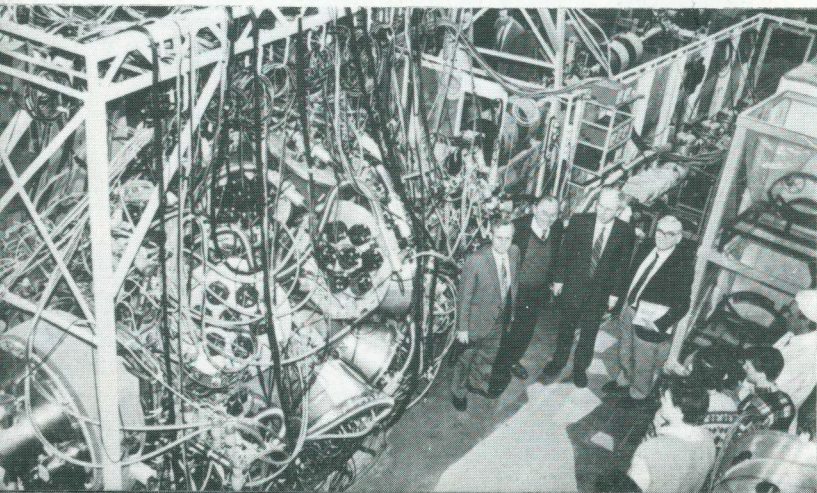
Памятные подарки от государств — членов ОИЯИ







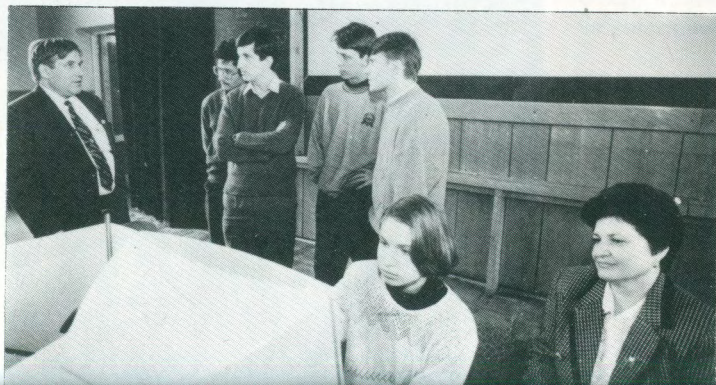
Празднование юбилея
ОИЯИ в Лаборатории
ядерных реакций





Празднование юбилея
ОИЯИ в Лаборатории
ядерных проблем





Празднование юбилея
ОИАИ в Лаборатории
теоретической физики



Лаборатория высоких энергий.
Открытие мемориальной доски академику В.И.Векслеру



Лаборатория вычислительной
техники и автоматизации.
Открытие мемориальных досок
членам-корреспондентам РАН
М.Г.Мещерякову и Н.Н.Говоруну





Лаборатория нейтронной физики. Вручение премии им.И.М.Франка

Праздничный концерт коллектива лаборатории





Участники
лыжного пробега,
посвященного
40-летию ОИЯИ



Юбилейный шахматный
турнир сотрудников
Института

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

УЧЕНОГО КОМПЕТЕНЦИОННОГО СОВЕТА УЧЕНОГО СОВЕТА ОИЯИ

Слова корреспондента РАН В.И.Джарова

40 ОИЯИ

Глубокоуважаемый председатель Ученого совета Владимир Георгиевич Гурбатович! Уважаемые члены совета! Дамы и господа!

Разрешите мне прежде всего приветствовать вас от лица тех немногих членов первой сессии Ученого совета нашего Института, которым выпало счастье дожить и участвовать в работе текущей 80-й сессии в Дублине. Среди всего десятка из тридцати членов первой сессии советского Ученого совета были: Чжоу Гуандао, Чен Мэй, Шен Ян, Намсрайвандан, Лиан Сяньшань, Чжоу Гуандао, Чен Мэй, Шен Ян, Намсрайвандан, Лиан Сяньшань.

80-я сессия является юбилейной, так как проходила в Дублине, Ирландия, в том же месте, в котором в 1956 г. проходила первая сессия Ученого совета нашего Института. Это место было выбрано в честь 40-летия дружеских отношений между двумя странами — СССР и Ирландией. В Дублине находится 40 летнее дружеское общество стран — участниц ЮНЕСКО. В Дублине находится 40 летнее дружеское общество стран — участниц ЮНЕСКО. В Дублине находится 40 летнее дружеское общество стран — участниц ЮНЕСКО.

Сегодня, в день открытия этой сессии, в своем докладе я хочу отметить вас и событиями, которые происходили в Дублине 40 лет назад, 24—25 сентября 1956 г., когда состоялось первая сессия Ученого совета нашего Института.

Эта сессия была достаточно очной, хрупкой и, по сути, вынужденной. Сессия в жизни науки наших стран, прошедшего шестью месяцами ранее, 20—26 марта 1956 г. в Москве.

Почему тогда практически все делегации представляли государства социалистической ориентации — Албания, Болгария, Венгрия, ГДР, Китай, КНДР, Монголия, Польша, Румыния, СССР и Чехословакия — собрались в Москве, в президиуме Академии наук СССР, на совещание с целью обсуждения предложений об интеграции усилий стран в развитии наиболее фундаментальной области современной науки — ядерной физики.

Результатом этого совещания явилось подписание соглашения между указанными государствами об учреждении Объединенного института ядерных исследований. Страной местонахождения Института был избран Советский Союз.

Основной базой для организации ОИЯИ явились два научных учреждения Академии наук СССР, расположенных в Дублине: Институт ядерных проблем (директор М.Г.Мещеряков, зам. В.И.Джарова) и Институт физическая лабора-

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО НА 80-Й ЮБИЛЕЙНОЙ СЕССИИ УЧЕНОГО СОВЕТА ОИЯИ

Член-корреспондент РАН В.П.ДЖЕЛЕПОВ

Глубокоуважаемый председатель Ученого совета Владимир Георгиевич! Глубокоуважаемые члены совета! Дамы и господа!

Разрешите мне прежде всего приветствовать вас от лица тех немногих членов первой сессии Ученого совета нашего Института, которым выпало счастье дожить и участвовать в работе текущей 80-й сессии совета. Нас осталось всего пятеро из тридцати членов первой сессии совета. Это профессора Ван Ганчан, Чжоу Гуанджао, Честмир Шимане, Намсарайн Содном и я.

80-я сессия является юбилейной, так как проходит в торжественные дни, когда научное сообщество стран-участниц ОИЯИ, и не только этих стран, отмечает 40-летие рождения нашего Института — одного из крупнейших международных научных ядерных центров мира.

Сегодня, в день открытия этой сессии, в своем докладе я хочу ознакомить вас с событиями, которые происходили в Дубне 40 лет назад, 24—26 сентября 1956 г., когда состоялась первая сессия Ученого совета нашего Института.

Эта сессия была следствием очень крупного и, по сути, эпохального события в жизни науки наших стран, произошедшего шесть месяцами ранее: 20—26 марта 1956 г. в Москве.

Именно тогда правительственные делегации одиннадцати государств социалистической ориентации — Албании, Болгарии, Венгрии, ГДР, Китая, КНДР, Монголии, Польши, Румынии, СССР и Чехословакии собрались в Москве, в президиуме Академии наук СССР, на совещание с целью обсуждения предложения об интеграции усилий стран в развитии наиболее фундаментальной области современной науки — ядерной физики.

Результатом этого совещания явилось подписание соглашения между указанными государствами об учреждении Объединенного института ядерных исследований. Страной местонахождения Института был избран Советский Союз.

Основной базой для организации ОИЯИ явились два научных учреждения Академии наук СССР, расположенных в Дубне: Институт ядерных проблем (директор М.Г.Мещеряков, зам. В.П.Джелепов) и Электрофизическая лабора-

Два этих ускорителя вместе с соответствующими зданиями и лабораториями общей стоимостью около 500 млн руб. советская сторона передавала безвозмездно в пользование ОИЯИ. Передавался также жилой фонд научного городка стоимостью около 110 млн руб. (все в ценах 1956 г.).

На совещании уполномоченных представителей стран-участниц ОИЯИ в Москве была избрана дирекция Института в составе директора — члена-корреспондента АН УССР Д.И.Блохинцева и двух вице-директоров — члена-корреспондента АН Чехословакии Вацлава Вотрубы и профессора Мариана Даныша (Польша).

Совещание представителей стран-участниц в Москве приняло также решение о создании Ученого совета ОИЯИ во главе с директором Института как руководящего научного органа, определяющего научную политику и ответственного перед Комитетом Полномочных Представителей (КПП) государств — членов ОИЯИ за разработку наиболее актуальных и перспективных направлений фундаментальных научных исследований в Институте.

Совет обязывался периодически заслушивать доклады дирекции Института и директоров лабораторий о результатах выполненных научных исследований и давать им оценку. Рассматривать предложения о создании при необходимости новых крупных лабораторий, ускорителей или крупномасштабных дорогостоящих экспериментальных установок для проведения исследований как непосредственно в Институте, так и в других ядерных центрах, и давать соответствующие рекомендации КПП.

Предусматривалось, что для участия в работе совета с правом решающего голоса каждая страна направляет в него трех своих членов. Директора лабораторий могут быть полноправными членами совета только в случае, если они назначены таковыми своими правительствами.

В то время членами совета от СССР были назначены чл.-корр. АН СССР В.И.Векслер, академик АН СССР И.Е.Тамм и автор этого доклада доктор физико-математических наук В.П.Джелепов.

Персональный состав членов первой сессии Ученого совета ОИЯИ очень впечатляет, так как содержит имена многих выдающихся ученых, широко известных в мире.

К сожалению, многие из тех, кто участвовал в работе первой сессии, к настоящему времени уже ушли из жизни. Но я считаю себя обязанным напомнить вам о тех из них, кто принимал наиболее деятельное участие в работе совета, активно способствовал становлению и развитию нашего Института и укреплению его научного авторитета в мире. Прежде всего это Д.И.Блохинцев (председатель Ученого совета), В.Вотруба, М.Даныш (заместители председателя), члены совета — В.И.Векслер, И.Е.Тамм, о которых я уже упоминал. Далее, академик АН Китая Ван Ганчан, лауреат Нобелевской премии академик АН ГДР Густав Герц, глава школы теоретической физики в Польше, соратник А.Эйнштейна академик АН Польши Леопольд Инфельд, основатель

и директор Института ядерной физики в Софнии, вице-президент АН Болгарии академик Георгий Наджаков, основатель и директор Института ядерной физики в Кракове академик АН Польши Генрих Неводничанский, директор Института атомной физики в Бухаресте академик АН Румынии Хория Хулубей, крупный специалист в области космических лучей, директор Центрального института физических исследований в Будапеште академик АН Венгрии Лайош Яноши.

Первая сессия Ученого совета была посвящена решению исключительно важных и принципиальных вопросов. Она оказалась очень плодотворной. Ее решения фактически определили научное лицо Института.

На ней было детально обсуждено и принято Положение об Ученом совете ОИЯИ.

Совет заслушал доклад Д.И.Блохинцева о намечаемой структуре Института и перспективном плане его развития. В своем выступлении он, в частности, сказал: «Перед учеными, сотрудниками нашего Института стоит почетная, увлекательная, но очень трудная задача: своей активной, творческой работой оправдать те надежды, которые возлагают народы наших стран-участниц на наш Институт».

Дмитрий Иванович отметил, что в решении московского совещания представителей стран-участниц было указано на необходимость создания в рамках Института комплекса лабораторий, тематика которых как можно полнее отвечала бы научным интересам всех стран-участниц ОИЯИ.

Эта тематика должна включать, с одной стороны, глубокие теоретические разработки и идеи, а с другой — фундаментальные экспериментальные исследования, направленные на открытие новых явлений и закономерностей, стимулирующих дальнейшее развитие теории.

В результате обсуждения Ученый совет принял решение иметь в составе Института пять лабораторий:

1. Лабораторию ядерных проблем (ЛЯП) с синхротроном 680 МэВ и с лабораторией радиохимии и ядерной спектроскопии;
2. Лабораторию высоких энергий (ЛВЭ) на базе синхрофазотрона 10 ГэВ;
3. Лабораторию нейтронной физики (ЛНФ) с ядерным реактором;
4. Лабораторию ядерных реакций (ЛЯР) с циклотроном многозарядных ионов (У-300) с энергией ≤ 10 МэВ/нукл.;
5. Лабораторию теоретической физики (ЛТФ) с вычислительным центром и системой ЭВМ.

На этой же сессии совета состоялось обсуждение кандидатур и выборы директоров лабораторий. Единогласно были избраны:

- директором ЛЯП — доктор физико-математических наук В.П.Джелепов,
- директором ЛВЭ — член-корреспондент АН СССР В.И.Векслер,
- директором ЛНФ — член-корреспондент АН СССР И.М.Франк,
- директором ЛТФ — академик АН СССР Н.Н.Боголюбов,

несколько позднее был избран

- директором ЛЯР — член-корреспондент АН СССР Г.Н.Флеров.

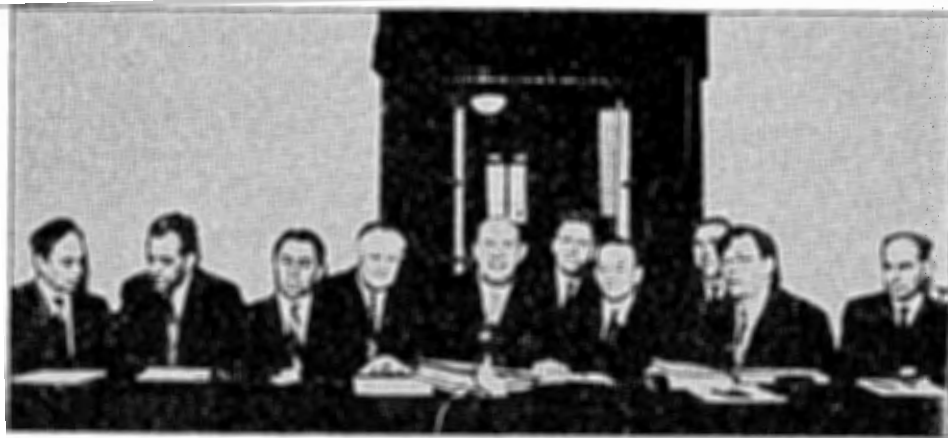


рис.4. Дирекция ОИЯИ и директора лабораторий. Слева направо: директор Лаборатории нейтронной физики И.М.Франк, вице-директор Института М.Даныш, директор Лаборатории ядерных проблем В.П.Джелепов, вице-директор Института В.Вотруба, директор Института Д.И.Блохинцев, административный директор Института В.Н.Сергиенко, директор Лаборатории высоких энергий В.И.Векслер, пом.директора Института А.М.Рыжов, директор Лаборатории теоретической физики Н.Н.Боголюбов, директор Лаборатории ядерных реакций Г.Н.Флеров

Административным директором ОИЯИ был назначен В.Н.Сергиенко, помощником директора А.М.Рыжов.

На рис.4 представлен первый директорат ОИЯИ.

Если по базовым установкам ЛЯП, ЛВЭ и ЛЯР никаких принципиальных замечаний на совете высказано не было, то по ЛНФ состоялась определенная дискуссия по вопросу: какой реактор будет для нее базой?

Д.И.Блохинцев напомнил, что на мартовском совещании представители ряда стран (ЧССР, ПНР и КНДР) предлагали рассмотреть вопрос о возможности строительства в ОИЯИ мощного реактора на 50 МВт с постоянной плотностью потока нейтронов, что обеспечило бы возможность решать на нем задачи не только чистой физики нейтронов, но также и различные технологические проблемы, связанные с созданием и эксплуатацией АЭС и других атомных установок.

Отвечая на поставленный вопрос, директор Института Д.И.Блохинцев сообщил, что дирекция Института внимательно изучила эту проблему и пришла к заключению, что строить такой реактор в Дубне нецелесообразно.

Почему? Потому, что это требовало, во-первых, для его размещения освоения совершенно новой площадки, значительно удаленной (на 7—8 км) от основной базы Института, во-вторых, создания там лаборатории, жилого городка и значительного комплекса специфических сооружений, в-третьих, в

связи с высокой стоимостью самого реактора и всех указанных выше сооружений, это отвлекало большие финансовые средства от решения главных задач Института как центра, занимающегося фундаментальными исследованиями в области физики элементарных частиц и атомного ядра.

В результате короткой дискуссии вопрос о строительстве мощного реактора в Дубне был закрыт.

Сессия приняла решение, одобряющее предложение Д.И.Блохинцева о строительстве для ЛНФ на площадке ЛЯП импульсного реактора, работающего на быстрых нейтронах (ИБР), на первых порах со средней мощностью примерно 1 кВт. Техническое задание на проектирование такого реактора, разработанное по идее и под руководством Дмитрия Ивановича в Обнинске, практически уже было подготовлено.

Этот реактор позволял выполнять широкий спектр научных исследований, начиная с измерения полных нейтронных сечений, сечений радиационного захвата и рассеяния, сечений деления и т.д., а также выполнять более тонкие опыты по исследованию α -реакций на резонансных нейтронах, измерению поляризуемости нейтронов и др. Для такого реактора требовалось всего около 10 кг плутония при длительности кампании порядка десятков лет.

Для иллюстрации модель такого реактора приведена на рис.5. В момент, когда вкладыш из ^{235}U (90 %) + Mo (10 %) во вращающемся со скоростью 5000 об./мин. диске проходит между двумя пакетами активной зоны в виде стержней из ^{239}Pu , возникают мощные импульсы нейтронов длительностью ~35 мкс с частотой приблизительно 80 раз в секунду и потоком нейтронов 10^{14} . Общий вид построенного реактора ИБР-1 приведен на рис.6.

Это решение, как позднее оказалось, явилось очень эффективным, тем более что уже тогда просматривалась возможность создания подобного реактора на существенно большую мощность.

Кроме того, оно позволило высвободить средства, чрезвычайно необходимые для завершения работ по комплексу синхрофазотрона, а также для строительства остро необходимых и относительно недорогих объектов, таких как здание теоретической лаборатории, лаборатории ядерной спектроскопии и радиохимии и др.

На этой же сессии по поручению дирекции я выступил с кратким докладом, в котором обосновывалась необходимость сооружения на главной площадке ОИЯИ Опытного завода с рабочей площадью ~7000 м² и парком станков ~150 шт. (теперь это ОП ОИЯИ).

Главным аргументом в пользу создания такого небольшого завода являлось то, что на нем можно было бы, не обращаясь в промышленность (что всегда не просто), изготавливать различную экспериментальную аппаратуру: магнитные спектрометры, модели ускорителей, комплекты искровых,

Рис.5. Модель реактора ИБР-1

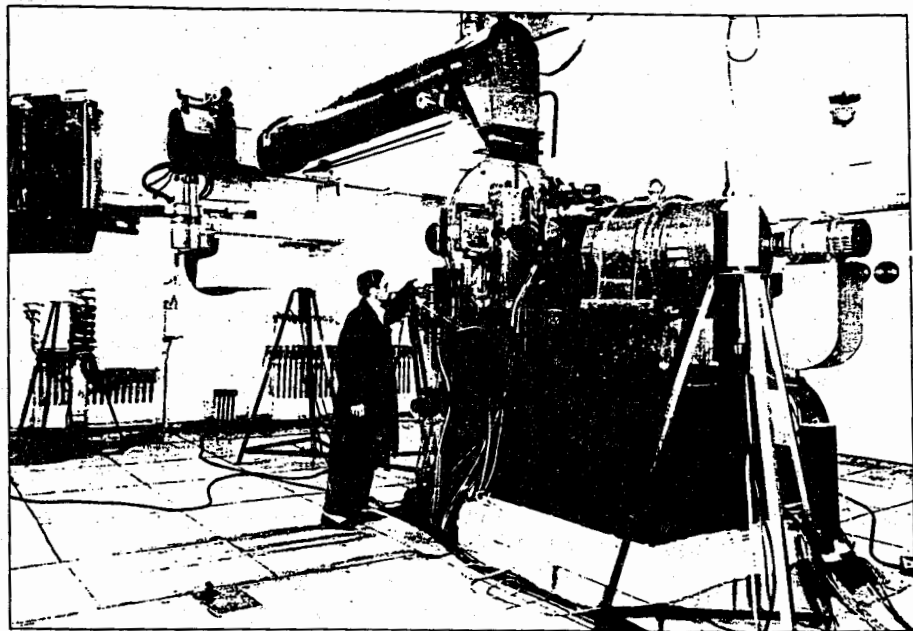
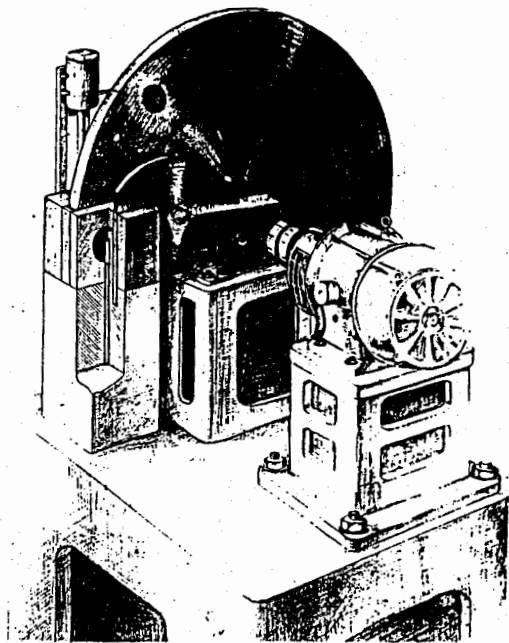


Рис.6. Реактор ИБР-1

диффузионных, стримерных, дрейфовых, пропорциональных камер, различного типа и размеров сцинтилляционные и черенковские счетчики, а также тиражировать в тысячах экземпляров модули ядерной электроники, разработанные в лабораториях Института, и т.п.

Это предложение также было одобрено Ученым советом.

В результате первый пятилетний план развития Института, сформированный и одобренный Ученым советом, содержал следующие позиции (см. табл.2).

Таблица 2. Пятилетний план развития ОИЯИ на 1956—1960 годы

	Наименование объекта	Ориентир. стоимость в млн руб.	Сроки строительства
1.	Корпус синхрофазотрона с измерительным павильоном (к. №1) ЛВЭ	19,58	I кв. 56 г. — IV кв. 57 г.
2.	Энергетический корпус синхрофазотрона (к. №2) ЛВЭ	4,82	I кв. 56 г. — IV кв. 57 г.
3.	Энергетический корпус измерительных павильонов синхрофазотрона (к. №1а) ЛВЭ	19,15	I кв. 56 г. — IV кв. 57 г.
4.	Измерительный павильон синхрофазотрона (к. №1б) ЛВЭ	37,00	I кв. 57 г. — IV кв. 58 г.
5.	Тоннель с коммуникациями для измерительных павильонов синхрофазотрона ЛВЭ	1,50	I кв. 57 г. — IV кв. 57 г.
6.	Водородная камера с криогенной установкой и станция ожижения водорода на 30 л/час ЛВЭ	25,00	I кв. 57 г. — IV кв. 59 г.
7.	Административный корпус ЛВЭ	1,00	I кв. 56 г. — I кв. 57 г.
8.	Циклотрон-ускоритель многозарядных ионов азота на энергию 120 МэВ (МЗИ) ЛЯР	100,00	III кв. 56 г. — IV кв. 59 г.
9.	Радиохимическая лаборатория	6,00	II кв. 57 г. — IV кв. 58 г.
10.	Импульсный быстрый реактор (ИБР) и здание Лаборатории нейтронной физики	11,00	IV кв. 56 г. — IV кв. 57 г.
11.	Лабораторный корпус ЛЯР	4,17	IV кв. 54 г. — IV кв. 56 г.
12.	Корпус Лаборатории теоретической физики	3,00	I кв. 57 г. — II кв. 58 г.
13.	Завод экспериментальной физической аппаратуры	6,00	III кв. 57 г. — III кв. 59 г.

Намеченная этим планом общая сумма затрат на капитальное строительство в 1956—1960 гг. составила 240 млн руб.

Основная часть средств направлялась на то, чтобы возможно быстрее ввести в действие синхрофазотрон и ускорить получение научных результатов в области энергий частиц, недоступных в то время для ученых других ядерных центров.

Осуществление намеченного плана обеспечивало ученым ОИЯИ возможности проведения исследований в очень широкой области энергий частиц, от малых долей эВ до 10^{10} эВ.

Реализация этого плана открывала также хорошие перспективы для проведения исследований в области конденсированного состояния вещества, радиобиологии, радиационной космической биологии, лучевой терапии, в области создания различных радиоизотопов с целью использования их в медицине и народном хозяйстве вообще и т.д.

Создание теоретической лаборатории во главе с выдающимся физиком-теоретиком и математиком академиком Н.Н.Боголюбовым открывало широкие возможности для развития различных разделов современной теоретической физики:

- теории полей;
- структуры частиц и их взаимодействий;
- теории ядра и ядерных реакций с участием различных частиц и ядер и т.д.

Высокий научный уровень и компетентность, а также глубокое взаимопонимание членом совета способствовали быстрому достижению согласия в различных вопросах.

В результате Ученый совет принял решение, поручающее дирекции Института представить разработанный пятилетний план на рассмотрение Комитета Полномочных Представителей стран-участниц.

Совет поддержал также обращение дирекции к Советскому правительству о безотлагательном расширении жилищного фонда и постройке значительного количества новых домов для прибывающих сотрудников из стран-участниц ОИЯИ.

На совете были заслушаны отчетные доклады В.И.Векслера и мой о ведущихся в лабораториях физических исследованиях и утверждены планы на 1957 г., а также составы ученых советов ЛЯП, ЛВЭ и ЛТФ.

Освещая деятельность первой сессии Ученого совета, я особо хочу подчеркнуть, что правительство Советского Союза придавало очень большое значение проблеме создания и всестороннего развития ОИЯИ. В целях наиболее оперативного решения различных вопросов, связанных с этим, Полномочным Представителем правительства СССР в ОИЯИ был назначен министр среднего машиностроения (ныне Минатома) Ефим Павлович Славский. Он присутствовал на первом заседании Ученого совета и принимал активное участие в его работе.

Решения совета оказались очень мудрыми.

При закрытии заседания совета, обращаясь к его членам, министр сказал: «Вы нашли общий язык, приняли рациональные решения, наметили принципиальные планы работ, направленные на то, чтобы ОИЯИ стал действительно одним из крупных мировых центров науки».

На совещании Комитета Полномочных Представителей стран-участниц ОИЯИ решения Ученого совета были полностью поддержаны и установлены строгие сроки создания всех научных объектов и строительства жилья.

Распоряжением правительства сооружение необходимых объектов и изготовление разнообразного оборудования было возложено на три министерства: Министерство среднего машиностроения (ныне Министерство атомной энергии), Минэлектропром и Минрадиопром. Слаженная работа заводов, проектных и строительных организаций, а также коллектива ученых, инженеров и рабочих Института привела к успешной реализации первого пятилетнего плана развития ОИЯИ.

В результате синхрофазотрон начал работать весной 1957 года, ИБР — в июне 1960 года, У-300 — в сентябре 1960 года. Ученые Лаборатории ядерных проблем въехали в новое здание осенью 1957 года, ЛЯР — в 1958 году, а теоретики заняли свой корпус в 1959 году.

Венцом всех этих действий явилось то, что научные исследования в Институте развернулись по широкому фронту. Коллектив работал с большим энтузиазмом и вдохновением. И, как известно, вскоре ОИЯИ действительно превратился в один из крупнейших международных научных центров мира с уникально богатыми возможностями для получения новых знаний в различных областях науки.

Разрешите мне на этой светлой, памятной ноте закончить мое вступительное слово, горячо поздравить всех вас с 40-летием нашего Института и пожелать большого успеха в работе 80-й юбилейной сессии Ученого совета и всем ее участникам.

Благодарю вас за внимание.

40 ЛЕТ ОИЯИ

Академик А.М.ПЕТРОСЬЯНЦ

Уважаемый Владимир Георгиевич, уважаемые члены Ученого совета!

Мне хочется выразить удовольствие и признательность за участие в заседании Ученого совета, посвященном знаменательному юбилею — 40-летию нашего Института. В своем докладе вчера Владимир Георгиевич задал такой риторический вопрос: «40 лет — много это или мало?» Действительно, как будто бы 40 лет — много. Но, с другой стороны, и мало. Почему? Да потому, что Институт существует, будет существовать и будет проводить новые научные изыскания, расширяющие наши познания в природе вещества.

Надо сказать, что предложение поддержать выдвижение Объединенного института ядерных исследований в Дубне и ЦЕРН в Женеве на соискание Нобелевской премии мира за 1997 год — это очень интересный показатель важности этих организаций в познании и раскрытии тайн вещества. Но я не знаю, точнее, мы не знаем, будет это в 1997 году или не будет. Это не имеет существенного значения. Важно, что руководство нашей страны, Россия воспринимают Объединенный институт как центр фундаментальной науки. И я должен сказать, что Объединенный институт важен не только как организация, но и как международный коллектив ученых очень высокой квалификации, признанной на мировом уровне. Это большое дело.

40 лет пройдены не зря, пройдены с честью, с достоинством, с почетом, проведено огромное количество интереснейших научных изысканий. Это важно.

Я хочу коротко коснуться исторического факта создания Объединенного института как международной организации. Об этом уже говорилось, но я затрону вопрос, который никогда не затрагивался, но существовал. Я сейчас открою перед вами маленькую тайну. Что имелось в виду в высоких политических кругах СССР, когда создавался Объединенный институт 40 лет назад?

Это была попытка создания противовеса ЦЕРНу в Женеве. Руководство нашей страны увидело, что ЦЕРН становится привлекательной организацией для ученых. И тогда решили создать объединенный институт социалисти-

ческих стран, чтобы тем самым как бы противостоять ему и пойти по линии некой конфронтации.

Но, к счастью, это надо подчеркнуть, никакой конфронтации между Объединенным институтом и ЦЕРНом, хотя она и предполагалась, не было. Почему не было?

В этом сыграли большую роль наши ученые. В условиях господства в нашей стране тоталитарного режима и прямого противостояния капиталистической системе (об этом не надо забывать) ОИЯИ было трудно занять противоположную позицию, да он и не пытался это делать.

Удалось медленно, постепенно, без излишних и грубых действий (их не было со стороны руководства и ученых Объединенного института по отношению к ЦЕРНу) находить пути для сотрудничества. Это делалось не сразу. Самим существованием Объединенного института было показано, что это центр науки, оснащенный передовыми к тому времени установками, равных которым по мощности, по энергии не было и на Западе. Этот факт сам по себе о многом говорил. И вот постепенно, без прямых компромиссов с капитализмом, в конце 70-х годов у нас завязались партнерские отношения с ЦЕРНом.

ЦЕРН пошел на это сотрудничество довольно охотно, не противопоставляя своей организации Объединенному институту. Это объясняется рядом положений. В частности, тем, что во главе Объединенного института стоял известный в Западной Европе и в мире крупный ученый Николай Николаевич Боголюбов. Этот факт со счетов снимать нельзя. Это была организация физиков социалистических стран во главе с крупнейшим ученым. Это позволило нам действительно осуществлять научные контакты со всеми мировыми центрами.

Кроме того, в Протвино мы начали создавать крупнейший в мире ускоритель протонов. Этот факт тоже свидетельствовал, что в Советском Союзе ученые идут уверенными шагами к овладению тайнами природы. Путь сотрудничества с лучшими учеными Запада привел к тому, что мы действительно смогли сделать большую работу, постепенно настолько заинтересовали ЦЕРН, что при сооружении в Протвино ускорителя на 70 с лишним миллиардов электроновольт ЦЕРН создал для него специальную систему быстрого вывода пучка. Все было отработано, проверено, испытано в ЦЕРНе и целиком поставлено в Советский Союз. Причем безвозмездно. Такого еще у нас в Советском Союзе не было. Международный коллектив ученых ЦЕРН поставил нам безвозмездно все оборудование, причем большое количество оборудования. Для его размещения в ИФВЭ пришлось построить специальное здание.

В Дубне мне пришлось побывать еще до того, как был создан Институт. Будучи заместителем министра среднего машиностроения, мне пришлось оказывать всяческую помощь молодому коллективу (тогда еще не Объединенного института ядерных исследований) в связи с созданием, строительством и пус-

ком первого ускорителя, затем второго большого ускорителя. Причем оба они были действительно мирового класса по своей мощи и энергиям. Я тогда очень тесно контактировал и с М.Г.Мещеряковым, и с В.П.Джелеповым, и мы приезжали довольно часто вместе с К.Н.Мещеряковым — заместителем министра электротехнической промышленности и А.Л.Минцем (он тогда был членом-корреспондентом Академии наук, позднее стал академиком), помогали в строительстве ускорителей.

В те годы И.В.Курчатов шефствовал над Институтом, и его просьбы, его пожелания были для нас, работников Министерства среднего машиностроения (это название «прикрывало» атомную промышленность СССР), неким законом, который надо было выполнять. И мы его выполняли. И, как видите, это пошло на пользу делу.

Позднее, когда я стал председателем Комитета по использованию атомной энергии СССР, я был назначен Полномочным Представителем правительства Советского Союза в ОИЯИ. В Комитете Полномочных Представителей я представлял СССР 25 лет — срок немалый, и мне очень часто приходилось приезжать сюда по всякого рода делам, помогать, критиковать вас, принимать критику. Но в целом мы работали очень дружно и создавали крупный коллектив.

Об одном обстоятельстве, тоже историческом, я не могу не рассказать, хотя это известно, но сама история была для нас неожиданна. Это было в июне 1965 года. Проходило внеочередное совещание Комитета Полномочных Представителей ОИЯИ. Все шло нормально. Мы заранее подготовились, определились. То заседание вел Э.Джаков, Полномочный Представитель Болгарии. Во время заседания просит внеочередное слово, несколько неожиданно для нас, руководитель делегации Китайской Народной Республики Ли И. Он взял документ и очень четко, не торопясь, высказал свои требования. А в конце заявил, что с этого момента делегация Китайской Народной Республики покидает ОИЯИ, Дубну, считая неправильными действия дирекции Объединенного института. Для нас это было полной неожиданностью. Это не было никак обоснованно. Мы были просто в шоке. Китайская Народная Республика, огромная страна, вносила очень весомый вклад в бюджет Института. Мы ничего даже не успели ответить, потому что Ли И встал и заявил, что сейчас делегация покидает совещание и буквально с 1 июля все они отбывают на родину.

Мы продолжили наше заседание и заявили, что нам непонятно, как и почему это произошло, ведь всегда можно договориться, рассмотрев и обсудив ситуацию. Но, к сожалению, этого не произошло.

С тех пор среди стран — членов ОИЯИ нет Китайской Народной Республики. Потом мы, конечно, поняли, что дело объясняется не тем, что они недовольны Объединенным институтом, а сложившейся политической обстановкой, отношениями между компартиями Советского Союза и Китая. Дело

дошло до того, что им надо было порвать, и они порвали. Но самое важное, что я должен вам сказать: к чести Комитета Полномочных Представителей мы КНР из состава членов ОИЯИ не исключали. Китай до сих пор является членом ОИЯИ, то есть может в любое время, без заявления, без каких-то просьб включиться в коллектив Объединенного института. Прошло уже много лет. Это было в 1965 году. Сейчас уже 1996 год. И я надеюсь, что Китайская Народная Республика займет свое место в Объединенном институте.

Я хотел бы, пользуясь участием в сессии Ученого совета, поставить перед вами несколько вопросов. В частности, один из острейших вопросов: развитие и использование ядерной энергетики в целях получения электрической энергии.

Собственно ядерной энергетикой Объединенный институт не занимался. Он занимался чисто научными фундаментальными разработками. А между тем XX, а затем XXI век немислим без дальнейшего развития ядерной энергетики. Сейчас, особенно после Чернобыльской катастрофы, многие группы населения ставят вопрос, что ядерная энергетика опасна, что нужно прекратить ее использование для получения электричества. Довольно большое количество людей пришли, в конечном счете, к неприятию использования атомной энергии, к отказу от эксплуатации действующих и строительства новых атомных электростанций. Более того, раздаются голоса о закрытии всех атомных электростанций. Эти голоса у нас, в России, звучат довольно громко. Но это абсолютно неправильно. Нельзя, имея в виду катастрофу в Чернобыле, отказаться от использования ядерной энергии. Кстати, Украина должна была закрыть станцию в Чернобыле, но не закрыла и не скоро закроет. Ядерная энергия позволяет им получать электрическую энергию без органических видов топлива...

Мы с вами вспоминаем первую в мире атомную электростанцию в Обнинске, которая стала давать электрическую энергию в систему. Что значит атомная электростанция? Это, по существу, вместо обычного парового котла — ядерный реактор. А все остальное — как обычная электростанция. То есть новое — ядерный реактор, новейшая техника рядом со старыми машинами: турбинами, генераторами, насосами и проч.

Сейчас в мире начали заниматься вопросом повышения надежности, безопасности ядерных реакторов. Много делается для этого, включая и создание температурного, высокотемпературного реактора, использование гелиевых теплоносителей и т.д. Это все правильно. Но все-таки делать, мне думается, надо и другое. Надо суметь подойти к ядерной электростанции по-новому, как к новым агрегатам, то есть надо попытаться из ядерной энергии с помощью преобразователя получать напрямую электрическую энергию. Это не новость.

В России этим занимаются; в частности, в нашей системе Министерства атомной энергии есть специальное научно-исследовательское предприятие «Красная заря». Там сумели сделать преобразователи на полупроводниках не-

посредственно для получения электрической энергии. Преобразователь настолько удачный, что он используется в космосе. Но мощность получения электроэнергии таким способом мала: несколько ватт и киловатт. А нужны мегаватты. Надо над этим вопросом поработать и подойти к нему по-другому: создать такой преобразователь, чтобы перейти прямо от ядерной энергии к электрической. Это было бы решением вопроса.

Я должен остановиться и на другом вопросе. ЦЕРН нам показал в этом отношении пример. Карл Руббин предложил создать атомную электростанцию с помощью ускорителя. Пересказывать не буду, вы это хорошо знаете. Идея чрезвычайно интересна. Ускоритель работает. Если вы отключили электрическую энергию, ускоритель заглох, все остановилось. Никакой опасности — она исключена. Я считаю, что в Объединенном институте должны поработать над этим вопросом, может быть, в контакте с ЦЕРНом. Это было бы очень неплохо. От Объединенного института как от научной организации требуется теоретическая проработка идеи, понимание этого дела с тем, чтобы потом передать разработки соответствующим организациям. Мне очень хотелось высказать эти предложения, чтобы Объединенный институт подключился к этой проблеме.

На этом я заканчиваю и хочу пожелать всем здесь присутствующим новых творческих успехов и, конечно, здоровья. Спасибо вам всем.

SYNCHROTRON RADIATION AND NEUTRONS IN CONDENSED MATTER RESEARCH

Professor Norbert KROO

Research Institute for Solid State Physics of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest

Modern physics research in general and condensed matter physics in particular depend strongly on scattering experiments. A beam of particles with known momentum and energy $I_0(\mathbf{k}_0, E_0)$ is scattered by the probe and the spatial and energy distribution of the scattered particles $I(\mathbf{k}, E)$ is measured

$$\frac{I}{I_0} \sim F[G(\mathbf{r}, t)].$$

The ratio of these two quantities, i.e., the so-called differential cross section $d^2\delta/d\Omega dE$ is proportional with the Fourier-transform of a so-called correlation function which describes the structure and the atomic motions in the scattering sample.

In principle, any particle beam can be used, but the charged ones are only of strongly limited use. The remaining ones are therefore the neutrons and photons. There are several differences between them preferring for different tasks one or the other. For light atoms, in general, neutrons are superior since photons are scattered by electrons and if their number is low (e.g., hydrogen), the cross section is also low. Neutrons have a magnetic moment and therefore they are better for magnetic structural studies. The main advantage, however, for neutrons is that if their wavelength is in the order of the distance of atoms ($\sim 1\text{\AA}$), their energy is in the order of typical excitations, i.e., in a typical inelastic scattering experiment large angular and energy changes are expected. This is not the case for photons. If the wavelength is $\sim 1\text{\AA}$ the energy is $\sim 10\text{ KeV}$. If the energy is near to the excitation energies (e.g., 1 eV), the wavelength is in the $1\text{ }\mu\text{m}$ range and only the centre of the Brillouin-zone of a crystalline sample can be mapped. Finally neutrons are scattered by the nuclei therefore the angular distribution of radiation

scattered by a single centre is isotropic, while in the case of X-rays it is strongly decreasing with angle since the size of the scatterer (electron shell) is large.

Scattering Studies

Since both synchrotron light and neutron sources are expensive to build and to run, a careful study is needed of the possible experiments. Synchrotrons emit photons in a wide spectral range from infrared to hard X-rays (> 100 keV). With the exception of infrared spectroscopy the low energy part (up to a few keV) of this spectrum has no overlapping with possible neutron studies, it can be used mainly for studies of the electronic properties of atoms, molecules, bulk solids and surfaces. Above a few keV synchrotron radiation, similarly as thermal neutrons, can be used to study the structure and dynamics of condensed matter.

The advantage of X-rays in these studies is the high flux density and the strong interaction with matter. The beam can be focused down to a micrometer spot and therefore small samples can be used. These advantages can be exploited in biological systems, in the study of surfaces and interfaces. Even in the case of crystals of not too simple molecules as, e.g., proteins one single photon burst is enough to register a Laue-type diffraction pattern at 3rd generation synchrotrons.

Synchrotron light is polarized (linearly, but if a diaphragm is used out of the plane of the electron beam, circularly) and tuneable. These properties can be exploited in different applications. One of them is the study of magnetic structures where resonances of elements near their absorption edges can be used and the dichroic effect due to the polarization dependence of the cross section can be exploited.

Neutrons are characterized by much weaker interaction and lower flux density. Therefore larger samples (of the order of 1 cm^3) are needed to determine atomic and magnetic structures. They are, however, superior for homogeneous samples, where the X-rays cross section is small, for highly shielded samples (by high pressure containers, furnaces, cryostats and magnets) and for magnetic studies. Inelastic scattering studies are still the domain where X-rays cannot compete with neutrons.

There are several special tasks where neutron scattering techniques are better since weak interaction and consequently large penetration is needed. Most of the «inhomogeneity» studies by small angle scattering are of this type. The ageing of structural materials, microcracks, segregation of alloys, etc., are some of the examples where this technique has been widely used. The same applies to internal strain analysis where anomalies in neutron diffraction from the bulk of the studied material contain the needed information. Reflectometry is another field where «cold» neutrons give an outstanding possibility of studying surfaces or surface

adsorbates. Extremely high energy resolution and therefore extremely small energy changes can be studied by special neutron techniques. A typical example is the so-called neutron spin echo technique which may give us the same level of energy resolution as that of Mössbauer spectroscopy.

