

ОТДЕЛ
ЯДЕРНОЙ
СПЕКТРОСКОПИИ
И РАДИОХИМИИ



ВОСПОМИНАНИЯ ДОКУМЕНТЫ ФОТОГРАФИИ

СОСТАВИТЕЛЬ
ЦВЕТАН ВЫЛОВ

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**ОТДЕЛ
ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ
И РАДИОХИМИИ**

1958–2005

Воспоминания, документы и фотографии

Автор-составитель
Цветан ВЫЛОВ

Дубна
2024

Отдел ядерной спектроскопии и радиохимии. 1958–2005: Воспоминания,
О81 документы и фотографии / Авт.-сост. Ц. Вылов. — Дубна: ОИЯИ, 2024. — 319 с.

ISBN 978-5-9530-0599-9

Книга посвящена истории Научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии (НЭОЯСиРХ) Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований. В сборник вошли воспоминания тех, кто в далеком 1958 году начинал работать над новой для Института научной областью — ядерной спектроскопией. Здесь вы найдете выдержки из официальных документов, статьи из советской и российской прессы, фотографии из личных архивов сотрудников и пр.

Идея сборника принадлежит Цветану Вылову, чье имя неразрывно связано с отделом, куда в 1968 году он пришел младшим научным сотрудником. Материалы помогали собирать его коллеги: В. Г. Калинин, В. М. Горожанкин и В. Б. Бруданин.

Сборник знакомит читателя с жизнью нескольких поколений ученых и рассказывает о достижениях отдела в области ядерно-спектроскопических исследований.

ISBN 978-5-9530-0599-9

© Объединенный институт
ядерных исследований, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ. Ю. Б. Гуров, Е. А. Якушев	7
Справка об основных создателях книги	9
О Цветане Вылове и нейтринной физике в ОИЯИ. В. А. Бедняков	10
КАК ВСЁ НАЧИНАЛОСЬ	
Становление ядерного центра в Дубне	11
У истоков ядерной спектроскопии в ОИЯИ. Рождение отдела	14
ВОСПОМИНАНИЯ	
И. А. Ютландов. НАЧАЛО	25
В. Г. Чумин. ИЗ ИСТОРИИ ЯСНАППА	29
К. Я. Громов. ЯДЕРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ В ЛАБОРАТОРИИ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ	39
В. А. Морозов. ВРЕМЯ ЖИЗНИ	46
М. Я. Кузнецова. В. А. ХАЛКИН	54
Н. А. Бонч-Осмоловская. НАЧАЛО В ДУБНЕ	56
В. М. Цупко-Ситников. ВОСПОМИНАНИЯ ОБ РХЛ	60
М. Я. Кузнецова, Н. Г. Зайцева. ВОСПОМИНАНИЯ	72
Б. А. Аликов, В. В. Кузнецов. ПЛОДОТВОРНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО	76
В. И. Фоминых. ВТОРОЕ ПРИШЕСТВИЕ КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ В РХЛ И НЕКОТОРЫЕ ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЯ	79
Б. М. Сабиров. ВОСПОМИНАНИЯ	82
Г. В. Винель. ДУБНЕНСКИЕ ВОСПОМИНАНИЯ	85
Е. П. Григорьев. ФИЗИКИ ЛЕНИНГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА В ОБЪЕДИНЕННОМ ИНСТИТУТЕ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ДУБНЕ...	89
В. М. Горожанкин. РАЗДУМЬЯ	95
А. Минкова. ВОСПОМИНАНИЯ О СОЗДАНИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО СПЕКТРОМЕТРА	104
А. Инояттов. СОЗДАНИЕ ESA-50	110
Ю. П. Попов. РАДИОХИМИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ЛЯП (Опыт сотрудничества)	116
Ж. Сэрээтэр. ВОСПОМИНАНИЯ О ДУБНЕ	118
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НЭОЯСиРХ (в рамках ПТП ОИЯИ)	
1966–1971. Тема «Спектроскопия нейтронодефицитных ядер, короткоживущие изотопы, тонкая структура спектров»	121
Разработки отдела	121
Сектор И. А. Ютландова	124
Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ	126
Алушта-1972	129
Обзоры научных исследований, опубликованные в журнале ЭЧАЯ	130
1971–1975. Тема «Свойства нейтронодефицитных изотопов, удаленных от линии бета-стабильности (ЯСНАПП)»	133
1975–1979. Тема «Свойства нейтронодефицитных изотопов, удаленных от линии бета-стабильности (ЯСНАПП)»	133
Организационная структура НЭОЯСиРХ	133
Цветан Вылов об этом времени	136

Ю. В. Норсеев об астате	144
Итоговый отчет по программе ЯСНАПП за 1979 год	146
<i>В. П. Афанасьев. ОИЯИ–ЛИЯФ: СОТРУДНИЧЕСТВО ПЛОДОТВОРНОЕ, ПЕРСПЕКТИВНОЕ</i>	147
Совещания по исследованию распада нейтронодефицитных ядер, проводившиеся ОЯСиРХ в 1964–1978 гг.	150
Рабочее совещание по полупроводниковым детекторам (1972)	151
Рабочее совещание по полупроводниковым детекторам (1974)	151
Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ	152
Обзоры научных исследований, опубликованные в журнале ЭЧАЯ	158
 1976–1980. Тема «Разработка методики прецизионной спектроскопии ядерного излучения»	159
Предложения о реорганизации центра накопления и обработки экспериментальных данных в ОЯСиРХ	161
<i>Ц. Вылов. А КАК ЖЕ ДАЛЬШЕ?</i>	164
Рабочее совещание по полупроводниковым детекторам	166
 1976–1985. Тема «Создание комплекса ЯСНАПП-2: совершенствование масс-сепараторов и методов получения чистых радиоактивных препаратов»	166
<i>В. Егоров, А. Солнышкин, Ю. Юшкевич. СОЗДАЕТСЯ КОМПЛЕКС ЯСНАПП-2</i>	166
<i>В. Г. Калинин. СЕГОДНЯ В ПАВИЛЬОНЕ ЯСНАПП</i>	168
Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ	171
 1977–1986. Тема «Создание установки для исследований с ориентированными радиоактивными ядрами (СПИН)»	172
<i>М. Фингер, К. Я. Громов, Ю. М. Казаринов. НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ ..</i>	172
Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ	175
 1981–1985. Тема «Разработка технологии и изготовление ППД для многокристалльных спектрометров»	177
Обзоры научных исследований, опубликованные в журнале ЭЧАЯ	178
 1981–1985. Тема «Разработка методов накопления, обработки и анализа спектрометрической информации»	179
Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ	181
Обзоры научных исследований, опубликованные в журнале ЭЧАЯ	187
 1982–1986. Тема «Эксперименты по поиску суперплотных ядер (проект СУПП)»	187
 1982–1986. Тема «Создание установки для исследования распада короткоживущих ориентированных ядер (СПИН-3)»	188
 1987–1995. Тема «Исследование спиновых эффектов при распаде ориентированных ядер (СПИН-3)»	188
 1986–1990. Тема «Исследование свойств нейтрино в процессах радиоактивного распада (проект “Нейтрино”)»	189
XXXIII Совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра	192