About the Sources

The widening of the possibilities in condensed matter research has been strongly correlated with the development of the performance of neutron and photon sources. The improvement in flux and brilliance and in spectral properties (softer neutron and harder X-ray spectrum) of the neutron and synchrotron radiation machines has therefore always been in the centre of interest of both the developers and of the users community.

The brilliance of X-rays has increased dramatically in the last two decades. Until about 1970 only X-ray tubes were used with the rotating anode as the only innovation to improve the intensity. The use of first generation synchrotrons led to a significant improvement, but second and third generation machines were the ones revolutionized the field (Fig.1). In these sources electrons are propagating in storage rings and the synchrotron light is generated almost exclusively by the so-called insertion devices. They consist of sequences of alternating magnetic fields along the linear sections of the electron trajectories. These magnets force

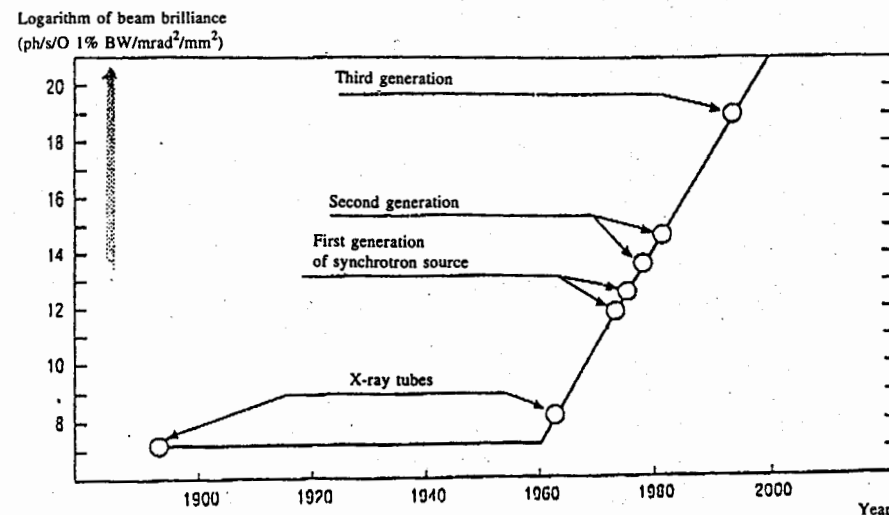


Fig. 1. The change in brilliance for X-ray sources in the last 30 years

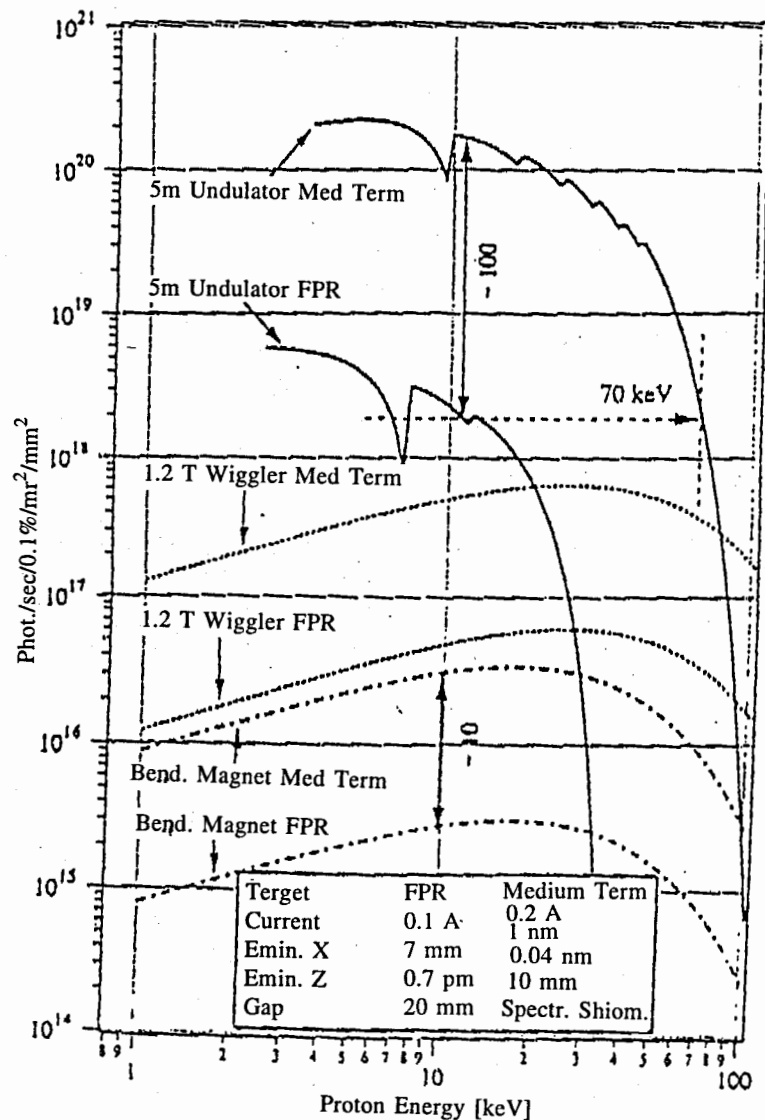


Fig. 2. The brilliance ($B = Flux / \epsilon_v \cdot \epsilon_H$) expected at the ESRF in 1990 with a 5 m undulator and a 20 mm gap and the brilliance possible today with a 5 m undulator and a 10 mm gap. Brilliance of more than 10^{20} ph/s/mm²/mrad²/0.1% BW are possible on the third generation synchrotron radiation sources

the electrons to move on oscillating trajectory. If the deviation is large (strong magnetic field), the device is called undulator. The intensities of photons from each magnetic unit add incoherently and therefore the increase in intensity is proportional with the number of magnetic units in the undulator N . If the magnetic field is weaker, the perturbation of the trajectory is smaller and the device is called wiggler. In this case the intensities from each unit add coherently and the increase in intensity is proportional with N^2 . The synchrotron radiation beam is well collimated, polarized and has significant longitudinal and transversal coherence. In Fig.2 the improvement in brilliance is illustrated in one typical case.

The neutron sources are of two types, namely nuclear reactors and spallation sources. In reactors neutrons are produced by fission while in the second case high energy (a few hundred MeV) protons of an accelerator bombard heavy atoms (e.g., tungsten) and release a large number of neutrons/protons. Both the reactors and the spallation sources may operate in continuous and pulsed regimes. A comparison of the performance of reactors and pulsed spallation sources is given in Fig.5. The scheme of two pulsed sources, namely of the Dubna pulsed reactor and the spallation source of the Rutherford Laboratory ISIS is given in Fig.3. and Fig.4 together with their main parameters.

The type of experiments, i.e., the method to be used is different in the case of the two types of sources. Pulsed sources are ideal for time-of-flight experiments

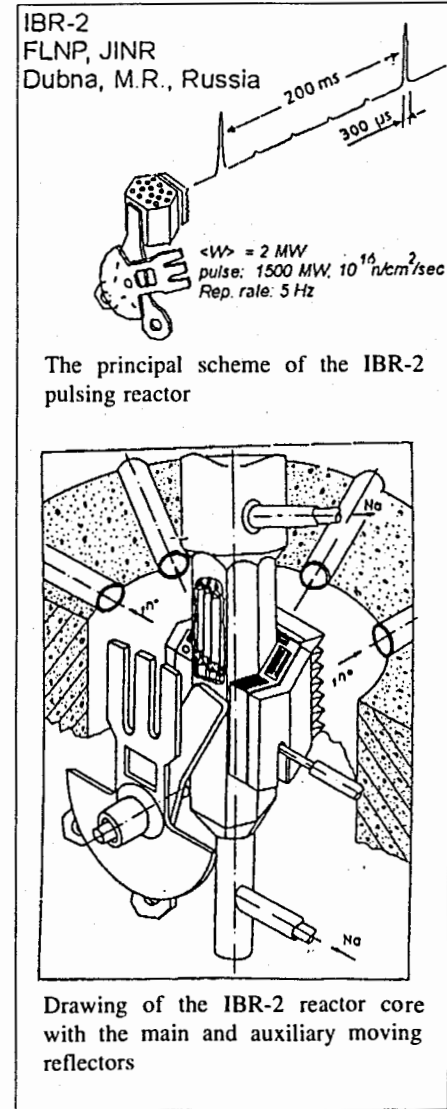


Fig. 3

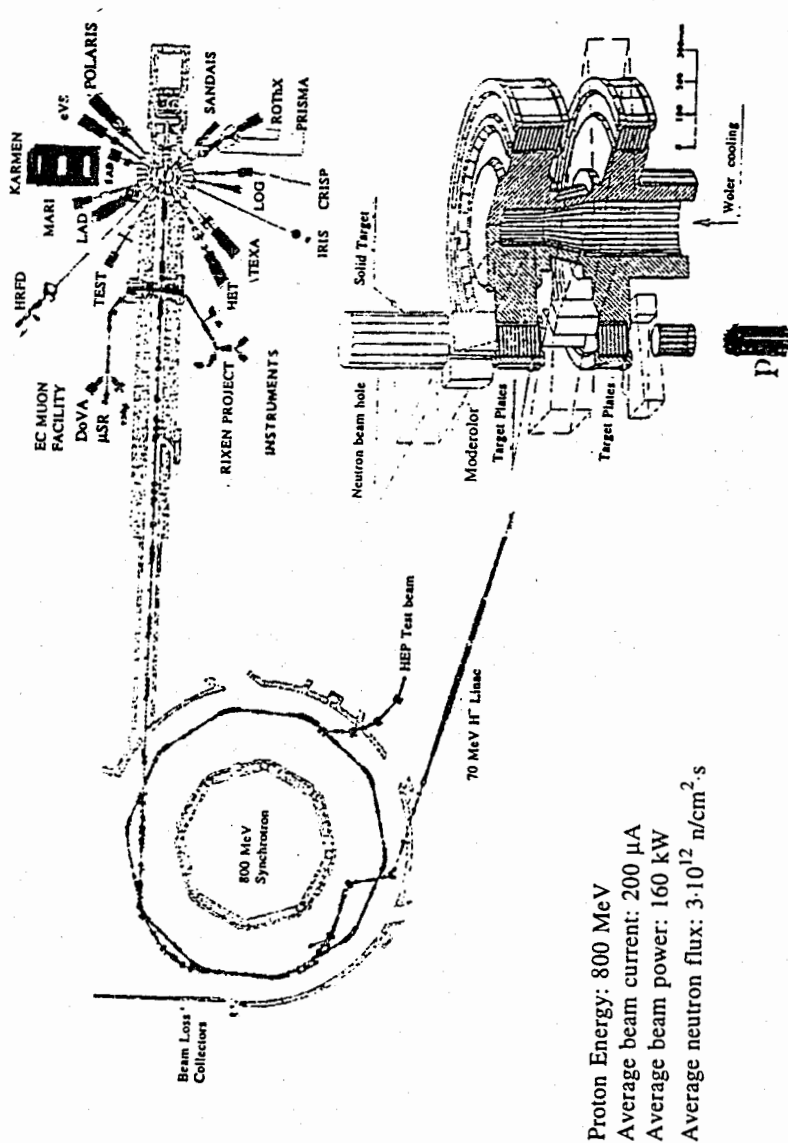
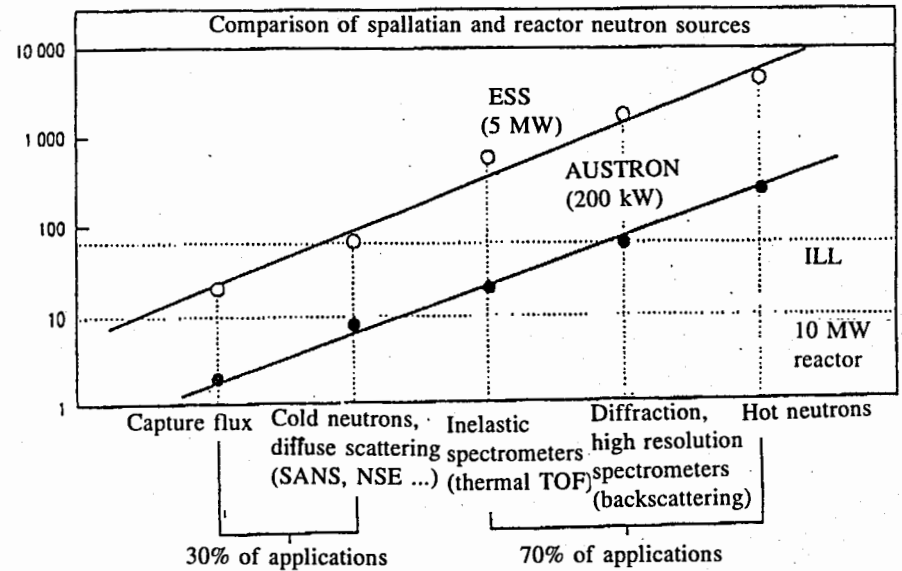


Fig. 4. ISIS Facility, Rutherford Appleton Laboratory

Equivalent reactor power (MW)



Parameters

AUSTRON:

Average beam power: 211 kW
 Average neutron flux: $5 \cdot 10^{12}$ n/cm²·s

ESS

Average beam power: 5000 kW
 Average neutron flux: $> 10^{14}$

(After F.Mezei)

Fig. 5. Comparison of the performance of existing reactors (the ILL reactor and a 10 MW reactor) with that of the planned pulsed spallation sources AUSTRON and ESS, as a function of neutron energy

while stationary sources are suited more for diffraction type experiments although chopped beams are also produced for time-of-flight work. The importance of pulsed sources is increased but the complementarity between the two types of machines is going to be alive in the future too.

Development Trends

Third generation synchrotrons, the latest insertion devices and beam manipulators (focusing Bragg-Fresnel zone plates, monochromators, etc.) are nearly perfect. They secure reliable routine operation. The bottleneck of synchrotron beam experiments is the detectors. They are too small and too slow to read out them. In some cases only a small fraction of the beam time can be exploited since more time is spent on reading out the data than collecting them. Therefore the main efforts in the coming years have to be concentrated on detector development.

In the last few years several new sources were put into operation (ESRF, ELETTRA) and several other ones are under construction. As a result, the demand in the VUV spectral range can be satisfied. In the hard X-ray range the third generation machines are awaited and new sources are needed.

As far as users are concerned, the striking difference between Europe on one side and the USA and Japan on the other one is that while in the latter case a large proportion of the available beam time (more than 50%) is used for applied work, in Europe only a very small fraction. This situation should change in the coming years.

As far as neutron sources are concerned there are at least two problems. The first one is that most of the existing sources are already old and should be replaced shortly after the year 2000. The other problem is that the sources were mainly pushed by the machine lobbies and not by the user communities. Therefore these machines are not optimal for beam experiments, and their cost is not effective. Furthermore, since money for the instrumentation around the source has always been short, it is not appropriately equipped in spite of the increasing demand for neutron beam experiments.

In the case of stationary reactors the ILL machine is about the optimum. The cost per neutron increases at higher reactor powers irrationally. Pulsed sources (both reactors and spallation sources) may reach much higher peak fluxes, they are more environment friendly and cheaper, especially the spallation sources. Here the weak points which should be improved are the target converting the high energy proton beam into neutrons and the moderator.

The instrumentation for neutron scattering studies is similarly well developed as at synchrotrons but the number of them is not satisfactory due to the already mentioned financial reasons. The situation is tragic with detectors due to the low neutron fluxes. The speed of registration and reading out is not critical here, the problem lies in reliability. The detector development has been pushed into industry and this turned out to be a big mistake, since, detectors are unreliable and expensive. In addition to the replacement of outdated sources the development of better detectors is the most demanding task for the coming years.

Conclusions

There has been a constant debate in the last years between synchrotron and neutron users on which radiation is better for the study of the structure and dynamics of condensed matter. It is now clear that they are complementary. There are some problems which cannot or cannot well be solved by synchrotron light scattering. The improvement in synchrotron beam performance resulted, however, in a shift of the borderline between the two techniques in favour of synchrotrons. In spite of this the complementarity remained alive and this going to be the case in the future, too. In both cases a significant improvement in detector technology is needed and expected. The relative weight of pulsed neutron sources is going to increase and perhaps synchrotron machines are going to operate with shorter pulse duration than at present.

Large facilities (synchrotrons and neutron sources) have changed the structure of condensed matter research. Work around these machines requires another style and organization compared to traditional research in small laboratories. International collaboration has become more important and detailed reviewing has become more similar to that experienced in other fields of research where large facilities play the dominant role (e.g., particle physics). International centres with their experience in operation of such machines are becoming increasingly important in the field of condensed matter physics as well. This is true also for the Joint Institute for Nuclear Research, and condensed matter research in such a centre growing in the past 40 years must be only welcomed.

THE QUARK-SPIN STRUCTURE OF THE NUCLEON: 20 YEARS OF JINR-CERN COLLABORATION

Professor Rüdiger VOSS
CERN, Geneva, Switzerland

Abstract

A review is presented of 20 years of collaboration between the JINR, Dubna and CERN in the field of deep-inelastic muon-nucleon scattering, with emphasis on the precision measurements of scaling violation and on recent studies of the internal spin structure of the nucleon.

1. Introduction

The physics of deep-inelastic muon scattering to study the internal quark-spin structure of the proton and the neutron has been one of the pillars of the successful collaboration between JINR, Dubna and CERN during the past 20 years. JINR has contributed to two major CERN projects active in this area of particle physics: the NA4 experiment of the Bologna-CERN-Dubna-Munich-Saclay (BCDMS) Collaboration, and the NA47 experiment of the Spin-Muon Collaboration (SMC). Both experiments were performed in the high-energy muon beam of the CERN SPS.

In this short lecture, I cannot review the history of 25 years of Deep Inelastic Scattering (DIS) in detail but will focus on highlights from these two experiments, in particular those which are relevant for tests of Quantum Chromodynamics. I cannot discuss here the exciting early history of the field, i.e., the discovery of scaling and the development of the Quark-Parton-Model (QPM), which has been the subject of excellent books and reports [1]. Also, this paper is not intended to compete with textbooks [2,3,4,5] and the many earlier review articles which have been produced on the subject, most of which concentrate on either neutrino or muon scattering [6,7,8,9,10]. These papers should be consulted for a more

comprehensive introduction. I will also not review in this paper nuclear effects and shadowing [11], and electroweak interference [12,13,8].

2. Deep Inelastic Scattering and the Quark-Parton Model

2.1. The Deep Inelastic Cross Section

The lowest order diagram for deep-inelastic muon scattering

$$\mu + N \rightarrow \mu + X \quad (1)$$

is shown in Fig.1. For neutral current reactions, the interaction can be mediated by a virtual photon or Z boson. At present fixed target energies, the cross-section for scattering of charged leptons is dominated by virtual photon exchange. In this paper, I will discuss only inclusive scattering where the scattering amplitudes are summed over all possible hadronic final states. In this case, the inclusive cross-section can be written as a function of two independent kinematic variables. One usually chooses two of the following Lorentz invariant variables:

- the squared four-momentum transfer

$$Q^2 = -q^2 = -(k - k')^2 = 4EE' \sin^2 \Theta; \quad (2)$$

- the energy transfer to the hadronic system

$$\nu = p \cdot q / M = E' - E; \quad (3)$$

- the Bjorken scaling variable

$$x = Q^2 / 2p \cdot q = Q^2 / 2M\nu; \quad (4)$$

- and the scaling variable

$$y = p \cdot q / p \cdot k = \nu / E. \quad (5)$$

In these equations, k , k' , p , and q are the four-vectors of the initial and final state lepton, the target nucleon, and the exchanged boson. M is the mass of the target nucleon, whereas the lepton mass has been neglected. E , E' , and Θ are the energies of the incident and scattered lepton, and the lepton scattering angle, in the laboratory frame.

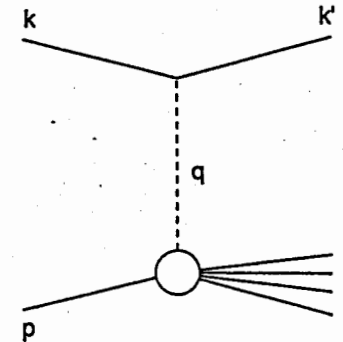


Fig. 1. The lowest order Feynman diagram for deep inelastic lepton scattering

Neglecting lepton masses, the cross-section for unpolarized charged lepton scattering, for virtual photon exchange in the Born approximation, can be written as

$$\frac{d^2\sigma}{dQ^2 dx} = \frac{4\pi\alpha^2}{Q^4} \frac{1}{x} \left[xy^2 F_1(x, Q^2) + \left(1 - y - \frac{Mxy}{2E}\right) F_2(x, Q^2) \right], \quad (6)$$

where α is the electromagnetic coupling constant and $F_1(x, Q^2)$ and $F_2(x, Q^2)$ are the unpolarized *structure functions* of the nucleon.

2.2. Structure Functions in the Quark-Parton Model

In the so-called «naive» Quark-Parton Model (QPM), the Bjorken variable x takes the simple meaning of the fraction of nucleon three-momentum that is carried by the quark struck in the interaction. This interpretation is strictly valid only in the Breit frame or infinite momentum frame, where the quark masses and transverse momentum are neglected. To a good approximation, it holds for experiments at present accelerator energies.

In the same reference frame, assuming that quarks are pointlike, noninteracting particles, the structure functions depend on a single dimensionless variable only. They can be interpreted as linear combinations of «quark distribution functions» $q(x)$, which are probability densities of quarks in the variable x . For charged lepton scattering¹,

$$F_1(x) = \frac{1}{2} \sum_i e_i^2 [q_i(x) + \bar{q}_i(x)], \quad (7)$$

$$F_2(x) = x \sum_i e_i^2 [q_i(x) + \bar{q}_i(x)], \quad (8)$$

where the e_i are the electric charges of the quarks and the index i runs over all quark flavours.

From Eqs. (7) and (8), it follows that

$$F_2(x) = 2xF_1(x). \quad (9)$$

This is the Callan-Gross relation [14] which is intimately related to the fact that quarks have spin $\frac{1}{2}$. Again, this relation is strictly valid in the infinite momentum frame only. The violation of the Callan-Gross relation at finite energies is expressed by introducing the longitudinal structure function

¹A third structure function $xF_3(x)$ appears in deep-inelastic neutrino scattering.

$$F_L(x) = F_2(x)(1 + 4M^2x^2/Q^2) - 2xF_1(x), \quad (10)$$

which in turn is related to the ratio R of absorption cross-section for longitudinally and transversely polarised virtual photons:

$$R = \frac{\sigma_L}{\sigma_T} = \frac{F_L}{2xF_1}. \quad (11)$$

3. The BCDMS Experiment

The deep-inelastic muon and neutrino scattering program has been one of the landmarks of experimentation at the CERN Super Proton Synchrotron (SPS). When this program took shape in the mid-seventies, two big detectors were conceived to study muon scattering with unprecedented accuracy. The European Muon Collaboration (EMC) designed a versatile multi-purpose spectrometer system around a large aperture dipole magnet [16]; the BCDMS (Bologna-CERN-Dubna-Munich-Saclay) Collaboration, under the influence of the successful SLAC experiments that led to the experimental discovery of partons, aimed mostly at measuring the scaling properties of nucleon structure functions with the highest possible accuracy. To compensate for the relatively low intensity of the muon beam, they built a detector based on a very long (50 m) toroidal iron magnet, enclosing an almost equally long target [17] (Fig.2). The magnet was instrumented with scintillation trigger counters and multiwire proportional chambers to detect and measure the scattered muons. In a major logistic achievement, JINR contributed to this experiment the iron for the spectrometer magnet — 1200 tons in the form of 320 carefully machined disks of 2.75 m diameter — and the construction of one half of the proportional chambers. By its design, the physics scope of this apparatus was limited to the study of inclusive muon scattering in a restricted kinematic region at large x . The kinematic acceptance of the apparatus was later enlarged at the expense of sacrificing a part

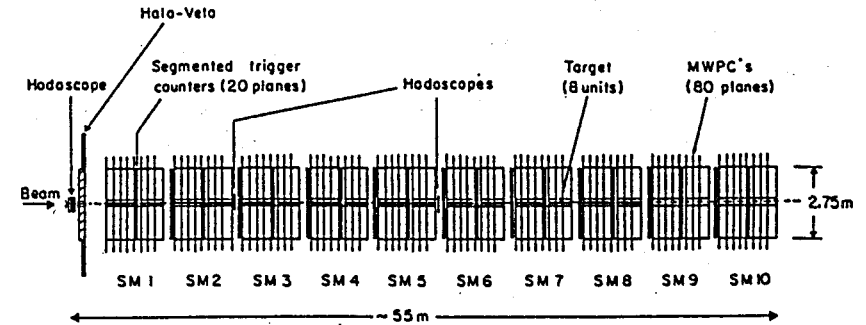


Fig. 2. Schematic view of the BCDMS (NA4) apparatus

of the luminosity. Still, the enormous length of the target allowed for a much higher statistical accuracy than could be achieved with the EMC apparatus. Best known among the BCDMS results are the high statistics measurements of the structure functions $F_2(x, Q^2)$ and $R = \sigma_L / \sigma_T$ on proton, deuteron, and carbon targets, the study of nuclear effects in deep-inelastic scattering first discovered by the EMC, and the unique measurement of weak-electromagnetic interference effects in deep inelastic muon-carbon scattering. In this review, I will concentrate on the precision measurement of scaling violations in nucleon structure functions.

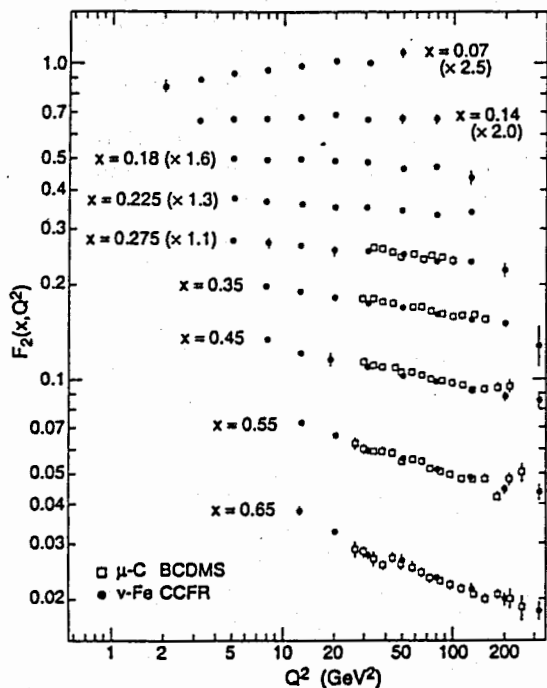
4. BCDMS Measurements of Nucleon Structure Functions

Together with electron scattering data from SLAC, and with results from neutrino scattering, the BCDMS data form today the backbone of our experimental understanding² of the nucleon structure function F_2 in the kinematic region of large x . They were later complemented by results from the NMC experiment at CERN and the E665 experiment at Fermilab in a kinematic region centered at smaller x , and recently by results from the electron-proton collider HERA at DESY, exploring a totally new kinematic domain at even smaller x but very high Q^2 .

The experiment initially took data with a carbon target from 1978 until 1980;

The experiment initially took data with a carbon target from 1978 until 1980;

Fig. 3. The nucleon structure function F_2 measured by BCDMS in deep inelastic scattering of muons on carbon. Data from neutrino scattering on iron from the CCFR Collaboration at Fermilab are shown for comparison. The data are shown versus Q^2 , for bins of fixed x , and have been scaled by the factors shown in parentheses



²For years, this understanding has been plagued by disagreements between the EMC and BCDMS results on F_2 . The NMC Collaboration remeasured this structure function with the upgraded EMC spectrometer, and decided eventually in favour of BCDMS

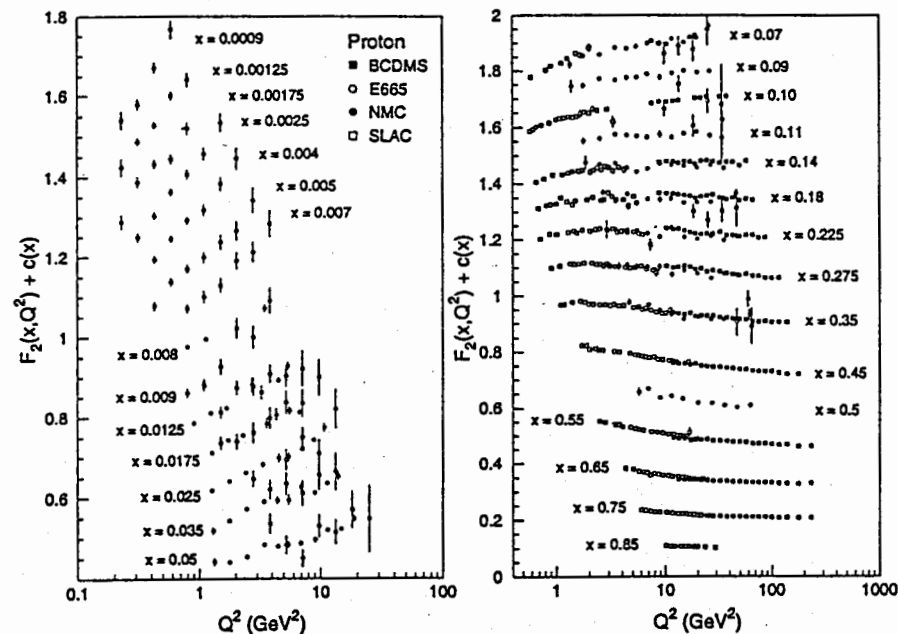


Fig. 4. The proton structure function F_2^p measured in electromagnetic scattering of electrons (SLAC) and muons (BCDMS, E665, NMC), shown as a function of Q^2 for bins of fixed x . Only statistical errors are shown. For the purpose of plotting, a constant $c(x) = 0.1i_x$ is added to F_2^p , where i_x is the number of the bin, ranging from 1 ($x = 0.05$) to 14 ($x = 0.0009$) on the left-hand figure, and from 1 ($x = 0.85$) to 15 ($x = 0.007$) on the right-hand figure

structure function results from this run were published in Ref. 18 and are shown in Fig.3. During the SPS shut-down of 1980/81, the experiment was upgraded for enhanced detection capabilities at small scattering angles in order to enlarge the kinematic acceptance at small values of x . In this configuration, the experiment took data from 1981 until 1985 with hydrogen [19] and deuterium [20] targets; these data cover a region of large x and Q^2 ($x \geq 0.07$, $Q^2 > 10 \text{ GeV}^2$) and have proven to be a powerful tool to test perturbative QCD and to measure the strong coupling constant (Section 5). As an example, the proton data are shown in Fig.4 together with the SLAC results [21], and with later data from the NMC [63] and E665 [23] experiments.

5. Tests of Quantum Chromodynamics

High statistics measurements of $F_2(x, Q^2)$ and $xF_3(x, Q^2)$ and sophisticated QCD analyses have firmly established the validity of the Altarelli-Parisi equations as the correct description of scaling violations observed in deep inelastic scattering. The emphasis of QCD studies in this field has therefore gradually shifted from qualitative QCD tests to accurate determinations of the strong coupling constant α_s and of the gluon distribution.

5.1. Scaling Violations in Perturbative QCD

A comprehensive review of perturbative QCD is beyond the scope of these lectures. Reference 24 is the classical paper on this subject; excellent introductions can be found in Refs. 10 and 25. Again, the following is mainly a brief reminder of the essential formalism that is needed to analyse scaling violations of nucleon structure functions.

The Q^2 evolution of the strong coupling constant α_s is controlled by the renormalisation group equation of QCD. The «canonical» — but by no means unique — solution usually adopted for the analysis of deep inelastic data is, in next-to-leading order (NLO),

$$\alpha_s(Q^2) = \frac{4\pi}{\beta_0 \ln(Q^2/\Lambda^2)} \left[1 - \frac{\beta_1 \ln \ln(Q^2/\Lambda^2)}{\beta_2 \ln(Q^2/\Lambda^2)} \right], \quad (12)$$

where the so-called beta functions are given by

$$\beta_0 = 11 - \frac{2}{3} N_f, \quad \beta_1 = 102 - \frac{38}{3} N_f$$

and N_f is the effective number of active quark flavours in the scattering process.

The parameter Λ is the so-called «mass scale» of QCD and has the physical meaning of a typical energy at which the running coupling constant (12) becomes large and the perturbative expansion breaks down. Its value is not predicted by QCD and can only be determined by experiment. Since α_s is the physical observable, the numerical value of Λ depends on N_f and, beyond leading order, on the renormalization scheme assumed to compute the perturbative QCD expansions. In deep inelastic scattering, $N_f=4$ at fixed target energies and the so-called «modified minimal subtraction» scheme \overline{MS} [26] are usually assumed, and the corresponding Λ is written $\Lambda(\frac{4}{\overline{MS}})$. When comparing measurements of α_s or Λ from

processes with different N_f , care must be exercised when crossing the flavour threshold since $\alpha_s(Q^2)$ is, of course, continuous.

To introduce the QCD-improved Quark-Parton Model, we have to distinguish between quark distributions which are singlets and non-singlets in flavour space. Any structure function can be decomposed into a linear combination of flavour singlet (SI) and non-singlet (NS) structure functions. At next-to-leading order, these structure functions are related to «effective» quark distributions $q^{SI}(x, Q^2)$ and $q^{NS}(x, Q^2)$ by

$$F_i^{NS}(x, Q^2) = C_i x q^{NS}(x, Q^2) + C_i' x \frac{\alpha_s(Q^2)}{2\pi} \int_x^1 q^{NS}(t, Q^2) f_{iq} \left(\frac{x}{t} \right) \frac{dt}{t}, \quad (13)$$

$$F_i^{SI}(x, Q^2) = C_i' x q^{SI}(x, Q^2) + C_i' x \frac{\alpha_s(Q^2)}{2\pi} \int_x^1 q^{SI}(t, Q^2) f_{iq} \left(\frac{x}{t} \right) \frac{dt}{t} + C_i'' x \frac{\alpha_s(Q^2)}{2\pi} \int_x^1 G(t, Q^2) f_{iG} \left(\frac{x}{t} \right) \frac{dt}{t}, \quad (14)$$

where $G(x, Q^2)$ is the gluon distribution, C_i , C_i' and C_i'' are coefficients, and f_{iq} and f_{iG} are so-called coefficient functions. In this picture, q^{SI} and q^{NS} are «bare» quark distributions that cannot be measured directly by experiment. At leading order QCD, the convolution terms are neglected and Eqs.(13) and (14) become equivalent to, e.g., Eq.(8).

The Q^2 evolution of the effective quark and gluon distribution is predicted by the Altarelli-Parisi equations [27]:

$$\frac{dq^{NS}(x, Q^2)}{d \ln Q^2} = \frac{\alpha_s(Q^2)}{2\pi} \int_x^1 q^{NS}(t, Q^2) P^{NS} \left(\frac{x}{t} \right) \frac{dt}{t}, \quad (15)$$

$$\frac{dq^{SI}(x, Q^2)}{d \ln Q^2} = \frac{\alpha_s(Q^2)}{2\pi} \int_x^1 \left[q^{SI}(t, Q^2) P_{qq} \left(\frac{x}{t} \right) + C_q G(t, Q^2) P_{qG} \left(\frac{x}{t} \right) \right] \frac{dt}{t}, \quad (16)$$

$$\frac{dG(x, Q^2)}{d \ln Q^2} = \frac{\alpha_s(Q^2)}{2\pi} \int_x^1 \left[G(t, Q^2) P_{GG} \left(\frac{x}{t} \right) + C_G q^{SI}(t, Q^2) P_{Gq} \left(\frac{x}{t} \right) \right] \frac{dt}{t}, \quad (17)$$

where the C_i are another set of coefficients and P^{NS} , P_{qq} , etc. are the so-called splitting functions describing the QCD diagrams. Both coefficient functions and splitting functions can be calculated in perturbative QCD as power series in α_s . In NLO and beyond, terms of $\mathcal{O}(\alpha_s)$ and higher can be absorbed by either of them,

an ambiguity known as «factorization scheme dependence», and care must be taken to use consistent splitting and coefficient functions.

5.2. Measurement of the Strong Coupling Constant

The F_2 measurements of BCDMS at large x and Q^2 with carbon, hydrogen, and deuterium targets were the first high statistics data that yielded a conclusive determination of Λ_{QCD} [28,29,20]. The structure function $F_2(x, Q^2)$ is, in general, a linear combination of both flavour singlet and non-singlet quark distributions. Its Q^2 evolution is described by the Altarelli–Parisi equations (15) and (16) that also depend on the gluon distribution. The original BCDMS fits to the hydrogen and deuterium data were later superseded by a very careful analysis by Virchaux and Milsztajn of the combined SLAC and BCDMS hydrogen and deuterium data [30]. Since the SLAC data extend down to four-momentum transfers as low as $Q^2 = 1 \text{ GeV}^2$, these authors make an allowance for nonperturbative «higher twist» contributions to the observed scaling violations at small Q^2 . These higher twist effects are mostly due to long-distance final state interactions which are difficult to calculate in perturbative QCD and there is little theoretical prejudice about their kinematical dependence except that they can be expanded into power series in $1/Q^2$ [31]. This suggests an ansatz

$$F_2(x, Q^2) = F_2^{LT}(x, Q^2) [1 + C_{HT}(x)/Q^2], \quad (18)$$

where the leading twist structure function F_2^{LT} follows the Altarelli–Parisi equations and which gives indeed a very satisfactory fit to the data (Fig.12). The quality of the fit is best illustrated in the representation of the «logarithmic slopes» which shows the derivative of the structure function with respect to $\ln Q^2$ as predicted by the Altarelli–Parisi equations, averaged over the Q^2 range of each bin in x (Fig.13). In this analysis, the higher twist term $C_{HT}(x)$ of Eq.(18) is fitted by a set of constants in each bin of x (Fig.14). The remarkable result here is that these coefficients are compatible with zero for $x < 0.4$, i.e., perturbative QCD can describe scaling violations in this region down to Q^2 as small as 1 GeV^2 . The result for Λ is

$$\Lambda \frac{(4)}{MS} = 263 \pm 42 \text{ MeV},$$

where the error combines statistical and systematic uncertainties. This corresponds to a strong coupling constant at a typical Q^2 of these data of

$$\alpha_s(50 \text{ GeV}^2) = 0.180 \pm 0.008.$$

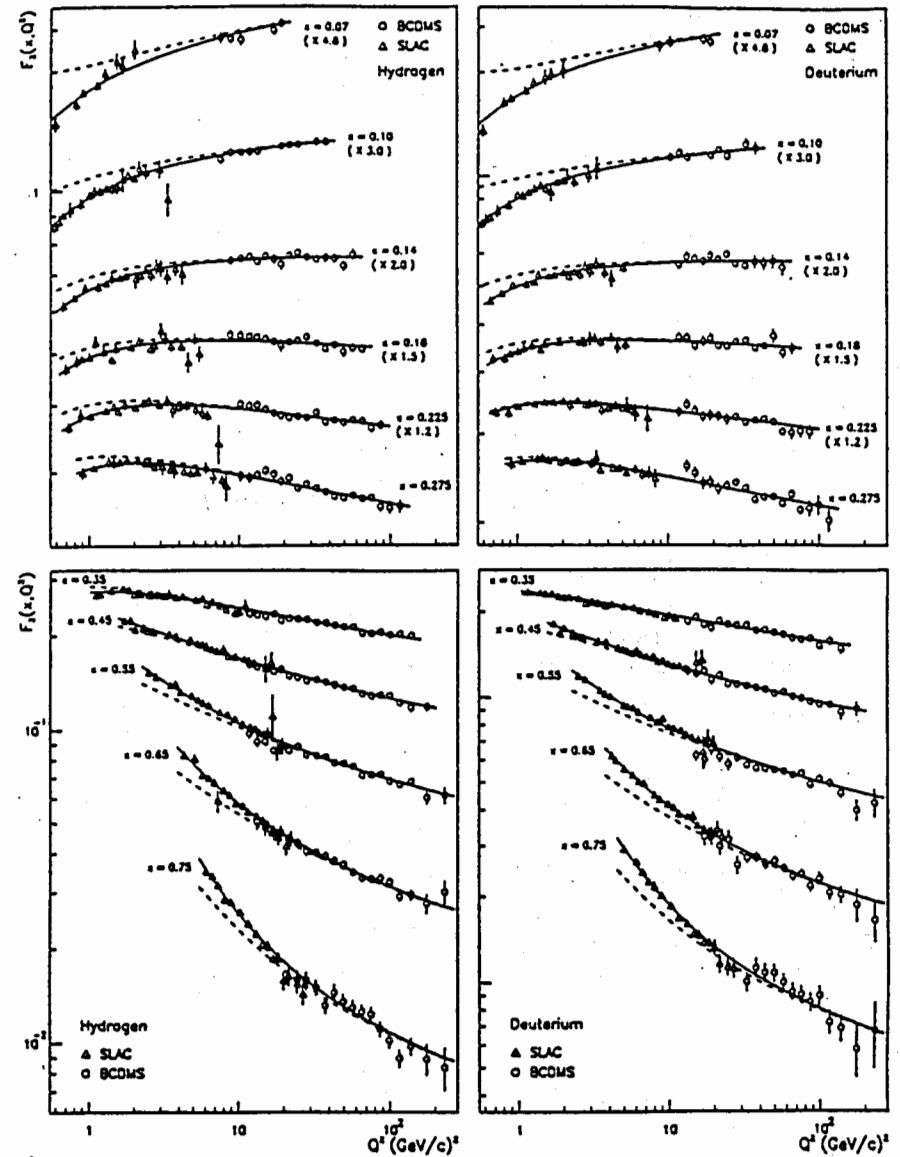


Fig. 5. QCD fit to the SLAC and BCDMS data on $F_2(x, Q^2)$. The dashed line is the purely perturbative fit with the leading twist structure function $F_2^{LT}(x, Q^2)$. The solid line includes the higher twist contribution discussed in the text

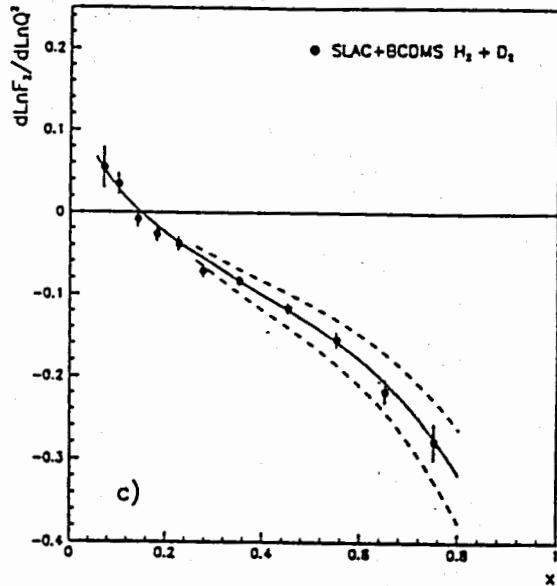


Fig. 6. Scaling violations $d \ln F_2 / d \ln Q^2$ observed in the combined SLAC/BCDMS hydrogen and deuterium data. Errors are statistical only. The solid line is a QCD fit corresponding to $\alpha_3(M_Z^2) = 0.113$; the dashed lines correspond to $\Delta\alpha_3(M_Z^2) = 0.010$

In the same analysis, Virchaux and Milsztajn have also estimated the «theoretical» uncertainty due to the neglect of higher order terms in the perturbative QCD expansions of the splitting and coefficient functions, which

can be absorbed into a redefinition of the factorization and renormalization scale Q and is therefore often referred to as «scale uncertainty». Their final result for α_s at $Q^2 = M_Z^2$ is

$$\alpha_s \left(M \frac{Z}{Z} \right) = 0.113 \pm 0.003 \text{ (exp.)} \pm 0.004 \text{ (theor.)}$$

This result still constitutes one of the most significant inputs to the present world average of α_s . As a byproduct, this QCD fit also provides an estimate of the gluon distribution in the nucleon (Eq.16). Since the gluon distribution is strongly peaked at small x , however, this estimate is now superseded by fits to more recent data with better coverage of this kinematic region.