Письмо директора ЛЯП Ц. Вылова академику С. Т. Беляеву (в связи с разработкой программы исследований по ядерной физике в СССР)	195
Письмо заместителя директора ЛЯП К. Я. Громова Ученому секретарю Научного совета АН СССР по физике атомного ядра О. Д. Далькарову. Наиболее интересные результаты за 1987–88 гг.	199
Международное сотрудничество НЭОЯСиРХ	201
Международная школа «Физика слабых взаимодействий при низких энергиях»	202
 1986–1990. Тема «Изучение свойств ядер, далеких от полосы бета-стабильности (ЯСНАПП)»	204
 1991–1995. Тема «Получение и исследование нейтронодефицитных изотопов, удаленных от линии бета-стабильности»	204
Рабочее совещание по программе ЯСНАПП-2	205
В. Г. Калинин. КОМПЛЕКС ЯСНАПП-2: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБНАДЕЖИВАЮТ	205
Решение рабочего совещания по программе исследования ядер, удаленных от полосы стабильности, с помощью комплекса ЯСНАПП	208
Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ	209
Обзоры научных исследований, опубликованные в журнале ЭЧАЯ	210
IX Семинар по точным измерениям в ядерной спектроскопии	212
Международное совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра	212
Речь вице-директора ОИЯИ Ц. Д. Вылова на открытии Международного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра	213
V Международное совещание по ядерно-спектроскопическим исследованиям сверхтонких взаимодействий	214
О. И. Кочетов. ПЯТОЕ, МЕЖДУНАРОДНОЕ	214
Приветственное слово вице-директора ОИЯИ Ц. Д. Вылова	215
Из истории ЯСНАПП (1991–1995)	217
Обзоры научных исследований, опубликованные в журнале ЭЧАЯ	218
Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ	220
 1991–1995. Тема «Исследование ядерной мультифрагментации в ядро-ядерных взаимодействиях при промежуточных и высоких энергиях (ФАЗА)» ...	221
В. А. Карнаухов. ФАЗА 4п-УСТАНОВКА НА ПУЧКЕ СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ	221
Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ	223
 1992–2000. Тема «Исследование слабых и электромагнитных взаимодействий при низких энергиях»	224
III Международный симпозиум по слабым и электромагнитным взаимодействиям WEIN-92	224
Зарождение коллаборации NEMO-3	225
Международная конференция WEIN-95	229
Договор с ИАЭ им. И. В. Курчатова	230
Международная конференция «Применение полупроводниковых детекторов в ядерно-физических задачах»	230
Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ	230
Встречи с представителями Курчатовского института	232
Международное рабочее совещание NANP-1997 «Физика без ускорителей». ...	234

Международная конференция WEIN-98	235
Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ	236
Международная конференция по ядерной физике «50 лет ядерным оболочкам»	238
<i>А. Алтынова. ЯДЕРНЫЕ ОБОЛОЧКИ — ВСЕГДА АКТУАЛЬНАЯ ТЕМА ..</i>	240
Рабочее совещание NEMO-3	245
Международная конференция NANP-1999 «На пути к планковским масштабам»	246
Международное рабочее совещание NANPino-2000	246
Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ	251
2001–2005. Тема «Исследование фундаментальных взаимодействий в ядрах при низких энергиях»	
Справка по проекту МЦИРИ	254
Международная конференция NANP-2001 «Новая физика в неускорительных экспериментах»	256
<i>Е. Молчанов. НЕЙТРИННЫЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ: ИДЕЯ ПОДТВЕРЖДЕНА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО</i>	257
Из годового отчета ОИЯИ за 2001 год	259
Исследование двойного бета-распада в эксперименте NEMO-3	260
Рабочие совещания NEMO-3	261
Из годового отчета ОИЯИ за 2002 год	267
Из годового отчета ОИЯИ за 2002 год	269
Проект MAJORANA	269
Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ	271
Международная конференция NANP-2003	275
<i>В. А. Бедняков, В. Б. Бруданин, А. А. Смольников. КОНФЕРЕНЦИЯ ПО НЕУСКОРИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКЕ В ДУБНЕ</i>	275
Рабочее совещание NEMO-3	278
Из годового отчета ОИЯИ за 2003 год	279
Из годового отчета ОИЯИ за 2004 год	281
Международный семинар «30 лет сотрудничества ОИЯИ–IN2P3»	282
Эксперимент GERDA	283
Из годового отчета ОИЯИ за 2004 год	285
Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ	287
Из годового отчета ОИЯИ за 2005 год	288
Международная конференция NANP-2005	289
Из годового отчета ОИЯИ за 2006 год	292
Из годового отчета ОИЯИ за 2006 год	293
Рабочее совещание коллаборации NEMO-3 / SuperNEMO	294
ФОТОАРХИВ	295
ВМЕСТО ПОСЛЕСЛОВИЯ	
<i>В. А. Бедняков. ЦВЕТАН ДИМИТРОВ ВЫЛОВ... В СУДЬБЕ ПЯТОГО ДИРЕКТОРА ЛЯП</i>	299
Список сотрудников ОЯСиРХ (1955–2010)	313

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга представляет собой часть истории Научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований (НЭОЯСиРХ ЛЯП ОИЯИ) и охватывает почти полвека истории: с 1958 по 2005 год.

Идея книги принадлежит Цветану Вылову, а материал собран под руководством Владимира Геннадьевича Калининкова, Вячеслава Михайловича Горожанкина и Виктора Борисовича Бруданина. К огромному сожалению, этих замечательных ученых уже нет с нами.