6. Polarized Deep Inelastic Lepton Scattering

Since several years, deep inelastic scattering with polarized beams and targets is experiencing a Renaissance, in the wake of the seminal 1988 EMC discovery [32] that the spin-dependent structure function of the proton violated the Ellis-Jaffe sum rule [33], and that the quarks appear to carry only a small fraction of the total spin of the proton. This result has raised questions about the origin of the nucleon spin at the parton level which have not yet been answered conclusively.

It has therefore triggered intense theoretical and experimental activities, which have resulted in a plethora of papers and in a new generation of experiments to study the internal spin structure of the nucleon.

I start by giving a brief overview of the basic phenomenology of cross-section asymmetries (Section 6), and concentrate on experimental techniques (Section 7), and recent experimental results (Sections 8–10). An introduction into the theoretical situation can be found in Refs. [34,35].

6.1. The Deep Inelastic Cross Section

In the laboratory system, the scattering process is conveniently visualized in the two planes depicted in Fig.7. The scattering plane is defined, as in the unpolarized case, by the momentum 3-vectors \vec{k} and \vec{k}' of the incoming and scattered lepton, respectively; θ is the scattering angle. The spin plane is defined by \vec{k} and by the spin vector \vec{S}_N of the nucleon; β is the angle between \vec{k} and \vec{S}_N ($0 \leq \beta \leq \pi$) and ϕ is the angle between the scattering and the spin planes.

The differential deep inelastic cross-section for the process shown in Fig.7 can be decomposed into an unpolarized piece σ_0 and a polarized piece $\Delta\sigma$,

$$\frac{d^3\sigma(\beta)}{dx dy d\phi} = \frac{d^3\sigma_0}{dx dy d\phi} - \frac{d^3\Delta\sigma(\beta)}{dx dy d\phi}, \quad (19)$$

where $d^3\sigma_0/dx dy d\phi$ is the familiar unpolarized deep inelastic cross-section depending on the spin-independent structure functions F_1 and F_2 . In the Born approximation, the polarized contribution is given by [36]

$$\frac{d^3\Delta\sigma(\beta)}{dx dy d\phi} = \frac{4\alpha^2}{Q^2} \left\{ \cos \beta \left[\left(1 - \frac{y}{2} - \frac{Y^2 y^2}{4} \right) g_1(x, Q^2) - \frac{Y^2 y}{4} g_2(x, Q^2) \right] - \cos \phi \sin \beta \frac{\sqrt{Q^2}}{v} \left(1 - y - \frac{Y^2 y^2}{4} \right)^{1/2} \left[\frac{y}{2} g_1(x, Q^2) + g_2(x, Q^2) \right] \right\}, \quad (20)$$

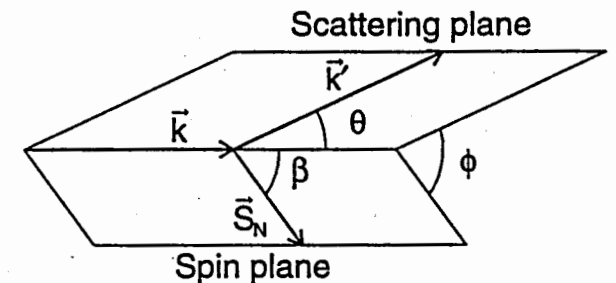


Fig. 7. Scattering of longitudinally polarized leptons in the laboratory frame

where

$$\gamma = \frac{2Mx}{\sqrt{Q^2}} \quad (21)$$

and g_1, g_2 are the spin-dependent structure functions of the nucleon. In these expressions, M is the nucleon mass, Q^2 is the four-momentum transfer to the target nucleon, and x and y are the familiar scaling variables.

An inspection of Eq. (20) reveals immediately how the two structure functions g_1 and g_2 can be disentangled from measurements of the differential cross-section. A target polarization parallel to the beam direction, i.e., $\sin \beta = 0$, mainly projects out g_1 since the contribution from g_2 is suppressed at high energies by the factor $Mx/2E$. For $\cos \beta = 0$, i.e., transverse target polarization, g_1 and g_2 contribute to the cross-section with similar weights.

6.2. Cross Section Asymmetries

The polarized piece (20) gives only a small contribution to the cross-section and is, in general, experimentally further suppressed by incomplete beam and target polarizations. It is therefore customary to evaluate it from measurements of cross-section asymmetries in which the unpolarized part in Eq.(19) cancels. When both the beam and the target are longitudinally polarized ($\sin \beta = 0$), this asymmetry is

$$A = \frac{\sigma^{\uparrow\downarrow} - \sigma^{\uparrow\uparrow}}{\sigma^{\uparrow\downarrow} + \sigma^{\uparrow\uparrow}}, \quad (22)$$

where $\sigma^{\uparrow\downarrow}$ and $\sigma^{\uparrow\uparrow}$ are the cross-sections for opposite and equal spin directions, respectively. For simplicity, terms of order γ^2 are neglected in the following discussion. From Eq.(20), one finds

$$A = D [A_1 + \eta A_2], \quad (23)$$

where

$$A_1(x) = \frac{g_1(x)}{F_1(x)}, \quad (24)$$

$$A_2(x) = \gamma \frac{g_1(x) + g_2(x)}{F_1(x)}. \quad (25)$$

D is often called the depolarization factor of the virtual photon and is given by

$$D = \frac{2y - y^2}{2(1-y)(1+R) + y^2}; \quad (26)$$

the factor η depends only on kinematic variables:

$$\eta = \frac{\sqrt{Q^2}}{E} \frac{2(1-y)}{y(2-y)}. \quad (27)$$

A_1 and A_2 can be interpreted as virtual photon-nucleon asymmetries. For spin-1/2 targets (proton and neutron),

$$A_1^{p,n} = \frac{\sigma_{1/2} - \sigma_{3/2}}{\sigma_{1/2} + \sigma_{3/2}}, \quad (28)$$

$$A_1^{p,n} = \frac{2\sigma^{TL}}{\sigma_{1/2} + \sigma_{3/2}}, \quad (29)$$

whereas for the deuteron [37]

$$A_1^d = \frac{\sigma_0 - \sigma_2}{\sigma_0 + \sigma_2}, \quad (30)$$

$$A_2^d = \frac{\sigma_0^{TL} - \sigma_1^{TL}}{\sigma_0 + \sigma_2}. \quad (31)$$

In these expressions, the indices refer to the total spin projections of the photon-hadron system in the direction of the virtual photon, and the σ^{TL} are the cross-sections arising from the interference of amplitudes for longitudinally and transversely polarized virtual photons. The following bounds can be derived for A_1 and A_2 [38]:

$$|A_1| \leq 1, \quad |A_2| \leq R; \quad (32)$$

for this reason, A_2 is expected to give a small contribution to A .

Finally, the experimentally measured continuing rate asymmetry is related to the cross-section asymmetry (22) by

$$A_{\text{exp}} = f_t P_t P_b A, \quad (33)$$

where P_b is the beam polarization; P_t , the polarization of the target nucleons; and f_t , the target dilution factor, i.e., the fraction of polarized nucleons in the target material.

6.3. Spin-Dependent Structure Functions in the Quark-Parton Model

Similar to the spin-independent structure functions, the spin-dependent structure function g_1 also has a straightforward interpretation in the Quark-Parton Model (QPM):

$$g_1(x) = \frac{1}{2} \sum_i e_i^2 [q_i^+(x) - q_i^-(x)], \quad (34)$$

where $q_i^+(x)$ ($q_i^-(x)$) is the density of quarks with helicity parallel (antiparallel) to the nucleon spin. This interpretation of $g_1(x)$ can be understood from the fact that a virtual photon with spin projection +1 can only be absorbed by a quark with spin projection $-1/2$, and vice versa.

The interpretation of the «transverse» spin structure function g_2 in the QPM is less obvious and has been the subject of much theoretical debate [36,39]. Wandzura and Wilczek [40] have shown that in Quantum Chromodynamics (QCD) it can be decomposed as

$$g_2(x, Q^2) = g_2^{WW}(x, Q^2) + \bar{g}_2(x, Q^2), \quad (35)$$

where the «trivial» piece g_2^{WW} is a leading twist contribution in the jargon of QCD, and is completely determined by $g_1(x, Q^2)$:

$$g_2^{WW}(x, Q^2) = -g_1(x, Q^2) + \int_x^1 g_1(y, Q^2) \frac{dy}{y}. \quad (36)$$

The term $\bar{g}_2(x, Q^2)$ is a twist-3 contribution which is best understood in an Operator Product Expansion (OPE) analysis in QCD, where it is sensitive to a quark-gluon correlation function in the nucleon and thus contains unique new physics.

7. The SMC Experiment

In the new generation of experiments that have been set up following the 1988 EMC discovery, three set-ups using different experimental techniques can be distinguished (Table 1):

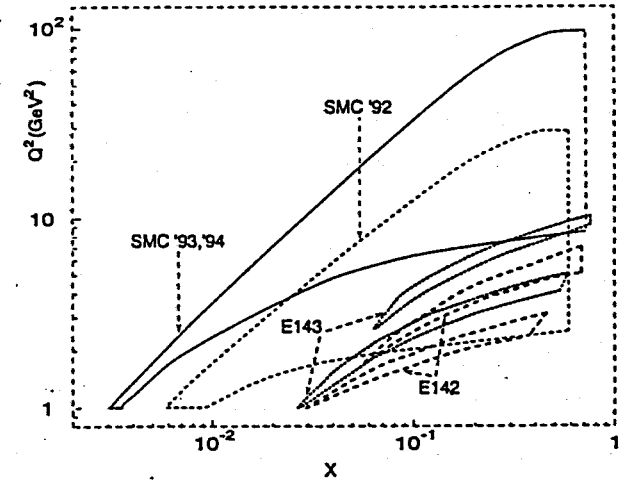
1. The experiment of the Spin Muon Collaboration (SMC) at CERN, using a high-energy muon beam and cryogenic solid state targets [42];
2. Experiments E142, E143, E154 and E155 at SLAC, using electron beams, a liquid ^3He target and also cryogenic solid state targets [43];
3. The HERMES experiment at DESY, using the polarized electron beam of the electron-proton storage ring HERA and internal hydrogen, deuterium and ^3He gas targets [44].

Electron and muon beam experiments are complementary in their physics reach. The main advantage of the SLAC experiments and HERMES is the enormous beam intensity that is available from electron accelerators. The strength of the SMC experiment is the higher beam energy, which ensures a better

Table 1: New experiments on polarized deep-inelastic lepton-nucleon scattering. The last column shows references to the principal physics results obtained until now

Experiment	Beam	Year	Beam energy (GeV)	Target	References
SMC	μ^+	1992	100	$\text{C}_4\text{D}_9\text{OD}$	[50]
		1993	190	$\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	[51,52]
		1994	190	$\text{C}_4\text{D}_9\text{OD}$	[53]
		1995	190	$\text{C}_4\text{D}_9\text{OD}$	
		1996	190	NH_3	
E142	e^-	1992	19.4–25.5	^3He	[55]
E143	e^-	1993	29.1	NH_3, ND_3	[56,57]
E154	e^-	1995	50	^3He	
E155	e^-	1996	50	NH_3, ND_3	
HERMES	e^-	1995—	30–35	H, D, ^3He	

Fig. 8. Kinematic ranges of recent polarized deep inelastic scattering experiments. For SMC, there are two different regions due to different beam energies used in 1992 (100 GeV) and 1993/94 (190 GeV). For each of the two SLAC experiments E142 and E143, the two bands correspond to the two spectrometer arms



kinematic coverage both at large Q^2 and in the region of small Bjorken x critical for sum rule tests (Fig.8). However, the muon intensity is limited due to the small net event yield from the decay chain $p \rightarrow \pi(K) \rightarrow \mu$ which is employed to produce muon beams at high-energy proton accelerators. The systematic errors of all experiments are presently of similar size. In a nutshell, fixed-target electron beam experiments produce more precise data but are confined to a more limited kinematic range.

In order to compensate partly for the modest beam intensity, the SMC solid state target is by far the largest polarized target ever built. The target materials used so far are normal and deuterated butanol. The dilution factor, i.e., the fraction of polarizable nucleons in the target molecules, is $f_p = 0.13$ and $f_d = 0.23$, respectively³. The target is subdivided into two halves of ≈ 60 cm length each. They can be longitudinally polarized in opposite directions, to allow for simultaneous data taking with the two relative orientations of beam and target polarizations required to measure the asymmetry A (Eq.(22)). The target material is placed inside a 2.5 Tesla superconducting solenoid of high field homogeneity and cooled to temperatures of less than 50 mK with a ^3He - ^4He dilution refrigerator. It is polarized using the technique of Dynamic Nuclear Polarization (DNP); opposite polarization in the two target halves are achieved by irradiating the material with microwaves of slightly different frequencies close to the respective electron-spin resonance frequencies. In 1992, the SMC discovered that the polarizations can be boosted substantially by suitable frequency modulation of the microwaves [45], a technique particularly beneficial to the performance of the deuteron target. Typical polarizations obtained are 50% for the deuteron and 85% for the proton target. To reduce systematic errors to a minimum, the spin directions of both target halves are reversed every few hours by rotation of the magnetic field, with minimal loss of polarization. The field rotation is achieved by suitable dynamic superposition of a dipole field and the solenoid field.

The muon beam of the CERN SPS has a «natural» longitudinal polarization thanks to parity violation. In the decay $\pi(K) \rightarrow \mu\nu_\mu$, the muon and the neutrino are fully polarized in the center-of-mass system, giving positive (negative) helicity to the positive (negative) muon. A Lorentz boost affects the longitudinal polarization of the massive muons which in the laboratory system depends on the ratio of muon and hadron energies. SMC operates with a typical ratio of $E_\mu/E_\pi \approx 0.9$, which gives a beam polarization of $P_b \approx -80\%$ for a μ^+ beam. The typical beam intensity is $4.5 \cdot 10^7$ per spill of 2.4 s duration, with a period of 14.4 s. The beam momentum is measured with a magnetic spectrometer (BMS) installed upstream of the target.

The beam polarization is determined in a dedicated polarimeter installed downstream of the main spectrometer discussed below. For all data published to

³The term «dilution factor» also frequently refers to the event yield from polarized protons and deuterons, which differs from the «naive» (chemical) dilution factor by nuclear effects and radiative corrections to the Born cross-section, and is thus a function of the kinematic variables.

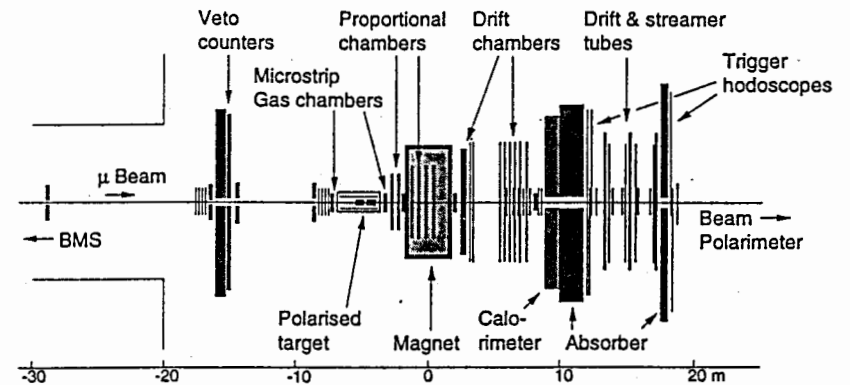


Fig. 9. Side view of the SMC spectrometer

date, the beam polarization was determined from the Michel spectrum of positrons from the decay $\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu$ [46]. A complementary method which employs the cross-section asymmetry of Møller scattering of muons on polarized electrons in a magnetized foil was implemented at a later stage, and will be used, in addition to the decay method, in the analysis of more recent data.

For the identification and momentum analysis of the scattered muon, the SMC uses an upgraded version of the large-acceptance magnetic spectrometer first built by the EMC [47] (Fig.9). A high precision measurement of the scattering angle and of the momentum of charged particles is provided by a large aperture dipole magnet ($\int B dl = 2.3$ Tm) instrumented with Multiwire Proportional Chambers (MWPCs) and drift chambers. The momentum measurement stage is followed by a muon identification stage which consists of a hadron absorber and a large-surface array of streamer tubes and drift tube. Drift chambers and streamer tubes are complemented by MWPCs to improve the rate capability of the spectrometer close to the beam. Three arrays of scintillator hodoscopes behind the hadron absorber provide the muon trigger of the experiment.

8. Results on Asymmetries and Spin-Dependent Structure Functions

Results on the asymmetry A_1 and on the spin-dependent structure function g_1 have been published by E143 [56,57,58] and by the SMC [50,51,53,54]. Neutron results have been published by E142 [55] and SMC has also evaluated g_1^n from the difference of proton and deuteron data [50,53].

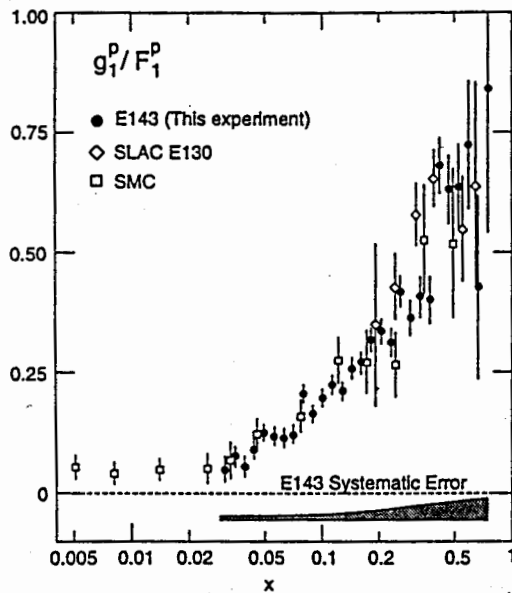


Fig. 10. The ratio $g_1^p/F_1^p \approx A_1^p$ measured by E143, SMC and by the earlier SLAC E130 experiment [66]. All data points are shown at the respective average Q^2 , increasing from 1 GeV² for the small x data to about 50 GeV² for the high- x SMC data. Only statistical errors are shown with the data points; the shaded band indicates the systematic errors of the E143 data

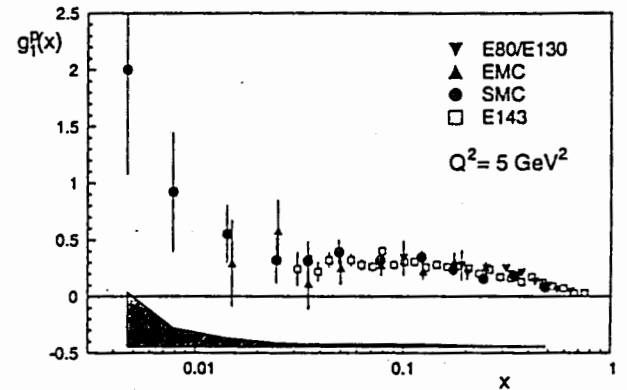
All present data are in excellent mutual agreement between the different experiments. As an example, a comparison of $g_1^p/F_1^p \approx A_1^p$ (Eq.(24)) is shown in Fig.8 [56]; similar agreement is observed for the deuteron [53].

In this figure, all data are shown at their respective average Q^2 which is about five times higher for SMC than for E143. The good agreement thus supports a key hypothesis made in the analysis of all data so far, namely that A_1 is independent of Q^2 .

Unfortunately, this assumption is at variance with QCD which predicts a Q^2 evolution of g_1 different from that of F_1 , and thus a net Q^2 dependence of A_1 . The Q^2 evolution of g_1 depends on the polarized quark and gluon densities, and no meaningful numerical predictions are possible as long as little is known about the latter. Extreme models for the polarized gluon distribution with $\Delta G(x) \approx 5$ had been studied initially [59], inspired by the anomalous gluon contribution to g_1 put forward as an explanation of the proton spin deficit [60]. Recently, Ball, Forte and Ridolfi have undertaken a detailed QCD analysis of $g_1^p(x, Q^2)$ [61]. They find that the present data poorly constrain the gluon distribution but favour a smaller ΔG . Gehrman and Stirling, in an analysis aimed mainly at a determination of spin-dependent parton distributions, come to similar conclusions [62].

In view of this uncertainty, the experimental groups have so far not integrated QCD technology into the analysis of their published results on g_1 . Under the

Fig. 11. The spin-dependent structure function $g_1(x)$ of the proton at $Q^2 = 5$ GeV². The EMC data were reevaluated using the same F_2 and R parametrizations as for the SMC and E143 data. Only statistical errors are shown with the data points. The SMC systematic error is indicated by the shaded areas



simple assumption that A_1 scales, the conversion of A_1 to g_1 (Eq.(24)) only requires a parametrization of the unpolarized structure function

$$F_1(x, Q^2) = F_2(x, Q^2) / 2x[1 + R(x, Q^2)]; \quad (37)$$

the Q^2 dependence of g_1 is then mostly determined by the Q^2 evolution of F_2 . At present, all experiments use the NMC parametrization of F_2 [63] and the SLAC parametrization of R [64]. The kinematic range in which these fits are valid does not cover fully the SMC data at small x ; future analyses will therefore make use of recent measurements of F_2 from the HERA experiments, and from Fermilab muon scattering experiment E665. The parametrization of R is less critical since it largely cancels in the evaluation of g_1 from the experimental asymmetry (cf. Eqs.(23), (24), (26) and (37)).

The recent measurement of $g_1^p(x)$ by the SMC [51] has pioneered new kinematic territory at small x and shows an indication of a rise at $x < 0.01$ (Fig.11). The effect is on the verge of being significant, and has triggered ample theoretical speculation that will be discussed in Section 9.

All presently available deuteron and neutron data on $g_1(x)$ are compared in Fig.12. The SMC and E143 results for the neutron are obtained from the relation $g_1^n(x) = 2g_1^d(x)/(1 - 1.5\omega_D) - g_1^p(x)$, where $\omega_D = 0.05 \pm 0.01$ [65] is the D-wave state probability of the deuteron. The SMC data clearly show that, unlike the proton data, both structure functions become negative at small x . This is in contrast to the unpolarized case where proton and neutron structure functions are very similar in this x range.

SMC has also made a first measurement of the «transverse» asymmetry A_2^p (Eq.(25)) and of $g_2^p(x)$ with a transversely polarized proton target and a 100 GeV

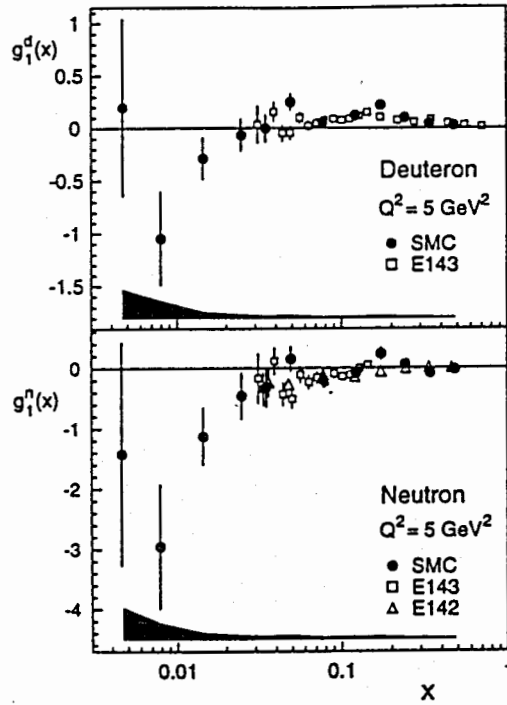


Fig. 12. The spin-dependent structure functions $g_1^d(x)$ and $g_1^n(x)$ at $Q^2 = 5 \text{ GeV}^2$ from the SLAC E142, E143 and from the SMC experiments. Only statistical errors are shown with the data points. The SMC systematic error is indicated by the shaded areas

9. Moments of Spin-Dependent Structure Functions and Sum-Rule Tests

9.1. Evaluating the First Moment of $g_1(x)$

Sum rule tests are at the heart of testing predictions for spin-dependent structure functions. Two essential steps are involved in going from structure functions to first moments

$$\Gamma_1(Q^2) = \int_0^1 g_1(x, Q^2) dx; \quad (38)$$

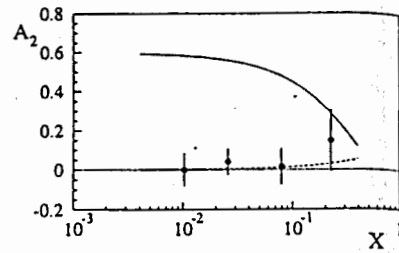


Fig. 13. The asymmetry A_2^p measured by the SMC at the average Q^2 of each x bin. Only statistical errors are shown. The solid line represents the positivity limit discussed in the text, using the SLAC parametrization of $R = \sigma_L/\sigma_T$. The dashed line is a prediction obtained from eqs. (35) and (36) for $\bar{g}_2(x) = 0$

beam [52] (Fig.13). A_2^p is found to be significantly below the positivity limit $|A_2| < \sqrt{R}$ and is compatible with zero, thus justifying the neglect of A_2 in the evaluation of A_1 (Eq.(23)). Preliminary results by E143 on A_2 for the proton and the deuteron confirm this result with substantially smaller errors [67].

these are (a) evolution to a constant Q^2 , and (b) extrapolation to $x=0$ and $x=1$. Evolving the data to a constant Q^2 invariably requires extrapolation outside the experimentally accessible range (Fig.8). The SLAC experiments choose a Q^2 of 2–3 GeV^2 and SMC uses $Q^2 = 10 \text{ GeV}^2$, close to the average Q^2 of the respective data. For combined analyses, $Q^2 = 5 \text{ GeV}^2$ is a reasonable choice. Again, these extrapolations are made under the hypothesis that A_1 is Q^2 -independent and that the Q^2 evolution is mostly driven by F_2 .

The extrapolation to $x=1$ is not critical, since it gives a small contribution and is safely constrained by the trivial bound $A_1 < 1$. In contrast, the small- x extrapolation is the subject of much debate and a source of substantial uncertainty. SMC and E143 assume for this a functional form $g_1(x) \propto x^\alpha$ predicted by Regge theory, α being bound by $0 \leq \alpha \leq 0.5$ [68]. Even if physically justified, there is some arbitrariness in using that form since Regge theory does not predict up to which x it is actually valid. SMC assumes $\alpha=0$ (i.e., $g_1 = \text{const.}$) and fits this simple model to the first two data points ($x \leq 0.01$); E143 does the same for $x \leq 0.1$. The E142 extrapolation assumes a Regge behaviour of A_1^n rather than $g_1^n, A_1^n \propto x^{\alpha'}$ with $\alpha' = 1.2$ [69].

The indication of a rise of g_1^p at small x (Fig.11) has given new momentum to the discussion about different small x behaviours. Bass and Landshoff [70] compute a contribution to the flavour singlet part of g_1^p from the exchange of two non-perturbative gluons that varies as $(2 \ln \frac{1}{x} - 1)$. Note that such contributions do not affect tests of the Bjorken sum rule which is a pure flavour non-singlet expression. Close and Roberts [71] criticize the procedure adopted by the experiments as «Regge Folklore» and reexamine diffractive models for the small- x behaviour. They find that rises as steep as $g_1^p \propto 1/x \log^2 x$ are allowed and are consistent with the data; such parametrizations would indeed saturate the Ellis-Jaffe sum rule. However, the same authors also point out that a dominant diffractive contribution should lead to a positive g_1 of the deuteron at small x , a conjecture not supported by the recent SMC data (Fig.12).

Finally, perturbative QCD also predicts $|g_1(x, Q^2)|$ to rise faster than any power of $\ln 1/x$ at small x [61,72]. The sign of g_1 is, however, not predicted by theory and depends once more on the gluon distribution.

Table 2: Tests of the Ellis–Jaffe sum rules. The errors on the predictions are mostly due to the uncertainty on the strong coupling constant and F/D . In the experimental results, the first error is statistical and the second is systematic. The EMC result also includes earlier SLAC E80 and E130 data and is reevaluated from Ref.32 using up-to-date parametrizations of F_2 and R . The SMC and E143 neutron results are obtained by combining proton and deuteron data. «Combined» refers to the combined fits discussed in the text

Experiment	Moment	Q^2 (GeV ²)	Measurement	Prediction	References
EMC	Γ_1^p	10.7	$0.138 \pm 0.010 \pm 0.018$	0.170 ± 0.005	[32]
SMC	Γ_1^p	10	$0.136 \pm 0.011 \pm 0.011$	0.170 ± 0.004	[51]
	Γ_1^d	10	$0.034 \pm 0.009 \pm 0.006$	0.071 ± 0.004	[53]
	Γ_1^n	10	$-0.063 \pm 0.024 \pm 0.013$	-0.017 ± 0.004	[53]
E142	Γ_1^n	2	$-0.022 \pm 0.007 \pm 0.009$	-0.011 ± 0.006	[55]
E143	Γ_1^p	3	$0.127 \pm 0.004 \pm 0.010$	0.164 ± 0.006	[56]
	Γ_1^d	3	$0.042 \pm 0.003 \pm 0.004$	0.070 ± 0.004	[57]
	Γ_1^n	3	$-0.037 \pm 0.008 \pm 0.011$	-0.013 ± 0.005	[57]
Combined	Γ_1^p	5	0.125 ± 0.009	0.167 ± 0.005	
	Γ_1^d	5	0.041 ± 0.005	0.070 ± 0.004	
	Γ_1^n	5	-0.037 ± 0.008	-0.015 ± 0.005	

It is important to realize that the present experiments, when estimating systematic uncertainties, make a reasonable allowance for variations of their extrapolation within the Regge model but do not account for models which predict a steeper increase (or decrease) at small x . Similarly, no Q^2 evolution of A_1 is accounted for; as was correctly pointed out in Ref.61, the assumption that A_1 is Q^2 independent can also lead to a substantial underestimate of the errors on Γ_1 . All comparisons of «measured» moments to theoretical predictions should be looked at under these two important provisos.

9.2. Testing the Ellis–Jaffe Sum Rules

After this word of caution, we can compare experimental moments to the Ellis–Jaffe sum rules [33]

$$\Gamma_1^{p(n)} = +(-) \frac{1}{12} (F + D) + \frac{5}{36} (3F - D), \quad (39)$$

where F and D are the symmetric and antisymmetric weak $SU(3)_f$ couplings, respectively, of the baryon octet. In Table 2 and Fig.14, a consistent set of predictions is computed from Eq.(39), using $F + D = |g_A/g_V| = 1.2573 \pm 0.0028$ [73] and $F/D = 0.575 \pm 0.016$ [74]; here, g_A and g_V are the axial and vector weak coupling constants of neutron beta decay. QCD corrections are applied following Refs.75,76, assuming $\alpha_s(m_Z^2) = 0.117 \pm 0.005$ [73] and three quark flavours. The predictions for the EMC and SMC results at $Q^2 \simeq 10$ GeV² are close to the charm threshold and the «theoretical» error therefore accounts for the effect of using four instead of three flavours. The same assumptions were made to compute the predictions for tests of the Bjorken sum rule discussed in the following Subsection.

A uniform pattern of disagreement is observed for both proton and deuteron data. The situation is less clear for the neutron where the SLAC data are very close to the Ellis–Jaffe prediction. It is tempting to relate this observation to Fig.12 which indicates that a straightforward extrapolation of the SLAC data to $x=0$ using the Regge procedure may miss a significant negative contribution to the first moment.

For the combined result of Table 2, proton, neutron and deuteron data were first evolved to a common $Q^2 = 5$ GeV². The results are obtained from a combined fit to all data given in this table which is constrained by the relation

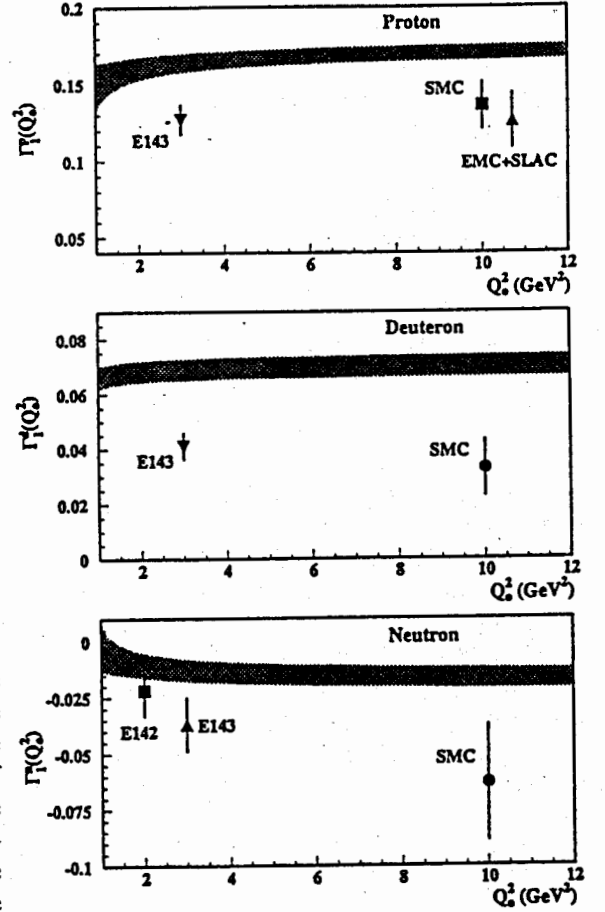


Fig. 14. Tests of the Ellis–Jaffe sum rules. The predictions are shown by the shaded bands. See also the caption of Table 2

$\Gamma_1^d = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{3}{2} \omega_D \right) (\Gamma_1^p + \Gamma_1^n)$. The computation of errors on the combined results is not straightforward because many systematic errors, such as those on beam polarizations, are correlated between different measurements. Some uncertainties of phenomenological origin, in particular those on the F_2 parametrization, are even correlated among results from different experimental set-ups. In the combined results shown in Table 2, all known correlations are accounted for by a Monte-Carlo method.

9.3. Testing the Bjorken Sum Rule

The Bjorken sum rule [78,79,80]

$$\Gamma_1^p(Q^2) - \Gamma_1^n(Q^2) = \frac{1}{6} \left| \frac{g_A}{g_V} \right| \left[1 - \frac{\alpha_s(Q^2)}{\pi} - \dots \right] \quad (40)$$

is commonly believed to be one of the most solid cornerstones of the Quark-Parton Model. It has escaped experimental verification for more than 25 years, notwithstanding an early claim based on proton data only [66]. It was only two years ago that serious tests became possible with the advent of precise deuteron and neutron data, in addition to the earlier proton data from SLAC and EMC. After some initial confusion [81], the consensus is now that — contrary to the Ellis-Jaffe sum rules — the Bjorken sum rule is confirmed by the data at the 10% level.

Experimentally, the most reliable results are likely to be those obtained from proton and deuteron targets, with otherwise identical experimental set-ups. E143 finds [57]

$$\Gamma_1^p - \Gamma_1^n = 0.163 \pm 0.010 \text{ (stat.)} \pm 0.016 \text{ (syst.)}$$

at $Q^2 = 3 \text{ GeV}^2$, to be compared to a predicted $\Gamma_1^p - \Gamma_1^n = 0.177 \pm 0.005$ at the same Q^2 . The most recent SMC result is [53]

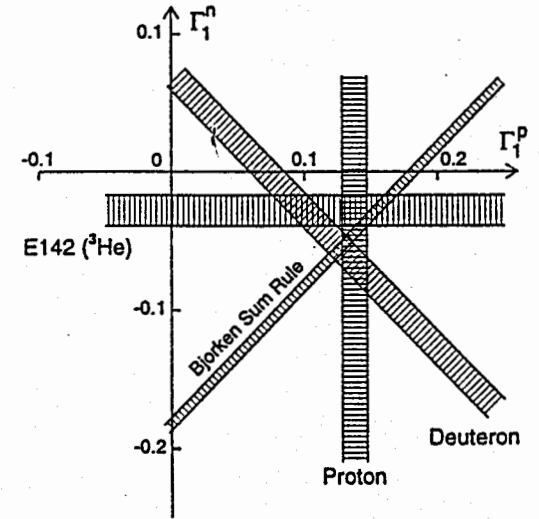
$$\Gamma_1^p - \Gamma_1^n = 0.199 \pm 0.038$$

at $Q^2 = 10 \text{ GeV}^2$, where the prediction is $\Gamma_1^p - \Gamma_1^n = 0.187 \pm 0.003$.

The status of all presently available data is illustrated in Fig.15, where the combined results for $Q^2 = 5 \text{ GeV}^2$ (Table 2) are compared in the $\Gamma_1^p - \Gamma_1^n$ plane. The corresponding numerical result from the constrained fit discussed above is

$$\Gamma_1^p - \Gamma_1^n = 0.162 \pm 0.014 \quad (Q^2 = 5 \text{ GeV}^2),$$

Fig. 15. Experimental results and Bjorken prediction for the first moments Γ_1^p and Γ_1^n at $Q^2 = 5 \text{ GeV}^2$



to be compared to a predicted $\Gamma_1^p - \Gamma_1^n = 0.182 \pm 0.005$.

The results of the combined fit in Table 2, in particular that for Γ_1^n , as well as the above result for $\Gamma_1^p - \Gamma_1^n$ should be taken with some caution in view of the marginal consistency of the neutron data. The mutual agreement of the results for Γ_1^n is

substantially improved when the small- x extrapolation of the E142 data is replaced by a fit to the muon data for g_1^n , for $x < 0.03$ (Fig.12). Such a fit gives $\Gamma_1^n = -0.067 \pm 0.016$ and

$$\Gamma_1^p - \Gamma_1^n = 0.203 \pm 0.023 \quad (Q^2 = 5 \text{ GeV}^2),$$

in better agreement with the prediction. In view of the large size of the QCD corrections to the Bjorken sum rule at small Q^2 , one may assume its validity and exploit Eq.(40) for a determination of α_s . The result is in agreement with other measurements at similar Q^2 , with remarkably competitive errors [77].

10. The Spin Structure of Nucleons

The most straightforward interpretation of the violation of the Ellis-Jaffe sum rule is a non-zero polarization of the strange sea. For a nucleon with spin $S_z = +\frac{1}{2}$, the moments Δq_i of parton distributions $q_i^+(x) - q_i^-(x)$ (cf. Eq.(34)) can be understood as normalized average z components of S_z carried by each of the quark flavours i , such that $\Delta\Sigma = \Delta u + \Delta D + \Delta s$ is the total quark contribution to S_z which can be decomposed according to the helicity sum rule

$$S_z = \frac{1}{2} \Delta\Sigma + \Delta G + L_z, \quad (41)$$

Table 3: Experimental results on the total ($\Delta\Sigma$) and strange (Δs) quark contributions to the nucleon spin. The EMC result also includes earlier SLAC E80 and E130 data and is reevaluated from Ref.32 using up-to-date parametrizations of F_2 and R . For references see Table 2

Experiment	Target	Q^2 (GeV 2)	$\Delta\Sigma$	Δs
EMC	p	10.7	$.27 \pm .16$	-0.10 ± 0.05
SMC	p	10	$.22 \pm .14$	-0.12 ± 0.06
	d	10	$.20 \pm .11$	-0.12 ± 0.04
E142	n	2	$.57 \pm .11$	-0.01 ± 0.06
E143	p	3	$.27 \pm .10$	-0.10 ± 0.04
	d	3	$.30 \pm .06$	-0.09 ± 0.02

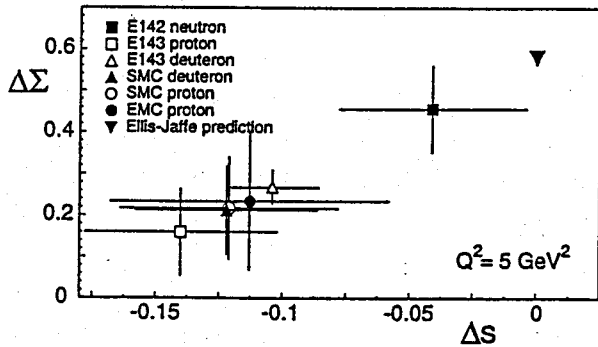
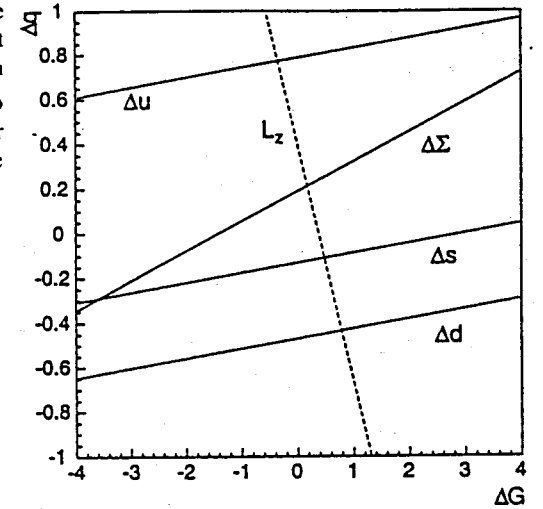


Fig. 16. Experimental results on the total ($\Delta\Sigma$) and strange (Δs) quark contributions to the nucleon spin at $Q^2 = 5 \text{ GeV}^2$

where L_z is the parton angular momentum. The Ellis–Jaffe prediction of Eq.(39) is equivalent to $\Delta\Sigma = \Delta u + \Delta d \simeq 0.6$.

The formalism of Ellis and Jaffe relating moments of quark distributions to weak axial-vector couplings [33] therefore allows one to analyse the measured moments of g_1 in terms of the flavour decomposition of the nucleon spin. All experiments have published results on $\Delta\Sigma$ and on the strange contribution Δs (Table 3); some care must be exercised in comparing these results since they refer to different Q^2 and were evaluated with different assumptions on the QCD radiative corrections. The same data are therefore shown in Fig.16, where they are evaluated from the experimental moments with a consistent treatment of QCD corrections at a common $Q^2 = 5 \text{ GeV}^2$. With the exception of E142, all data lead to the conclusion that the total quark contribution is small, $\Delta\Sigma \approx 0.2$, and that there is a small but significant negative contribution from the strange sea, $\Delta s \approx -0.1$.

Fig. 17. Quark contributions to the nucleon spin as a function of the first moment of the polarized gluon distribution, at $Q^2 = 5 \text{ GeV}^2$. Also shown is the total quark angular momentum L_z required to fulfill the relation $S_z = 1/2 = 1/2\Delta\Sigma + \Delta G + L_z$.



The most reliable combined result is again obtained by combining the data at the level of g_1 and including the small- x behaviour observed in Fig.12 into the calculation of Γ_1 for all deuteron and neutron data. Assuming that $\Delta\Sigma$ and Δs are the same for proton, neutron and deuteron, a fit with proper treatment of correlated errors, similar to the one discussed above, gives

$$\Delta\Sigma = 0.19 \pm 0.07 \quad \Delta s = -0.013 \pm 0.02$$

at $Q^2 = 5 \text{ GeV}^2$. From a different analysis, based on a smaller data sample and a less detailed treatment of the experimental errors, Ellis and Karliner find

$$\Delta\Sigma = 0.31 \pm 0.07 \quad \Delta s = -0.10 \pm 0.03$$

at $Q^2 = 5 \text{ GeV}^2$ [77]. It is worth remembering that these analyses rely on the assumption of exact flavour SU(3) symmetry to justify the use of measurements of F/D from hyperon decays. A recent study [82] has shown that $\Delta\Sigma$ is almost insensitive to $SU(3)_f$ breaking effects, whereas the absolute value of Δs can decrease substantially under reasonable assumptions on $SU(3)_f$ symmetry breaking.

The above analyses account for QCD radiative corrections, whereas the «anomalous» contribution to the singlet coupling a_0 is usually ignored, again due to our lack of knowledge of ΔG . A generalization of the SMC analysis [83] discussed above which accounts for the axial anomaly is shown in Fig.17. It

illustrates that, from the present data, a gluon distribution with $\Delta G \simeq 3$ is required to restore the Ellis-Jaffe sum rule.

11. Conclusions

Deep inelastic muon scattering experiments performed in collaboration with JINR and CERN have produced a wealth of significant results, many of which have passed the test of time already and are cornerstones of our present understanding of the dynamical structure of protons and neutrons. In particular, they have proven to be powerful tools to test predictions of QCD, such as scaling violations of structure functions and the Bjorken sum rule.

Acknowledgement

I should like to thank the JINR Directorate, in particular V.G.Kadyshevsky and A.N.Sissakian, for their kind invitation to attend the 40th anniversary of the Institute, and to present this talk at the special meeting of the JINR Specific Council that was held at this occasion.

References

1. See, e.g., Riordan M. — *The Hunting of the Quark*, Simon & Schuster, New York, 1987; Taylor R. — Proc. 19th SLAC Summer Institute on Particle Physics, ed. by J.Hawthorne, SLAC-REPORT-398, 1991.
2. Feynman R.P. — *Proton-Hadron-Interactions*, Benjamin W.A. — Reading 1972.
3. Close F.E. — *An Introduction to Quarks and Partons*, Academic Press, London 1979.
4. Halzen F., Martin A.D. — *Quarks and Leptons*, John Wiley and Sons, New York 1984.
5. Roberts R.G. — *Structure of the Proton: Deep Inelastic Scattering*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
6. Eisele F. — Rep. Prog. Phys., 1986, 49, p.233.
7. Diemoz M., Ferroni F., Longo E. — Phys. Rep., 1986, 130, p.293.
8. Sloan T., Smadja G., Voss R. — Phys. Rep., 1988, 162, p.45.
9. Mishra S.R., Sciulli F. — Ann. Rev. Nucl. Part. Sci., 1989, 39, p.259.
10. Virchaux M. — Proc. Workshop «QCD, 20 years later», ed. by P.Zerwas and H.A.Kastrup, Aachen 1992.
11. For a recent review see: Arneodo M. — CERN-PPE/92-113, subm. to Physics Reports.
12. Prescott C.Y. et al. — Phys. Lett., 1978, B77, p.347; Phys. Lett., 1979, B84, p.524.
13. BCDMS, Argento A. et al. — Phys. Lett., 1983, B120, p.245; Phys. Lett., 1984, B140, p.142.
14. Callan C.G., Gross D.G. — Phys. Rev. Lett., 1969, 22, p.156.
15. Altarelli G., Martinelli G. — Phys. Lett., 1978, B76, p.89.
16. EMC, Allkofer O.C. et al. — Nucl. Instr. Meth., 1981, 179, p.445; Albanese J.P. et al. — Nucl. Instr. Meth., 1983, 212, p.111.
17. BCDMS, Bollini D. et al. — Nucl. Instr. Meth., 1983, 204, p.333; Benvenuti A.C. et al. — Nucl. Instr. Meth., 1984, 226, p.330.
18. BCDMS, Benvenuti A.C. et al. — Phys. Lett., 1987, B195, p.97.
19. BCDMS, Benvenuti A.C. et al. — Phys. Lett., 1989, B223, p.485.
20. BCDMS, Benvenuti A.C. et al. — Phys. Lett., 1989, B237, p.592.
21. Whitlow L.W. et al. — Phys. Lett., 1992, B282, p.475.
22. Arneodo M. et al. — Phys. Lett., 1995, B364, p.107.
23. Adams M.R. et al. — FNAL-PUB-95/396-E, subm. to Phys. Rev. D;
24. Altarelli G. — Phys. Rep., 1982, 81, p.1.
25. Hansl T. — Proc. 19th SLAC Summer Institute on Particle Physics, ed. by J.Hawthorne, SLAC-REPORT-398, 1991.
26. Bardeen W.A. et al. — Phys. Rev., 1978, D18, p.3998.
27. Altarelli G., Parisi G. — Nucl. Phys., 1977, B126, p.298.
28. BCDMS, Benvenuti A.C. et al. — Phys. Lett., 1987, B195, p.97.
29. BCDMS, Benvenuti A.C. et al. — Phys. Lett., 1989, B223, p.490.
30. Virchaux M., Milsztajn A. — Phys. Lett., 1992, B274, p.221.
31. Ellis R.K., Furmanski W., Petronzio R. — Nucl. Phys., 1983, B212, p.29.
32. EMC, Ashman J. et al. — Phys. Lett., 1988, B206, p.364; Nucl. Phys., 1989, B328, p.1.
33. Ellis J., Jaffe R.L. — Phys. Rev., 1974, D9, p.1444; 1974, D10, p.1669.
34. Reya E. — Proc. XXXII Internationale Universitätswochen für Kern- und Teilchenphysik, Schalding, Austria 1993, ed. by L.Mathelitsch and W.Plessas, Springer-Verlag 1994, p.175.
35. Forte S. — Proc. Tennessee International Symposium on Radiative Corrections, Gatlingburg, Tennessee, 1994 (hep-ph-9409416).
36. Jaffe R.L. — Comments. Nucl. Part. Phys., 1990, 19, p.239.
37. Hoodbhoy P. et al. — Nucl. Phys., 1989, B312, p.571; Rodriguez M.A. — PhD Thesis, University of Santiago di Compostela, 1994.
38. Doncel M.G., de Rafael E. — Nuovo Cimento, 1971, 4A, p.363; Gnadig P., Niedermayer F. — Nucl. Phys., 1973, B55, p.612.
39. Ji X. — Proc. Workshop on Deep Inelastic Scattering and QCD, Paris 1995, ed. by J.-F.Laporte and Y.Sirois.
40. Wandzura S., Wilczek F. — Phys.Lett., 1977, 72B, p.195.
41. Burkhardt H., Cottingham W.N. — Ann. Phys. (N.Y.), 1970, 56, p.453.
42. SMC Proposal, CERN/SPSC 88-47 (SPSC P242) 1988; CERN/SPSLC 94-13 (SPSC/P242/Add.1) 1994; CERN/SPSLC 95-28 (SPSC/P242/Add.2) 1995.

43. Arnold R. et al. — SLAC Proposal E-142, 1989; SLAC Proposal E143 (undated); SLAC Proposal E154, 1993; SLAC Proposal E155, 1993.
44. The HERMES Collaboration, HERMES Proposal, DESY PRC 90/01, 1990; HERMES Technical Design Report, 1993.
45. SMC, Adeva B. et al. — Preprint CERN-PPE/95-31, submitted to Phys. Rev. Lett.
46. SMC, Adeva B. et al. — Nucl. Instr. Meth., 1994, 343, p.363.
47. EMC, Allkofer O.C. et al. — Nucl. Instr. Meth., 1981, 179, p.445.
48. Chupp T.E. et al. — Phys. Rev., 1992, C45, p.915; Phys. Rev., 1987, C36, p.2244.
49. Crabb D.G., Day D. — Proc. 7th Workshop on Polarized Target Materials and Techniques, Bad Honnef, Germany, 1994, to be published in Nucl. Instr. Meth.
50. SMC, Adeva B. et al. — Phys. Lett., 1993, B302, p.533.
51. SMC, Adams D. et al. — Phys. Lett., 1994, B329, p.399; Erratum — Phys. Lett., 1994, B339, p.332.
52. SMC, Adams D. et al. — Phys. Lett., 1994, B336, p.125.
53. SMC, Adams D. et al. — Preprint CERB-PPE/95-97, subm. to Physics Letters B.
54. Magnon A. — Proc. Workshop on Deep Inelastic Scattering and QCD, Paris 1995, ed. by J.-F.Laporte and Y.Sirois.
55. E142 Collaboration, Anthony P.L. — Phys. Rev. Lett., 1993, 71, p.959.
56. E143 Collaboration, Abe K. et al. — Phys. Rev. Lett., 1995, 74, p.346.
57. E143 Collaboration, Abe K. et al. SLAC-PUB-95-6734.
58. Roblin Y. — Proc. Workshop on Deep Inelastic Scattering and QCD, Paris 1995, ed. by J.-F.Laporte and Y.Sirois.
59. Altarelli G., Stirling W.J. — Particle World, 1989, 1, p.40; Altarelli G., Nason P., Ridolfi G. — Phys. Lett., 1994, B320, p.152; Erratum, Phys. Lett., 1994, B325, p.538.
60. Altarelli G., Ross G.G. — Phys. Lett., 1988, B212, p.391.
61. Ball R.D., Forte S., Ridolfi G. — CERN-TH/95-31 (CeF-TH-2/95) (hep-ph-9502340).
62. Gehrmann T., Stirling W.J. — Z.Phys., 1995, C65, p.461.
63. NMC, Amaudruz P. et al. — Phys. Lett., 1992, B295, p.159.
64. Whitlow L.W. et al. — Phys. Lett., 1990, B250, p.193; Whitlow L.W. — Ph.D. Thesis, SLAC-Report-357, Stanford University, 1990.
65. Buck W., Gross F. — Phys. Rev., 1979, D20, p.2361; Zuilhof M.Z., Tjon J.A. — Phys. Rev., 1980, C22, p.2369; Lacombe M. et al. — Phys. Rev., 1980, C21, 861; Machleidt R. et al. — Phys. Rep., 1987, 149, p.1; Umnikov A.Yu. et al. — University of Alberta preprint Alberta-Thy-29-94, 1994.
66. E130 Collaboration, Baum G. et al. — Phys. Rev. Lett., 1983, 51, p.1135.
67. E143 Collaboration, Grenier Ph. — Proc. XXIXth Rencontres de Moriond, Les Arcs, Savoie, France 1995, in print.

68. Heimann R.L. — Nucl. Phys., 1973, B64, p.429; Ellis J., Karliner M. — Phys. Lett., 1988, B213, p.73.
69. Schafer A. — Phys. Lett., 1988, B208, p.175.
70. Bass S.D., Landshoff P.V. — Phys. Lett., 1994, B336, p.537.
71. Close F.E., Roberts R.G. — Phys. Lett., 1994, B336, p.257, and references therein.
72. Ahmed M.A., Ross G.G. — Phys. Lett., 1975, B56, p.385.
73. Particle Data Group, Montanet L. et al. — Phys. Rev., 1994, D50, p.1173.
74. Close F.E., Roberts R.G. — Phys. Lett., 1993, B316, p.165.
75. Larin S.A., Tkachev F.V., Vermaseren J.A.M. — Phys. Rev. Lett., 1991, 66, p.862; Larin S.A., Vermaseren J.A.M. — Phys. Lett., 1991, B259, p.345; Larin S.A. — CERN-TH-7208/94 (hep-ph/9403383).
76. Larin S.A. — Phys. Lett., 1994, 334, p.192.
77. Ellis J., Karliner M. — Phys. Lett., 1995, B341, p.397.
78. Bjorken J.D. — Phys. Rev., 1966, 148, p.1467; Phys. Rev., 1970, D1, p.465; *ibid.* 1970, D1, p.1376.
79. Kodaira J. et al. — Phys. Rev., 1979, D20, p.627; Kodaira J. et al. — Nucl. Phys., 1979, B159, p.99.
80. Kodaira J. — Nucl. Phys., 1980, B165, p.129.
81. See e.g. Voss R. — Proc. XVI Int. Symposium on Lepton-Photon Interactions, Cornell University, Ithaca, N.Y., 1993, ed. by P.Drell and D.Rubin, p.144 (AIR Press, New York 1994).
82. Lichtenstadt J., Lipkin H.J. — TAUP-2244-95 (WIS-95/15/Mar-PH) (hep-ph-9504277).
83. Stiegler U. — Proc. IVth Int. Symposium on Weak and Electromagnetic Interactions in Nuclei, Osaka 1995, in print.
84. Perrot-Kunne F. — Proc. Workshop on Deep Inelastic Scattering and QCD, Paris 1995, ed. by J.-F.Laporte and Y.Sirois.

ВКЛАД ОИЯИ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНУЮ СПИНОВУЮ ФИЗИКУ*

Профессор ФЛЕГАР

По определению, такое квантовое число, как спин, существует. Господа С.Гаудсмит и Дж.Уленбек этой проблемой занимались еще в середине двадцатых годов. Стоит вспомнить и П.Дирака, у которого спин появился независимо и содействовал тому, что П.Дирак стал Нобелевским лауреатом.

Нельзя сказать, что все были от открытия спина в восторге, многие до сих пор жалеют, что природа нам усложняет жизнь. Без спина человечество взорвало бомбу и заработали атомные электростанции...

В «доспиновое» время любое рассеяние чего угодно на чем угодно хорошо описывалось одной амплитудой рассеяния, даже если она комплексная, это еще выносимо, но зачем нам бороться с несколькими понятиями? Было достаточно измерить дифференциальное сечение одного канала любой реакции, проинтегрировать его по углам — и все. Если надо, измерим еще полное сечение и напишем оптическую теорему, такую роскошь можем себе позволить. Новым частицам тоже никакого спина не надо!...

Многие теоретики и экспериментаторы заинтересовались проблемой спина. И очень скоро, уже в пятидесятых годах, этим стали заниматься в ОИЯИ. Может быть, даже до того, но этого я не помню...

Я говорю про экспериментаторов и теоретиков в Дубне. Придется определить, что это такое. Точнее, что это было в шестидесятые годы в ОИЯИ.

Так как я экспериментатор, с этого и начну. В физике элементарных частиц средних и высоких энергий на ускорителях тогда можно было разделить экспериментаторов на две неодинаковые части. Небольшая часть (около 20%) пользовалась электронными методами, позволяющими из всех возможных случаев взаимодействия выделять маленькое количество таких, которые надо было изучать. С деятельностью такого сорта экспериментаторов связано создание аппаратуры, подготовка пучка, мишени и измерений, проведение сеансов на ускорителе, обработка данных и интерпретация результатов. Аппаратура и детекторы часто менялись.

*В связи с большим объемом доклад приводится в сокращении.

Большинство экспериментаторов в той же самой области физики в те годы работало с детекторами, которые не могли выделять определенные взаимодействия, но регистрировали все, что случилось. Это были в основном пузырьковые камеры и ядерные эмульсии. Детекторы были построены заранее, во многих случаях они одновременно были мишенями и до измерения надо было подготовить только пучок. Главная работа состояла в просмотре снимков или эмульсий и в интерпретации результатов.

Основная беда многих экспериментаторов разных сортов состоит в том, что они слишком сильно и некритически верят теоретикам. Из-за этого готовы подтверждать их модели, не думая о том, разумные они или нет. Потом удивляются, когда определенная и «все спасающая» модель рухнет и все надо «передумать». Лично я помню, как несколько таких моделей развалилось или область их действия сильно ограничивалась. Спиновая физика была не последней причиной таких явлений.

Вышеуказанное деление сегодня уже неверно. Аппаратура стала сложной, возникли новые группы, более специализированные. Деление также неверно для других областей физики. Но вера экспериментаторов в теоретиков сохранилась.

Несколько групп в ЛЯП, в основном принадлежащих к вышеуказанным двадцати процентам, работало в области нуклон-нуклонного, пион-нуклонного и нуклон-ядерного рассеяния. Из этого «доспинового» времени хочу вспомнить результаты, полученные на ускорителях ОИЯИ, которые повлияли на спиновую физику и с ней связаны (см. табл.1). Некоторые из них, полученные на синхротронном, были опубликованы раньше, чем ОИЯИ был основан.

В ЛВЭ тогда большинство физиков принадлежало к вышеуказанным 80% экспериментаторов. В 1963 и 1964 гг. на синхрофазотроне ЛВЭ был получен сверхинтересный результат по измерению отношения действительной и мнимой части бесспиновой амплитуды pp -рассеяния вперед. Данные в ЛВЭ регистрировались методом ядерных эмульсий. Было показано, что действительная часть амплитуды рассеяния вперед большая и отрицательная в области энергий синхрофазотрона. Эту оригинальную работу, как по методике (ниточная мишень на внутреннем пучке), так и по результату, выполнили сотрудники ЛВЭ, перечисленные в табл.2.

Продолжением работы был позже эксперимент в Протвино со струйной водородной мишенью, в котором были уточнены предыдущие результаты (с большими ошибками), измерены полные упругие сечения и увеличена область энергий (табл.2).

Группа измерила также полные сечения pd на ускорителе в Протвино. Годом позже в Фермилаб часть физиков из ЛВЭ приняла участие в измерениях до энергии 393 ГэВ, и оказалось, что $Re/Im(pp)$ снова пересекает нуль из отрицательных в положительные значения (табл. 2).

Работы по *pp*-рассеянию в ЛЯП были дополнены измерениями упругих дифференциальных сечений. В них участвовали многие из вышеуказанных физиков, см. *табл.3*.

На синхрофазотроне ЛВЭ получены данные, приведенные в *табл.4*. На струйной мишени в Протвино уже упомянутая группа авторов получила тоже упругие дифференциальные *pp*-сечения.

Полные *pp*- и *pn*-сечения и сечения неупругих реакций измерили на синхроциклотроне ЛЯП (см. *табл.5*).

В ЛВЭ данные были дополнены измерениями на синхрофазотроне — *табл.6*.

Некоторые эксперименты в ЛЯП и ЛВЭ также позволили определить полные сечения *nn*-рассеяния — *табл.7*.

Важными оказались измерения *pp*- и *pn*-дифференциальных сечений в ЛЯП — *табл.8*.

Дифференциальные сечения упругого *pp*-рассеяния со свободными нейтронами были получены по развалу ускоренных до 400 МэВ дейтонов. Это измерение было большим успехом в 1961 году. Оно требовало ускорения дейтонов до 400 МэВ на синхроциклотроне. В последних экспериментах я уже принимал участие.

В ЛВЭ на синхрофазотроне нейтронный пучок широкого спектра, полученный перезарядкой ускоренных протонов на Ве-мишени, позволил советско-румынской группе измерить ту же величину при энергии 4,5 и 8 ГэВ. Измерения проводились с помощью пропановой пузырьковой камеры (см. *табл.9*).

Указанными результатами пользовались физики всего мира, некоторыми из них пользуются до сих пор. В семидесятых годах многие физики на Западе спрашивали у меня подробности измерений в Дубне.

С группой Ю.М.Казаринова начала сотрудничать в 1963 году группа А.Ф.Писарева. Эти две группы вместе с группами М.Г.Мещерякова, Б.М.Головина и другими измеряли величины, зависящие от спина. Сначала с неполяризованными частицами, которые становились поляризованными после их первого рассеяния. Возможности сильно увеличились после создания группой М.Г.Мещерякова протонного поляризованного пучка на синхроциклотроне (см. *табл.10*).

Протоны, рассеянные под малым углом, отклонялись в распределяющий магнит и оттуда в линию пучка. В конце концов поляризацию можно было получить в любом направлении, включая продольную. Нельзя сказать, что это был «флип-флоп», но почти! Между «флипом» и «флопом» надо было только поменять полюсные накладки; это длилось около получаса. Для вывода пучка кто-то из сотрудников на деревянной доске сделал большую точку в месте прохождения частиц (подозреваю Ю.П.Кумекина). В течение года точка не только исчезла, но пучок прожег в доске дыру...

Позже поляризованная протонная мишень (ППМ) в ЛЯП, созданная (*табл.10*) Б.С.Негановым и Л.Б.Парфеновым (1965 — ЛМН, позже замороженная мишень), снова увеличила возможности опытов.

Измерения *pp*-поляризации и анализирующей способности были выполнены в работах, перечисленных в *табл.11*.

В.П.Джелепов, В.И.Сатаров, Б.М.Головин и В.С.Надеждин (1964) получили *pp* анализирующую способность в упругом и квазиупругом рассеянии. На основании их работы и сравнения упругих и квазиупругих результатов тогда у меня в первый раз возникло серьезное подозрение, что между спиновыми величинами в упругом и квазиупругом *NN*-рассеянии на дейтонах никакой разницы нет и что любые поправки только ухудшат результаты. Эти поправки, типа глауберовских поправок на теневой эффект и на спектатор, были тогда модными, и многие теоретики над этой проблемой упорно работали и работают до сих пор, хотя все новые измерения подтверждают снова и снова результат вышеуказанных авторов. Не очень важно, если абсолютная нормализация данных совпадает с сегодняшними величинами, но она была одинаковой для упругих и квазиупругих величин (см. *табл.11*).

С начальными неполяризованными протонами были измерены параметры спиновой корреляции при энергии 315 МэВ на угле 90° в с.д.м. — *табл.12*.

Многие вышеназванные авторы не остановились на измерении однократного рассеяния поляризованных частиц и получили компоненты тензора деполяризации (см. *табл.13*).

Надо отметить, что аппетит приходит во время еды, и экспериментаторы уже с поляризованным пучком группы М.Г.Мещерякова даже решили измерить параметр с тремя спиновыми индексами. Одновременно были получены и другие параметры с двумя индексами — *табл.14*.

Спиновую физику с нейтронами можно было изучать только в квазиупругом рассеянии протонов на нейтронах, слабо связанных в дейтонах. Здесь надо отметить работы по анализирующей способности и двойному рассеянию в *pn* (*табл.15*).

Соответствующие результаты я использовал для своей диссертации, которую защитил в июле 1966 года. Благодаря этим измерениям многие молодые физики в шестидесятых и в начале семидесятых годов получили академические звания.

Развитие оптических искровых камер позволило довольно точно измерять спиновые величины. Но обработка снимков была медленной, поэтому надо было думать о более быстрой обработке. Электронные методы регистрации данных были в Дубне тогда недоступны. Не буду здесь сравнивать качество счетных машин и просмотрных приборов. Удивительно, что удалось даже написать программы обработки данных в Дубне при наличии такой маленькой памяти счетной машины, какой тогда была М20. Только в 1968 году, благодаря Ярославу Пернегру, вице-директору ЛВЭ, Институт получил одну IBM.

Просмотровых приборов тоже не хватало, и лаборанток было хотя и много, но недостаточно.

В то время легче было получить тонну сверхкачественной нержавеющей стали или километр проволоки из вольфрама, чем получить предохранитель. Физики многое должны были производить сами. Таким образом экспериментаторы скоро стали хорошими слесарями, токарями, фрезеровщиками и сварщиками. А также хорошими спортсменами.

Когда я поднялся со своими друзьями в 1965 году на семитысячную вершину, на пик Ленина, все спрашивали: тренировался ли я перед восхождением. Я каждому рекомендовал провести вместе с группой Юрия Михайловича Казаринова один сеанс в первом корпусе, и тогда будет понятно, что более эффективной тренировки придумать нельзя. Я добавлял, что тащить 20 кг на спине даже на Памире было просто, так как по лестнице в первом корпусе мы регулярно таскали солидный, но плохой советский осциллоскоп ДЕССО. Злые языки утверждали, что он весит 350 кг. А лифт в Институте можно было найти только в Лаборатории теоретической физики.

Как было сказано, поляризованная протонная мишень в ЛЯП, созданная Б.С.Негановым и Л.Б.Парфеновым, была большим достижением. Борис Степанович Неганов воспитал все поколение специалистов по поляризованным мишеням, и не только в Дубне. С другой стороны, неизвестно, получили бы физики мишень в эксплуатацию без Льва Борисовича Парфенова. Сразу после ее создания начались эксперименты с ней. Напомним результаты на синхротронном ЛЯП — см. *табл. 16*.

Про эту поляризованную мишень можно было бы рассказывать долго. Я в нее тоже кое-что вложил. Материалом мишени был ЛМН, и надо было получить большие хорошие кристаллы. Это долго не получалось. Наконец я, по заданию Льва Иосифовича Липидуса, с помощью Станислава Шафраты, получил описание процесса от Оуэна Чемберлена из LBL. София Львовна Смирнова взялась за дело (выращивать эти кристаллы) вместе с тремя дамами из своей группы, и после упорной работы в течение всей зимы 1963—1964 гг. они, наконец, получили, в майские праздники 1964 г., отличные кристаллы...

Появились новые материалы поляризованных мишеней, количество водорода возрастало. В этой области велика заслуга Э.Бунятовой. Сегодня уже никто не вспомнит ЛМН. Благодаря Э.Бунятовой появились новые достижения. Тонкая поляризованная мишень, недавно созданная в PSI, является одним из них. Надеемся, что мишень будет использована даже на внутренних пучках, при малых энергиях и для спиновой физики тяжелых ионов. Сотрудничество с физиками PSI (Салваторе Манго) и Сакле (Й.Балл, Г.Дуранд) оказалось очень полезным.

В моих разговорах с директором Лаборатории ядерных реакций Ю.Ц.Оганесяном не раз возникал вопрос: что такое «физика частиц» и «спиновая физика»? Представьте себе такую сложную и сверхнепонятную систему, как

трансурановые ядра, где 250 нуклонов. Добавьте один-единственный нуклон (0,4%), и все параметры описания станут другими. Влияет здесь спин? Влияет простая масса? Я нашел у этого человека общность интересов и взаимопонимание и благодарен ему за эти приятные и очень конструктивные разговоры и советы.

Последним экспериментом, указанным в моем списке, по-видимому, закончилась деятельность в области спиновой физики частиц на синхротронном ЛБЭ, в Гатчине и в Протвино и, намного позже, на SATURNE II, в ЦЕРН, DESY, Фермилаб и т.д., я должен сказать несколько слов про теоретиков.

Так как измерения величин, зависящих от спина, трудны, а общий формализм упругого нуклон-нуклонного рассеяния в то время никто еще не создал, в шестидесятых годах теоретическая и феноменологическая подготовка стала очень важной. Начали ею заниматься как дубненские теоретики (С.М.Биленький, Л.И.Липидус, Р.М.Рындин, Я.А.Сморodinский, М.И.Подгорецкий, например), так и многие теоретики в Западной Европе, Америке и Японии. Сегодня мне кажется, что феноменология нуклон-нуклонного рассеяния развивалась по кускам и каждый что-то добавил. Сами теоретики не верили, что некоторые величины будут когда-нибудь измерены. Но феноменология развивалась и даже расцветала. Вклад дубненских теоретиков в спиновую физику очень большой.

Если уж говорить про теоретиков, экспериментаторы делили их на две части: на «полезных» и «остальных» — по отношению к экспериментаторам. Оба сорта мало знают проблемы, связанные с экспериментом, но в этом нет беды и есть исключения.

Полезными теоретиками экспериментаторы считали тех, кто был согласен с ними сотрудничать как в теоретической подготовке, так и в интерпретации данных. Экспериментаторы охотно включали их в список авторов своих статей и не требовали, чтобы они дежурили на сеансах. Без такого сотрудничества многие формулы окажутся неудобными или слишком громоздкими для анализа измерений.

Другие теоретики твердо настаивают на проверке своих моделей и придумывают эксперименты, которые или пока невозможны, или невозможны вообще. Отказываются писать удобные формулы, и им наплевать на размерность величин. Особенно любят «асимптотическую» область энергий и не спрашивают, где она начинается. Также отказываются заниматься проблемами, которые не совсем понятны, и пренебрегают эффектами, которые хоть и большие, но им не нравятся. Спиновая физика является одной из таких проблем. Именно из-за того, что в ней многие теоретики просто не разбираются или разбираться не хотят. Это верно до сих пор.

Оба сорта теоретиков верят экспериментальным данным иногда немножко в марксистско-ленинском духе. Это надо объяснить на примере. Когда в

физике космических лучей появились результаты, свидетельствующие об увеличении полного сечения протон-протонного рассеяния с ростом энергии (сумасшедшее представление, так как все должно свестись к «геометрическому сечению»), некоторые, даже очень умные, дубненские теоретики утверждали: «Эксперимент с теорией не совпадает, тем хуже для эксперимента!» В начале семидесятых годов на встречных пучках ISR в ЦЕРНе этот революционный факт подтвердился. Позже он подтвердился даже с антипротонами, но теоретики до сих пор ищут объяснение. Может быть, «colour transparency» объяснит этот эффект, даже в этой области работают дубненские физики (Б.З.Копелиович, например).

Не про теоретиков я здесь должен рассказывать, но могу сказать, что «полезных» теоретиков в Дубне было большое количество. Между прочим, Лев Иосифович Липидус был отличнейшим вице-директором экспериментальной лаборатории. Теоретики из ЛТФ очень сильно влияли на научную политику ЛЯП и, вместе с М.И.Подгорецким, ЛВЭ. М.И.Подгорецкий для меня и многих других был человеком, к которому можно было зайти в любое время дня и ночи и поговорить на интересные темы.

Про академика А.М.Балдина, директора ЛВЭ, который тоже является теоретиком, могу сказать то же самое. Отличнейший теоретик и директор экспериментальной лаборатории! Его «Кинематикой ядерных реакций» (1957) пользуюсь все время и горжусь написанным им посвящением. Более того, благодаря этому удивительному человеку воскрес «царь-ускоритель». В наше время мы так называли синхрофазотрон, а единицей интенсивности пучка был «один векслер». Эта единица представляла «один мезон в один сезон». Говорят, что это касалось K -мезона для смягчения критики. В то время никто даже не думал про медленный вывод пучка на синхрофазотроне. Из-за этого все работы на «царь-ускорителе» сделаны с пузырьковой камерой и с ядерными эмульсиями. Академик А.М.Балдин понял, в чем состоит улучшение и прогресс. Заняло бы слишком много времени это объяснить. И самое главное, он сумел найти новых, опытных сотрудников: главных инженеров машины, сначала Л.Г. Макарова (называемого «локомотивом» нуклотрона), потом А.Д.Коваленко, которые благодаря своему опыту и энергии стали душой ускорительного комплекса ЛВЭ, а также своего заместителя А.И.Малахова и свою правую руку по спиновой физике элементарных частиц Николая Пискунова. Новый современный ускоритель — нуклотрон — скоро начнет эксплуатироваться. Желаю успеха.

Но, к сожалению, мне кажется, что во всем мире отношение «полезных» теоретиков к «остальным» постепенно падает. Очень надеюсь, что я ошибаюсь; сегодня в ЛТФ есть много примеров, которые противоречат моему ощущению. Д.В.Ширков, при поддержке А.М.Балдина, таким явлениям содействует, и многие теоретики сотрудничают с экспериментаторами. Позвольте мне

назвать А.Ефремова и из молодых А.Дорохова и Н.Кочелева, например. Назову еще Михаила Сапожникова, чтобы был виден вклад и другой лаборатории.

В давние времена, с полного согласия дубненских теоретических «классиков» я тоже начал заниматься теорией и феноменологией упругого нуклон-нуклонного рассеяния в сотрудничестве с «полезным» теоретиком Павлом Винтерницем, математиком Иржи Быстрицким и своим коллегой Зденеком Яноутом. Мелкую работу оставили великие теоретики своим ученикам и мчались вперед, заре навстречу! Опять по кускам нам удалось в Дубне довести дело до конца и отдельные куски опубликовать.

Нам удалось впервые вывести самую обычную формулу для упругого NN -рассеяния при любой комбинации направлений спинов частиц пучка, мишени, рассеянной частицы и частицы отдачи. Формула написана на четырех строчках, но содержит все 256 возможных наблюдаемых величин. Из-за этой формулы имел неприятности мой коллега В.И.Никаноров, защищавший диссертацию. Р.М.Рындин получил тогда работу на отзыв, взял нашу формулу, вычеркнул все нули, учел все идентичные величины по законам сохранения и увидел, что один параметр при обработке не учитывался. Р.М.Рындин не «утопил» коллегу при защите, но предупредил его сразу. Все обошлось переносом срока защиты, повторением обработки и переписыванием соответствующих страниц.

Уже в Дубне мы хотели собрать полный и однозначный формализм нуклон-нуклонного рассеяния на одном «физическом языке». Эту работу нам удалось написать только в 1975 году и издать как препринт в Сакле. В январе 1979 года формализм был опубликован во французском журнале «Journal de Physique». Приблизительно половина всех экспериментаторов в мире, работающих в этой области, сегодня пользуется нашим формализмом. Даже те, кто им не пользуется, ссылаются на эту статью. Ее идеологами были дубненские теоретики.

Угловые и энергетические зависимости полученных данных надо было описать, по возможности, независимо от любой теоретической модели. Одна из возможностей почти безмодельного описания данных в области промежуточных энергий — применение так называемого «фазового анализа». Метод был сформулирован в диссертации Г.П.Стаппа из Беркли, а усовершенствован М.Моравчиком и М.Мак-Грегором. Некоторые физики стали пользоваться этим методом и развивать его. В Дубне И.Н.Силин написал минимизирующую программу такого анализа для машины М20, и экспериментаторы очень часто его применяли. Фазовый анализ позволил не только описать существующие данные с минимальным количеством свободных параметров, но и предсказать новые результаты. Стало возможным выбирать оптимальные измерения и экономить драгоценное время на ускорителе.

Вернусь к «спиновым временам» в Дубне. Далее я не в состоянии назвать все имена и все работы. Времени мало, а достижений много...

Физиков тянуло все к более высоким энергиям. Многие из Дубны переехали в Протвино и начали планировать новые эксперименты. Среди них был и Сандибек Байтемирович Нурушев. Раньше он работал в группе М.Г.Мещерякова в Дубне. Много раз он приглашал меня в Протвино, но разрешение я получил первый раз только весной 1968 года. Мы с ним давным-давно планировали большой «шаг конем».

Мы знали, что группа Л. ван Россума начала эксперименты по параметрам поворота спина с ППМ на SATURNE I в Сакле. Этот эксперимент я видел в 1966 г., когда был там. После успешного завершения эксперимента переехали на пучок в ЦЕРНе. Тогда я не знал, что судьба этой группы будет долгое время и моей судьбой. В 1968 году мы с Сандибекком твердо решили пригласить группу Л. ван Россума в Протвино на У-70, предложить пучок и попросить их привезти аппаратуру, включая и ППМ со сверхпроводящими катушками. Кое-что из этого эксперимента останется в Протвино, и будем сотрудничать на международном уровне. Оба мы были энтузиастами, у нас не было ни малейших разногласий. Написали и разослали письма, и колесо всемогущей администрации начало крутиться.

В дальнейшем оно крутилось независимо от нас, медленно, но постоянно. Л. ван Россум закончил эксперимент в ЦЕРНе и стал планировать эксперимент в Протвино. В дальнейшем я никакой роли не играл, и все французы про мою начальную роль забыли. Сандибек, надо отдать ему должное, про это не забывал никогда.

У-70 был привлекательным для многих западных физиков. В семидесятых годах между Женевой и Москвой летали самолеты с большим грузом аппаратуры. Из Сакле в Протвино поехала большая водородная камера «Мирабель». На SATURNE I в Сакле началась подготовка к измерению параметров двойного рассеяния с ППМ, в которой участвовал М.Шафранов из ЛВЭ.

После этого физики из группы Л. ван Россума поехали в Протвино (без меня, я мог в то время участвовать только в подготовке и в обработке данных). Даже многие физики из Сакле боялись предложить мое участие (и участие И.Быстрицкого) в этих работах. Наше участие предложили физики из Протвино, и я и Иржи попали в список авторов.

Было опубликовано много статей в советских и западных журналах. Эксперимент ГЕРА в Протвино был первым спиновым экспериментом при высоких энергиях, где по теории полюсов Редже никакие спиновые эффекты уже не существовать не должны. Как ни странно, спиновые эффекты подчинились теории.

Была измерена анализирующая способность и параметры поворота спина при рассеянии протонов, антипротонов, π^\pm и K^\pm на поляризованной протонной мишени. Были измерены сечения рассеяний этих реакций и рождения частиц. Оказалось, что не все так, как предсказывалось по теории полюсов

Редже. Пион-протонное рассеяние сильно отличалось от протон-протонного и антипротон-протонного рассеяния. Область энергии 40 ГэВ оказалась или далеко от «асимптотической» области, или предсказания вообще не верны в той области, где начинается «*semi-hard*» или даже «*hard core*» взаимодействие, то есть в сегодняшней области предсказаний моделей, связанных с квантовой хромодинамикой. Следствием эксперимента было введение «Редже cuts», чтобы усовершенствовать теорию или спасти ее. Не спиновая экспериментальная физика, но теория и модели менялись!

Анализирующая способность pp -рассеяния A_{000n} при малых переданных четырехмоментах $-t$ перестала равняться нулю и становилась отрицательной. Пересечение нуля считалось тогда новым качеством pp -рассеяния при высоких энергиях. Позже оказалось, что это является более общим, до сих пор не объясненным свойством, зависящим только от $-t$ и не зависящим от энергии. Минимумы и максимумы осцилляций $A_{000n}(-t)$ появляются при фиксированных $-t$ уже в тот момент, когда соответствующий четырехмомент войдет в «физическую» область углов ($\theta_{CM} \leq 90^\circ$). Это было позже доказано в экспериментах в ANL и на SATURNE II.

Участники спиновых экспериментов в Протвино перечислены в *табл.17*.

После окончания эксперимента в Протвино группа Л. ван Россума проводила спиновый эксперимент в ЦЕРНе. Целью эксперимента было измерение спиновых эффектов в рассеянии $K^+n \Rightarrow K^0p$, но можно было мерить и другие каналы. Здесь участвовал Т.Добровольский из ОИЯИ.

Продолжением спиновых экспериментов в Протвино был эксперимент ПРОЗА. В нем была использована большая замороженная поляризованная мишень (20 см длиной и 2 см диаметром). Мишень работала также с поляризованными дейтонами (пропан-диол).

В эксперименте ПРОЗА измерялась асимметрия в эксклюзивных и инклюзивных реакциях с пионами и каонами с энергией около 40 ГэВ. Оказалось, что анализирующая способность в перезарядке $\pi^-p \Rightarrow \pi^0$ не нулевая, но было измерено много других каналов реакции, см. *табл.18 и 19*.

Активность Ю.М.Казаринова и его близких сотрудников в области спиновой физики поражает. Пусть кто угодно посмотрит обзор «Current Experiments in Elementary Particle Physics» и увидит, как эта группа работала.

К сожалению, ни русские, ни другие теоретики не так много сумели извлечь из спиновых экспериментов. Спиновые экспериментальные физики здесь оказались «на одну войну раньше». Прошу мои слова не понимать как критику теоретиков.

Ю.М.Казаринов повлиял также на эксперименты в С.-Петербурге, см. *табл.20*.

Большой заслугой ОИЯИ и ЛЯП считаю, что была одобрена и создана возможность для проведения спинового эксперимента в другой стране-участнице — в Чехословакии. Дубненскими и пражскими специалистами была создана современная поляризованная мишень и получен поляризованный пучок нейтронов с энергией 16,2 МэВ. При этой энергии измерены разности полных сечений np -рассеяния в трансмиссионном эксперименте: $\Delta\sigma_{T,L}$. Величина $\Delta\sigma_T$, кроме Праги, при малых энергиях была измерена только в TUNL (США), измерение $\Delta\sigma_L$ при этих энергиях является вообще самым первым (табл.21).

Уже в 1989 г. начались переговоры об участии группы Ю.М.Казаринова в экспериментах по упругому рассеянию на SATURNE II, в программе «Нуклон — нуклон». Договор был подписан в 1990 году, и группа немедленно включилась в работу. Через короткое время дубненские физики стали необходимыми для продолжения экспериментов. Л.Барабаш, В.Калинников и А.Попов обеспечили хорошую работу пропорциональных камер, Ю.Усов, Н.Борисов, В.Матафонов и З.Яноуг стали полноценными сотрудниками группы поляризованной мишени, Б.Хачатуров, Ю.М.Казаринов и И.Писарев обеспечивали измерения, а физики из Гатчины занимались поляриметрией.

В соответствии с программой измерялись спиновые переменные pp -, pn - и pp -упругого рассеяния в широком интервале углов. Впервые была определена матрица pp -рассеяния при энергиях 0,84, 0,88, 0,94, 1,00 и 1,10 ГэВ. Эксперименты по pp -рассеянию показывают резонансную структуру около кинетической энергии протонов 2,1 и 2,8 ГэВ. Программа закончилась в 1995 г., обработка данных, естественно, продолжается (см. табл.22). Без участия Б.Хачатурова обработку данных нельзя себе представить.

Надо отметить участие ЛЯП в новой программе DISTO на SATURNE II.

Как я уже сказал, дубненская спиновая физика, благодаря академику А.М.Балдина, перенеслась в ЛВЭ (табл.23). Работы начались в 1980 году. А.М.Балдин оценил деполяризирующие резонансы дейтонного пучка на синхрофазотроне. Пусть Ю.Пилипенко найдет здесь благодарность за оригинальный источник поляризованных дейтонов, созданный в ЛВЭ.

Основная программа по спиновой физике ЛВЭ касается физики с поляризованными дейтонами. Надо также напомнить программы с ^3He , нуклон-нуклонным рассеянием и фотореакции с дейтонами. Такая программа требовала теоретической подготовки. Список теоретиков был бы почти бесконечный, назову тех, чьи работы я лично посмотрел (табл.24).

Были решены разные проблемы — табл.25.

Возник вопрос: что мерить с поляризованным пучком, как и в какой последовательности? Как мерить поляризацию пучка? Многие экспериментаторы

участвовали в теоретических и феноменологических работах и планировали измерения (см. табл.26).