Отдел создавали яркие личности, воспоминания которых и легли в основу сборника. Благодаря этим ученым ядерная спектрометрия в ЛЯП ОИЯИ имеет многолетнюю успешную историю. Спектрометрические методы десятилетиями развивались и использовались для изучения ядра и свойств радиоактивных изотопов, большая часть которых была разработана на фазотроне ЛЯП.

Более 400 сотрудников из стран-участниц ОИЯИ проводили в разное время в отделе свои исследования.

Важной вехой в истории отдела стала идея применения классических спектрометрических методик для исследований нейтринного сектора в неускорительных экспериментах. Эта мысль возникла у Цветана Вылова в середине 1980-х годов и привела к изменениям, сформировавшим нынешнее научное направление. К счастью, реализация задуманного состоялась, в том числе и благодаря административному ресурсу. В 1984 году Цветан Вылов возглавил отдел, в 1988 стал директором лаборатории, а с 1992 по 2005 год был вице-директором ОИЯИ.

Идея развития нейтринной тематики была особенно значимой для ЛЯП: здесь работали выдающиеся ученые Б. М. Понтекорво и В. П. Джелепов (именем последнего сейчас названа Лаборатория ядерных проблем). Они создали всемирно известные школы нейтринной физики и ядерной спектроскопии. Новые задачи отдела включали поиск двойного безнейтринного бета-распада, прямое измерение массы нейтрино, определение магнитного момента нейтрино, исследования двойного бета-захвата и другие. Такая переориентация на поиск и исследование редких процессов потребовала создания новой спектрометрической школы с освоением передовых методик и заимствованием у иностранных партнеров лучшего в культуре проведения экспериментов. Долгие годы бессменным руководителем нового направления был В. Б. Бруданин. Благодаря его усилиям и при поддержке дирекций ЛЯП и ОИЯИ отдел вовлечен в реализацию крупномасштабного и перспективного проекта мирового значения в области нейтринной физики — создание гигатонного нейтринного телескопа на озере Байкал.

Современная техническая база отдела используется на полную мощность как для исследования ядра, так и для изучения редких явлений, связанных со слабым взаимодействием. Здесь продолжается разработка новых методов ядерной спектрометрии, установок для регистрации заряженных и нейтральных частиц, а также развитие современной радиохимии для решения вопросов астрофизики и ядерной медицины. Исследования проводятся на основе современных подходов с использованием имеющихся аппаратных ресурсов.

Как и раньше, основа отдела — интернациональный научный и инженерно-технический персонал, более 100 человек. Многие из них ученики тех, чьи воспоминания включены в эту книгу.

В отделе есть ресурсы, позволяющие реализовывать научные проекты: лаборатория по разработке и изготовлению полупроводниковых детекторов, лаборатория по созданию и производству сцинтилляционных материалов, сектор радиохимии, мастерские, группа компьютерной поддержки, группа масс-сепараторов и другие.

Можно смело утверждать, что навыки высококвалифицированного научного и технического персонала НЭОЯСиРХ позволяют разрабатывать и создавать установки мирового класса и получать значимые результаты в области современной физики. Наше участие в престижных международных проектах обеспечивает доступ к передовым разработкам и позволяет развивать “домашние” эксперименты.

По сути, мы в своей работе продолжаем совершенствовать новейшие спектрометрические методы и применять их для изучения ключевых проблем современной физики.

Таким образом, ядерная спектроскопия остается актуальной и история отдела пишется дальше. В современной деятельности НЭОЯСиРХ можно найти не меньше интересного, чем представлено в этой книге.

Ю. Б. Гуров и Е. А. Якушев
Январь 2023 года

Справка об основных создателях книги

Цветан Вылов

(13.07.1941–13.12.2009)

Выдающийся болгарский физик, внес значительный вклад в становление спектроскопической школы в ОИЯИ, стоял у истоков экспериментальной нейтринной программы ЛЯП. С 1984 по 1989 г. — начальник НЭОЯСиРХ, с 1988 по 1992 г. — директор ЛЯП ОИЯИ, в 1992–2006 гг. — вице-директор ОИЯИ.

Владимир Геннадьевич Калинин

(28.10.1939–09.02.2017)

Ведущий специалист по ядерной спектроскопии, под его руководством в ОИЯИ была разработана программа комплексного исследования ядер, удаленных от линии бета-стабильности. Начальник НЭОЯСиРХ с 1989 по 2005 г.

Вячеслав Михайлович Горожанкин

(08.05.1946–15.05.2012)

Ведущий специалист в области ядерной спектроскопии, руководил разработкой и реализацией проектов по исследованию свойств нейтрино. В 1989–1992 гг. — ученый секретарь ЛЯП, с 2002 по 2012 г. — заместитель Ученого секретаря Программно-консультативного комитета по ядерной физике ОИЯИ, начальник сектора спектрометрии ядерных излучений.

Виктор Борисович Бруданин

(17.05.1950–28.12.2020)

Ведущий специалист мирового значения в области неускорительной нейтринной физики. В 1995–2005 гг. работал заместителем директора ЛЯП по физике низких энергий. С 2005 по 2020 г. — начальник НЭОЯСиРХ. Являлся руководителем исследований в области неускорительной нейтринной физики, астрофизики и фундаментальных взаимодействий в ядрах при низких энергиях.

О Цветане Вылове и нейтринной физике в ОИЯИ

Благодаря особой интуиции Ц. Д. Вылова научно-исследовательские работы НЭОЯСиРХ вышли сегодня далеко за пределы прецизионной ядерной спектроскопии и радиохимии. В настоящее время отдел является лидером ОИЯИ в физике нейтрино — передовой области исследований физики элементарных частиц, астрофизики и космологии. Определение природы нейтрино — ключевая *междисциплинарная* проблема, которая пронизывает всю физику элементарных частиц, космологию и астрофизику. Наличие ненулевых масс у нейтрино важно для построения современных объединительных теорий элементарных частиц, понимания строения Вселенной и механизмов образования в ней крупномасштабных структур. Здесь легкие массивные нейтрино играют роль так называемой горячей темной (или скрытой) материи. Исследование свойств нейтрино необходимо для решения проблемы дефицита солнечных нейтрино, выяснения механизмов взрыва сверхновых и образования энергии в звездах и в недрах нашей Земли, для понимания причин возникновения космических лучей сверхвысоких энергий. Благодаря исследованию потоков космических нейтрино можно будет получить информацию о самых отдаленных уголках космоса. До сих пор не решена проблема реликтовых нейтрино, существование которых следует из современной концепции ранней Вселенной. Считается, что нейтрино дают ключ к объяснению барионной асимметрии: образование избытка барионов возможно за счет нарушения СР-симметрии в лептонном секторе. Таким образом, без понимания свойств нейтрино невозможно приблизиться к ответу на вопрос о том, почему окружающий нас мир устроен именно так.