Эксперименты на ускорителе начались. Надо отметить эксперименты с внутренней мишенью и поляризованным пучком. Участники измерений dp и $d-A$ перечислены в табл.27.

Когда был выведен дейтонный поляризованный пучок, были проведены измерения, указанные в табл.28.

С водородной пузырьковой камерой ЛВЭ получены отличнейшие результаты (см. табл.29). Из-за трудностей обработки फिल्मовой информации данные продолжают публиковаться.

Установка «Альфа» тоже имеет свою историю. Во время первой публикации в 1978 г. это был одноплечевой спектрометр, который построен следующими авторами (табл.30).

У этой установки «выросло» другое плечо, и была создана установка «Альфа» в сегодняшнем виде — двухплечевой спектрометр. Началось измерение поляризации пучка. Даже инженеры машины оказались «впереди планеты всей». Что касается проверки зависимости поляризации дейтонного пучка от энергии, Ю.К.Пилипенко и А.Д.Коваленко вместе с другими физиками сумели доказать, что поляризация дейтонов на синхрофазотроне не зависит от энергии, и расчеты А.М.Балдина подтвердились. Использованный метод «замедления» пучка был предложен на SATURNE II, но инженеры ЛВЭ осуществили его на синхрофазотроне. Я лично считаю это очень большим достижением (см. табл.30).

На установке продолжались измерения, и анализы результатов приведены в табл.31.

Вообще впервые измерение T_{20} в неупругом рассеянии дейтонов на водороде и углероде в области когерентного рождения пионов и возбуждения барионных резонансов было сделано на установке «Альфа» (Phys. Lett. B361 (1995) 21) сотрудниками, перечисленными в табл.32.

Анализирующая способность в реакции с рождением пионов с повышением энергии, как и предсказывал А.М.Балдин, падает и становится близкой к нулю. Результаты получены на установке ДИСК (табл.33).

Новые результаты получены при участии японской группы (см. табл.33). Началось время международных коллабораций (табл.34). Участие в саклевских экспериментах дубненских физиков Н.Пискунова, Е.Строковского, И.Ситника, В.Ладыгина и Л.Голованова стало необходимым.

В ЛВЭ были проведены спиновые эксперименты, которые можно считать сверхнеобходимыми, т.к. в них измеряются данные, нужные для многих других экспериментов. К ним относится измерение анализирующей способности $p-S$ -рассеяния. Оно было проведено с поляризованным протонным

пучком, полученным по развалу поляризованных дейтонов. Упругое и неупругое рассеяние было впервые измерено при высоких энергиях (табл.35).

А.М.Балдин и Н.М.Пискунов являются ответственными за программу ЛВЭ (табл.36). Большинство из пунктов программы по спиновой физике в ЛВЭ были уже упомянуты. Два из них дополним.

В 70-х и 80-х годах «Спин» была программой ЛЯП. Состояла она в измерении анизотропии γ -квантов в распаде ядер, поляризованных с помощью «грубой силы» при температуре около 10 мК в $^3\text{He} - ^4\text{He}$ -рефрижераторе в магнитном поле 2 Т. Радиоактивные ядра получались при облучении на синхроциклотроне, синхрофазотроне, ускорителе тяжелых ионов и на реакторе. Померено около 50 элементов. Специалисты (В.Н.Павлов и др.) по поляризованной мишени сумели создать соответствующую установку. Я считаю, эта программа закончилась, включается она еще в планы ОИЯИ или нет. Программа принесла много публикаций (см. табл.37).

Новая программа под тем же названием, но уже в ЛВЭ, касается изменений параметров упругого np -рассеяния с пучком свободных нейтронов на ускорителе PSI в Швейцарии. Измерялись параметры с одним, двумя и тремя спиновыми индексами, которые позволяют определить матрицу np -рассеяния до энергии 600 МэВ. Измерения были очень точными. В эксперименте, который закончился в 1995 году, участвовали физики из PSI, Женевы, Фрейбурга и Сакле. Предварительные результаты были доложены на разных конференциях, скоро ожидаются публикации в журналах. Предвидится продолжение измерения параметров спинового рассеяния в неупругих np -реакциях. Трудно себе представить такие эксперименты, со сплошным спектром поляризованных нейтронов, на каком-либо другом ускорителе, кроме ускорителя в PSI. Участники этих работ перечислены в табл.38.

По поводу последнего спинового эксперимента в ЛВЭ ОИЯИ расскажу об авантюре с большой поляризованной мишенью.

Предложение использовать протонную поляризованную мишень, ранее построенную для эксперимента E-704 в Фермилаб, было сделано уже в 1991 г. В 1993 г. аргонские и саклевские представители согласились с этим предложением, и был заключен договор между А.М.Балдиным, А.Д.Коваленко и А.И.Малаховым с одной стороны и J.Haissinski (DAPNIA) с другой стороны. Было решено, что мишень будет перестроена и усовершенствована в ОИЯИ в Дубне. INTAS оказал проекту финансовую поддержку. Детали перестройки обсуждались саклевскими и дубненскими специалистами. Было решено, что мишень будет перестроена в компактной форме и станет передвижной из пучка на пучок и даже из лаборатории в лабораторию. Был подписан «Меморандум о взаимопонимании» в Дубне (20 января 1994 г.) представителями участвующих лабораторий (четыре русских, одна украинская лаборатория, лабора-

тории из Франции и Италии). Другие лаборатории выразили желание участвовать в экспериментах с мишенью (МРТ).

Аппаратура из Сакле и Аргонна была послана в Дубну, и работа началась в июне 1994 г. В течение шести месяцев мишень была перестроена в ЛЯП при большой и эффективной поддержке дирекции лаборатории. Позвольте мне выразить здесь благодарность директору Н.Русаковичу и вице-директорам В.Румянцеву и В.Бруданину. В перестройке участвовали специалисты из ЛЯП, ЛВЭ, DAPNIA, ЛПП, Гатчины, Харькова и Троицка. Лаборатория SATURNE помогла программами измерения поляризации. Коллаборация выполнила соглашение с INTAS, и мишень (20 см длиной и 3 см диаметром) стала оперативной 13 декабря 1994 г. Модификацию мишени, под руководством Г.Дуранда и Ю.А.Усова, осуществили сотрудники, указанные в табл.39.

Предыдущая дирекция DAPNIA обещала поляризуемый магнит передать в Майнц в конце декабря 1994 г. Физики в Германии продлили этот срок до апреля 1995 г. Опять ОИЯИ взял дело в свои руки. Несмотря на финансовые трудности, академик А.М.Балдин решил создать новый магнит силами своей лаборатории.

Дирекции DAPNIA и ЛВЭ ОИЯИ предложили использовать этот срок и осуществить с мишенью первый эксперимент, чтобы доказать ее качества. ППК по физике частиц поддержал предложение, и Ученый совет ОИЯИ его одобрил. Академик А.М.Балдин нашел деньги для работы ускорителя. Еще один раз я должен ему выразить благодарность. Международный ученый комитет пользователей мишени (МУКПМ), образованный 20 января 1995 г., тоже поддержал эксперимент. Председателем комитета стал В.Реуауд из Сакле, ученым секретарем П.Зарубин (ЛВЭ) и постоянным членом Н.Пискунов.

В конце января 1995 г. мишень была перевезена из ЛЯП в ЛВЭ, снова собрана на пучке синхрофазотрона и работала в течение 11 дней. Положительная поляризация МРТ достигла 88%, а отрицательная 91% при температуре 50 мК и времени релаксации около 2000 часов.

В течение короткого времени, с 24 февраля по 1 марта 1995 г., были измерены разности эффективных сечений $\Delta\sigma_L(np)$ при энергиях нейтронов 1,19, 2,49 и 3,65 ГэВ. Эта величина мерилась в трансмиссии продольно поляризованных нейтронов продольно поляризованной мишенью с параллельной и антипараллельной ориентацией поляризаций. Пучок свободных поляризованных нейтронов был получен развалом поляризованных дейтонов, ускоренных в синхрофазотроне. Поляризация нейтронов была 0,535. Эксперимент стал началом общей программы в ОИЯИ (табл.40).

Отметим, что эксперимент возглавлял В.Шаров. Вся группа Л.Н.Струнова вложила в него немало усилий. А.Номофилов точно померил параметры поляризованного нейтронного пучка, впервые выведенного в ЛВЭ. С.Запорожец обеспечил информатику и электронику. DAPNIA помогла электроникой.

Физики ЛЯП (Б.Хачатуров и И.Л.Писарев) помогли своим опытом, так как были единственными из русских физиков, кто мерил разность полных сечений раньше. Физики из «Курчатовского института» помогли оборудованием. Гатчинцы и физики из ЛЯП обеспечили часть поляриметрии. Про мишеньщиков из всех лабораторий (ЛСВЭ, ЛЯП, ЛВЭ, из Москвы, Харькова, Гатчины, Сакле) и про заслуги их начальника Ю.А.Усова говорить уже не надо. Группа Ю.Пилипенко обеспечила поляризованный пучок, сотрудники А.Д.Коваленко сделали все, чтобы ускоритель хорошо работал. И так можно было бы рассказать про любого участника этой «авантюры», включая того, кто болел за этот эксперимент: Александра Михайловича Балдина. Болели за него и вице-директор А.Н.Сисакян, И.А.Савин и Н.А.Русакович, Ю.Ц.Оганесян, В.П.Джелепов и М.И.Подгорецкий.

Но вернемся снова к физике. Похожая величина $\Delta\sigma_L(pp)$ известна для pp -взаимодействия ниже 11 ГэВ и при энергии 200 ГэВ (E704). Ее значение уменьшается с энергией и стремится к нулю в согласии с предсказаниями непертурбативной КХД-модели для спиновых эффектов, в которой взаимодействие кварков, вызванное сильной флуктуацией вакуумного глюонного поля, называемой инстантонами, составляет основной вклад в величину $\Delta\sigma_L$. Отметим здесь работу «полезного» теоретика Н.Кочелева из ЛТФ. Быстрое падение $\Delta\sigma_L(np)$, которое наблюдалось впервые в дубненском эксперименте, подсказывает, что предсказания КХД-модели инстантонов верно для обоих изоспиновых состояний $I=0$ и $I=1$.

Из данных, полученных в ЛВЭ, можно было определить разность полных сечений для изоспина $I=0$. И здесь, в первом «пристрелочном» эксперименте с поляризованной протонной мишенью в Дубне, появился неожиданный сюрприз. Данные показывают четко выраженный максимум при энергии, близкой предсказанному резонансу в 3S_1 -волне, около энергии начальных нейтронов 1,8 ГэВ.

Было бы очень интересно померить разность полных сечений $\Delta\sigma_T(np)$, используя поперечно поляризованный пучок нейтронов и поперечно поляризованную мишень. Подтверждением наблюдаемого эффекта было бы максимальное значение этого параметра при той же самой энергии. В $\Delta\sigma_T(np)$ несвязанный триплет отсутствует и, может быть, связанный триплет окажется менее размытым другими волнами.

Последний, но сверхважный вклад ОИЯИ, который я хочу отметить, связан с Лабораторией сверхвысоких энергий И.А.Савина. Речь идет об участии ОИЯИ в эксперименте SMC (NA 47) в ЦЕРНе. Напомню, что эксперимент касается измерения структурных функций протона, дейтона и нейтрона, проверки правила сумм Бьеркена и правила сумм Эллиса — Джаффе. Этот экс-

перимент на границе «больших экспериментов», в которых теряется личность одного физика и известны только начальники, спонсоры и другие ответственные лица. Список авторов, приведенный в табл.41, об этом свидетельствует. Но здесь тоже, благодаря дубненским физикам, были достигнуты большие успехи. Как пример назову Ю.Ф.Киселева, который был одним из тех, кто впервые использовали «модуляционный эффект». Это существенное улучшение позволило поднять поляризацию большой дейтериевой мишени почти в два раза.

Сегодня про спиновую физику серьезно думают в ЛНФ и ЛЯР. Нет времени эти эксперименты разбирать. Будем надеяться, что на 50-летие ОИЯИ кто-то оценит вклад в эту область в течение будущих десяти лет. Я уверен, что спиновая физика просто не может погибнуть.

Приложение

Таблица 1

pp total, elastic and inelastic cross sections

LNP

- $\sigma_{tot}(pp)$ at 410, 460, 500, 540, 580, 600, 620, 640 and 660 MeV
V.P.Dzheleпов, V.I.Moskalev and S.V.Medved' (1955)
- $\sigma_{tot}(pp \Rightarrow np\pi^0)$ from 295 to 665 MeV (25 energies)
A.F.Dunaitsev and Yu.D.Prokoshkin (1959)
- $\sigma_{tot}(pp \Rightarrow np\pi^+)$ at 460, 556 MeV
N.P.Bogachev (1956)
- $\sigma_{tot}(pp \Rightarrow d\pi^+)$ at 460 MeV
M.G.Mescheryakov, B.S.Neganov, N.P.Bogachev, V.M.Sidorov (1955)
- $\sigma_{tot}(pp \Rightarrow pp\pi^0)$ at 470 MeV
M.S.Kozodaev, A.A.Tyapkin, Yu.B.Baiukov, A.A.Markov, Yu.D.Prokoshkin (1955)
- $\sigma_{tot}(pp \Rightarrow pn\pi^+)$ at 485, 521, 557, 584, 597, 609, 621, 633, 646, 657 MeV
B.S.Neganov and O.V.Savchenko (1957)
- $\sigma_{tot}(pp \Rightarrow d\pi^+)$ at 560 MeV
M.G.Mescheryakov, V.P.Zrelov, B.S.Neganov, I.K.Vzorov, A.P.Shabudin (1956)
- $\sigma_{tot}(inel)$ at 600 MeV
Yu.M.Kazarinov, Yu.N.Simonov (1967)
- $\sigma_{tot}(\pi^+d \Rightarrow pp)$ at equivalent energies for detailed balance 634, 686, 740, 810, 900 MeV
B.S.Neganov and L.B.Parfenov (1958)
- $\sigma_{tot}(pp \Rightarrow pp\pi^0)$ at 657 MeV
L.M.Soroko (1956)
- $\sigma_{tot}(pp \Rightarrow d\pi^+)$ and $\sigma_{tot}(pp \Rightarrow pn\pi^+)$ at 657 MeV
V.M.Sidorov (1956)

- $\sigma_{\text{tot}}(pp \Rightarrow d\pi^+)$ at 657 MeV
M.G.Mescheryakov, N.P.Bogachev, B.S.Neganov (1955)
- $\sigma_{\text{tot}}(pp \Rightarrow pp\pi^0)$ at 660 MeV
Yu.D.Prokoshkin, A.A.Tyapkin (1957)
- $\sigma_{\text{tot}}(pp \Rightarrow pp\pi^0)$ at 670 MeV
M.S.Kozodaev, A.A.Tyapkin, Yu.B.Baiukov, A.A.Markov, Yu.D.Prokoshkin (1955)
- $\sigma_{\text{tot}}(pp)$ — elastic and inelastic channels measured by the small bubble chamber of LNP at 650 MeV
V.M.Guzhavin, G.K.Kliger, V.Z.Kolganov, A.V.Lebedev, K.S.Marish, Yu.D.Prokoshkin, V.T.Smolyankin, A.P.Sokolov, L.M.Soroko and Ts'ui Wa Ch'uang (1964)

Таблица 2
pp total, elastic and inelastic cross sections

LHE

- $Re/Im(pp)$ at 6.0 and 10.0 GeV, internal thin target and nuclear emulsions
L.P.Kirillova, V.A.Nikitin, A.A.Nomofilov, V.A.Sviridov, L.N.Strunov and M.G.Shafranov (1963)
- $Re/Im(pp)$ at 2.0 and 10.0 GeV, internal thin target and nuclear emulsions, more accurate measurements
L.P.Kirillova, L.Khristov, V.A.Nikitin, M.G.Shafranov, L.N.Strunov, V.A.Sviridov, Z.Korbel, L.Rob, P.Markov, Kh.Tchernev, T.Todorov and A.Zlataeva (1964)

LHE in Protvino

- $Re/Im(pp)$, pp and pd forward scattering from 8.50 to 68.9 GeV (8 energies), σ_{tot} (elastic), hydrogen jet-target, Si-detectors
G.G.Beznogikh, A.Bujak, L.P.Kirillova, B.A.Morozov, V.A.Nikitin, P.V.Nomokonov, A.Sandacz, M.G.Shafranov, V.A.Sviridov, Truong Bien, V.I.Zayachki, N.K.Zhidkov and L.S.Zolin (1972)

LHE in FERMILAB

- $Re/Im(pp)$ from 51.5 to 393 GeV (10 energies) forward scattering, hydrogen jet-target
V.Bartenev, R.A.Carrigan, I-Hung Chiang, R.L.Cool, K.Goulianos, D.Gross, A.Kuznetsov, E.Malamud, A.C.Melissinos, B.A.Morozov, V.A.Nikitin, S.L.Olsen, Yu.Pilipenko, V.Popov, R.Yamada and L.S.Zolin (1973)

Таблица 3
Proton-proton differential cross sections

LNP

- Ratio $d\sigma/d\Omega(pp)$ at 460 MeV, 0° and 90° CM
M.G.Mescheryakov, B.S.Neganov, L.M.Soroko, I.K.Vzorov (1954)
- $d\sigma/d\Omega(pp)$ at 460 MeV, from 20° to 90° CM
M.G.Mescheryakov, N.P.Bogachev, B.S.Neganov, E.V.Piskarev (1954)

- $d\sigma/d\Omega(pp)$ at 460, 560, 660 MeV, from 30° to 90° CM
S.J.Nikitin, J.M.Selektor, E.G.Bogomolov, S.M.Zomkovskij (1955)
- $d\sigma/d\Omega(pp)$ at 510, 586, 622 MeV, 90° CM
M.G.Mescheryakov, B.S.Neganov, L.M.Soroko, I.K.Vzorov (1954)
- $d\sigma/d\Omega(pp)$ at 560, 657 MeV, from 5° to 25° CM
N.P.Bogachev (1956)
- $d\sigma/d\Omega(pp)$ 562, 610, 634, 645, 657 MeV, 30° and 90° CM
M.G.Mescheryakov, B.S.Neganov, L.M.Soroko and I.K.Vzorov (1954)
- $d\sigma/d\Omega(pp)$ at 632 MeV, from 5.1° to 29.3° CM
I.V.Amirkhanov, V.M.Bystrickii, L.S.Vertogradov, R.Ya.Zul'karneev, R.Kh.Kutuev, Kh.Murtazaev, V.S.Nadezhdin, V.I.Satarov (1972)
- $d\sigma/d\Omega(pp)$ at 650 MeV, from 1.13° to 89.6° CM, 41 points in the small bubble chamber of LNP
V.M.Guzhavin, G.K.Kliger, V.Z.Kolganov, A.V.Lebedev, K.S.Marish, Yu.D.Prokoshkin, V.T.Smolyankin, A.P.Sokolov, L.M.Soroko and Ts'ui Wa Ch'uang (1964)
- $d\sigma/d\Omega(pp)$ at 657 MeV, from 30° to 90° CM
N.P.Bogachev, I.K.Vzorov (1956)
- $d\sigma/d\Omega(pp)$ at 660 MeV, from 7.5° to 30° CM
E.G.Bogomolov, S.M.Zombkovski, S.J.Nikitin, J.M.Selektor (1956)

Таблица 4
Proton-proton differential cross sections

LHE

- $d\sigma/d\Omega(pp)$, propane bubble chamber at 1.45 GeV
S.P.Krukhinin, K.N.Mukhin, A.S.Romantseva, I.A.Svetolobov, M.M.Sulkovskaja, S.A.Chueva, R.S.Shljapnikov (1965)
- $d\sigma/d\Omega(pp)$ at 2.00, 4.00, 6.00, 8.00, 10.00 GeV, internal thin target and nuclear emulsions
L.Dalkhazav, P.A.Devinski, V.I.Zayachki, Z.M.Zlatanov, L.S.Zolin, L.P.Kirilova, Z.Korbel, P.K.Markov, Ngo Kuang Zui, Nguen Din Ty, V.A.Nikitin, L.Rob, V.A.Sviridov, D.Tuvdendorzh, L.G.Kristov, Kh.M.Chernev, Chyong Byen, M.G.Shafranov (1967)
- $d\sigma/d\Omega(pp)$, internal thin target and nuclear emulsions at 2.7, 2.9 GeV
G.A.Azimov, Do In Seb, L.P.Kirilova, E.M.Kabibulina, E.N.Tsyganov, M.G.Shafranov, B.A.Shakhbazyan, A.A.Yuldashev (1962)
- $d\sigma/d\Omega(pp)$, internal thin target and nuclear emulsions at 5.2 GeV
E.N.Tsyganov (1962)
- $d\sigma/d\Omega(pp)$ at 6.2 GeV, internal thin target and nuclear emulsions
A.I.Zlataeva, D.T.Kyurchieva, P.K.Markov, Kh.M.Chernev (1963)
- $d\sigma/d\Omega(pp)$ at 8.5 GeV, internal thin target and nuclear emulsions
Do In Seb, L.P.Kirilova, P.K.Markov, L.G.Popova, I.N.Silin, E.N.Tsyganov, M.G.Shafranov, B.A.Shakhbazyan, A.A.Yuldashev (1961)

Таблица 5
 np , pn total, elastic and inelastic cross sections

LNP

- $\sigma_{\text{tot}}(np)$ at 380, 500, 590 630 MeV
 V.P.Dzhelepov, V.I.Satarov, B.M.Golovin (1955)
- $\sigma_{\text{tot}}(np)$ at 200 MeV
 Yu.M.Kazarinov, Yu.N.Simonov (1962)
- $\sigma_{\text{tot}}(pn \Rightarrow pn\pi^0)$ from 290 to 665 MeV (17 energies)
 A.F.Dunaitsev, Yu.D.Prokoshkin, (1960)
 Majority of existing data for this reaction!
- $\sigma_{\text{tot}}(np \Rightarrow \pi^\pm + \text{Nucleons})$ at 585 MeV
 V.P.Dzhelepov, V.S.Kiselev, K.O.Oganesyan, V.B.Fljagin (1966)
- $\sigma_{\text{tot}}(np \Rightarrow \pi^\pm + N)$ at 586 MeV
 Yu.M.Kazarinov, Yu.N.Simonov (1959)
- $\sigma_{\text{tot}}(np \Rightarrow d\pi^0)$ and $\sigma_{\text{tot}}(np \Rightarrow np\pi^0)$ at 590 MeV
 V.P.Dzhelepov, K.O.Oganesyan, V.B.Fljagin (1956)
- $\sigma_{\text{tot}}(np \Rightarrow \pi^\pm + N)$, $\sigma_{\text{tot}}(np \Rightarrow \pi^0 + N)$ and σ_{tot} (inelastic) at 600 MeV
 Yu.M.Kazarinov, Yu.N.Simonov (1967)
- $\sigma_{\text{tot}}(np \Rightarrow d\pi^0)$ and $\sigma_{\text{tot}}(np \Rightarrow np\pi^0)$ at 658 MeV
 Yu.D.Prokoshkin and A.A.Tyapkin (1957)
- $\sigma_{\text{tot}}(pn \Rightarrow pn\pi^0)$ at 670 MeV
 M.S.Kozodaev, A.A.Tyapkin, Yu.B.Baiukov, A.A.Markov (1955)

Таблица 6
 np , pp total, elastic and inelastic cross sections

LHE

- σ_{tot} (monochromatic neutron beam np topological cross section 1 to 7 prongs) at 0.624, 0.763, 1.20, 1.48, 2.30, 3.00, 3.53 and 4.24 GeV
 A.Abdivaliev, C.Besliu, F.Cotorobai, A.P.Gasparian, A.P.Ierusalimov, D.K.Kopylova, M.S.Levitski, V.I.Moroz, V.A.Nikitin, Yu.A.Troyan (1975)
- σ_{tot} (np topological 3 and 5 prongs + all inelastic) at 0.83, 1.73, 2.68, 3.66, 4.64, 5.63, 6.62, 7.61 and 8.61 GeV
 A.P.Gasparian, V.A.Nikitin, Yu.A.Troyan (1971)
- $\sigma_{\text{tot}}(np)$ at 2.6, 3.9, 5.5, 6.9 and 8.3 GeV
 V.S.Pantuev, M.N.Khachatryan and I.V.Chuvilo (1965)
- $\sigma_{\text{tot}}(pn \Rightarrow pn)$ at 6.3 GeV
 C.Besliu, T.Besliu, A.Constantinescu, M.Gavrilas, A.Mihul, N.Gheordanescu, N.Hanges, M.Teleman, L.Theodorescu, I.Tipa, V.Karnaukhov, V.Moroz, L.Nefedeva (1969)
- $\sigma_{\text{tot}}(pn)$ at 8.3 GeV
 L.Ozhdyani, V.S.Pantuev, M.N.Khachatryan, I.V.Chuvilo (1962)

LHE in Protvino

- $Re/Im(np)$ and slopes from 10.3 to 69.3 GeV (9 energies)
 G.G.Beznogikh, A.Bujak, L.P.Kirillova, B.A.Morozov, V.A.Nikitin, P.V.Nomokonov, A.Sandacz, M.G.Shafranova, V.A.Sviridov, Truong Bien, V.I.Zayachki, N.K.Zhidkov and L.S.Zolin (1973)

Таблица 7
 Neutron-neutron total cross sections

LNP and LHE

- $\sigma_{\text{tot}}(nn)$ at 380, 500, 590, 630 MeV —LNP
 V.P.Dzhelepov, V.I.Satarov, B.M.Golovin (1955)
- $\sigma_{\text{tot}}(nn)$ at 2.6, 3.9, 5.5, 6.9 and 8.3 GeV — LHE
 V.S.Pantuev, M.N.Khachatryan and I.V.Chuvilo (1965)

Таблица 8
 np and pn differential cross sections

LNP

- $d\sigma/d\Omega(np)$, free neutrons, Synchrocyclotron accelerated deuterons at 400 MeV, from 6.25° to 179.5° CM
 Yu.M.Kazarinov and Yu.N.Simonov (1961)
- $d\sigma/d\Omega(pn)$ at 380 MeV, from 36.6° to 178.7° CM
 V.P.Dzhelepov, Yu.M.Kazarinov (1954)
- Ratio $d\sigma/d\Omega(pn)$ and $d\sigma/d\Omega(pd)$ backward at 380 MeV
 V.P.Dzhelepov, Yu.M.Kazarinov, B.M.Golovin, V.B.Fljagin and S.I.Satarov (1955)
- $d\sigma/d\Omega(np)$ at 580 MeV, from 35° to 179.1° CM
 Yu.M.Kazarinov, Yu.N.Simonov (1956)
- $d\sigma/d\Omega(np)$ at 580 MeV, from 11° to 35° CM
 Yu.M.Kazarinov, N.S.Amaglobeli (1958)
- $d\sigma/d\Omega(np)$ at 590 MeV, from 5° to 23° CM
 B.M.Golovin, V.P.Dzhelepov, Yu.V.Katyshev, A.D.Konin and S.V.Medved' (1959)
- $d\sigma/d\Omega(np)$ at 630 MeV, from 11.5° to 35° CM
 N.S.Amaglobeli and Yu.M.Kazarinov (1959)
- $d\sigma/d\Omega(np)$ at 630 MeV, from 11.6° to 179.6° CM, $\pi^\pm - n$ binding constant deduced
 Yu.M.Kazarinov, F.Lehar and Yu.N.Simonov (1963)

Таблица 9
 np and pn differential cross sections

LHE

- $d\sigma/d\Omega(np)$ at 4.5 and 8.0 GeV, forward angles, propane bubble chamber
 C.Besliu, T.Besliu, A.Constantinescu, M.Gavrilas, A.Mihul, N.Gheordanescu, N.Hangea, M.Teleman, L.Theodorescu, I.Tipa, V.Karnaukhov, V.Moroz, L.Nefedeva (1969)

Таблица 10
Polarized proton beam and target

LNP

- Polarized proton beam
L.S.Azhgirey, Yu.P.Kumekin, M.G.Mescheryakov, S.B.Nurushev, and G.D.Stoletov (1963)
- Polarized proton target increased experimental possibilities
B.S.Neganov and L.B.Parfenov — 1965 — LMN, later the frozen spin PPT with propane diol

Таблица 11
Proton-proton analysing power and polarization

LNP

- $A_{00n0}(pp)$ elastic and quasielastic at 635 MeV, from 20° to 140° CM
V.P.Dzhelepov, V.I.Satarov, B.M.Golovin, V.S.Nadezhdin (1964)
- $P_{n000}(pp)$ and $A_{00n0}(pp)$ — two sets of data at 667 MeV, from 4.4° to 90.3° CM, check of TRI
L.S.Azhgirey, Yu.P.Kumekin, M.G.Mescheryakov, S.B.Nurushev, V.L.Solovyanov, G.D.Stoletov (1965)
- $P_{n000}(pp)$ elastic at 635 MeV, from 34.5° to 117° CM — check of Time Reversal Invariance
R.Ya.Zul'karneev, V.S.Nadezhdin and V.I.Satarov (1970)
- $A_{00n0}(pp)$ elastic at 635 MeV, from 27.6° to 89.7° CM
V.S.Kiselev, V.S.Nadezhdin, V.I.Satarov and R.Ya.Zul'karneev (1967)

Таблица 12
Proton-proton spin correlation parameters
unpolarized incident proton beam, rescattering of two protons

LNP

- C_{nn00}
I.M.Vasilevskii, V.V.Vishnjakov, E.Illiesku, A.A.Tyapkin (1964)
- C_{n000} i $C_{s's''00}$
Yu.M.Kazarinov, F.Lehar, G.Peter, A.F.Pisarev, K.M.Vahlbruch (1965)

Таблица 13
Proton-proton depolarization tensor

LNP

- $\langle R \rangle = D_{s'0s'0}(pp)$ at 605 MeV, between 72° and 108° CM
B.M.Golovin, R.Ya.Zul'karneev, V.S.Kiselev and S.V.Medved' (1967)
- $\langle R \rangle = D_{s'0k0}(pp)$ at 608 MeV, from 54° and 126° CM, with longitudinally polarized proton beam
Yu.P.Kumekin, M.G.Mescheryakov, S.B.Nurushev and G.D.Stoletov (1963)

- $\langle D \rangle = D_{n0n0}(pp)$ at 635 MeV (elastic and quasi-elastic scattering — again the RESULTS ARE EQUAL!)
V.P.Dzhelepov, B.M.Golovin, V.S.Nadezhdin and V.I.Satarov (1964)
- $\langle D \rangle = D_{n0n0}(pp)$ at 635 MeV, from 27.6° to 117° CM
R.Ya.Zul'karneev, V.S.Nadezhdin, V.I.Satarov (1970)
- $\langle D \rangle = D_{n0n0}(pp)$ at 640 MeV, from 54° to 125° C
L.S.Azhgirey, Yu.P.Kumekin, M.G.Mescheryakov, S.B.Nurushev, V.L.Solovyanov and G.D.Stoletov (1965)
- $\langle R \rangle = D_{s'0s'0}(pp)$ at 640 MeV, from 54° to 126° CM
Yu.P.Kumekin, M.G.Mescheryakov, S.B.Nurushev and G.D.Stoletov (1958)
- $A_{00n0}(pn)$ at 635 MeV, from 18.5° to 145.7° CM and $\langle D \rangle = D_{0n0n}(pn)$ at 112.5° CM
V.P.Dzhelepov, B.M.Golovin, V.S.Nadezhdin and V.I.Satarov (1964)

Таблица 14
Proton-proton three spin-index parameter

LNP

- $C_{s'ns'0}(pp)$, $C_{nn00}(pp)$, $C_{s's''00}(pp)$ and $D_{s'0s'0}(pp)$ at 605 MeV, at 90° C
B.M.Golovin R.Ya.Zul'karneev, V.S.Kiselev, S.V.Medved', V.I.Nikanorov, A.F.Pisarev and G.L.Semashko (1967)

Таблица 15
Proton-neutron with polarized proton beam

LNP

- $P_{n000}(pn)$ at 635 MeV, from 23.5° to 124° CM
R.Zul'karneev, Kh.Murtazaev and B.Khachaturov (1976)
- $A_{00n0}(pn)$ and $\langle R \rangle = D_{s'0s'0}(pn)$ at 605 MeV, between 70° and 125° CM
Yu.M.Kazarinov, F.Lehar, A.F.Pisarev and Z.Janout (1967)
- $A_{00n0}(pn)$ and $\langle A \rangle = D_{s'0k0}(pn)$ at 605 MeV, from 55° to 125° CM
S.I.Bilenkaya, N.S.Glonti, Yu.M.Kazarinov and V.S.Kiselev (1970)
- $\langle D \rangle = D_{n0n0}(pn)$, at 612 MeV, between 52° and 125° CM
N.S.Glonti, Yu.M.Kazarinov and M.R.Khayatov (1971)

Таблица 16
pp Depolarizations and spin correlations with PPT

LNP

- $\langle D \rangle = D_{n0n0}(pp)$ with the LMN polarized proton target, at 660 MeV, at 50° and at 610 MeV, at 90° CM
J.Bystricky, J.Cech, Z.Janout, Yu.M.Kazarinov, F.Lehar and L.B.Parfenov (1968)
- $A_{00n0}(pp) = A_{000n}(pp)$ and $A_{00nn}(pp)$ at 610 MeV, with polarized proton beam and frozen spin PPT, from 41° to 91° CM
N.S.Borisov, N.S.Glonti, M.Yu.Kazarinov, Yu.M.Kazarinov, Yu.F.Kiselev, V.S.Kiselev,

V.N.Matafonov, G.G.Makharashvili, B.S.Neganov, J.Strakhota, V.N.Trofimov, Yu.A.Usov and B.A.Khachaturov (1976)

- $A_{00nn}(pp)$, proton polarized beam and frozen spin PPT, from 41° to 91° CM, at 550 and 630 MeV

N.S.Borisov, N.S.Glonti, M.Yu.Kazarinov, Yu.M.Kazarinov, Yu.F.Kiselev, V.S.Kiselev, V.N.Matafonov, G.G.Makharashvili, B.S.Neganov, J.Strakhota, V.N.Trofimov, Yu.A.Usov and B.A.Khachaturov (1977)

Таблица 17

LNP in Protvino — experiment HERA

- A_{000n} and $D_{0s'0n}$ for $pp \bar{p}p$, π^\pm , K^\pm at 40—44 MeV
C.Bruneton, J.Bystricky, G.Cozzika, J.Derégel, A.Derevshchikov, Y.Ducros, A.Gaidot, Yu.M.Kazarinov, M.Yu.Kazarinov, V.P.Kanavets, F.Khantine-Langlois, B.Khatchaturov, F.Lehar, A. de Lesquen, Yu.Matulenکو, J.P.Merlo, A.Meschanin, S.Miyashita, J.Movchet, S.B.Nurushev, J.Pierrard, I.Potashnikova, J.C.Raoul, L. van Rossum, A.Saraykin, V.Siksin, E.Smirnov, V.Solovyanov, J.Strachota (1971—1974)

Таблица 18

Experiment PROZA with pions and kaons at ~ 40 GeV

LNP in Protvino

Observed reaction	Observed reaction
$\pi^- p \Rightarrow n\pi^0$	$\pi^- p \Rightarrow \pi^- + X$
$\pi^- p \Rightarrow n 2\pi^0$	$\pi^- p \Rightarrow \pi^0 + X$
$\pi^- p \Rightarrow n\eta$	$\pi^- p \Rightarrow \eta + X$
$\pi^- p \Rightarrow n\eta'$	$\pi^- p \Rightarrow \eta' + X$
$\pi^- p \Rightarrow n\omega$	$\pi^- p \Rightarrow \pi^+ + X$
$\pi^- p \Rightarrow nf_2 (1270)$	$\pi^- p \Rightarrow K_L + X$
$K^- p \Rightarrow nK_L$	$\pi^- d \Rightarrow \pi^0 + X$
$\pi^- \text{ nucleus} \Rightarrow \text{nucleus} + \pi^0$	$\pi^- d \Rightarrow \eta + X$
$K^- \text{ nucleus} \Rightarrow \text{nucleus} + \pi^0$	$K^- p \Rightarrow \pi^0 + X$
	$K^- d \Rightarrow \pi^0 + X$

Experiment PROZA — with protons at ~ 70 GeV

LNP in Protvino

Observed reaction	Observed reaction
$pp \Rightarrow \pi^- + X$	$pp \Rightarrow \pi^+ + X$
$pp \Rightarrow \pi^0 + X$	$pp \Rightarrow K_L + X$
$pp \Rightarrow \eta + X$	$pd \Rightarrow \pi^0 + X$
$pp \Rightarrow \eta' + X$	$pd \Rightarrow \eta + X$

Таблица 19
Experiment PROZA

pions and kaons at 40 GeV and protons at 70 GeV

LNP in Protvino

- IHEP Protvino:
V.D.Apokin, Y.I.Arestov, N.I.Belikov, B.N.Chujko, A.A.Derevshchikov, G.V.Dzholobov, O.A.Grachev, V.Yu.Khodyrev, V.A.Krendelev, Yu.A.Matulenکو, A.P.Meschanin, N.G.Minaev, A.I.Misnic, V.V.Mochalov, A.A.Morozov, V.G.Myalitsin, S.B.Nurushev, D.I.Patakakha, A.F.Prudkogljad, V.I.Rykalin, V.L.Rykov, L.F.Soloviev, V.L.Solovyanov, A.N.Vasiliev
- LNP — Dubna:
S.I.Bilenkaya, N.S.Borisov, E.I.Bunyatova, Yu.M.Kazarinov, B.A.Khachaturov, R.K.Kutuev, M.Y.Liburg, V.N.Matafonov, A.B.Neganov, B.S.Neganov, I.K.Potashnikova, Yu.A.Usov, R.Ya.Zul'karneev
- Tbilisi State University:
N.S.Amaglobeli, Y.S.Bagaturya, B.G.Chiladze, L.N.Glonti, G.G.Macharashvili, A.Ocharashvili, N.M.Sankandelidze, T.M.Sakhelashvili
- Michigan University:
C.M.Chu, R.S.Raymond, J.A.Stewart

Таблица 20
LNP in Gatchina

- $A_{000n}(pp)$, $A_{00nn}(pp)$, $K_{n00n}(pp)$ at 690, 780, 804, 840, 892, 950 and $M_{s'0kn}(pp)$ at 970 MeV
N.A.Bazhanov, N.S.Borisov, A.N.Chernikov, V.A.Efimovykh, M.Yu.Kazarinov, Yu.M.Kazarinov, Yu.F.Kiselev, A.I.Kovalev, N.G.Kozlenko, M.Yu.Liburg, V.I.Matafonov, M.Yu.Miakushkin, B.S.Neganov, O.Ya.Fedorov, V.V.Polyakov, V.E.Popov, A.N.Prokofiev, V.A.Shvedchikov, V.Yu.Trautman, Yu.A.Usov, V.G.Vovchenko, A.A.Zhdanov (1980—1990)

Таблица 21
LNP in Prague

- $\Delta\sigma_{TL}(np)$ at 16.2 MeV
J.Brovz, J.Cerny, Z.Doležal, G.M.Gurevich, M.Jirásek, P.Kubik, A.A. Lukhanin, J.Švejda, I.Wilhelm, N.S.Borisov, Yu.M.Kazarinov, B.A.Khachaturov, E.S.Kuzmin, V.N.Matafonov, A.B.Neganov, I.L.Pisarev, Yu.A.Plis, Yu.A.Usov, M.Rotter and B.Sedlák

Таблица 22
LNP at SATURNE II

- NN program at SATURNE II, measured 11 independent np spin observables. Direct reconstruction of the np scattering matrix. Resonance-like structures in pp spin-singlet scattering amplitude at 2.1 and 2.8 GeV proton kinetic energy. Polarized monoenergetic n and p beam, and the proton polarized target. Moreover, the study of quasi-elastic scattering with the polarized proton beam and polarized ${}^6\text{LiH}$, ${}^6\text{LiD}$ targets (1990—1995):

J.Arviex, J.Ball, P.A.Chamouard, M.Combet, J.M.Fontaine, R.Kunne, J.M.Lagniel, J.L.Lemaire, G.Milleret, J.L.Sans
 DAPNIA — Saclay, France:
 J.Bystricky, J.Derégel, F.Lehar, A.de Lesquen, M.de Mali, F.Perrot-Kunne, L.van Rossum
 University of Geneva, Switzerland:
 Ph.Demierre, R.Hess, Z.F.Janout, D.Rapin, B.Vuaridel

- LNP — JINR, Dubna:
 L.S.Barabash, Z.Janout, V.A.Kalinnikov, Yu.M.Kazarinov, B.A.Khachaturov, V.N.Matafonov, I.L.Pisarev, A.A.Popov, Yu.A.Usov
 ANL-HEP, Argonne, USA:
 M.Beddo, D.Grosnick, T. Kasprzyk, D.Lopiano, H.Spinka
 UCLA, Los Angeles, USA:
 A.Boutefnouchet, V.Ghazikhanian, C.A.Whitten

Таблица 23
Spin physics at LHE

LHE

- Polarized deuterons in LHE started approximately in 1980 thanks to A.M.Baldin and Yu.K.Pilipenko
- A.M.Baldin inspired the acceleration of polarized deuterons
- Yu.K.Pilipenko did the source POLARIS

Таблица 24
Theory contributions

- Important theoretical contributions in collaboration with LHE physicists
 V.V.Burov, V.K.Lukyanov, A.V.Efremov, O.V.Teryaev, M.P.Chavleishvili (LTP, JINR),
 A.M.Baldin, G.I.Lykasov, M.V.Tokarev, V.L.Lyuboshitz (LHE, JINR),
 M.Sapozhnikov, F.M.Lev (LNP-JINR),
 S.M.Dorkin (Vladivostok),
 A.Yu.Korchin, A.V.Shebeko, M.P.Rekalo, A.P.Rekalo, G.I.Gakh (Kharkov),
 Yu.L.Dorodnykh (Inst.Nucl.Research, Moscow),
 V.A.Karmanov (Lebedev Institute, Moscow),
 L.Frankfurt, M.Strikman, M.Braun, V.Vecherin (St.Petersburg),
 A.N. Safronov, V.E.Troitsky (Moscow State University),
 A.F.Krutov (Samara),
 A.P. Kobushkin, D.V.Anshishkin, A.I.Syamtomov (Kiev),
 L.Vizireva (Sophia),
 B.A.Matveev, R.M.Muradjan, A.N.Tavkhelidze (Troick)
 Frequently, the papers were published in cooperation with western physicists (e.g.,
 W.Cassing (Giessen), J.Carbonell (Grenoble), theorists from Saclay, CERN, U.K., USA)

Таблица 25
Different problems solved

LHE collaborations

- Deuteron break-up in pure spin states.
- Prediction that strong non-nucleonic effects can be seen in the polarization experiments on break-up.
- Formulae for T_{20} (tensor analysing power) and κ_0 (spin transfer parameter, i.e., the ratio of the proton polarization to the vector polarization of deuteron with additional components in the deuteron wave function).
- Relations between polarization observables other than T_{20} and κ_0 in Backward Elastic Scattering (BES).
- QCD-motivated asymptotic values.
- Quark antisymmetrization effects in spin-dependent observables.
- Relations between spin-dependent observables in the deuteron break-up and cross sections of ${}^3\text{He} + p$ backward elastic scattering.
- Relations between polarization observables in BES on one side and the break-up on another.
- Short range structure in $dd \Rightarrow {}^3\text{He} + n$ reaction (recent problem).
- The analogy of the break-up with the dp elastic backward was very impressive and suggests to look these two reactions together.
- The correlation between T_{20} and κ_0 and the proof that it is more general than impulse approximation (IA) result.
- The correlation between tensor polarization of deuteron from polarized ${}^3\text{He}$ breakup and vector polarization transfer from ${}^3\text{He}$ to deuteron in the ${}^3\text{He} \Rightarrow d$ break-up.
- Spin transfer from the polarized target to the proton in fragmentation of unpolarized deuterons.
- Polarization observables in inelastic d, d' reactions.

Таблица 26
Main questions and roles

LHE

- Question: what to measure and how to measure the beam polarization. Planning of measurements
 An outstanding role in performing the experiments, organization of the runs and building international collaboration
 N.M.Piskunov, I.M.Sitnik, E.A.Strokovski, L.N.Strunov, V.A.Sviridov
- Let us mention other important contributions
- L.Penchev: The data analysis and simulation
- S.Nedev: Analysis of the elastic peak of BES and the region of break-up
- V.Ableev
 Apparatus and the organization of experiments
- L.S.Azhgirey
 Acceptance of the apparatus and its influence on the measured observables

- V.I.Sharov, L.Naumann, B.Kühn
Development of the polarimetry. When the Saclay data on backward elastic scattering became available. It was possible to use them at 3 GeV/c of the deuteron momentum. Then was decided to measure T_{20}
- Beams of the Dubna Synchrophasotron and Nuclotron
I.B.Issinsky, A.D.Kirillov, A.D.Kovalenko, P.A.Rukoyatkin

Таблица 27

Experiments with internal polarized beam

LHE

- Internal beam experiments dp , dd and d -nucleus from 0.6 up to 11 GeV
 dp and dC Vector Analysing Powers, large angular region
V.V.Avdeichikov, G.G.Beznogikh, A.I.Bogdanov, V.A.Budilov, K.G.Denisenko, V.N.Emelyanenko, A.Filipkovskii, V.V.Fimushkin, A.Golembewski, N.L.Gorshkova, B.Khuelbaatar, A.Kotus, A.P.Laricheva, S.Mruwchinski, V.M.Myalkovski, V.A.Nikitin, P.V.Nomokonov, A.V.Pavlyuk, Yu.K.Pilipenko, I.A.Rufanov, V.R.Skoi, V.B.Shutov, M.D.Traikova, V.Ya.Volkov, N.K.Zhidkov

Таблица 28

Experiments with extracted polarized beam

LHE

- Tensor Analysing Power T_{20} in $d + {}^{12}\text{C} \Rightarrow p + X$ at $\theta = 0^\circ$ — large energy region
V.G.Ableev, S.Dzhemukhadze, V.P.Yershov, V.V.Fimushkin, B.Kühn, M.V.Kulikov, A.A.Nomofilov, L.Penchev, Yu.K.Pilipenko, N.M.Piskunov, V.I.Sharov, V.B.Shutov, I.M.Sitnik, E.A.Strokovsky, L.N.Strunov, S.A.Zaporozhets, B.Naumann, L.Naumann and S.Tesch (1987)
- One year later — the same authors measured T_{20} up to the internal momenta of protons 800 MeV/c (1988)
- The same authors: T_{20} and κ_0 (1989)

Таблица 29

Experiments with the hydrogen bubble chamber

LHE

- Deuteron break-up measured using 1 meter hydrogen bubble chamber. Fragmentation of vector polarized deuterons at 3.34 GeV/c, then Space correlation and Final State Interactions in the Deuteron and Helium Nuclei Break-Up Reactions: ORIGINAL RESULTS
- LHE:
V.V.Glagolev, N.B.Ladygina, R.M.Lebedev, G.I.Lykasov, A.G.Mamulashvili, G.D.Pestova
- Kosice:
M.Seman, L.Šandor, B.Patyrčák, G.Martinská, J.Urban, J.Hlaváčova

- FIAN (Moscow): K.U.Khairtdinov,
- Tbilisi:
M.I.Dolidze, A.K.Kacharava, N.S.Nioradze, S.L.Salukvadze,
- Alma-Ata: S.S. Shimanski,
- Warszawa: T.Siemiarczuk, J.Stepaniak
Published vector analysing power of $dp \Rightarrow (pn)p$.
Probability of D-wave in deuteron
- It followed:
- The deuteron break-up cannot be described with the standard wave functions even if the Glauber rescattering will be taken into account.
- Similarity between break-up at 0° and Backward Elastic Scattering appears

Таблица 30

History of ALPHA spectrometers

LHE

- The polarized beam intensity was increased and the experiment became possible with extracted particles. Experimental set-up ALPHA and deuteron beam polarimeter.
- ALPHA — first «One arm spectrometer»
V.G.Ableev, S.G.Basiladze, Yu.T.Borzunov, G.G.Vorob'ev, L.B.Golovanov, S.A.Zaporozhets, V.I.Kakurina, A.I.Kruglov, B.K.Kuryatnikov, P.K.Manyakov, E.A.Matyushevskii, A.A.Nomofilov, A.N.Parfenov, V.D.Peshekhonov, N.M.Piskunov, A.D.Rogal', V.N.Sadovnikov, I.M.Sitnik, E.A.Strokovsky, L.N.Strunov, G.M.Susova, A.P.Tsvinev, V.I.Sharov, and V.K.Yudin (1978)
- Polarimetry for the deuteron beam.
- «New» ALPHA two arm spectrometer
- Deceleration method for an absolute beam polarization check
V.G.Ableev, S.Dzhemukhadze, V.P.Yershov, V.V.Fimushkin, B.Kuhn, M.V.Kulikov, A.A.Nomofilov, L.Penchev, Yu.K.Pilipenko, N.M.Piskunov, V.I.Sharov, V.B.Shutov, I.M.Sitnik, E.A.Strokovsky, L.N.Strunov, S.A.Zaporozhets, B.Naumann, L.Naumann and S.Tesch (1991)

Таблица 31

New ALPHA spectrometer and ANOMALON

LHE

- Correlations between Polarization Observables in Inclusive Deuteron Break-up: ANALYSIS of results — LHE and Williamsburg
B.Kuhn, C.F. Perdrisat, E.A.Strokovsky (1993)
- ALPHA — ANOMALON collaboration — Polarization Transfer κ_0 in $d + {}^{12}\text{C} \Rightarrow p + X$ (1994)
LHE JINR: A.A.Nomofilov, V.V.Perelygin, V.F.Peresedov, A.E.Senner, V.I.Sharov, V.N.Sotnikov, L.N.Strunov, V.A.Sviridov, A.V.Zarubin, L.S.Zolin, Gatchina: S.I.Belostotsky, A.A.Izotov, V.V.Sulimov, V.V.Vikhrov, University of Lodz: T.Dzikowski, A.Korejwo

- ALPHA collaboration — Tensor Analysing Power T_{20} at 3.6—6.0 GeV/c $\theta = 0^\circ$
LHE JINR: Yu.T.Borzunov, E.V.Chernyh, L.B.Golovanov, V.P.Ladygin, P.K.Manyakov, N.S.Moroz, S.Nedev, L.Penchev, N.M.Piskunov, P.A.Rykoyatkin, I.M.Sitnik, E.A.Strokovsky, A.L.Svetov, A.P.Tsvinev, S.A.Zaporozhets,
LNP JINR: L.S.Azhgirey, M.A.Ignatenko, G.D.Stoletov,
Williamsburg: C.F.Perdrisat,
Norfolk: V.Punjabi,
Kiev: A.P.Kobushkin, A.I.Syamtonov,
Gatchina: V.V.Vikhrov,
Sofia: L.Vizireva
- Tensor Analysing Power T_{20} in $d + {}^{12}\text{C} \Rightarrow p + X$ at $\theta = 0^\circ$ — High Internal Momenta up to 1 GeV/c
LHE JINR, Myiazaki University, University of Lodz, Nagoya University, Gatchina (1995): T.Aono, E.V.Chernyh, T.Dzikowski, T.Hasegawa, N.Horikawa, T.Iwata, A.A.Izotov, A.A.Nomofilov, A.Ogawa, V.V.Perelygin, T.Sasaki, V.I.Sharov, D.A.Smolyn, V.N.Sotnikov, L.N.Strunov, S.Toyoda, T.Yamada, S.A.Zaporozhets, A.V.Zarubin, V.E.Zhiltsov and L.S.Zolin
- Tensor Analysing Power T_{20} in $d + {}^{12}\text{C} \Rightarrow p + X$ up to 9 GeV/c
L.S.Azhgirey, S.V.Afanasyev, E.V.Chernyh, A.P.Kobushkin, V.P.Ladygin, S.Nedev, L.Penchev, C.F.Perdrisat, N.M.Piskunov, V.Punjabi, I.M.Sitnik, G.D.Stoletov, E.A.Strokovsky, A.I.Syamtonov, S.A.Zaporozhets

Таблица 32
Inelastic scattering

LHE

- First inelastic scattering d, d' T_{20} results on hydrogen and carbon at 4.5 and 5.5 GeV/c
L.S.Azhgirey, E.V.Chernyh, A.P.Kobushkin, P.P.Korovin, B.Kühn, V.P.Ladygin, S.Nedev, C.F.Perdrisat, N.M.Piskunov, V.Punjabi, I.M.Sitnik, G.D.Stoletov, E.A.Strokovsky, A.I.Syamtonov, S.A.Zaporozhets

Таблица 33
Pion production with polarized deuterons

LHE

- $dC \Rightarrow \pi + X$ at 90° , $dp \Rightarrow \pi + X$ from 4.2 to 9.5 GeV/c decrease with energy
G.S.Averichev, G.Agakishiev, M.E.Asanova, Yu.T.Borzunov, N.Ghiordanescu, L.B.Golovanov, Ya.G.Guseinaliev, I.Zborovsky, Yu.I.Minaev, N.S.Moroz, A.S.Nikoforov, Yu.A.Panebratsev, M.Pentia, E.V.Potrebennikova, S.V.Razin, M.K.Suleimanov, A.P.Zvinev, M.V.Tokarev, E.I. Shahaliev, S.S. Shimansky, G.P.Škoro, V.I.Yurevich.

Predicted by A.M.Baldin

- Continuation — new results
A.A.Baldin, L.G.Efimov, V.S.Pantuev, S.N.Filippov, V.V.Borisov, T.A.Golubeva, V.S.Korolev, K.V.Mikhailov, S.V.Semashko

- Tensor polarized d fragmentation from 6.2 to 9 GeV/c into cumulative mesons — together with Japanese group
Yu.S.Anisimov, S.V.Afanasyev, L.S.Zolin, A.Yu.Isupov, V.T.Kolesnikov, A.G.Litvinenko, A.I.Malakhov, A.S.Nikiforov, V.V.Perelygin, S.G.Reznikov, P.K.Rukoyatkin, A.Yu.Semenov, I.A.Semenova, W.Wakai, T.Iwata, T.Kageya, Y.Myiachi, M.Fujieda, S.Fukui, N.Horikawa, K.Koba, T.Matsuda, T.Hasegawa, A.A.Izotov, M.V.Tokarev, E.I.Shaliev, S.S.Shimansky, G.P.Škoro, V.I.Yurevich

Таблица 34
International Collaborations

LHE

- An important role played N.M.Piskunov in the collaboration with B.Hersman from New Hampshire. An experiment on search for $\Delta - \Delta$ dibaryon production in dd scattering was suggested. N.M.Piskunov involved other physicists in these problems.

LHE at SATURNE II

- The collaboration with C.Perdrisat, V.Punjabi and Saclay (LNS) (J.Arviex, A. Boudard, R.Beutey, E.Tomasi-Gustafsson, etc.) was established in 1991. It continued and was very fruitful: deuteron was explored in a wide range of energies in a coherent way. The dp experiments (T_{20} and κ_0) BES were carried out. T_{20} was measured in the break-up on hydrogen. The polarimetry resulted into the HYPOM array
J.Arviex, C.F.Perdrisat, E.Cheung, J.Oh, Y.Yonnet, M.Boivin, E.Tomasi-Gustafsson, A.Zghiche, A.Boudard, V.Punjabi, V.Ladygin, L.Penchev, N.Piskunov, I.Sitnik, E.A.Strokovsky, S.Belostotsky, V.Vikhrov, R.Abbeg

Таблица 35
Experiment with polarized protons

LHE

- For the first time, at the LHE JINR Synchrophasotron, an experiment with the polarized proton beam was carried out. Beams of polarized protons ($P_B = 0.5$) at T_{kin} from 0.71 to 3.61 GeV, and intensity protons/spill were studied. The $p-C$ analysing power at 1.46 and 3.61 GeV was measured at two scattering angles. Moreover, analysing powers of scattering on bounded and free nucleon were compared and an analysing power of proton-carbon scattering inelastic channel was determined.

Moscow State University:

E.V.Anoshina, V.A.Bodyagin, K.A.Chikin, A.M.Gribushin, N.A.Kruglov, L.I.Sarycheva, I.N.Vardanyan, A.A.Yershov

LHE JINR:

A.D.Kirillov, P.A.Rukoyatkin

Таблица 36
Scientific program

LHE

- Search for Non-Nucleon Degrees of Freedom and Spin Effects in Few Nucleons Systems.
- Responsible for the LHE programme: A.M.Baldin, N.M.Piskunov.
- Except the JINR Member States participates: Belgium, Canada, France, Germany, Italy, Japan, Spain, Sweden, Switzerland, CERN, USA. Study of polarization characteristics of different reactions with polarized and unpolarized protons and nuclei in inclusive, exclusive and correlation experiments. Following Programmes exist:
- INESS-ALPHA: N.M.Piskunov, E.A.Strokovsky,
- PPMT Polarized Proton target: N.M.Piskunov, Yu.A.Usov,
- BES: L.M.Sitnik, L.S.Azhgirey,
- DELTA SIGMA: L.N.Strunov, V.I.Sharov,
- UPK: V.V.Glagolev,
- MASPIK: L.S.Azhgirey (data analysis),
- ANOMALON: L.A.Golutvin, V.V.Perelygin, L.S.Zolin,
- SPIN: M.Finger

Таблица 37
Program SPIN — mainly LNP (1972—1991)

- JINR:
J.Exnerová, V.N.Fominykh, M.N.Fominykh, I.I.Gromova, B.S.Neganov, V.M.Tsupko-Sitnikov, A.Vdovin, R.Drevenák, M.Finger, M.J.Finger, A.Janata, Yu.M.Kazarinov, T.I.Kraciková, N.A.Lebedev, M.V.Lyablin, V.N.Pavlov, A.F.Pisarev, D.E.Shabalin, M.Slunicka, L.N.Somov, A.D.Stepanov, Yu.V.Yushkevich,
- Czech Republic:
P.Cížek, J.English, J.Kvasil, D.Nosek, J.Novotny, J.Procházka, M.Petrik, M.Rotter, B.Sedlák, M.Trhlik, P.Hedbávny, Z.Janout, A.Jankech, J.John, J.Konicek, A.Machová, P.Malinsky, J.Slovák, P.Šimecek, T.Tethal, J.Zafar, V.Benda, J.Navrátíl, D. Nováková, J.Ota, J.Rikovská, J.Soucek, M.Vobecky, J.Dupák, K.Hladil, E.Šimecková, M.Kolác, T.Lešner, K.Švec, J.Dupák,
- Slovaque Republique: P.Horvát, V.Streit, P. Wiesenganger,
- North Corea: Khan Khen Mo,
- Mongolie: S.Davaa,
- Poland: H.Lizurey, M.Budzinski,
- Russia: A.L.Erzinkian, V.P.Parfenova, V.S.Spinel, L.I.Menshikov, G.M.Gurevich et al.,
- Ukraine: P.Gopych, V.A.Deryuga, A.F.Shchus, A.Zalubovsky,
- Armenia: A.Danagulyan,
- Belarus: V.G.Baryshevski et al.,
- Vietnam: Do Kim Tyung,
- Belgium: L.Vanneste et al.,
- United Kingdom: W.D.Hamilton et al.,
- Finland: P.O.Lipas et al,

- Germany: U.Keiser et al.,
- Greece: K.Kalfas et al.,
- Yugoslavia: I.Anicin, M.Veskovich et al.

Таблица 38
Spin observables in neutron-proton
elastic scattering

LHE in PSI (1992—1995)

J.Arnold, B. van den Brandt, M.Daum, Ph.Demierre, R.Drevenák, M.Finger, M.J.Finger, J.Franz, N.Goujon, W.Hajdas, P.Hautle, R.Hess, A.Janata, Z.F.Janout, R.Koger, J.A.Konter, H.Lacker, C.Lechanoine-Leluc, F.Lehar, S.Mango, Ch.Mascarini, D.Rapin, E.Rössle, P.A.Schmelzbach, H.Schmitt, P.Sereni, M.Slunicka, R.Stachetzki, A.Teglia, B.Vuaridel

Таблица 39
Target, neutron beam, polarimetry, etc.

New polarized proton target — MPT

- N.G.Anischenko, N.A.Bazhanov, B.Benda, N.S.Borisov, Yu.T. Borzunov, V.F.Burinov, G.Durand, A.P.Dzyubak, A.V.Gevchuk, L.B.Golovanov, G.M.Gurevich, A.I.Kovalev, A.B.Lazarev, Ph.Leconte, F.Lehar, A. de Lesquen, A.A.Lukhanin, V.N.Matafonov, E.Matyushevsky, S.Mironov, A.B.Neganov, N.M.Piskunov, Yu.A.Plis, S.N.Shilov, Yu.A.Shishov, P.V.Sorokin, V.V.Teterin, S.Topalov, V.Yu.Trautman, A.P.Tsvinev, Yu.A.Usov

Polarized quasi-monochromatic free neutron beam

- A.D.Kirillov, L.N.Komolov, A.D.Kovalenko, E.A.Matyushevsky, A.A.Nomofilov, P.A.Rukoyatkin, V.I.Sharov, A.Yu.Starikov, L.N.Strunov, A.L.Svetov

Simultaneous proton-proton polarimetry

$$d + p = p + p(+n)$$

- A.N.Prokofiev, V.V.Vikhrov, A.A.Zhdanov, L.S.Azhgirey, N.M.Piskunov, G.D.Stoletov, F.Lehar

Absolute deuteron beam polarization

- Polarimeter ALPHA: $d + p$ forward elastic scattering at 3 GeV/c

Data acquisition

- Responsible: S.A.Zaporozhets

Experiment

- Responsible: V.I.Sharov

Таблица 40
Measurement of the total cross section difference $\Delta\sigma_L$ in np transmission
at 1.19, 2.49 and 3.65 GeV

B.P.Adiasevich⁴, V.G.Antonenko⁴, S.A.Averichev¹, L.S.Azhgirey², J.Ball⁵,
N.A.Bazhanov⁶, B.Benda³, N.S.Borisov², Yu.T.Borzunov¹, E.I.Bunyatova², V.F.Burinov²,
E.V.Chernykh¹, S.A.Dolgi¹, G.Durand³, A.P.Dzyubak⁷, A.N.Fedorov⁸, V.V.Fimushkin¹,
J.M.Fontaine⁵, V.V.Glagolev¹, L.B.Golovanov¹, D.P.Grosnick⁹, G.M.Gurevich¹⁰,
D.A.Hill⁹, A.V.Karpunin¹, T.E.Kasprzyk⁹, B.A.Khachaturov², A.D.Kirillov¹,
N.I.Kochelev¹¹, A.D.Kovalenko¹, A.I.Kovalev⁶, M.V.Kulikov¹, V.P.Ladygin¹,
A.B.Lazarev², F.Lehar³, A. de Lesquen³, M.Yu.Liburg¹, D.Lopiano⁹, A.A.Lukhanin⁷,
P.K.Maniakov¹, V.N.Matafonov², E.A.Matyushevsky¹, G.Mgebrishvili⁴, S.V.Mironov¹,
A.B.Neganov², G.P.Nikolaevsky¹, A.A.Nomofilov¹, Yu.K.Pilipenko¹, I.L.Pisarev²,
N.M.Piskunov¹, Yu.A.Plis², Yu.P.Polunin⁴, V.V.Polyakov⁶, A.N.Prokofiev⁶,
D.A.Ronzhin², P.A.Rukoyatkin¹, J.L.Sans⁵, V.I.Sharov¹, S.N.Shilov², Yu.A.Shishov¹,
V.B.Shutov¹, P.V.Sorokin⁷, H.M.Spinka⁹, A.Yu.Starikov¹, G.D.Stoletov²,
E.A.Strokovsky¹, L.N.Strunov¹, A.L.Svetov¹, V.V.Teterin², S.V.Topalov¹⁰,
V.Yu.Trautman⁶, A.P.Tsvinev¹, Yu.A.Usov², V.V.Vikhrov⁶, V.I.Volkov¹, A.A.Yershov¹²,
V.P.Yershov¹, S.A.Zaporozhets¹, A.A.Zhdanov⁶

Accepted for publication in Zeitschrift für Physik C

Present address:

- ¹Laboratory of High Energies, JINR, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia,
²Laboratory of Nuclear Problems, JINR, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia,
³CEA-DAPNIA, CE Saclay, 91191 Gif sur Yvette Cedex, France,
⁴I.V.Kurchatov Institute of Atomic Energy, Kurchatov str. 46, 123182 Moscow, Russia,
⁵Laboratoire National SATURNE, CNRS/IN2P3 and CEA/DSM, CE Saclay, 91191 Gif sur Yvette Cedex, France,
⁶Petersburg Nuclear Physics Institute, 188350, Gatchina, Russia,
⁷Kharkov Institute of Physics and Technology, Academicheskaya str. 1, 310108 Kharkov, Ukraine,
⁸Laboratory of Particle Physics, JINR, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia
⁹ANL-HEP, 9700 South Cass Avenue, Argonne, IL 60439, USA,
¹⁰Institute for Nuclear Research, Russian Academy of Sciences, 60th October Anniversary Prospect 7A, 117312 Moscow, Russia,
¹¹Laboratory of Theoretical Physics, JINR, 141980 Dubna, Moscow Region, Russia,
¹²Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, 119899 Moscow, Russia

Таблица 41
SMC (NA47) at CERN

LPP at CERN

B.Adeva, E.Arik, A.Arvidson, B.Badelek, M.K.Ballintijn, G.Bardin, G.Baum,
G.Berglund, L.Betev, R.Birsa, P.Björkholm, B.E.Bonner, N. de Botton, F.Bradamante,
A.Bressan, S. Bültmann, E.Burtin, C.Cavata, D.Crabb, J.Cranshaw, T.Cuhadar, S.Dalla
Torre, R. van Dantzig, A.Deshpande, S.Dhawan, C.Dulya, A.Dyring, S.Eichblatt,
J.C.Faivre, D.Fashing, F.Feinstein, C.Fernandez, B.Frois, J.A.Garzon, T.Gaussiran,

M.Giorgi, E. von Goeler, A.Gomez, G.Gracia, N. de Groot, M.Grosse Perdekamp,
E.Gülmez, D. von Harrach, T.Hasegawa, P.Hautle, N.Hayashi, C.A.Heusch, N.Horikawa,
V.W.Hughes, G.Igo, S.Ishimoto, T.Iwata, E.M.Kabuss, T.Kageya, A.Karev, H.J.Kessler,
T.J.Ketel, A.Kishi, Yu.Kisselev, L.Klostermann, D.Krämer, V.Krivokhijine, W.Kröger,
J.Kyynäräinen, M.Lamanna, U.Landgraf, J.M. Le Goff, F.Lehar, A. de Lesquen,
J.Lichtenstadt, M.Litmaath, S.Lopez-Ponte, M.Lowe, A.Magnon, G.K.Mallot, F.Marie,
A.Martin, J.Martino, T.Matsuda, B.Mayes, J.S.McCarthy, K.Medved, G. van Middelkoop,
D.Miller, K.Mori, J.Moromisato, A.Nagaitsev, J.Nassalski, L.Naumann, B.S.Neganov,
T.O.Niinikoski, J.E.J.Oberski, A.Ogawa, C.Ozben, A.Penzo, C.Perez, F.Perrot-Kunne,
D.Peshekhonov, R.Piegaiia, L.Pinski, S.Platchkov, M.Plo, D.Pose, H.Postma, J.Pretz,
T.Pussieux, J.Pyrlík, I.Reyhancan, A.Rijllart, J.B.Roberts, S.Rock, M.Rodriguez,
E.Rondio, A.Rosado, I.Sabo, J.Saborido, A.Sandacz, I.Savin, P.Schiavon, K.P.Schüler,
R.Segel, R.Seitz, Y.Semertzidis, S.Sergeev, F.Sever, P.Shanahan, E.P.Sichtermann,
G.I.Smirnov, A.Staude, A.Steinmetz, U.Stiegler, H.Stuhrmann, M.Szleper, K.M.Teichert,
F.Tessarotto, M.Velasco, J.Vogt, R.Voss, R.Weinstein, C.Whitten, R.Windmolders,
R.Willumeit, W.Wislicki, A.Witzmann, A.M.Zanetti, J.Zhao

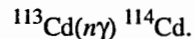
КОГЕРЕНТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЯДРАХ И КРИСТАЛЛАХ

Профессор Ю.Г.АБОВ

Прежде всего я пользуюсь случаем, чтобы выразить признательность руководству ОИЯИ и Ученого совета Института за оказанную мне честь выступить на юбилейном заседании сессии Ученого совета.

В своем выступлении я в краткой форме остановлюсь на истории обнаружения слабого нуклон-нуклонного взаимодействия, сделанного в ИТЭФ, затем подчеркну значение вклада ЛНФ ОИЯИ в развитие исследований в этой области и, наконец, расскажу о некоторых планах нашей совместной деятельности на реакторе ИБР-2. Этот доклад ни в коем случае нельзя рассматривать как обычный обзор. Поэтому я заранее приношу свои извинения всем своим глубокоуважаемым коллегам как у нас в стране, так и за рубежом, а также целым коллективам авторов, которые не будут мною упомянуты. Цель доклада ограничена тем, что было отмечено выше.

Впервые слабое нуклон-нуклонное взаимодействие было обнаружено в ИТЭФ в 1964 году [1]. Наблюдали асимметрию испускания γ -квантов относительно направления поляризации пучка нейтронов в процессе радиационного захвата нейтронов ядрами кадмия



Регистрировали γ -кванты с энергией 9,04 МэВ, которые выделяют переход $1^+ \rightarrow 0^+$ с возбужденного компаунд-ядерного состояния на основное состояние ядра ^{114}Cd . Очевидно, что это M1-переход. Опыт был поставлен по предложению И.С.Шапиро, который усмотрел ошибку, допущенную нашими предшественниками в оценке величины ожидаемого эффекта [4]. Взявшись за этот эксперимент, мы с П.А.Крупчицким пришли к выводу о том, что необходимо изменить постановку эксперимента так, чтобы было возможно очень часто сравнивать эффекты на поляризованном и деполаризованном пучках нейтронов или очень часто, много раз в секунду, реверсировать направление поляризации пучка нейтронов с целью подавления влияния нестабильностей потока нейтронов и регистрирующей аппаратуры. Ядро кадмия было выбрано

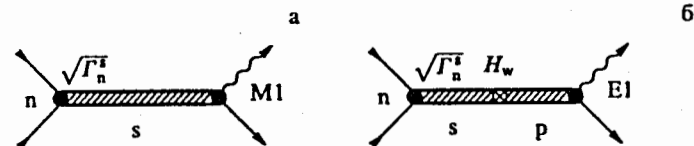


Рис. 1. Диаграмма радиационного захвата нейтронов в s -волне: а) в сильном взаимодействии без участия слабого нуклон-нуклонного взаимодействия; б) с участием слабого взаимодействия

не случайно. Сечение захвата тепловых нейтронов ядрами кадмия почти целиком определяется резонансом при энергии нейтронов $E = 0,17$ эВ. Это s -резонанс с квантовыми числами 1^+ . Как известно (теорема Волфенштейна), при сохранении четности захват s -нейтронов должен приводить к сферически-симметричному испусканию γ -квантов. Обнаружение корреляции $P_n k_\gamma$ между направлениями поляризации P_n пучка нейтронов и импульса γ -квантов k_γ свидетельствовало бы о нарушении четности, так как эта корреляция изменяет знак при инверсии координат. Для обнаружения такой корреляции лучше всего располагать детекторы γ -квантов вдоль или против направления поляризации пучка нейтронов. Несохранение четности в указанной реакции физически означало бы, что волновая функция ядерного состояния 1^+ на самом деле содержит примесь состояния 1^- , т.е. что слабое взаимодействие в ядре смешивает эти состояния. Для того, чтобы это смешивание было заметным, необходимо, согласно теории возмущений, чтобы рядом с уровнем 1^+ в возбужденном ядре кадмия ^{114}Cd находился уровень 1^- [4]. С другой стороны, если такой уровень есть, то с неизбежностью должна возникнуть P -четная корреляция вида $P_n(k_n \times k_\gamma)$, где k_n — импульс входящей радиации, т.е. падающих на мишень нейтронов. Для обнаружения такой корреляции вектор поляризации нейтронов должен быть ориентирован нормально к плоскости реакции. Влияние P -четной корреляции исключалось постановкой эксперимента, что было подтверждено специальными контрольными измерениями. Нетрудно убедиться в том, что отношение амплитуд слабого и сильного взаимодействий нуклонов в ядрах имеет порядок величины $F \sim 10^{-7}$ [4]. Для обнаружения P -нечетного эффекта нужно выбирать такие реакции, в которых P -нечетные эффекты усилены на несколько порядков. Классификация механизмов усиления P -нечетных явлений приводится в [4]. Физический смысл механизмов усиления, возникающих в данной реакции, можно пояснить, используя диаграммную технику (рис.1). На рис.1,а изображен процесс радиационного захвата нейтронов ядрами без участия слабого взаимодействия.

Опуская фазовые множители, амплитуду этого процесса можно записать в виде [5]:

$$f_{ss} \approx \sqrt{\Gamma_n^s} \frac{1}{E - E_s + (i/2)\Gamma_s} \langle M1 \rangle,$$

где Γ_n^s — нейтронная s -ширина, E — энергия нейтрона, E_s — резонансное значение энергии нейтрона, Γ_s — полная s -ширина, $\langle M1 \rangle$ — амплитуда $M1$ -перехода $1^+ \rightarrow 0^+$ в реакции $^{113}\text{Cd}(n\gamma)^{114}\text{Cd}$. Диаграмма справа (рис.1,б) описывает тот же самый процесс по каналу слабого взаимодействия:

$$f_{sp} \approx \sqrt{\Gamma_n^s} \frac{\langle s | H_w | p \rangle}{(E - E_s + (i/2)\Gamma_s)(E - E_p + (i/2)\Gamma_p)} \langle E1 \rangle,$$

где $\langle s | H_w | p \rangle$ — «слабый» матричный элемент, который ответственен за примешивание к состоянию 1^+ ядра ^{114}Cd состояния 1^- вследствие слабого взаимодействия. E_p, Γ_p — энергия и ширина p -уровня, $\langle E1 \rangle$ — амплитуда испускания $E1$ -кванта в переходе $1^- \rightarrow 0^+$. Один и тот же нейтрон одновременно идет по двум «путям», двум каналам реакции, ни один из которых выключить невозможно, и бессмысленно говорить, по какому из этих каналов нейтрон вошел в ядро. Если бы это было возможно, интерференция оказалась бы разрушенной, P -нечетный эффект был бы пропорционален квадрату слабого матричного элемента.

Ситуация напоминает известный мыслимый эксперимент по дифракции электронов на двух щелях. Интерференционный эффект существует, если обе щели открыты. В данном случае обе «щели» открыты и амплитуда процесса есть сумма амплитуд $f_s = f_{ss} + f_{sp}$. В этом случае представляется очевидным, что любой P -нечетный эффект (асимметрия испускания γ -квантов относительно направления поляризации или циркулярная поляризация γ -квантов, если пучок нейтронов не поляризован) должен определяться отношением амплитуд f_{sp}/f_{ss} . Тогда получим

$$\left| \frac{f_{sp}}{f_{ss}} \right| \approx \left| \frac{\langle H_w \rangle}{E - E_p + (i/2)\Gamma_p} \right| \frac{\langle E1 \rangle}{\langle M1 \rangle} \sim \frac{\langle H_w \rangle}{D} \frac{\langle E1 \rangle}{\langle M1 \rangle} = RF.$$

Здесь $F \sim 10^{-7}$, R — фактор суммарного усиления P -нечетного эффекта. Поскольку энергия нейтронов близка к s -резонансу, $E - E_p \approx E_s - E_p \approx D$ близко к среднему расстоянию между уровнями компаунд-ядра D . Первый множитель определяет так называемое динамическое [4] усиление эффекта, обусловлен-

ное близостью уровней с противоположной четностью. Следовательно, нужно выбирать ядра с высокой плотностью возбужденных состояний, в этом случае уровни с одинаковым спином и противоположной четностью могут оказаться расположенными очень близко друг к другу. Ядро ^{114}Cd удовлетворяет этому требованию. Второй множитель тоже дает усиление, так как $\langle E1 \rangle / \langle M1 \rangle \approx c/v \sim 10$, где v — скорость нуклонов в ядре, c — скорость света. Этот фактор усиления получил название кинематического. Забегая вперед, отметим, что p -уровень 1^- в ядре ^{114}Cd был действительно обнаружен в ЛНФ ОИЯИ. Он расположен при энергии нейтронов $E = 7$ эВ [6]. Если в процессе радиационного захвата нейтронов четность не сохраняется, то в угловом распределении вторичной (выходящей) радиации (γ -квантов) должен присутствовать псевдоскалярный член $P_n k_\gamma$:

$$W(\theta) \approx \text{const} \left(1 + a P_n \frac{k_\gamma}{|k_\gamma|} \right) = \text{const} (1 + a P_n \cos \theta),$$

где θ — угол между направлениями вектора поляризации пучка нейтронов P_n и импульса γ -квантов k_γ , a — коэффициент асимметрии. Пусть импульс γ -квантов направлен вдоль или против направления поляризации пучка нейтронов. N^+, N^- — число отсчетов детектора γ -квантов для двух указанных ориентаций поляризации пучка нейтронов и импульса γ -квантов. Тогда коэффициент асимметрии может быть найден из равенства:

$$\frac{N^+ - N^-}{N^+ + N^-} = a P_n \overline{\cos \theta}.$$

Знак усреднения косинуса означает усреднение углового распределения испускаемого γ -излучения с учетом реальной (не «точечной») геометрии установки. Искомая асимметрия испускания γ -квантов, которая должна определяться отношением амплитуд $f_{sp}/f_{ss} \approx RF$, как можно показать, имеет вид [5]:

$$a_{n\gamma} = \frac{\langle s | H_w | p \rangle}{(E - E_p)^2 + (1/4)\Gamma_p^2} \frac{E - E_p}{2} \frac{\langle E1 \rangle}{\langle M1 \rangle} \approx \frac{\langle H_w \rangle}{E_s - E_p} \frac{\langle E1 \rangle}{\langle M1 \rangle} = RF,$$

т.е. действительно определяется отношением указанных амплитуд. Измеряемая асимметрия связана с RF соотношением [3,4]:

$$a = 2ARF.$$

Коэффициент A определяется спинами исходного, промежуточного и конечного ядерных состояний и мультипольностью перехода. Явный вид этого

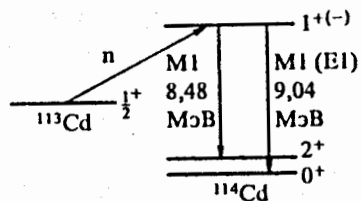


Рис. 2. Схема распада ядра $^{114}\text{Cd}^*$ в области высокоэнергичных переходов $1^+ \rightarrow 0^+$ и $1^+ \rightarrow 2^+$

множителя здесь нет необходимости воспроизводить, см. [3,4]. В данном случае для перехода на основное состояние ядра ^{114}Cd этот коэффициент равен единице. Интересующая нас часть схемы распада ядра показана на рис.2. Важно обратить внимание на то обстоятельство, что кроме M1-перехода $1^+ \rightarrow 0^+$ с энергией 9,04 МэВ рядом расположен переход $1^+ \rightarrow 2^+$ с энергией 8,5 МэВ. Коэффициент A для этого M1-перехода имеет противоположный знак. Поэтому для выделения перехода $1^+ \rightarrow 0^+$ пришлось регистрировать γ -кванты с энергией, превосходящей 8,5 МэВ, что снизило скорость набора информации.

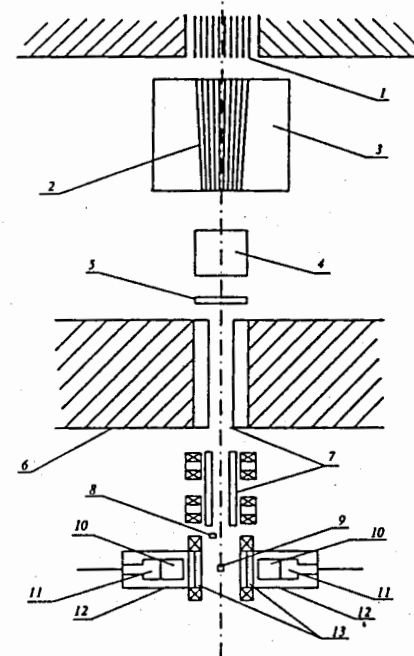
Схема экспериментальной установки показана на рис.3. Поляризованный пучок нейтронов получали методом полного отражения нейтронов от системы намагниченных кобальтовых зеркал, которые фокусировали пучок на мишени. Мишенью служила пластина металлического кадмия. Выходивший из поляризатора пучок был поляризован в вертикальном направлении, нормально к плоскости реакции. Специальный электромагнит поворачивал вектор поляризации на 90° в ту или иную сторону так, что вектор поляризации принимал горизонтальное положение. Далее на пучке располагалось специальное устройство для быстрого реверса направления поляризации [7]. Это устройство позволяло осуществлять реверсирование направления поляризации с частотой 10 Гц. Для деполаризации пучка нейтронов в пучок периодически вводили шимм — ненамагниченную пластину железа. Гамма-кванты, выходящие из мишени, регистрировали двумя сцинтилляционными детекторами на основе монокристаллов иодистого натрия, активированных таллием. Детекторы располагались вдоль и против направления поляризации пучка нейтронов, т.е. слева и справа от падающего на мишень пучка. Комбинация двух идентичных, расположенных таким образом детекторов служила цели подавления приборной асимметрии.

Был получен результат:

$$a = (-4,1 \pm 0,8) \cdot 10^{-4}.$$

Поскольку в данном случае суммарное усиление $R \sim 10^3$, полученная асимметрия хорошо согласуется с ожидаемой на уровне $\sim 10^{-4}$. Одновременно измеряли асимметрию в широком интервале энергий, где эффект подавлялся вследствие случайного распределения знаков коэффициента A , а также из-за

Рис. 3. Схема установки: 1 — коллиматор, установленный в канале реактора; 2 — кобальтовые зеркала поляризатора; 3 — электромагнит поляризатора; 4 — электромагнит, служащий для поворота спина нейтрона из вертикального в горизонтальное направление; 5 — спин-флиппер; 6 — бетонная стена; 7 — магнитный нейтроновод; 8 — литиевая заслонка; 9 — мишень; 10 — кристаллы иодистого натрия; 11 — фотоэлектронные умножители (ФЭУ); 12 — магнитная защита ФЭУ; 13 — катушки, создающие фиксированное магнитное поле на образце для предотвращения деполаризации пучка нейтронов



значительного вклада E1-переходов, для которых кинематический фактор становится фактором подавления, а не усиления P -нечетного эффекта. Одним из контрольных опытов служил поиск P -четной корреляции, для чего вектор поляризации ориентирован вертикально. Было показано, что P -четная корреляция не может дать заметного вклада в наблюдаемый P -нечетный эффект. Деполаризация пучка также приводила к исчезновению эффекта.

Если пучок нейтронов не поляризован, то интерференция амплитуд, изображенных на рис.1, должна приводить к возникновению P -нечетной циркулярной поляризации γ -квантов. В случае исследуемой реакции ее величина равна:

$$P_\gamma = 2RF,$$

т.е. величина эффекта не зависит от коэффициента A и нет необходимости строго отделять друг от друга переходы $1^+ \rightarrow 0^+$ и $1^+ \rightarrow 2^+$. Такой эксперимент был выполнен в США группой проф. Р.Вильсона [8]. Был получен результат

$$P_\gamma = (-6,0 \pm 1,5) \cdot 10^{-4}.$$

Обратимся теперь к другому процессу, который всегда сопровождает рациионный захват нейтронов, — упругому рассеянию нейтронов. В Гренобле (Франция) в семидесятых годах были обнаружены P -нечетные нейтронооптические явления. Речь идет о вращении спина нейтронов в плоскости, нормальной к направлению импульса нейтрона при прохождении поперечно-поляризованного пучка нейтронов через образец — аналог оптического двойного лучепреломления — и, кроме того, о P -нечетном дихроизме, т.е. зависимости пропускания мишени от спиральности нейтронов. Если нейтроны обладают слабым взаимодействием, то амплитуда рассеяния нейтрона на ядре должна содержать псевдоскалярный член, изменяющий знак при инверсии координат. Такой псевдоскалярной величиной в амплитуде рассеяния нейтронов должна быть спиральность нейтронов. Если амплитуда рассеяния зависит от спиральности, то возникают два коэффициента преломления

$$n_{\pm} = 1 + \frac{2\pi\rho}{k^2} f_{\pm},$$

где ρ — плотность рассеивателя, k — волновое число нейтрона, f_{\pm} — амплитуда рассеяния вперед для положительной и отрицательной спиральностей. Состояние с поперечной поляризацией представляет собой когерентную смесь состояний с положительной и отрицательной спиральностями. Наличие различных коэффициентов преломления для этих состояний приводит к возникновению фазового сдвига, который проявляется на выходе пучка из мишени в повороте вектора поляризации пучка нейтронов в плоскости, нормальной к импульсу нейтрона. Кроме того, зависимость амплитуды от спиральности приводит к асимметрии полного сечения, т.е. пропускания пучка мишенью:

$$A_n = \frac{\sigma_t^+ - \sigma_t^-}{\sigma_t^+ + \sigma_t^-},$$

σ_t^{\pm} — полные сечения взаимодействия нейтронов с ядрами для двух состояний спиральности.