Именно Ц. Д. Вылов в 80-х годах 20-го столетия начал в ЛЯП исследования ключевых свойств нейтрино, таких как спиральность, масса, нарушение лептонного числа, работы над определением природы нейтрино (майорановская или дираковская), начал изучать безнейтринный и двухнейтринный двойной бета-распад ядер, электромагнитные свойства нейтрино, а также вести поиск частиц галактической темной материи. Тем самым он заложил основу современной Нейтринной программы ОИЯИ, которая успешно реализуется с 2014 года. Флагманом этой программы является рожденный в «выловском отделе» проект нейтринного телескопа кубокилометрового масштаба Baikal-GVD.

Резюмируя, можно с уверенностью сказать, что Цветан Дмитриевич Вылов, наравне с Бруно Максимовичем Понтекорво, был отцом-основателем передовых нейтринных исследований ОИЯИ в наиболее актуальной сфере современной физики элементарных частиц и астрофизики. Благодаря наследию этих двух выдающихся сотрудников ЛЯП Нейтринная программа ОИЯИ успешно реализуется, она уникальна, широко известна и признана во всем мире.

В. А. Бедняков

КАК ВСЁ НАЧИНАЛОСЬ

Становление ядерного центра в Дубне

В августе 1946 года, вскоре после открытия принципа фазовой стабильности движения частиц в ускорителях (В. И. Векслер, 1944 г.; Э. М. Макмиллан, 1945 г.), правительство СССР приняло решение о строительстве большого синхроциклотрона. (В Беркли (США) в то время заканчивалось сооружение синхроциклотрона на энергию протонов 340 МэВ.) В те годы все работы по ядерной физике шли под грифом «секретно» или «особо секретно» независимо от решаемых задач. Контроль за выполнением решения правительства взял на себя Л. Берия. Именно он определил место, где должен быть построен новый атомный объект.



Лаврентий Павлович Берия

Местом строительства был назван поселок Ново-Иваньково, расположенный в 125 км от Москвы около первого шлюза водоканала Волга–Москва. Вопрос о выборе места строительства определился на заседании Специального комитета при Совете Министров СССР 7 августа 1946 года (Секретный протокол № 25). Решение: «Утвердить из числа представленных комиссией гг. Ванникова, Вавилова, Векслера, Первухина, Жимерина, Кабанова, Борисова, Алексенко, Комаровского и Минца в качестве площадки для строительства мощного циклотрона район Ивановской ГЭС».

Срок сооружения был назначен очень короткий — конец декабря 1949 года, точнее, ко дню 70-летия Сталина.



Место строительства — Ново-Иваньково, Калининская область (карты Google)

В качестве аргументов в пользу выбранного места строительства объекта Берия указал следующие: здесь имеется большой лагерь заключенных и, следовательно, есть рабочая сила; поселок достаточно удален от Москвы — и легче будет соблюдать секретность; ученые не будут отвлекаться от их основной деятельности; в пяти километрах от объекта имеется гидроэлектростанция — и не будет проблем с электроэнергией; наконец, поселок стоит на берегу Волги — не будет проблем с водой, нужной для систем охлаждения магнита и других агрегатов, а также для научного городка.

Вновь создаваемой лаборатории (она являлась филиалом московской Лаборатории № 2, руководителем которой был И. В. Курчатов) из соображений секретности было присвоено название Гидротехническая лаборатория АН СССР (ГТЛ АН СССР).

В 1948 году директором ГТЛ был назначен М. Г. Мещеряков, его заместителем — В. П. Джелепов.



М. Г. Мещеряков



И. В. Курчатов и В. П. Джелепов

Строительство ускорителя и самого города Дубны происходило в сжатые сроки. Тысячи людей были заняты в строительстве, город создавался в безлюдном месте среди заболоченных лесов. Над созданием оборудования для ускорителя трудились многие коллективы на крупных заводах страны. Так, магнит ускорителя весом 7000 тонн был доставлен с завода «Электросила». Комплексный запуск синхроциклотрона был произведен в ночь с 13 на 14 декабря 1949 года. Вплоть до 1953 года он оставался самым крупным ускорителем протонов в мире.



Синхроциклотрон

В 1950 году на ускорителе впервые были проведены эксперименты с частицами высоких энергий. Секторами М. Г. Мещерякова, В. П. Джелепова и прибывшего в Дубну Бруно Понткорво был выполнен большой цикл исследований, результаты которых были

столь значительны, что за них все трое, а также ряд сотрудников, были награждены Сталинскими премиями.

Вот как вспоминает события того времени их очевидец Г. Д. Столетов (из книги *«Михаил Григорьевич Мещеряков. К 90-летию со дня рождения»* (Дубна, 2000, с. 147–152)): *«К исходу 1953 г. ГТЛ получает статус института, именуемого отныне Институтом ядерных проблем (ИЯП) АН СССР. Директором института назначается М. Г. Мещеряков. Его авторитет растет и укрепляется как среди научной общественности, так и в глазах верховной власти. В 1953 г. М. Г. Мещеряков избирается членом-корреспондентом АН СССР, а в 1954 г. награждается третьим орденом Ленина и избирается профессором Московского государственного университета. <...>*

С 1955 г. стала рассеиваться завеса секретности, окутывавшая до этого всю деятельность ИЯП. Появляются сначала в советских, а затем и в зарубежных научных журналах статьи сотрудников института. Укрепляются связи между учеными разных научных центров. Совсем посветлело в 1956 г., а 26 марта занялась заря нового этапа в жизни института и поселка.

Весной 1956 г. в конференц-зале Президиума АН СССР состоялось собрание полномочных представителей правительств Албании, Болгарии, Венгрии, Германской Демократической Республики, Китайской Народной Республики, Коре́йской Народно-Демократической Республики, Монголии, Польши, Румынии, СССР и Чехословакии. Они приняли 26 марта 1956 г. постановление о создании в г. Дубне близ Москвы Объединенного института ядерных исследований. В состав делегации АН СССР, принимавшей участие в этом собрании, вместе с В. И. Векслером и А. В. Топчиевым входил М. Г. Мещеряков.