Оказывается, что в обоих случаях возникает еще один механизм усиления P -нечетных явлений, что легко можно понять, рассмотрев две диаграммы, изображенные на рис.4. Предположим, что в сечение взаимодействия нейтронов с ядрами дают заметный вклад не один s -уровень компаунд-ядра, как это было в предыдущем случае, а два резонанса с противоположной четностью. Это означает, что один и тот же нейтрон может войти в ядро как в s -волне, так и в p -волне. Эти уровни так расположены и дают такой вклад в полное сечение, что ни одним из этих процессов пренебречь нельзя. Такая ситуация может возникнуть вблизи p -резонанса. В непосредственной близости от p -ре-

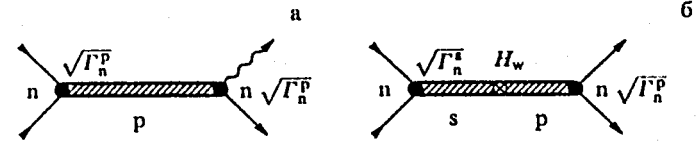


Рис. 4. Диаграммы упругого рассеяния нейтронов с образованием компаунд-ядра: а) без участия слабого взаимодействия; б) с участием слабого взаимодействия

зонанса вклад p -волны в сечение рассеяния может быть достаточным, чтобы им нельзя было пренебречь, несмотря на то, что в области малых энергий s -волна значительно сильнее p -волны. Диаграмма на рис.4,а изображает процесс упругого рассеяния нейтронов, идущий через p -резонанс без участия слабого взаимодействия. В принятом здесь приближении (опускаем фазовые множители) получим

$$f_{pp} \approx \sqrt{\Gamma_n^p} \frac{1}{(E - E_p + (i/2)\Gamma_p)} \sqrt{\Gamma_n^p}.$$

Происходит захват и испускание нейтронов в p -волне. E, E_p — энергия падающих на мишень нейтронов и ее резонансное значение, Γ_n^p — нейтронная ширина p -резонанса. Вторая диаграмма описывает захват нейтрона в s -волне и его испускание в p -волне. Слабое взаимодействие переводит s -волну в p -волну или, иными словами, s -уровень содержит примесь состояния с противоположной четностью:

$$f_{sp} \approx \sqrt{\Gamma_n^s} \frac{\langle s | H_w | p \rangle}{(E - E_s + (i/2)\Gamma_s)(E - E_p + (i/2)\Gamma_p)} \sqrt{\Gamma_n^p}.$$

Снова подчеркнем, что один и тот же нейтрон одновременно участвует в обоих этих процессах и мы не можем один процесс отделить от другого, как при дифракции электронов на двух щелях. Только теперь у диаграмм отличаются не выходные, а входные каналы. Нейтрон «входит» сразу в два резонанса, дает вклад и в s -резонанс, и в p -резонанс. Поскольку один и тот же нейтрон дает вклад в оба процесса, складываются амплитуды, а P -нечетный эффект вновь определяется их отношением:

$$\left| \frac{f_{sp}}{f_{pp}} \right| \approx \sqrt{\frac{\Gamma_n^s}{\Gamma_n^p}} \frac{\langle s | H_w | p \rangle}{E - E_s + (i/2)\Gamma_s} \approx \sqrt{\frac{\Gamma_n^s}{\Gamma_n^p}} \frac{\langle H_w \rangle}{D}.$$

Динамический механизм усиления, обусловленный близостью s - и p -резонансов, сохраняется, кинематический фактор исчезает, но появляется вместо

него другой механизм усиления, который получил название резонансного и, согласно классификации, введенной в [4], носит, скорее всего, структурный характер [5]. Нейтронная s -ширина в области малых энергий на много порядков больше нейтронной p -ширины, поэтому $\sqrt{\Gamma_n^s/\Gamma_n^p} \sim 10^3$.

Этот механизм усиления был теоретически предсказан в ИТЭФ [9,10] для процессов радиационного захвата нуклонов ядрами, когда нельзя пренебречь вкладом p -, d - и т.д. волн. Однако в те годы — в конце 60-х годов — из-за отсутствия достаточно надежных данных о нейтронных ширинах, резонансный фактор усиления трудно было оценить, и поэтому авторы работ [9,10] для «гарантии» снизили величину этого усиления. В результате работы не привлекли к себе внимания экспериментаторов и остались незамеченными.

Позже этот механизм усиления P -нечетных явлений был заново открыт О.П.Сушковым и В.В.Фламбаумом, но теперь уже для описания P -нечетных нейтронооптических явлений [11,12]. О.П.Сушков и В.В.Фламбаум поняли, что природа нарушения пространственной четности как в случае неупругих процессов, так и в случае упругого канала реакции одна и та же — смешивание состояний с противоположной четностью в компаунд-ядрах. Они правильно оценили величины P -нечетных нейтронооптических явлений и показали, что вблизи от p -резонансов эти эффекты должны быть очень большими.

Группа Л.Б.Пикельнера и В.П.Алфименкова в ЛНФ ОИЯИ воспользовалась этим указанием и впервые наблюдала огромные P -нечетные эффекты, достигающие нескольких процентов. Наблюдали асимметрию полных сечений A_n в зависимости от спиральности нейтронов, т.е. зависимость пропускания мишени от взаимной ориентации спина и импульса нейтронов для олова, лантана [13,14] и других элементов. Этой же группой был обнаружен P -нечетный дихроизм при прохождении продольно-поляризованного пучка нейтронов через металлический кадмий [6] вблизи от ими же обнаруженного p -резонанса при энергии нейтронов $E = 7$ эВ.

Из того, что было сказано, представляется очевидным, что при исследовании различных P -нечетных явлений (асимметрии испускания γ -квантов, циркулярной поляризации, асимметрии полного сечения), если в формировании этих эффектов участвуют те же самые уровни данного ядра, величина слабого матричного элемента, извлекаемая из экспериментальных данных, должна быть одной и той же.

В [6] выполнен анализ данных по извлечению величины слабого матричного элемента из опытов ИТЭФ (асимметрия испускания γ -квантов), Гарвардского университета (циркулярная поляризация) и ЛНФ ОИЯИ (асимметрия полного сечения). Эти результаты приведены в таблице 1. Здесь

Таблица 1. Значения матричного элемента $\langle s | H_w | p \rangle$ смешивания состояний 1^+ и 1^- кадмия слабым нуклон-нуклонным взаимодействием, согласно [6]

	ИТЭФ	Гарвард	ЛНФ ОИЯИ
$\langle s H_w p \rangle$	$(3,6 \pm 0,8) \cdot 10^{-4}$ эВ	$(8,4 \pm 2,3) \cdot 10^{-4}$ эВ	$(3,1 \pm 1,0)(1/x) \cdot 10^{-4}$ эВ

$$x = \frac{\sqrt{\Gamma_n^p (1/2)}}{\Gamma_n^p} \text{ — квадратный корень из отношения нейтронной ширины}$$

p -резонанса с полным моментом $1/2$ к полной нейтронной p -ширине. Ясно, что $x > 0$, иначе не был бы наблюден P -нечетный эффект, но x не может превосходить единицу. Грубо говоря, можно положить $x \approx 1/2$. Остается только удивляться такому согласию результатов, полученных из совершенно различных экспериментов. Ясно, что достигнуто хорошее понимание природы изучаемых явлений.

До сих пор, рассматривая P -нечетные нейтронооптические эффекты, мы не интересовались агрегатным состоянием мишени, лишь бы выполнялось условие оптической однородности среды. Допустим теперь, что в качестве мишени используется совершенный монокристалл. Пусть на этот кристалл падает пучок нейтронов и условия дифракции Брэгга — Вульфа точно выполняются. Установим кристалл так, чтобы отражающие кристаллографические плоскости (h, k, l) были нормальны к поверхности, на которую падает пучок нейтронов. Нейтроны выходят из кристаллической пластины с противоположной стороны. При этом половина интенсивности падающего пучка, пройдя через кристалл, будет далее распространяться в том же направлении, а другая половина — в направлении, составляющем с начальным углом $2\theta_B$ (θ_B — угол Брэгга). Такая установка кристалла соответствует так называемой симметричной дифракции по Лауэ. При дифракции по Лауэ в достаточно толстом кристалле нейтроны многократно перерассеиваются из одного направления (проходящая волна) в другое (дифракционная волна) и обратно, а интенсивность пучка делится поровну между этими двумя лучами. Ядра в кристалле можно рассматривать подобно тому, как это делают в физике рентгеновских лучей [15], как излучатели или резонаторы, настроенные на одну частоту. При точном выполнении условий Брэгга—Вульфа в кристалле возникает самосогласованное поле излучателей.

Пусть на сфере Эвальда оказываются только два узла обратной решетки. Тогда условия дифракции (самосогласования) приводят к тому, что в каждом из направлений внутри кристалла, а именно в направлении проходящей и отраженной волн будут распространяться, на самом деле, две волны со слегка различными волновыми векторами, что условно показано на рис.5. Возникают

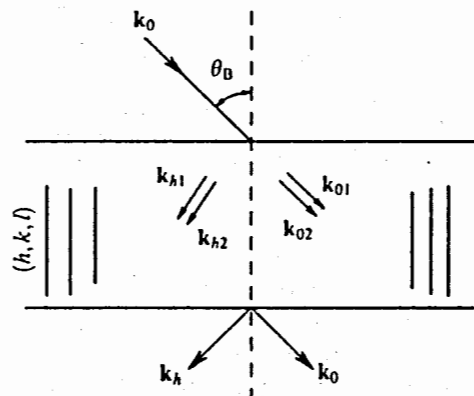


Рис. 5. Дифракция нейтронов в геометрии Лауэ. В направлении падения пучка нейтронов внутри кристалла распространяются две волны с волновыми векторами k_{01} , k_{02} . В дифракционном направлении — с волновыми векторами k_{h1} , k_{h2} . На выходе из кристалла присутствуют два пучка с волновыми векторами k_0 , k_h ; $|k_0| = |k_h|$

четыре парциальные волны с волновыми векторами k_{01} , k_{02} (проходящая волна), k_{h1} , k_{h2} (дифракционная волна). В условиях симметричной дифракции при выполнении условий Брэгга—Вульфа они попарно равны по величине: $|k_{01}| = |k_{h1}|$; $|k_{02}| = |k_{h2}|$. Различие величин волновых векторов падающего излучения k_0 и возникающих в кристалле k_{01} , k_{02} или k_{h1} , k_{h2} очень мало. Наконец, и направления распространения k_{01} , k_{02} и k_{h1} , k_{h2} попарно почти совпадают. Тем не менее различия существуют.

Подчеркнем, что один и тот же нейтрон одновременно «несет» четыре волновых вектора. Нейтрон «расплывается» внутри кристалла, взаимодействуя одновременно со всем макроскопическим ансамблем ядер в кристалле. Вблизи от резонанса можно принять, что процесс рассеяния происходит через канал образования компаунд-состояния. В условиях дифракции не только нельзя указать на конкретное ядро, на котором происходит рассеяние, но и атомные уровни, ответственные за рассеяние, «коллективизируются», весь ансамбль ядер в кристалле превращается в макроскопический резонатор.

Следуя Эвальду [15], разложим каждый из векторов k_{01} , k_{02} , k_{h1} , k_{h2} на две компоненты: вдоль плоскостей (h, k, l) и нормально к ним, как это показано на рис.6,а. Нормальные компоненты при этом оказываются направленными вдоль (против) вектора обратной решетки. Компоненты, направленные вдоль отражающих плоскостей, складываются попарно, образуют две бегущие волны. Их нормальные компоненты, будучи направленными друг против друга и равными по величине, образуют стоячие волны (рис.6,б). Расстояние между узлами (пучностями) стоячих волн с высокой точностью равно межплоскостному расстоянию отражающих плоскостей (с точностью до отклонения от единицы показателя преломления, т.е. порядка $10^{-6} + 10^{-5}$). Узлы одной стоя-

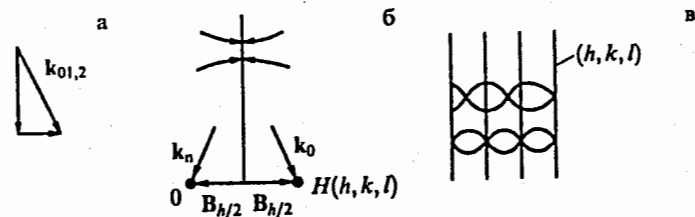


Рис. 6. Образование стоячих волн в условной динамической дифракции по Лауэ [15]

чей волны располагаются на атомных плоскостях, а пучности — между ними, а у другой стоячей волны — наоборот (рис.6,в). Если кристалл обладает сильным поглощением, то вторая компонента, по мере удаления от входной поверхности кристалла, будет сильно поглощаться, а первая — наоборот, будет проходить с ослабленным поглощением.

Этот эффект — аналог эффекта Бормана (аномального прохождения рентгеновских лучей) — в случае нейтронной оптики теоретически исследован Ю.М.Каганом и А.М.Афанасьевым [16,17], а экспериментально обнаружен в РНЦ КИ С.Ш.Шильштейном и В.А.Соменковым и их коллегами [18,19]. Эффект аномального прохождения нейтронов в геометрии Лауэ через монокристалл сернистого кадмия был исследован вблизи от резонанса, но не в самом резонансе, так как в условиях работы на стационарном реакторе очень трудно избежать влияния высших порядков отражения, и при этом интенсивность пучка быстро падает с ростом энергии нейтронов. В ОИЯИ на реакторе ИБР-2 эти проблемы не возникают, так как интенсивность нейтронов в резонансной области остается высокой, а высшие порядки отражения разделяются по времени пролета. Возникает возможность исследовать эффект аномального прохождения нейтронов точно в резонансе, когда время жизни промежуточного состояния особенно велико. Наличие эффекта будет свидетельствовать о сохранении когерентности падающей и отраженной волн несмотря на большое время жизни компаунд-состояния.

Здесь нет возможности останавливаться на всех планах совместных работ ЛНФ ОИЯИ, ИТЭФ и РНЦ КИ. Работы будут выполняться на двух реакторах: ИБР-2 в ЛНФ ОИЯИ и ИРТ в МИФИ. Мы намерены обнаружить давно предсказанный В.Г.Барышевским эффект многочастотной прецессии спина нейтрона при динамической дифракции в диамагнитном кристалле, помещенном в однородное магнитное поле [20], детально исследовать спиновую прецессию в псевдомагнитном поле [20].

Однако вернемся к *P*-нечетным нейтроннооптическим явлениям. В ЛНФ ОИЯИ было показано, что основной вклад в асимметрию полного сечения —

асимметрию пропускания относительно спиральности нейтронов — дает неупругий канал реакции, т.е. процесс радиационного захвата нейтронов ядрами. Нетрудно понять, что в условиях дифракции нейтронов в геометрии Лауэ асимметрия дифракционного пучка относительно спиральности нейтронов, если она существует, определяется сечением упругого рассеяния нейтронов, а не полным сечением. Вот почему такие измерения представляют особый интерес. Можно ожидать, что величина асимметрии уменьшится, более того, в условиях кинематической дифракции (однократное рассеяние) подавление асимметрии упругого рассеяния относительно асимметрии полного сечения должно быть очень сильным. Однако в условиях динамической дифракции, как показали независимо друг от друга две группы теоретиков [21,22], должен появиться новый, пока еще никем не обнаруженный механизм усиления P -нечетных нейтронооптических явлений, обусловленный когерентным действием ядер, когда кристалл превращается в подобие единого резонатора. В центре брэгговского рефлекса усиление должно быть очень большим, но выделение центра рефлекса сопряжено с потерей интенсивности. Кстати говоря, как показал Шалл, первый лауреат премии им.И.М.Франка, это можно сделать без катастрофической потери интенсивности, используя кристаллический коллиматор (коллиматор Отье). Однако даже и интегральный эффект, усредненный по всему рефлексу, оказывается заметно усиленным — на порядок или даже два порядка относительно асимметрии без дифракции.

Возникает естественный вопрос: можно ли на реакторе ИБР-2 проводить нейтронно-дифракционные исследования в условиях динамической дифракции? На стационарных реакторах в МИФИ и РНЦ КИ такие исследования выполняются давно. Однако для аномального прохождения нейтронов через кристалл в непосредственной близости от нейтронного резонанса или изучения асимметрии упругого рассеяния нейтронов вблизи p -резонанса желательно ставить опыты на быстром реакторе, таком как ИБР-2, и использовать технику времени пролета для полного исключения влияния высших порядков отражения. Достаточно ли интенсивность пучков нейтронов на реакторе ИБР-2? Предварительные исследования динамических эффектов при дифракции нейтронов в совершенных кристаллах кремния были выполнены на канале №1 реакторе ИБР-2 Ю.А.Александровым, Р.Михальцом и их коллегами еще в 1988 г. [23]. В частности, был наблюден маятниковый эффект в разных порядках отражения: (220), (440), (660). Точность измерений была достаточной для надежного наблюдения эффекта.

В настоящее время канал модернизируется с целью увеличения интенсивности пучка нейтронов. Необходимо получить поляризованный нейтронный пучок и поставить новый дифрактометр. Впереди много работы и прежде всего — методической. Но имеющийся опыт вселяет надежду на успех.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abov Yu.G., Krupchitsky P.A., Oratovsky Yu.A. — Phys. Lett., 1964, v.12, p.25.
2. Абов Ю.Г., Ермаков О.Н., Крупчицкий П.А. — ЖЭТФ, 1973, т.65, с.1738.
3. Абов Ю.Г., Крупчицкий П.А. — УФН, 1975, т.118, с.141.
4. Шапиро И.С. — УФН, 1969, т.95, с.647.
5. Бунаков В.Е. — ЭЧАЯ, 1995, т.26, с.285.
6. Алфименков В.П. и др. — ЯФ, 1991, т.54, с.1484.
7. Абов Ю.Г., Гулько А.Д., Крупчицкий П.А. — Поляризованные медленные нейтроны. М.: Атомиздат, 1966.
8. Alberi J.L., Wilson R., Schröder J.G. — Phys. Rev. Lett., 1972, v.29, с.318.
9. Карманов В.А., Лобов Г.А. — Письма в ЖЭТФ, 1969, т.10, с.332.
10. Лобов Г.А. — Известия АН СССР (сер. физ.), 1970, т.34, с.1141.
11. Сушков О.П., Фламбаум В.В. — Письма в ЖЭТФ, 1980, т.32, с.377.
12. Сушков О.П., Фламбаум В.В. — УФН, 1982, т.136, с.3.
13. Алфименков В.П. и др. — Письма в ЖЭТФ, 1981, т.34, с.308.
14. Алфименков В.П. и др. — Письма в ЖЭТФ, 1982, т.35, с.42.
15. Ewold P.P. — Mod. Phys., 1965, v.37, p.46; УФН, 1966, т.89, с.287.
16. Каган Ю., Афанасьев А.М. — ЖЭТФ, 1965, т.49, с.1504.
17. Каган Ю., Афанасьев А.М. — ЖЭТФ, 1965, т.50, с.271.
18. Шильштейн С.Ш. и др. — Письма в ЖЭТФ, 1970, т.12, с.80.
19. Шильштейн С.Ш., Соменков В.А., Докашенко В.П. — Письма в ЖЭТФ, 1971, т.13, с.301.
20. Барышевский В.Г. — Ядерная оптика поляризованных сред. М.: Энергоатомиздат, 1995.
21. Зарецкий Д.Ф., Сироткин В.К. — ЯФ, 1984, т.40, с.1256.
22. Барышевский В.Г., Черепица С.В. — Вестник Белорусского университета, серия 1, 1986, №1, с.8.
23. Alexandrov Yu.A. et al. — Physica B—C, 1988, v.151, p.1081.

PRESENT VIEW OF STABILITY OF HEAVY AND SUPERHEAVY NUCLEI

Professor Adam SOBICZEWSKI

Soltan Institute for Nuclear Studies, Hoza 69, PL-00-681 Warsaw, Poland

Abstract

Recent theoretical studies of heavy and superheavy nuclei stability are shortly reviewed. Even-even nuclei with proton number $Z=82-120$ and neutron number $N=126-190$ are considered. Essential role of the shell structure of these nuclei in their stability is illustrated. Much attention is given to deformed superheavy nuclei, which are expected to be situated on the way to spherical superheavy nuclei, discussed for already a long time.

1. Introduction

There is an intensive activity, both experimental and theoretical, in the field of synthesis and also of a study of properties of heaviest nuclei. A review of somewhat earlier experimental results, as well as the results of more recent experiments, may be found, e.g., in [1—11].

The objective of the present paper is to give a short review of recent theoretical studies on the heaviest nuclei. A survey of earlier results may be found in [12—13]. The studies presented here are based on the macroscopic-microscopic description of nuclear properties. A discussion of the results obtained in a fully microscopic (Hartree-Fock-Bogoliubov) approach has been presented in [14].

The theoretical studies described in this review are closely connected with the experimental research on the heaviest nuclei. They aim at the description of the existing experimental results and also at a prediction of the properties of nuclei not yet observed. They mainly concentrate on the problem of stability of these nuclei.

2. Essential Role of Shell Effects

It is known that nuclei, similarly as atoms, have shell structure. Effects of this structure are important for all nuclei. Their role for the heaviest nuclei is, however, essential, as many of them would not simply exist without these effects.

The objective of this section is to illustrate this important role of shell effects in the stability (half-lives) of the heaviest nuclei. The illustration is based on the results of [15], where an extensive quantitative analysis of shell effects in the properties of these nuclei has been performed. Even-even transthorium nuclei have been analysed in that paper.

Figure 1, taken from [15], shows the experimental, T_{α}^{exp} , and smooth (macroscopic), T_{α} , α -decay half-lives (given in seconds), both on the logarithmic scale. The smooth half-life T_{α} is calculated by a model (of the liquid drop type) of a nucleus, which does not contain any shell structure. Thus, the difference between the two half-lives is the shell effect in the α -decay half-life of a nucleus. One can see that for all heavy nuclei, except the two lightest uranium isotopes, the shell effect elongates the half-life. The half-life is elongated by 2—5 orders of magnitude for most of the considered nuclei.

Even larger shell effects are obtained in the spontaneous-fission half-lives, T_{sf} . This is shown in Fig.2, where logarithms of T_{sf} experimental and calculated

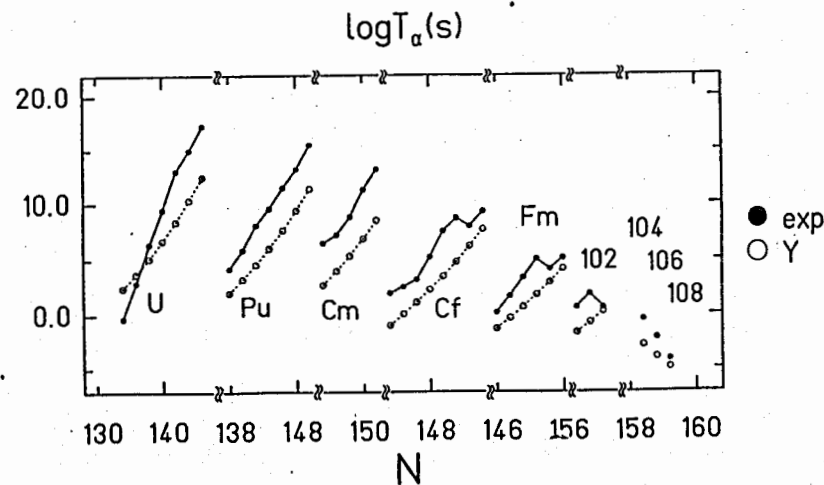


Fig. 1. Logarithms of experimental (exp) and smooth (Y) α -decay half-lives (in seconds) [15]

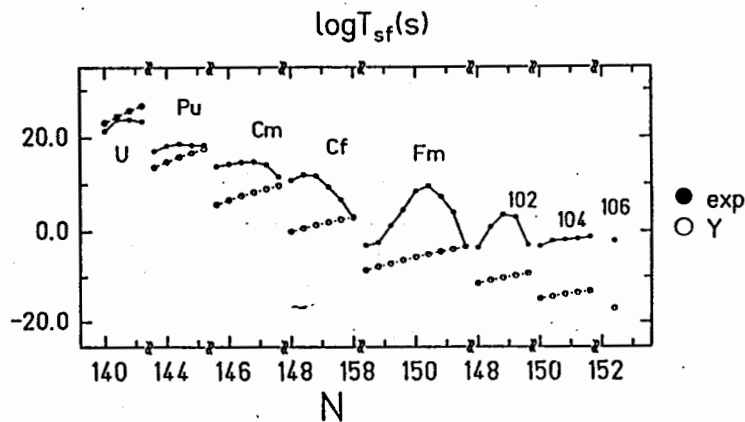
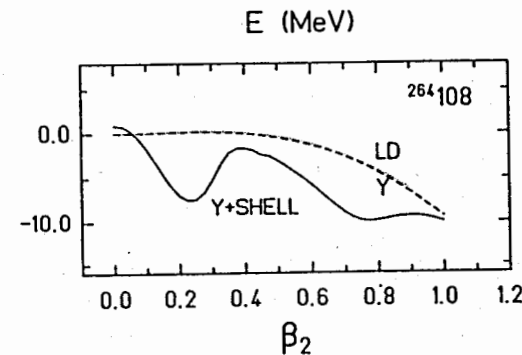


Fig. 2. Logarithm of experimental (exp) and macroscopic (Y) spontaneous-fission half-life T_{sf} given in seconds [15]

in a macroscopic model without any shell effects, are given. One can see that the shell effect delays the fission process in all considered nuclei, except only few lightest ones (isotopes of uranium). The delay increases from few orders (Pu isotopes) to about 15 orders of magnitude for the nucleus $^{260}106$, which has the largest Z among the even-even nuclei with measured T_{sf} . For such a heavy nucleus like $^{260}106$, with T_{sf} of the order of few milliseconds, this elongation makes up practically the whole half-life of these nuclei. In other words, they would not exist without shell effects, as already mentioned above.

The mechanism by which practically the whole half-life of a very heavy nucleus is made up by shell effects is illustrated in Fig.3. The figure illustrates the spontaneous-fission barrier of the nucleus $^{264}108$, i.e., the dependence of the ground-state energy of this nucleus on its quadrupole-deformation parameter β_2 . For each β_2 , the energy is minimized with respect to the hexadecapole-deformation parameter β_4 . The total fission barrier (Y+SHELL), including shell effects, is shown by solid line and its smooth part (obtained by the Yukawa-plus-exponential model (Y) [16]), by dashed line. The smooth barrier obtained by another macroscopic model (liquid drop, LD [17]) is also shown (dotted line), for comparison. One can see that a significant height (about 6 MeV) of the fission barrier is obtained only after the inclusion of shell effects. Without them, no fission barrier (Y and LD) appears. One can add here that shell effects are also

Fig.3. Total fission barrier (Y+SHELL) and its smooth part obtained by the Yukawa-plus-exponential (Y) and by the liquid-drop (LD) models, for the nucleus $^{264}108$ [15]



important after the fission barrier, down to the scission point, as has been shown in [18—21].

Figures 1, 2 and 3 illustrate a very important role of shell effects in the properties of the heaviest nuclei, particularly in their stability. Simultaneously, they illustrate a strong dependence of shell effects on the proton Z and neutron N numbers. This gives an implication to theory that each nucleus should be treated individually (i.e., without any averaging over a number of nuclei) in a theoretical analysis. The strong dependence of shell effects also on the deformation of a nucleus, illustrated in Fig.3, requires a careful treatment of this deformation in the analysis. In other words, the analysis of the properties of a heavy nucleus should be performed in a sufficiently large, multidimensional deformation space [22—24].

3. Methods of Theoretical Analysis

As already stated in the Introduction, extensive studies of stability of heavy and superheavy nuclei are based on the macroscopic-microscopic approach. Although relatively simple, this approach allows one to describe a number of nuclear properties, in particular nuclear mass [25], quite well. The macroscopic-microscopic approximation has been used in the works reviewed in this paper. However, pure microscopic approaches, consisting in the self-consistent Hartree-Fock-Bogoliubov calculations with the use of effective two-body forces, are also exploited in the literature (e.g., [26,14]).

In the macroscopic-microscopic calculations reviewed in this article, mass of a nuclide is calculated as a sum of the macroscopic part, described by the Yukawa-plus exponential model [16], and the microscopic part, which is the shell correction. The latter is obtained by the Strutinski procedure [27] and is based on the Woods-Saxon single-particle potential [28].

The α -decay half-life T_α is calculated by the phenomenological formula of Viola and Seaborg [29] with the four adjustable parameters refitted [30] to account for new data.

Finally, the spontaneous-fission half-life T_{sf} is calculated in a dynamical way [31—33]. It consists in the search for a one-dimensional fission trajectory in a multidimensional deformation space, which minimizes the action integral corresponding to the penetration of a nucleus through the fission barrier. The inertia tensor appearing in the integral and describing the inertia of a nucleus with respect to its deformation is calculated in the cranking approach (e.g., [34—36]).

A more detailed description of these methods may be found, e.g., in [23,12,37].

4. Main Results

4.1. Shell Correction to Mass

As described in Sec. 2, shell correction is the main factor influencing the stability of the heaviest nuclei. This has been discussed in a number of papers, e.g., [38,39,15,13]. In particular, shell correction to the ground-state mass of a nucleus gives a first orientation in the stability of this nucleus.

Figure 4, taken from [40], shows the shell correction to the mass, E_{sh} , calculated for a large region of the heaviest nuclei. One can see that E_{sh} has three minima in the considered region of nuclei. The first one, which is the deepest

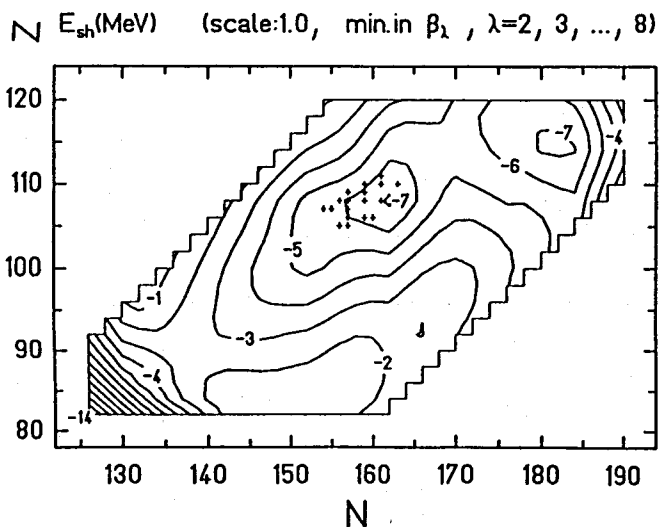
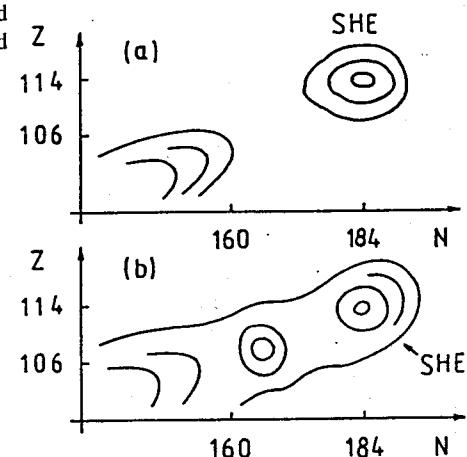


Fig. 4. Contour map of the shell correction to the mass, E_{sh} . Crosses denote the heaviest nuclides synthesized up to now [40]

Fig. 5. Regions of relatively long-lived nuclei: as believed earlier (a), and expected presently (b) [33]



($E_{sh} = -14.3$ MeV), is obtained for the doubly magic spherical nucleus ^{208}Pb . The second one ($E_{sh} = -7.2$ MeV) appears at the nucleus $^{270}_{162}\text{108}$, which is predicted [41,23] to be a doubly magic deformed nucleus. The third minimum, with the same depth ($E_{sh} = -7.2$ MeV) as that of the second minimum, is obtained for the nucleus $^{296}_{182}\text{114}$, which is close to the nucleus $^{298}_{184}\text{114}$ predicted [42,43] to be a doubly magic spherical nucleus, the next one after the last experimentally known ^{208}Pb . Besides these three minima, there appears a rather wide plateau around the nucleus ^{252}Fm , which, although having a smaller (in absolute value) shell correction ($E_{sh} = -5.2$ MeV) than the nucleus $^{270}\text{108}$, may also be considered as a doubly magic deformed nucleus [41, 23].

Crosses in the figure denote the heaviest nuclides synthesized up to now. The heaviest isotopes of the element 106 have been obtained in [6], those of 108 in [11], that of 109 in [44,9], those of 110 in [8,45] and that of 111 in [9]. The recently obtained nuclide $^{277}\text{112}$ [46] is not yet marked in the figure.

One can see in Fig. 4 that some of the already synthesized nuclei profit by 6—7 MeV in their mass from the shell correction. Without this profit they could not exist, as discussed in Sec. 2.

The appearance of the region of deformed superheavy nuclei around the predicted doubly magic nucleus $^{270}_{108}$ (^{270}Hs) constitutes the main change in our view of stability of the heaviest nuclei in recent years. Before, it was believed for a long time that spherical superheavy nuclei, predicted to be situated around the doubly magic nucleus $^{298}\text{114}$, would constitute an island, separated from the usual

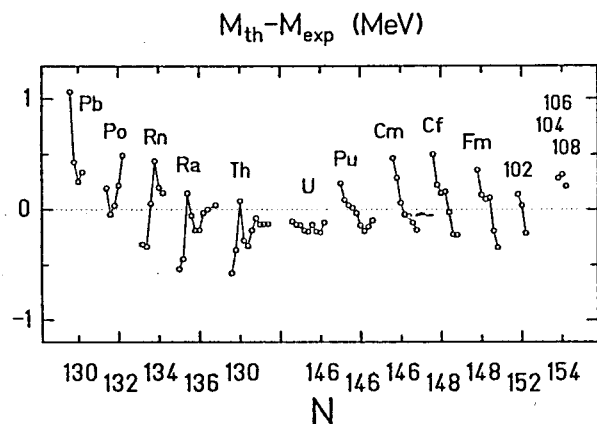


Fig. 6. Discrepancies between calculated and experimental masses [47]

peninsula of relatively long-lived nuclei by an «ocean» of full instability. After the appearance of deformed superheavy nuclei, however, the peninsula is expected to be extended, to include also the spherical superheavy nuclei. This is illustrated qualitatively in Fig. 5, taken from [33].

4.2. Mass

It is interesting to see how well are the experimental masses reproduced by the theoretical ones, calculated with the shell correction given in Fig. 4. This is illustrated in Fig. 6, taken from [47], which shows the discrepancy between the calculated and experimental masses. One can see that for most of the considered nuclei this discrepancy is within the limits ± 0.25 MeV, i.e., it is not large. The largest discrepancy is obtained for the doubly magic nucleus ^{208}Pb . The theoretical binding energy is too small for this nucleus, by about 1 MeV. One can also see that the isotopic dependence of the theoretical mass is not correct, except only the isotopes of uranium, and it varies from one element to another.

4.3. Half-Lives of Deformed Superheavy Nuclei

Figure 7, taken from [37], shows the α -decay and spontaneous-fission half-lives, T_{sf} and T_{α} , respectively, calculated for deformed superheavy nuclei situated around the nucleus $^{270}108$. One can clearly see the effect of the deformed $N=162$ shell. A weaker effect of the $N=152$ shell is also seen, especially for lighter elements. These effects make the systematics of the half-lives quite complex.

A comparison between the calculated T_{sf} and T_{α} shows that, for $Z=104$, T_{sf} is smaller than T_{α} for all N . For $Z=106$, T_{sf} is comparable with T_{α} for a large

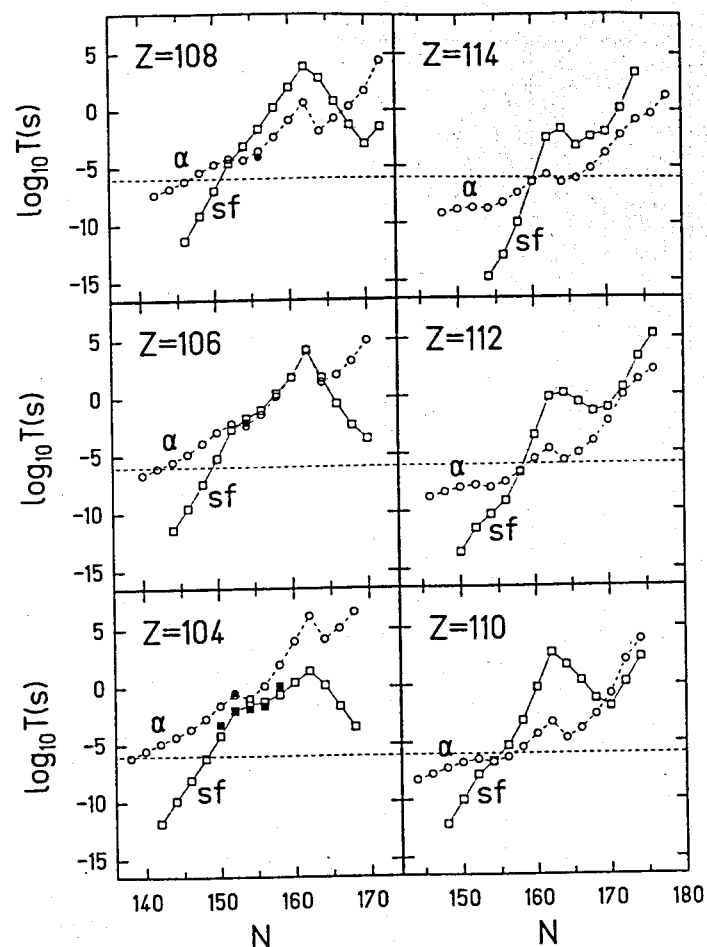


Fig. 7. Logarithm of calculated spontaneous-fission (sf) and α -decay (α) half-lives (given in seconds) as functions of the neutron number N , for the elements 104—114. Experimental values are given as full symbols. The horizontal dashed line indicates about the lowest half-life ($1 \mu\text{s}$) of a nucleus, which can be detected in a present-day set-up, after its synthesis [37]

number of isotopes ($N=154-164$). For higher Z , it is even larger than T_{α} and for an even larger number of isotopes. This seems to be the effect of shells, mainly of that at $N=162$, to which T_{sf} is more sensitive than T_{α} . Only for the lightest isotopes, T_{sf} is shorter than T_{α} for all elements investigated.

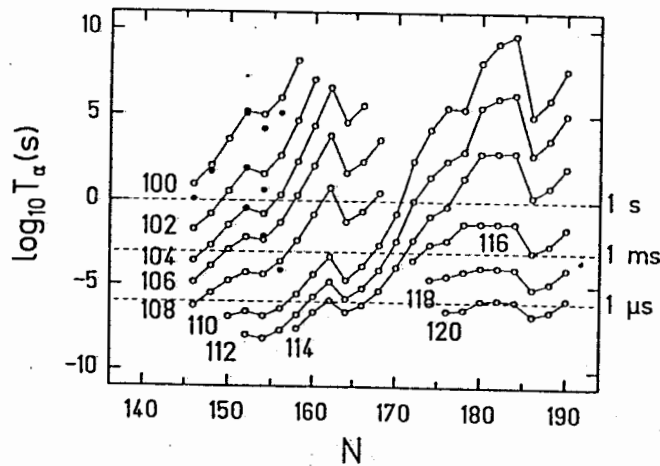


Fig. 8. Logarithm of calculated α -decay half-life T_α (given in seconds) as a function of the neutron number N , for nuclei with the proton number $Z = 100 - 120$. Experimental values are also shown (by full circles) [40]

4.4. Alpha-Decay Half-Lives for Deformed and Spherical Superheavy Nuclei

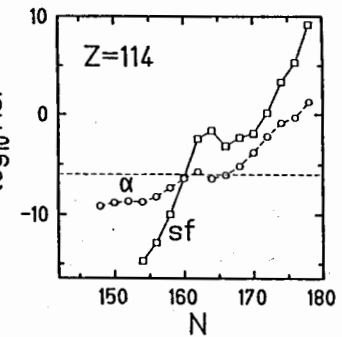
As α -decay is the main decay mode for many nuclei analysed in Fig. 7, especially those with the largest Z , it is interesting to extend the calculation of T_α to even heavier nuclides, to cover also the region of spherical superheavy nuclei. The results of such extension are shown in Fig. 8, taken from [40]. A rather large region of nuclei, with $Z = 100 - 120$ and $N = 146 - 190$, is considered.

One can clearly see effects of the neutron shells at $N = 152, 162$ and 184 . The effect of the spherical shell at $N = 184$ (especially for $Z = 110$) is the strongest, the effect of the deformed shell at $N = 162$ (especially for $Z = 108$) is not much weaker. The effect of the deformed shell at $N = 152$ is the weakest. Also the effects of the proton shells are clearly seen. The effect of the spherical shell at $Z = 114$ (especially for isotopes with $N \approx 184$) is about the same as that of deformed shell at $Z = 108$ (especially for isotopes with $N \approx 162$). The effect of the deformed shell at $Z = 100$ is the weakest.

It is worth to note in Fig. 8 that due to large shell effects of the doubly magic deformed nucleus $^{270}_{108}$, its T_α (about 6 s) is not so much shorter than T_α (about 700 s) of the doubly magic spherical nucleus $^{298}_{114}$, although the latter is much more rich in neutrons. It is also interesting to note that the dependence of $\log T_\alpha$ on Z at the neutron deformed shell at $N = 162$ is much different from that at the neutron spherical shell at $N = 184$. It is less uniform, less smooth at $N = 162$.

The experimental values of T_α , known for 10 nuclei among those considered in Fig. 8, are reproduced by the calculations within a factor of 3, on the average.

Fig. 9. Logarithm of both α -decay (α) and spontaneous-fission (sf) half-lives (given in seconds), calculated for isotopes of the element 114 [47]



The largest discrepancy is obtained for $^{256}_{102}$. The calculated value is about 8 times larger than the experimental one, for this nucleus.

The comparison with experimental values also shows that the calculated T_α underestimate the effects of the shells at $N = 152$ and at $Z = 100$.

To see the relation between the calculated α -decay, T_α , and the spontaneous-fission, T_{sf} , half-lives, we show them in Fig. 9 [47] for isotopes of the element 114. This element is planned to be synthesized in a near future, both in Darmstadt [48] and in Dubna [49]. The figure shows that T_{sf} is larger than T_α for a rather large number of considered nuclei. One can really see that starting from the neutron number $N = 162$, we have: $T_{sf} > T_\alpha$. For the heaviest isotope shown ($N = 178$), T_{sf} is larger than T_α by about 8 orders of magnitude. Additionally, except for low local maxima of T_α at $N = 162$ and of T_{sf} at $N = 164$, both half-lives increase with increasing N . The total half-life (equal to T_α) for the heaviest isotope ($N = 178$) is 24 s.