«В этот день родился Объединенный институт ядерных исследований, вобравший в себя Институт ядерных проблем АН СССР под новым именем ЛЯП (Лаборатория ядерных проблем) и выросшую рядом Электрофизическую лабораторию АН СССР с супергигантом — синхрофазотроном на 10 ГэВ под именем ЛВЭ (Лаборатория высоких энергий). <...>



Б. М. Понтекорво и М. Г. Мещеряков

Казалось, ничто не может нарушить размеренного благополучия в жизни ИЯП, занятого организационным перерождением в ЛЯП ОИЯИ. Вдруг — “гром среди ясного неба”. Примерно в середине лета 1956 года в ИЯП созывается партийное собрание, как обычно закрытое от подавляющего беспартийного большинства. Что совершалось там, за закрытыми дверями, доходило до беспартийной массы в виде слухов или скупых, будто нечаянно оброненных фраз участников собрания, решившихся приоткрыть “партийную тайну”.

Так вот, по слухам, темой этого, как потом оказалось, судьбоносного собрания было “разоблачение культа личности М. Г. Мещерякова”. <...> “Дело Мещерякова”

завершилось объявлением ему выговора по партийной линии. Но затем произошло неожиданное: по решению высшего руководства М. Г. Мещеряков был снят с поста директора ИЯП АН СССР».

Директором ЛЯП ОИЯИ назначен Венедикт Петрович Желепов. Как оказалось, М. Г. Мещеряков был снят из-за конфликта с Б. М. Понтекорво.

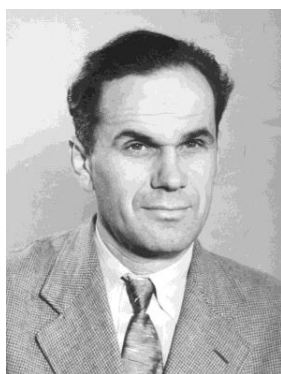
У истоков ядерной спектроскопии в ОИЯИ. Рождение отдела

(Содержит отрывки из воспоминаний И. А. Ютландова и В. Г. Чумина.)

Исследования ядерных реакций, протекавших при облучении различных мишеней высокоэнергетическими протонами и альфа-частицами, проводились на синхроциклотроне с начала 1950 года под руководством Б. В. Курчатова и В. Н. Мехедова.



Б. В. Курчатов



В. Н. Мехедов



А. Н. Мури

В 50-е годы в лаборатории профессора А. Н. Мурина (Радиевый институт АН СССР, Ленинград) начались работы по изучению реакций глубокого расщепления на базе заработавшего в Дубне синхроциклотрона (480 и 660 МэВ). Исследования показали, что продуктами реакции являются преимущественно нейтронодефицитные изотопы. При этом с максимальными сечениями образуются ядра, отстоящие от ядра-мишени на несколько единиц Z .

Одновременно с этим в лаборатории проф. А. Н. Мурина был разработан (главным образом усилиями Б. К. Преображенского) быстрый ионообменный метод разделения редкоземельных элементов без носителей. Получавшиеся при расщеплении тяжелых элементов изотопы редкоземельных элементов оказались в высшей степени подходящими для ядерно-спектроскопических исследований: тонкие (без носителя) источники малоизученных нейтронодефицитных изотопов. Именно в таких источниках остро нуждалась Лаборатория ядерной спектроскопии, возглавляемая профессором Б. С. Желеповым. А размещалась она в смежных с лабораторией профессора А. Н. Мурина помещениях. Небезынтересно отметить, что Радиевый институт размещался тогда в бывшем жилом доме, лаборатории А. Н. Мурина и Б. С. Желепова – в одной квартире. А химическая лаборатория, где Б. К. Преображенский разделил редкоземельные элементы, — кухня в этой квартире (здесь И. А. Ютландов делал свою диссертационную работу).

Первые результаты исследования гамма-спектров Ce, Nd, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb и Lu с помощью NaI(Tl)- и CsI(Tl)-детекторов опубликованы в 1957 году Г. М. Городинским, А. Н. Муриным и В. Н. Покровским. В 1958 году К. Я. Громову и др. и Е. П. Григорьеву и др. удалось исследовать спектры электронов внутренней конверсии ^{166}Tm и ^{160}Ho . С этого времени стало ясно, что получаемые на синхроциклотроне

нейтронодефицитные элементы могут исследоваться с помощью магнитных спектрометров.



В. Н. Покровский



К. Я. Громов



Е. П. Григорьев

Вот так складывалось сотрудничество двух соседних лабораторий. Тогда же стало ясно, что наилучшей мишенью для получения нейтронодефицитных изотопов редкоземельных элементов является тантал. И еще – существенно больше информации можно получить, если проводить эксперименты вблизи ускорителя, а не в 1000 км от него.

Таков был общий фон, на котором возникла идея создания группы (сектора, отдела) ядерной спектроскопии в Лаборатории ядерных проблем. Эту идею поддержали многие физики, в том числе И. Шинтльмайстер (ГДР), Г. Наджаков (НРБ), Г. Неводничанский (ПНР) и др. В результате в Дубне под руководством проф. А. Н. Мурина был образован сектор (№ 11). В химическом домике сектору были выделены одна комната для химиков и одна для физиков (в ней был размещен бета-спектрометр с неоднородным магнитным полем, привезенный И. Днепровским из ГЕОХИ). Перед сектором была поставлена задача наладить обработку облученной протонами танталовой мишени, выделить из нее редкоземельные элементы и разделить их по фракциям.



Г. Неводничанский



Г. Наджаков

В КОНТЕКСТЕ

Из решений Ученого совета ОИЯИ

24 сентября 1956 г.

«Таким образом, предложение дирекции сводится к строительству здания ускорителя многозарядных ионов в 1958 году и строительству радиохимической лаборатории для работ с повышенными активностями (до 0,1–1 кюри, площадью около 1000 кв. м) в IV квартале 1959 года».

20 ноября 1957 г.

«В связи с тем, что осуществить в короткий срок строительство радиохимической лаборатории не представляется возможным, для проведения физической части радиохимических работ построить для ЛЯП временные сооружения 250–300 м², что позволит в самое ближайшее время осуществить намеченные работы».



24 мая 1958 г.

«Принять к сведению сообщение дирекции Института о лицах, ответственных за обеспечение связи по следующим работам: <...> радиохимия и бета-спектроскопия — В. Мехедов (ЛЯП)».

14 января 1959 г.

«В соответствии с рекомендацией Ученого совета ОИЯИ и ЛЯП созданы три новых сектора и в них развернуты работы по соответствующей тематике: <...> сектор ядерной спектроскопии (Б. С. Дзелепов, А. Н. Мурин), размещенный в физическом павильоне вновь выстроенной радиохимической лаборатории. <...>

Ученый совет отмечает, что сектор радиохимии недостаточно тесно связан с институтами стран-участниц, и рекомендует дирекции ЛЯП принять необходимые меры».

21 ноября 1960 г.

«Принять меры к вводу в эксплуатацию... в течение 1961 года здания Лаборатории ядерной химии и спектроскопии (ЛЯП)».





Заседание Ученого совета ОИЯИ

Два фактора способствовали оперативному воплощению в жизнь этой идеи о создании специализированного радиохимического подразделения: большая заинтересованность в ней стран-участниц ОИЯИ и очень теплые родственные отношения между директором ЛЯП В. П. Желеповым и руководителем ядерно-спектроскопической проблемы в Академии наук СССР Б. С. Желеповым.



В. П. Желепов



Б. С. Желепов

В самом начале в секторе штатными сотрудниками были И. А. Ютландов, Ю. В. Норсеев, Л. М. Гвоздева (Смирнова) и механик В. И. Соболев. Постоянно в командировку приезжали А. Н. Мурин, Г. М. Городинский, К. Я. Громов. Иногда — Б. С. Желепов.



И. А. Ютландов



Ю. В. Норсеев



Л. М. Гвоздева



В. И. Соболев

В 1958–1959 гг. в штат сектора из РИАН были переведены В. Г. Чумин, В. Н. Покровский, К. Я. Громов, В. А. Морозов. Из ЛГУ — Н. А. Бонч-Осмоловская. В это

же время быстрыми темпами был построен (в стиле "баракко") "павильон физических измерений".



В. Г. Чумин



В. А. Морозов



Н. А. Бонч-Осмоловская

Барак без промедления стал наполняться физическими приборами, привозимыми из ЛГУ: магнитной линзой (П. А. Тишкин), магнитным спектрометром с однородным полем (О. Е. Крафт и А. С. Басина), бета-спектрометром с 3-кратной фокусировкой в однородном магнитном поле (Ж. Желев), магнитным спектрографом (А. Абдуразаков), изготовленным во ВНИИМ. Спектрометр с неоднородным магнитным полем ГЕОХИ был перевезен из химического домика. Мастерская ЛЯП (К. А. Байчер) поделилась старыми токарным (ДИП-200) и сверлильным станками. В бараке организовалась своя маленькая мастерская, в которой по необходимости работали В. Соболев, В. Плужников, В. Быстров, В. Пелевинов, В. Горбачев, А. Акатов, А. Качалкин.



Коллектив отдела ядерной спектроскопии и радиохимии (1962)

Исследования велись по двум направлениям: ядерные реакции (группа В. Н. Мехедова и группа И. А. Ютландова) и ядерная спектроскопия (группа К. Я. Громова). Почти сразу к работе в секторе проявили интерес физики из стран-участниц: Польши (И. Стронский, З. Ковальский, С. Хойнацкий, Я. Ковнацкий, А. Ясинский), Болгарии (Ж. Желев, А. Стригачев, Е. Наджаков, Д. Енчев), ГДР (Г. Музиоль), ЧССР (И. и В. Звольские, Б. Крацик, В. Гнатович, Я. Липтак), Китая (Чжао Таонань, Ван Чжуаньпэн, Ван Юньюй), Монголии (Б. Далхасурен), Вьетнама (Зыонг Чон Бай), Кореи (Ма Хо Ок, Ку За Хек), Венгрии (Л. Немеет, П. Бедроян, Ф. Молнар, И. Деметер).

Заметим, что период становления Отдела ядерной спектроскопии и радиохимии оказался "золотым периодом" развития физики слабых взаимодействий в мире: было предсказано и экспериментально доказано несохранение четности в бета-распаде. А в СССР, если в области теории что-то и делалось, то в области экспериментальной физики

наблюдалось полное затишье. Некоторые исследования велись в ИТЭФ, но активность в этой области совсем не отвечала важности и значимости проблемы.

Советская ядерная физика этого периода прошла и мимо открытия эффекта Мессбауэра, хотя исследования резонансного рассеяния гамма-лучей велись очень активно (см. обзор Б. С. Желепова в журнале «Успехи физических наук» (1957. Т. LXII, вып.1)).

В КОНТЕКСТЕ

А в это же время в мире ядерной спектроскопии:

1956 год

В результате рассмотрения трудностей проблемы распада τ - и θ -частиц Ли Чжэндао и Янг Чженьнин сделали допущение, что в слабых взаимодействиях четность не сохраняется (нарушение Р-инвариантности), и предложили ряд экспериментов, которые позволили бы установить нарушение закона сохранения четности в слабых взаимодействиях, в частности в бета-распаде. Проанализировав большое количество экспериментов, они пришли к выводу, что в сильных и электромагнитных взаимодействиях закон сохранения четности подтверждается с высокой степенью точности, однако в слабых процессах является лишь экстраполяционной гипотезой, не подкрепленной экспериментальными доказательствами.



Ли Чжэндао



Янг Чженьнин

1957 год

Впервые экспериментально доказано несохранение четности в слабых взаимодействиях: обнаружена асимметрия в распределении электронов, испускаемых поляризованными ядрами в бета-распаде кобальта-60 (Ву Цзиньсян и др.).



Ву Цзиньсян

В этом же году нарушение закона сохранения четности обнаружили Л. Ледерман при распаде пионов, Ф. Крауфорд при распаде гиперонов, Дж. Фридман и В. Телегди при бета-распаде $\mu^\pm$ -мезона.

1958 год

Морисом Гольдхабером экспериментально определена спиральность нейтрино, обнаружено, что электронное нейтрино обладает левовинтовой спиральностью (опыт Гольдхабера). В дальнейшем было показано, что мюонное нейтрино также левовинтовое, а электронное и мюонное антинейтрино имеют правую спиральность.