5. Conclusion

In conclusion of this short review of recent theoretical studies of stability of heavy and superheavy nuclei one can say the following:

(1) Shell effects are very important in stability of the heaviest nuclei. According to theoretical analysis, all nuclei with atomic number Z larger than about 105—106 exist or are expected to exist only due to these effects.

(2) Shell effects in deformed superheavy nuclei are large. They are comparable with the effects in spherical superheavy nuclei.

(3) In particular, a large region of deformed superheavy nuclei, situated around the predicted doubly magic deformed nucleus $^{270}_{208}$, is expected to exist. A number of nuclei in this region have already been observed. The existence of this region changes our previous view of the stability of the heaviest nuclei. In particular, spherical superheavy nuclei situated around the hypothetical doubly magic spherical nucleus $^{298}_{114}$ are not expected any more to form an island in the

«ocean» of full instability, but rather to belong to the extended usual peninsula of relatively long-lived nuclides. Thus, one expects presently that all nuclei on the way to spherical superheavy nuclides can be observed, if synthesized in a laboratory.

(4) Many nuclei in the superheavy region are expected to decay mainly by α emission. This is important for the experimental studies of these nuclei, as it makes the identification of them easier and more certain. The experimental observations done up to now support this expectation.

The author would like to thank his coworkers: Z. Patyk, J. Skalski and R. Smolanczuk, in cooperation with whom most of the reviewed results have been obtained. He is also grateful to P. Armbruster, F.P. Hessberger, D.C. Hoffman, S. Hofmann, E.K. Hulet, Yu.A. Lazarev, M. Leino, G. Münzenberg, V. Ninov, W. Nörenberg, Yu.Ts. Oganessian, A.G. Popeko, S. Saro, M. Schädel and A.V. Yeremin for a very helpful and fruitful interaction. Support by the Polish Committee for Scientific Research (KBN), Grant No. 2 P03B 156 08, and by GSI—Darmstadt is gratefully acknowledged.

References

- Münzenberg G. — Rep. Prog. Phys., 1988, 51, p.57.
- Hoffman D.C., Somerville L.P. — In: Particle emission from nuclei. Vol. 3 (Ed. D.N.Poenaru, M.S. Ivascu) (Boca Raton: CRC Press, 1989) p. 1.
- Hulet E.K., Wild J.F., Dougan R.J. et al. — Phys. Rev., 1989, C40, p.770.
- Seaborg G.T., Loveland W.D. The elements beyond uranium (New York: J. Wiley, 1990).
- Lougheed R.W., Moody K.J., Wild J.F. et al. — J. Alloys Comp., 1994, 213/214, p.61.
- Lazarev Yu.A., Lobanov Yu.V., Oganessian Yu.Ts. et al. — Phys. Rev. Lett., 1994, 73, p.624.
- Armbruster P. — In: Proc. Intern. Conf.: «Nuclear Shapes and Nuclear Structure at Low Excitation Energies», Antibes (France), 1994. (Eds M.Vergnes, D.Goutte, P.H.Heenen, J.Sauvage) (Gif-sur-Yvette: Editions Frontieres, 1994) p. 365.
- Hofmann S., Ninov V., Hessberger F.P. et al. — Z. Phys., 1995, A350, p.277.
- Hofmann S., Ninov V., Hessberger F.P. et al. — Z. Phys., 1995, A350, p.281.
- Ghiorso A., Lee D., Somerville L.P. et al. — Phys. Rev., 1995, C51, p.R2293.
- Lazarev Yu.A., Lobanov Yu.V., Oganessian Yu.Ts. et al. — Phys. Rev. Lett., p.1903.
- Sobiczewski A. — Fiz. Elem. Chastits At. Yadra, 1994, 25, p.295; Phys. Part. Nucl., 1994, 25(2), p.119.
- Moller P., Nix J.R. — J. Phys., 1994, 20, p.1681.
- Berger J.F., Bitaud L., Decharge J. et al. — In: Proc. 24th Intern. Workshop: «Extremes of Nuclear Structure» Hirscheegg (Austria), 1996 (Eds H Feldmeier, J.Knoll, W Norenberg) (Darmstadt: GSI, 1996) p.43.
- Patyk Z., Sobiczewski A., Armbruster P., Schmidt K.-H. — Nucl. Phys., 1989, A491, p.267.
- Krappe H.J., Nix J.R., Sierk A.J. — Phys. Rev., 1979, C20, p.992.
- Myers W.D., Swiatecki W.J. — Ark. Fys., 1967, 36, p.343.
- Depta K., Maruhn J.A., Greiner W. et al. — Mod. Phys. Lett., 1986, A1, p.377.
- Moller P., Nix J.R., Swiatecki W.J. — Nucl. Phys., 1987, A469 p.1; A492 349 (1989).
- Pashkevich V.V. — Nucl. Phys., (1988), A477, p.1.
- Cwiok S., Rozmej P., Sobiczewski A., Patyk Z. — Nucl. Phys., 1989, A491, p.281.
- Sobiczewski A., Patyk Z., Cwiok S., Rozmej P. — Nucl. Phys., 1988, A485, p.16.
- Patyk Z., Sobiczewski A. — Nucl. Phys., 1991, A533, p.132.
- Smolanczuk R., Klapdor-Kleingrothaus H.V., Sobiczewski A. — Acta Phys. Pol., 1993, B24 685.
- Patyk Z., Baran A., Berger J.F. et al. — Acta Phys. Pol., 1996, B27, p.457.
- Berger J.F., Girod M., Gogny D. — Nucl. Phys., 1989, A502, p.85c.
- Strutinsky V.M. — Nucl. Phys., 1967, A95, p.420; 1968, A122, p.1.
- Cwiok S., Dudek J., Nazarewicz W. et al. — Comput. Phys. Commun., 1987, 46, p.379.
- Viola V.E., Jr., Seaborg G.T. — J. Inorg. Nucl. Chem., 1966, 28, p.741.
- Sobiczewski A., Patyk Z., Cwiok S. — Phys. Lett., 1989, B224, p.1.
- Pauli H.C. — Phys. Reports, 1973, C7, p.35; Nukleonika, 1975, 20, p.601.
- Baran A., Pomorski K., Lukasiak A., Sobiczewski A. — Nucl. Phys., 1981, A361, p.83.
- Patyk Z., Skalski J., Sobiczewski A., Cwiok S. — Nucl. Phys., 1989, A502, p.591c.
- Brack M., Damgaard J., Jensen A.S. et al. — Rev. Mod. Phys., 1972, 44, p.320.
- Pomorski K., Kaniowska T., Sobiczewski A., Rohozinski S.G. — Nucl. Phys. 1977, A283, p.394.
- Sobiczewski A. — Sov. J. Part. and Nuclei, 1979, 10, p.1170.
- Smolanczuk R., Skalski J., Sobiczewski A. — Phys. Rev., 1995, C52, p.1871.
- Cwiok S., Pashkevich V.V., Dudek J., Nazarewicz W. — Nucl. Phys., 1983, A410, p.254.
- Boning K., Patyk Z., Sobiczewski A., Cwiok S. — Z. Phys., 1986, A325, p.479.
- Smolanczuk R., Sobiczewski A. — In: Proc. XV EPS Nucl. Phys. Conf. «Low Energy Nuclear Dynamics» St. Petersburg (Russia), 1995 (Eds Yu.Oganessian, W. von Oertzen, R.Kalpakchieva) (Singapore: World Scientific, 1995) p. 313.
- Patyk Z., Sobiczewski A. — Phys. Lett., 1991, B256, p.307.

42. Sobiczewski A., Gareev F.A., Kalinkin B.N. — Phys. Lett., 1966, 22, p.500.
43. Meldner H. — Ark. Fys., 1967, 36, p.593.
44. Munzenberg G., Armbruster P., Hessberger F.P. et al. — Z. Phys., 1982, A309, p.89.
45. Lazarev Yu. A., Lobanov Yu.V., Oganessian Yu.Ts. et al. Phys. Rev. C, in press.
46. Hofmann S., Ninov V., Hessberger F.P. et al. — Z. Phys., 1995, A352, in press.
47. Smolanczuk R., Skalski J., Sobiczewski A. — In: Proc. 24th Intern. Workshop: «Extremes of Nuclear Structure» Hirschegg (Austria), 1996 (Eds H.Feldmeier, J.Knoll, W.Norenberg) (Darmstadt: GSI, 1996) p. 35.
48. Hofmann S., — private communication (1996).
49. Oganessian Yu.Ts., — private communication (1996).

**JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH AND RADIATION
GENETIC RESEARCH**

Professor Gerda HORNECK

*DLR, Institute of Aerospace Medicine, Division of Radiation Biology
D-51140 Köln, Germany*

1. Introduction

My sincere thanks go to the Directorate of JINR, who invited me to participate in this important event — celebration of the 40th anniversary of the Institute; my thanks go also to Prof. Krasavin, who asked me to present the results of our fruitful cooperation to the JINR Scientific Council. The cooperation between the Division of Radiation and Radiobiological Research (previously Division of Biophysics) of JINR and our Division of Radiation Biology at the Institute of Aerospace Medicine at the DLR started a few years ago and has already provided remarkable results. Nevertheless, my talk will cover only one facet out of the broad spectrum of international cooperation research in radiation genetics at JINR.

I first met Prof. Krasavin during the International Congress on Radiation Research in Edinburgh in July 1987, where we figured out that both groups have been interested in understanding the molecular and cellular mechanisms of heavy ion interaction with biological matter. This knowledge is required as base information for assessing the risks from human exposure to radiation.

Radiation exposure has become an environmental parameter of increasing public attention. This concerns the population of occupational exposures, e.g., uranium miners, the increasing group of patients with radiation treatment, inhabitants of radiation-polluted areas and humans in space, e.g., on the space station, where they are exposed to the heavy ions of cosmic radiation. Cancer induction is the most important radiation-induced risk that has to be faced in radiation protection. This is due to the fact that cancer induction is a stochastic effect, this means that there is no limit at low doses. Therefore, cancer induction may be of danger for the whole human population.

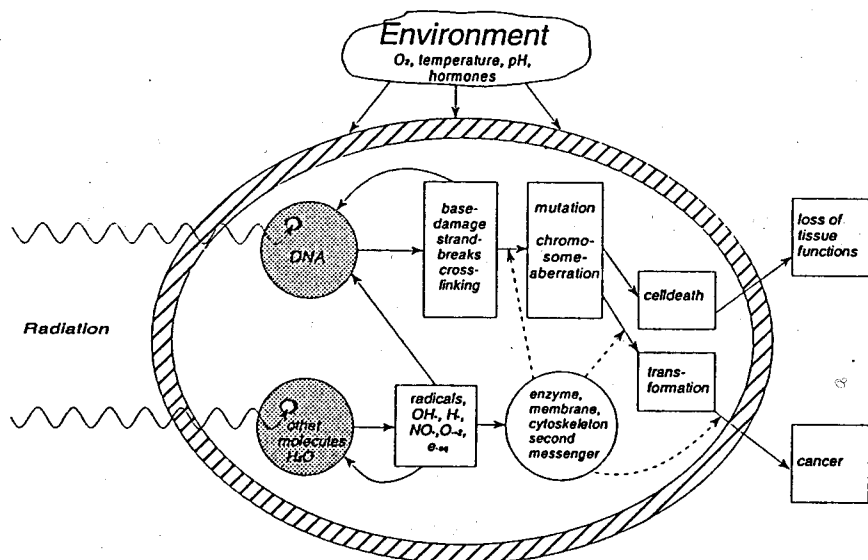


Fig. 1. Network of events that proceed after radiation exposure

In order to assess the risks of cancer induction from radiation of different quality, it is necessary to disentangle the network of interactions that proceeds in a cell exposed to radiation (Fig. 1). The most essential events with respect to cancer induction occur at the site of the genetic material, the DNA. They result in chemical lesions to the DNA, such as base damage, strand breaks or cross-linking. In order to cope with these lesions, cells possess several enzymatic repair systems of different lesion specificity and of different repair accuracy. An error-prone repair may result in mutations. Since it is well established that mutagenesis in cells is strongly related to cancerogenesis in mammals, studies on radiation-induced mutations substantially contribute to the understanding of the phenomenon of radiation-induced cancer. It is the aim of our cooperation, to provide the complementary information on radiation-induced DNA-lesions and mutagenesis for a better understanding of the processes leading to radiation-induced cancer.

2. Heavy Ion-Induced Lesions in the DNA

Investigation of the type of lesions, induced by heavy ions in the DNA, have to consider the track structure of the heavy ion and its path relative to the position of the DNA (Fig. 2). The density of energy deposition within the sensitive target,

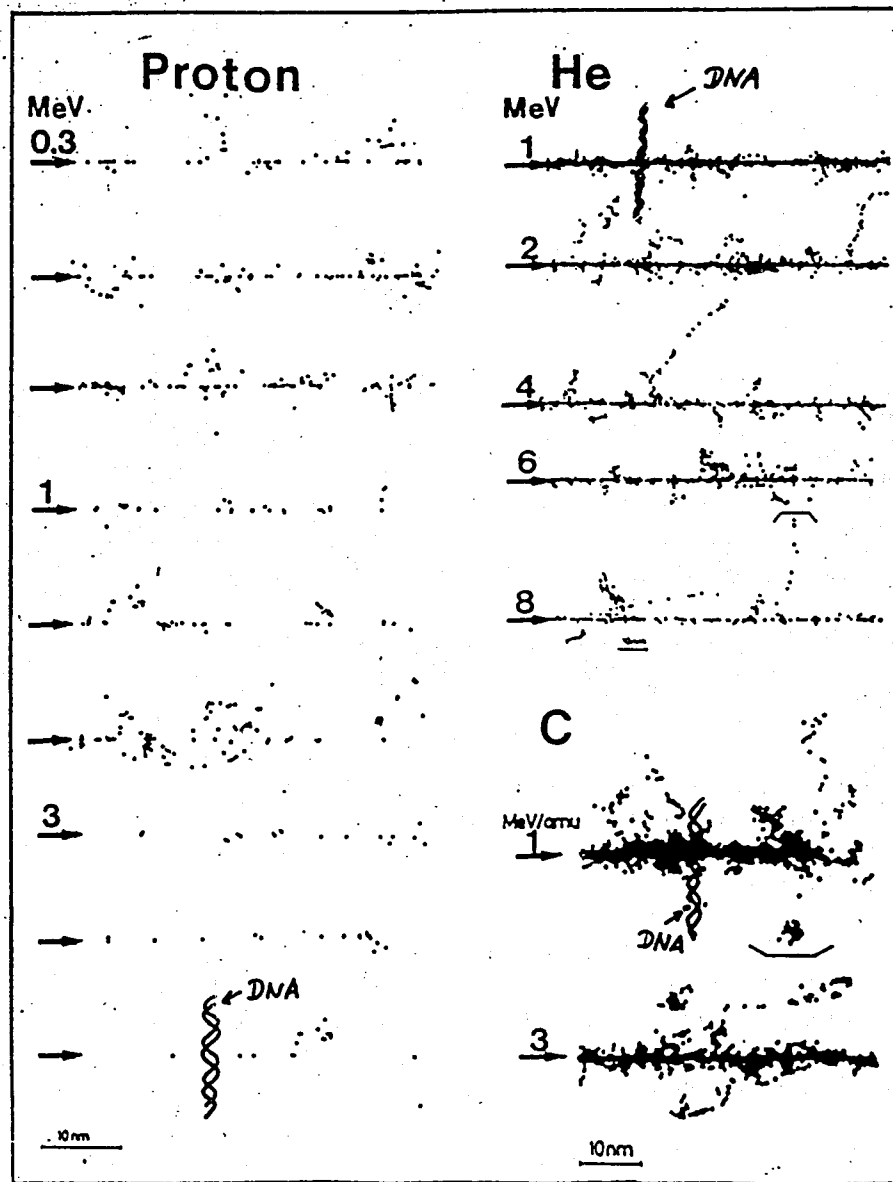


Fig. 2. Model track structure of heavy ions and DNA molecule (from Paretzke 1988)

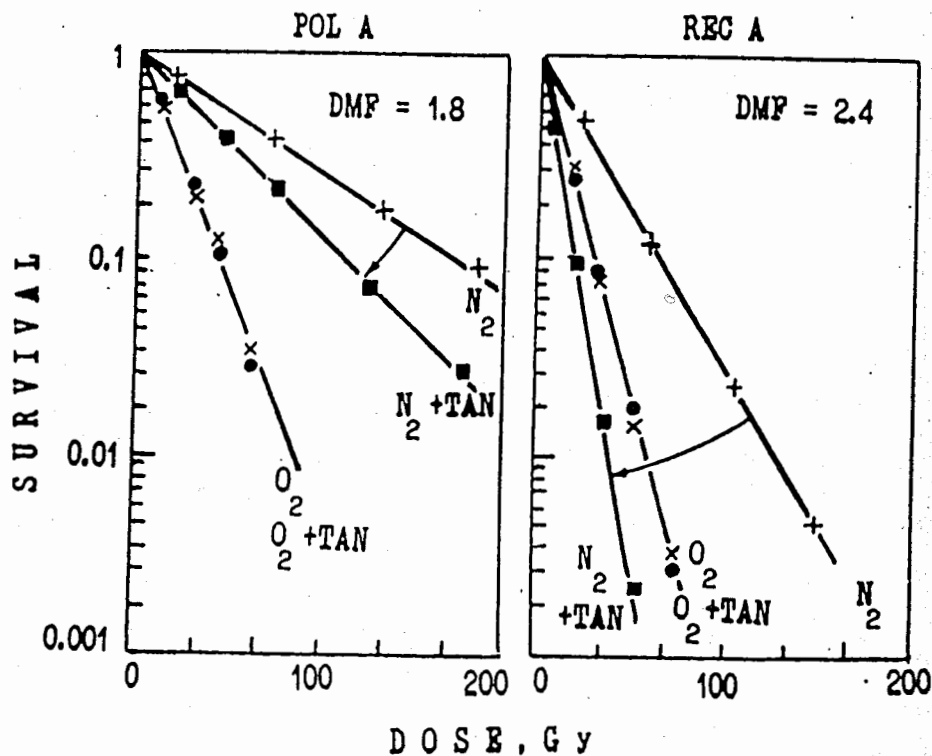


Fig. 3. Repair deficient bacterial strains, used by JINR as tool for identifying complex lesions in DNA: Survival curves of *E. coli polA* and *recA* mutants after γ -irradiation under the following conditions: o - oxygen; x - oxygen + TAN; + - anoxia (from Komova et al. 1990)

e.g., the DNA, is the key essential quality. Therefore, quantity and quality of lesions strongly depend on the atomic number and energy of the heavy ion.

Two different approaches have been used in order to determine the type of lesions produced by heavy ions. JINR investigates the responses to heavy ions of a defined set of bacterial strains (*E. coli*) that are genetically identical except for a certain step in a certain repair pathway. Figure 2 shows an example of survival of 2 strains of *E. coli* after γ -radiation that either are deficient in excision repair (*polA*⁻) or in SOS repair (*recA*⁻). From their response, the contribution of the various lesions can be determined. The other approach, used by DLR, is to extract the DNA from irradiated *E. coli* cells and to directly determine the various lesions by biochemical methods. Figure 4 gives an example of pulse-field-agarose-gel-electrophoresis, which is used to determine the fragmentation of DNA by double

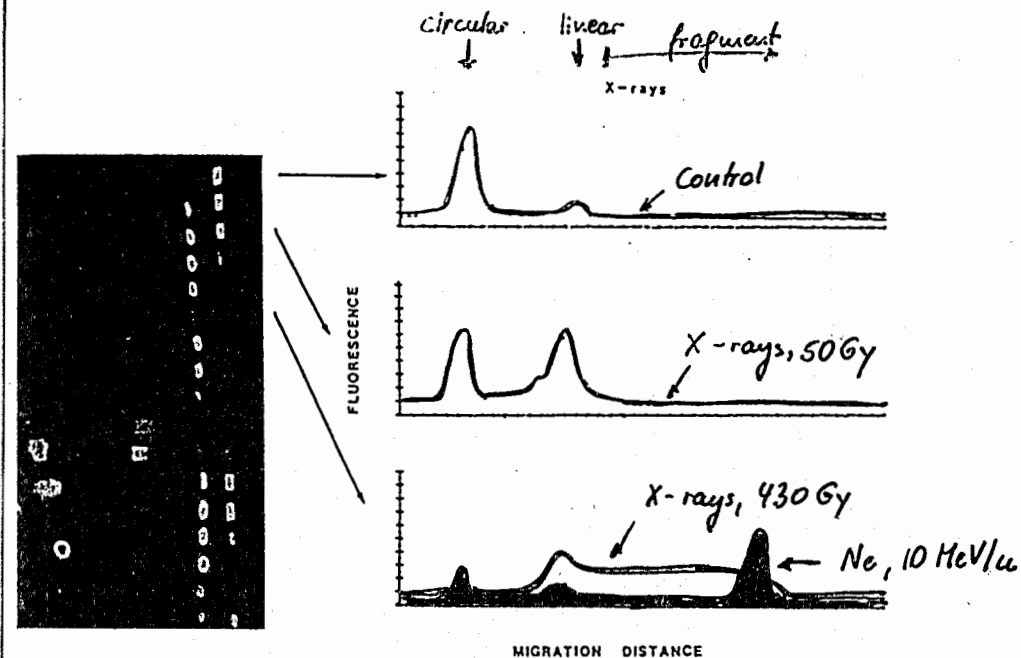


Fig. 4. Analysis of DNA DSB in *E. coli* by pulse-field-agarose-gel-electrophoresis (from Schfer et al. 1994)

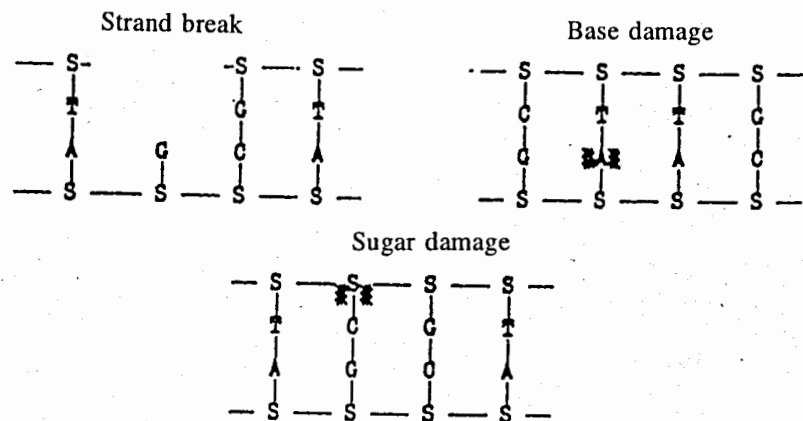
strand breaks (DSB). Figure 4 shows that the pattern of fragmentation is quite different after x-irradiation with Ne ions of 10 MeV/u.

Collecting all experimental information on the dependence of DNA lesions on the radiation quality, the following picture can be drawn (Fig. 5): Heavy ions predominantly produce complex DNA lesions, which are a combination of different single lesions, such as single strand breaks (SSB), base damage or damage to the sugar-phosphate-backbone. The fraction of complex DNA lesions increases with increasing LET. The reparability of complex lesions decreases with increasing LET. DSB are produced by first order kinetics in clusters leading to a high fraction of small fragments.

3. Mutation Induction

In order to reach a generalized concept of mutation induction, results from 3 different research groups have been collected. These are JINR, DLR and Institute

SINGLE DAMAGE



MULTIPLE DAMAGE the single strand

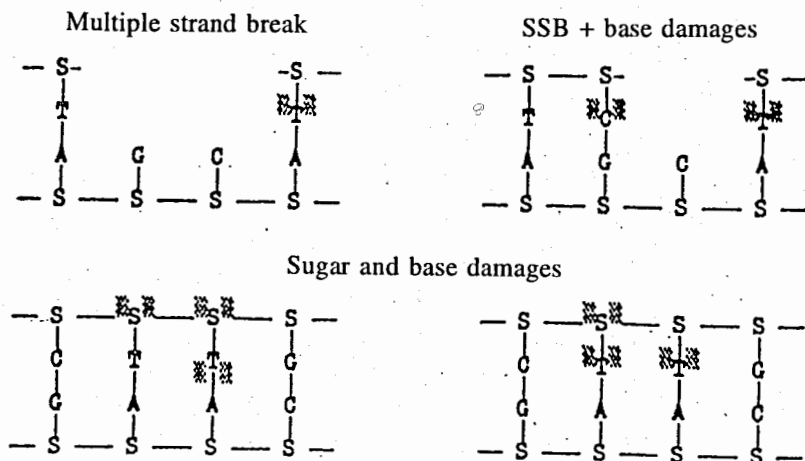


Fig. 5. Complex lesions induced by heavy ions (from Krasavin et al. 1992)

Table. Heavy ions and assay systems used for mutation induction studies by JINR, IBP and DLR.

Research on mutation induction by heavy ions

Ion	Z	E_n (MeV/u)	LET (keV/u)	Source	Assay system	Ref.		
D	1	1.6	18	U-200, JINR	E.coli/S.typh.	17, 19, 23		
		3.0	11	U-200, JINR	E.coli/S.typh.			
		5.8	7	U-200, JINR/U-120, INP	E.coli/S.typh.			
		8.8	5	U-200, JINR/U-120, INP	E.coli/S.typh.			
He	2	1.3	83	U-200, JINR	E.coli/S.typh.	12,16,17,19,22,23		
		1.6	72	U-200, JINR/U-120, INP	E.coli/S.typh.			
		2.4	54	U-200, JINR	E.coli/S.typh.			
		3.6	40	U-200, JINR	E.coli/S.typh.			
		8.0	22	U-200, JINR	E.coli/S.typh.			
		3.2	200	U-200, JINR	E.coli		16	
6.5	117	U-200, JINR	E.coli					
B	5	5.4	190	88" cyclotron, LBL	B.subtilis	9, 24		
C	6	3.5	430	88" cyclotron, LBL	B.subtilis	9,24		
		4.0	330	U-200, JINR	E.coli	12, 17, 23		
		7.5	210	U-200, JINR	E.coli			
		9.0	180	88" cyclotron, LBL	B.subtilis	9, 24		
		120.0	19	BEVALAC, LBL	B.subtilis			
		Ne	10	1.5	1400	88" cyclotron, LBL	B.subtilis	9, 10, 24
3.3	900			88" cyclotron, LBL	B.subtilis			
5.7	650			88" cyclotron, LBL	B.subtilis			
5.9	630			UNILAC, GSI	B.subtilis	9, 24		
10.2	430			UNILAC, GSI	B.subtilis			
11.0	410			88" cyclotron, LBL	B.subtilis			
14.4	330			UNILAC, GSI	B.subtilis			
18.6	280			UNILAC, GSI	B.subtilis			
Fe	26	0.4	4200	UNILAC, GSI	B.subtilis	9, 24		
Ni	28	0.9	5000	UNILAC, GSI	B.subtilis	9, 24		
		3.4	3700	UNILAC, GSI	B.subtilis			
Kr	36	10.8	3200	UNILAC, GSI	B.subtilis	9, 24		
		17.7	2500	UNILAC, GSI	B.subtilis			
Xe	54	0.2	4000	UNILAC, GSI	B.subtilis	9, 24		
		2.1	8700	UNILAC, GSI	B.subtilis			
		2.8	8300	UNILAC, GSI	B.subtilis			
		4.2	7600	UNILAC, GSI	B.subtilis			
		6.9	6700	UNILAC, GSI	B.subtilis			
		9.5	6000	UNILAC, GSI	B.subtilis			
		11.8	5500	UNILAC, GSI	B.subtilis			
		16.8	5000	UNILAC, GSI	B.subtilis			
		Pb	82	0.3	7500	UNILAC, GSI	B.subtilis	9, 24
		U	92	2.6	15400	UNILAC, GSI	B.subtilis	9, 24
7.7	13700			UNILAC, GSI	B.subtilis			
10.7	12600			UNILAC, GSI	B.subtilis			
11.9	12200			UNILAC, GSI	B.subtilis			

from Horneck, Krasavin, Kozubek 1994

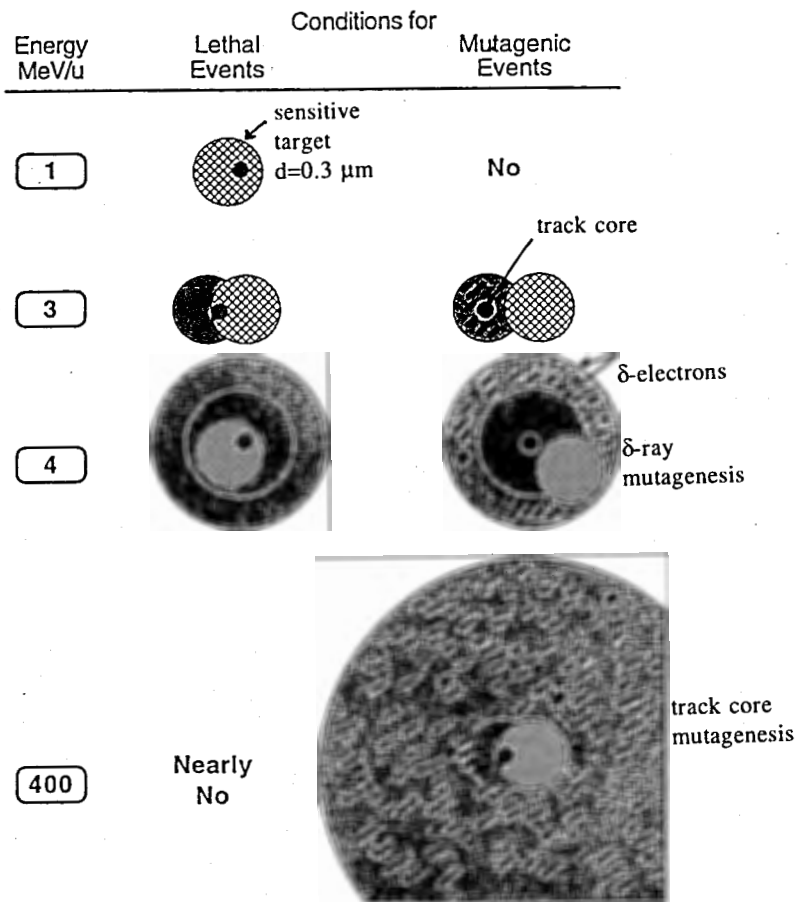


Fig. 6. «Mutagenic belt» theory (from Kozubek 1992)

of Biophysics, Czech Academy of Sciences, Brno, CR (Dr. S. Kozubek). Thereby, results from broad spectrum of heavy ions, from deuterons to uranium, have been obtained (Table). The assay systems studied were forward mutations, e.g., $lac Z^+ \rightarrow lac Z^-$ in *E. coli*, reversions, e.g., $his^- \rightarrow his^+$ in *S. typhimurium* and *B. subtilis*, induction of the SOS system and the involvement of repair processes in the manifestation of mutations.

The data can be interpreted by a theory of mutation induction, based on the assumption that mutagenesis depends on the density of energy that is deposited in the sensitive target. Depending on atomic mass and energy of the heavy ion, a

δ -ray mutagenesis

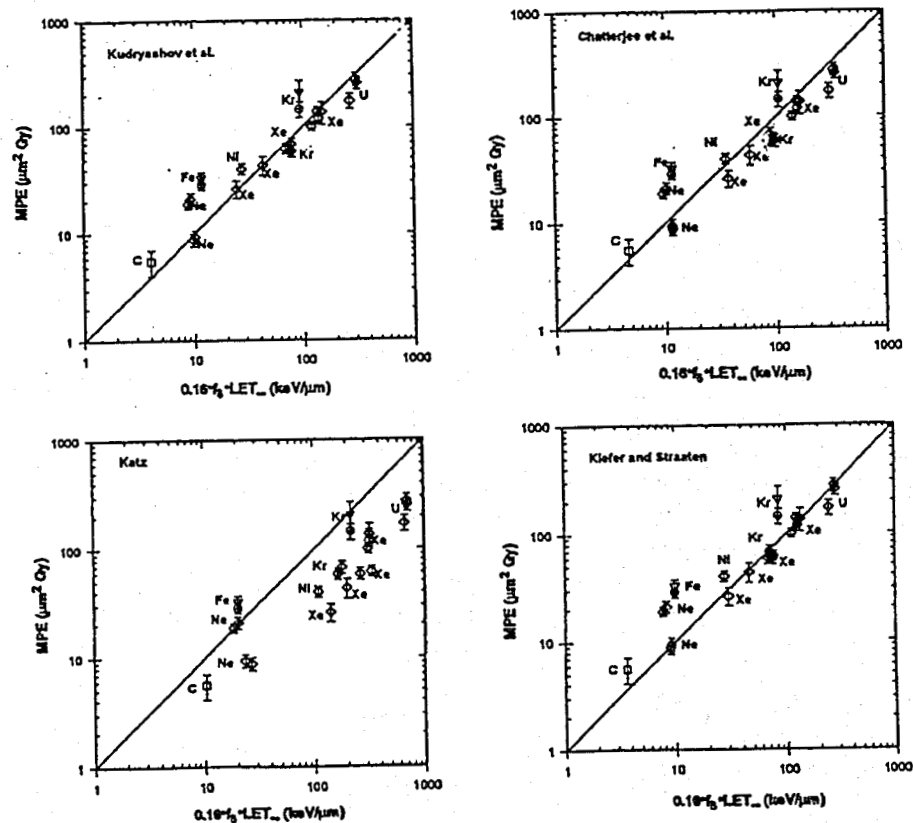


Fig. 7. Interpretation of mutation induction by heavy ions: δ -ray mutagenesis for $LET \geq 100$ keV/ μ m (from Kozubek et al. 1995)

«mutagenic belt» is assumed around the track of heavy ions where the «right» density of energy deposition is provided (Fig. 6). Higher densities will favorably kill the cells, whereas lower densities have a low chance for both, killing or mutagenesis.

The key essential quality is the fraction of energy $d(\delta)$, deposited by indirect hits. For high LET ions ($LET \geq 100$ keV/ μ m) δ -ray mutagenesis prevails, whereas for low LET ions ($LET < 100$ keV/m) track core mutagenesis is more likely. In Figs. 7 and 8 the theory is validated by experimental results. This theory for mutagenesis by heavy ions has recently been extended towards interpreting heavy ion-induced mutagenesis in mammalian cells.

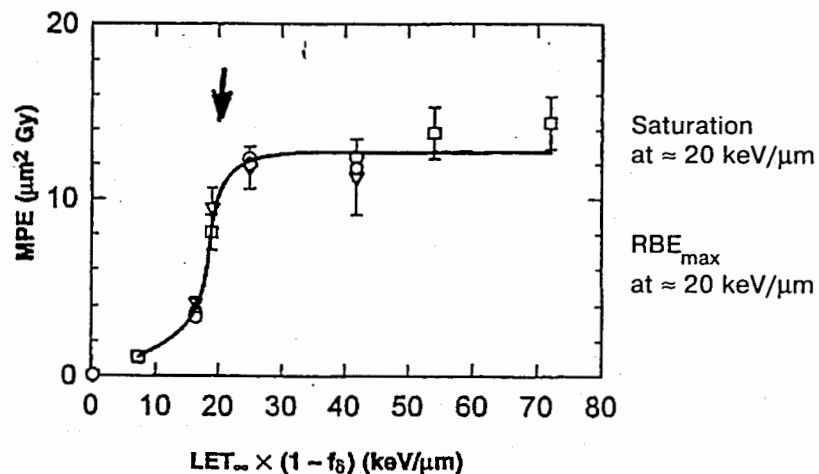


Fig. 8. Interpretation of mutation induction by heavy ions: track-core mutagenesis for $LET < 100 \text{ keV}/\mu\text{m}$ (from Kozubek et al. 1995)

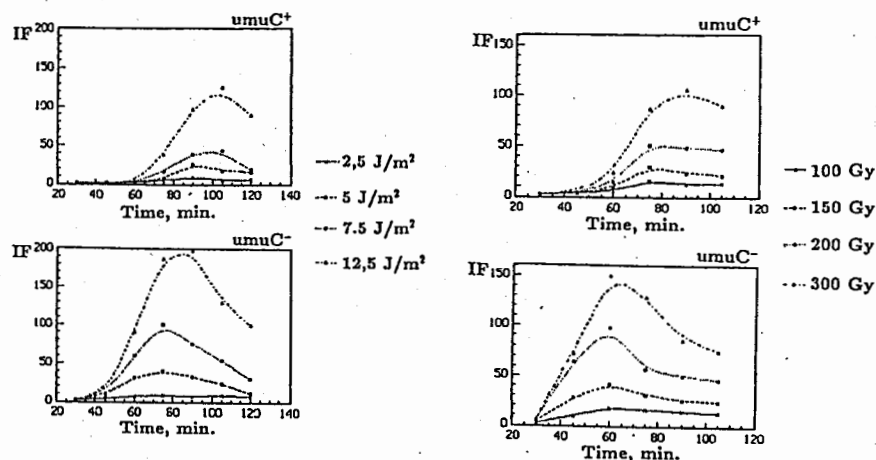


Fig. 9. SOS dependent Lux-Test in response to UV and γ -radiation (from Komova et al. 1995)

4. Biosensors for Environmental Monitoring

The SOS-system responds very specifically to DNA damage. Besides ionizing radiation, ultraviolet-radiation, mutagens and cancerogens are effective inducers of the SOS-system. In cooperation with the Institute of Biotechnology Moscow, a plasmid has been constructed that carries the lux-operon of *Photobacteria* under

control of the SOS-promoter. This system allows the on-line monitoring of environmental pollutants and toxic factors with respect to their DNA damaging potential. Figure 9 shows this responses of the SOS Lux-Test to UV and γ -radiation. The SOS Lux-Test is currently being characterized in a joint project of the European Commission within the COPERNICUS programme.

5. List of Publications Resulting from the Cooperation of JINR, IBP and DLR

Horneck G., Krasavin E.A., Kozubek S. (1992) Mutagenic effects of heavy ions in bacteria. WSC COSPAR 29th Plenary Meeting, Washington, DC, 28 Aug. — 05 Sept. 1992

Krasavin E.A., Horneck G., Kozubek S. (1993) «Complex» DNA lesions and radiobiological effects induced by radiation with different LET. In: Proc. «Radiation Biology and Its Application in Space Research», Kozubek S., Horneck G. (eds.), IBP Brno, CR, pp. 59-62

Horneck G., Krasavin E.A., Kozubek S. (1994) Mutagenic effects of heavy ions in bacteria. Adv. Space Res. 14:(10)315-(10)329

Kozubek S., Horneck G., Krasavin E.A., Ryznar L. (1995) Interpretation of mutation induction by accelerated very heavy ions in bacteria. Radiat Res. 141:199-207 (Peer)

Lukasova E., Repin M.V., Govorun R.D., Krasavin E.A., Horneck G., Kozubek S. (1995) Human lymphocytes chromosome-1-aberrations induced by γ -rays identified by fluorescence *in situ* hybridization. In: Proc. 2. Symposium Radiation Biology and Its Application in Space Research, S. Kozubek, G. Horneck (eds.), Brno, 10.-11.11.1994, IBP ASCR, pp. 250-255

Horneck G., Bonev M., Kozubek S., Krasavin E., Willmann J. (1995) On-line monitoring of mutagenic and carcinogenic agents by SOS dependent LUX-test. COPERNICUS 1994, Funded joint research projects and concerted actions, G. Ahlen, J.L. Blanc, R. Meijer, F. van Scheepen, K. Woelcken, G. Wojcieszko (eds.), European Commission Office of the Official Publication, Luxembourg, pp. 6-8 - 6-9

Rettberg P., Horneck G., Krasavin E., Komova O.V., Kozubek S., Ptiysyn L.R. (1996) SOS-Lux-Test. DNA-Repair Workshop, 4. Workshop Deutsche Sektion DNA Repair, Hamburg, 20.-23.02.1996

СОДЕРЖАНИЕ

ДОКЛАД ДИРЕКТОРА ИНСТИТУТА ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА РАН В.Г.КАДЫШЕВСКОГО НА ТОРЖЕСТВЕННОМ ЗАСЕДАНИИ КОМИТЕТА ПОЛНОМОЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ И УЧЕНОГО СОВЕТА ОИЯИ	5
---	---

ПРИВЕТСТВИЯ И ПОЗДРАВИТЕЛЬНЫЕ АДРЕСА

АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА	17
РЕСПУБЛИКА АРМЕНИЯ	19
РЕСПУБЛИКА БЕЛОРУССИЯ	21
РЕСПУБЛИКА БОЛГАРИЯ	23
СОЦИАЛИСТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА ВЬЕТНАМ	25
РЕСПУБЛИКА ГРУЗИЯ	26
РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН	27
КОРЕЙСКАЯ НАРОДНО-ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА	29
РЕСПУБЛИКА КУБА	31
РЕСПУБЛИКА МОЛДОВА	33
МОНГОЛИЯ	34
РЕСПУБЛИКА ПОЛЬША	35
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ	37
РУМЫНИЯ	46
СЛОВАЦКАЯ РЕСПУБЛИКА	47
РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН	49
УКРАИНА	51
ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА	52
ВЕНГЕРСКАЯ РЕСПУБЛИКА	54
ФЕДЕРАТИВНАЯ РЕСПУБЛИКА ГЕРМАНИЯ	55

ДОКЛАДЫ НА 80-Й СЕССИИ УЧЕНОГО СОВЕТА ОИЯИ

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО НА 80-Й ЮБИЛЕЙНОЙ СЕССИИ УЧЕНОГО СОВЕТА ОИЯИ <i>Член-корреспондент РАН В.П.ДЖЕЛЕПОВ</i>	59
---	----

40 ЛЕТ ОИЯИ <i>Академик А.М.ПЕТРОСЬЯНЦ</i>	70
SYNCHROTRON RADIATION AND NEUTRONS IN CONDENSED MATTER RESEARCH <i>Professor Norbert KROO</i>	75
THE QUARK-SPIN STRUCTURE OF THE NUCLEON: 20 YEARS OF JINR-CERN COLLABORATION <i>Professor Rüdiger VOSS</i>	84
ВКЛАД ОИЯИ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНУЮ СПИНОВУЮ ФИЗИКУ* <i>Профессор Ф.ЛЕГАР</i>	116
КОГЕРЕНТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЯДРАХ И КРИСТАЛЛАХ <i>Профессор Ю.Г.АБОВ</i>	150
PRESENT VIEW OF STABILITY OF HEAVY AND SUPERHEAVY NUCLEI <i>Professor Adam SOBICZEWSKI</i>	164
JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH AND RADIATION GENETIC RESEARCH <i>Professor Gerda HORNECK</i>	177

**Поздравления и научные доклады
к 40-летию ОИЯИ**

96-273

Редакторы: Е.В.Калинникова, Э.В.Ивашкевич
Рукопись поступила 23.07.96. Подписано в печать 18.12.96
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 16,20
Тираж 500. Заказ 49570

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
Дубна Московской области