Морис Гольдхабер

В том же 1958 году Рудольф Мессбауэр, двадцатидевятилетний физик из Германии, открыл эффект, который позднее стали называть его именем — эффектом Мессбауэра. Мессбауэр обнаружил и объяснил эффект резонансного взаимодействия гамма-излучения с веществом: когда атом не один, а находится в составе решётки твердого тела, отдачи нет. В 1961 году за это открытие ему была присуждена Нобелевская премия.

Заметим, что Р. Мессбауэр изначально решал совсем другую экспериментальную задачу.



Рудольф Мессбауэр

16 января 1960 года в ЛЯП ОИЯИ был организован **Отдел ядерной химии и спектроскопии**. Начальник отдела — А. Н. Мурин.



А. Н. Мурин (в 1960–1962 годы)

В него вошли 3 группы.

Руководители групп: В. Н. Мехедов (вторичных реакций), И. А. Ютландов (ядерной химии) и К. Я. Громов (магнитной бета-спектроскопии).

Научные сотрудники: М. Я. Кузнецова, Н. Г. Зайцева, В. Н. Покровский, В. А. Халкин, А. Абдуразаков.

Младшие научные сотрудники: Ю. В. Норсеев, В. А. Морозов, Н. А. Лебедев.

Старший инженер: В. Г. Чумин.

Инженеры: В. В. Кузнецов, В. Н. Рыбаков, С. Л. Смирнова, И. Ю. Левенберг.

27 февраля 1962 года издан приказ об организации **Отдела ядерной спектроскопии и радиохимии**. Начальник отдела — К. Я. Громов.



К. Я. Громов (в 1962–1977 годы)

Структура отдела:

Группа (сектор) № 1 — Ж. Желев (магнитные спектрометры)

Группа (сектор) № 2 — И. А. Ютландов

Группа (сектор) № 3 — Г. Музиоль (гамма-спектрометрия)

Группа (сектор) № 4 — В. А. Халкин (радиохимия)



Ж. Т. Желев



И. А. Ютландов



Г. Музиоль



В. А. Халкин

3 марта 1967 года издан приказ об организации группы по изготовлению и исследованию ППД. Руководитель группы — Б. П. Осипенко.

В последующие годы **Научно-экспериментальный отдел ядерной спектроскопии и радиохимии (НЭОЯСиРХ ЛЯП)** возглавляли:



Г. Лизурей (в 1977–1984 гг.)



Ц. Вылов (в 1984–1989 гг.)



В. Г. Калинин (в 1989–2005 гг.)



В. Б. Бруданин (в 2005–2020 гг.)

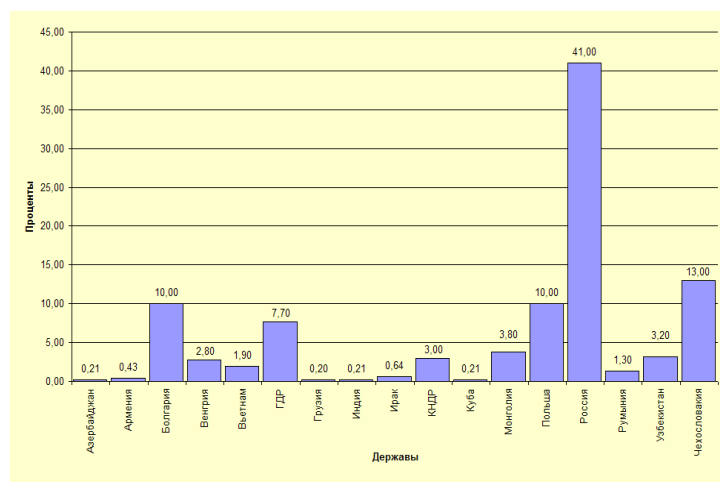
НЭОЯСиРХ в истории ОИЯИ занимает особое место: это единственное подразделение, по составу и принципу руководства близкое к представлениям о международной научной организации. Этому способствовали несколько обстоятельств:

а) деятельность отдела формировалась по инициативе полномочных представителей стран-участниц — большая часть национальных кадров в области ядерной физики прошла через это подразделение;

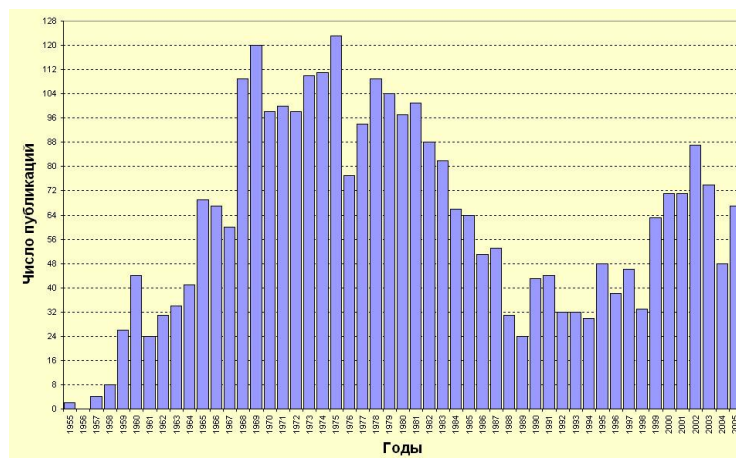
б) деятельность отдела способствовала созданию материально-технической базы ядерной физики в странах-участницах, а также привлечению к работе студентов из университетских лабораторий;

в) деятельность не была подвержена жесткой опеке, существовавшей в рамках Госкомитета по использованию атомной энергии СССР.

Полувековая история Института характеризуется и яркими научными и техническими достижениями, и решающим вкладом в становление и развитие исследований по ядерной физике и физике элементарных частиц во всех странах-участницах ОИЯИ. Прекрасной иллюстрацией этого служит история Научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии, в котором проводили исследования более 400 сотрудников из стран-участниц. Итогом деятельности этого самого интернационального научного подразделения Института является публикация более 3000 научных работ.



Число сотрудников из стран-участниц в НЭОЯСиРХ



Количество научных публикаций в 1955–2005 годах



Интернациональный коллектив отдела, июнь 1987 года



Февраль 2005 года



ВОСПОМИНАНИЯ

И. А. Ютландов. НАЧАЛО



Игорь Алексеевич Ютландов

50-е годы. Радиевый институт АН СССР (Ленинград). Физический отдел, лаборатория профессора А. Н. Мурина. Начались работы по изучению реакций глубокого расщепления (spallation) на базе заработавшего в Дубне синхроциклотрона (480 и 660 МэВ).

Исследования реакций глубокого расщепления показали, что продуктами реакции являются в основном нейтронодефицитные изотопы (наименее изученные в то время). При этом с максимальными сечениями образуются ядра, отстоящие от ядра-мишени на несколько единиц Z . Одновременно с этим в лаборатории проф. А. Н. Мурина был разработан (главным образом усилиями Б. К. Преображенского) быстрый ионообменный метод разделения редкоземельных элементов без носителей.

Получающиеся при расщеплении тяжелых элементов изотопы редкоземельных элементов оказались в высшей степени подходящими для ядерно-спектроскопических исследований: тонкие (без носителя) источники, малоизученные нейтронодефицитные изотопы. Именно в таких источниках остро нуждалась Лаборатория ядерной спектроскопии, возглавляемая профессором Б. С. Желеповым. А размещалась она в смежных с лабораторией профессора А. Н. Мурина помещениях. Небезынтересно отметить, что Радиевый институт, РИАН СССР, размещался тогда в бывшем жилом доме.



Бывший корпус РИАН, ул. Рентгена, 1

Лаборатории А. Н. Мурина и Б. С. Желепова — в одной квартире. А химическая лаборатория, где Б. К. Преображенский разделил редкоземельные элементы (а я делал диссертационную работу), — кухня в этой квартире.

Вот так складывалось сотрудничество двух соседних лабораторий. Тогда же стало ясно, что наилучшей мишенью для получения нейтронодефицитных изотопов редкоземельных элементов является тантал. И еще — существенно больше информации можно получить, если проводить эксперименты вблизи синхроциклотрона, а не в 1000 км от него.

Таков был общий фон, на котором возникла идея создания группы (сектора, отдела) ядерной спектроскопии при синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем.



А. Н. Мурина (крайний справа) с коллегами

Два фактора способствовали оперативному воплощению в жизнь этой идеи: большая заинтересованность в ней стран-участниц ОИЯИ и очень теплые родственные отношения между директором ЛЯП В. П. Джелеповым и руководителем ядерно-спектроскопической проблемы в АН СССР Б. С. Джелеповым.



В. П. Джелепов



Б. С. Джелепов

В 1956 г. у меня закончился срок аспирантуры в Санкт-Петербургском (тогда Ленинградском) государственном университете. Диссертационную работу я делал под руководством профессора А. Н. Мурина в Радиовом институте АН СССР. Тема работы — «Расщепление разделенных изотопов меди протонами с энергией 680 МэВ». Естественно, что за время аспирантуры я неоднократно побывал в Дубне, «потрогал» синхроциклотрон, познакомился с членами-корреспондентами АН СССР М. Г. Мещеряковым и В. П. Джелеповым, бывшими в разное время директорами Лаборатории ядерных проблем (в то время еще Института ядерных проблем АН СССР), и даже сделал сообщение на одном из семинаров о результатах своей работы.

На работу после аспирантуры меня направили на кафедру радиохимии химического факультета Ленинградского университета. Еще работая над диссертацией, я воспользовался удобным случаем (работая бок о бок с Б. К. Преображенским) и познакомился с разработанным им методом разделения микроколичеств редкоземельных элементов. На кафедре мне было предложено провести эксперимент по выделению редких земель (из облученной танталовой мишени) для ядерных спектроскопистов университета. Он был

успешно проведен, но при этом стало очевидно, что уровень активности был слишком велик для неспециальных (учебных) лабораторий.

Тем временем идея организации ядерно-спектроскопического сектора в ЛЯП успешно претворялась в жизнь. Где-то в середине 1957 г., вскоре после защиты кандидатской диссертации, я получил от В. П. Дзелепова приглашение перейти на работу в ЛЯП. Немного поколебавшись, я согласился. Большинство моих друзей и знакомых считали, что я делаю ошибку: лишиться ленинградской прописки ради какой-то «деревни». Но молодость и, если хотите, своего рода романтика взяли верх. В феврале 1958 г. я приехал в Дубну на постоянное место жительства. Несколько дней раньше по рекомендации профессора А. Н. Мурина на работу в ЛЯП был принят выпускник нашей кафедры радиохимии Ю. В. Норсеев.

Наша задача тогда — наладить обработку облученной на фазотроне танталовой мишени (вес 2–4 г), выделить из нее и разделить редкоземельные элементы без носителя. Активность такой мишени при облучении в течение 3–4 часов составляла, по оценкам, на момент снятия с пробника 1–2 кюри.



Ю. В. Норсеев

Понятно, что надо было позаботиться о безопасности работы. Нам было выделено полкомнаты в старом химическом корпусе (ныне там размещена лаборатория Отдела



Л. М. Смирнова



В. И. Соболев

охраны труда). В помощь нам пришли выпускница Московского химико-технологического института им. Д. И. Менделеева Л. М. Смирнова и механик В. И. Соболев. Руководил этим вновь образованным сектором ЛЯП профессор Андрей Николаевич Мурин. А в его отсутствие мне было поручено его замещать.

В КБ лаборатории в короткий срок был разработан проект защиты рабочего места в вытяжном шкафу, где предполагалась обработка мишени. Защита представляла собой подвижную свинцовую стенку толщиной 10–12 см, закрывавшую проем вытяжного шкафа. Вдоль верхнего края стенки перемещалось толстое (~20 см) свинцовое стекло, защищавшее

голову экспериментатора. Копирующих манипуляторов тогда у нас не было. Работать приходилось короткими (длиной ~ 20 см) захватами. Все работы по изготовлению и установке защиты были выполнены быстро и качественно. Немалую роль в этом сыграл личный контроль за ходом работ со стороны В. П. Дзелепова.

А между тем в темпе строился павильон физических измерений, в обиходе именуемый «бараком», — дощатое засыпное одноэтажное строение коридорного типа. В нем должны были размещаться различные спектрометры.

Надо сказать, что на первых порах существенную организационную помощь нам оказывал бывший здесь в командировках Г. М. Городинский (РИАН). Постепенно рос и штат постоянных сотрудников. В течение 1958–1959 гг. (точнее вспомнить не могу) в Дубну переехали на постоянную работу В. Г. Чумин, В. Н. Покровский, В. А. Морозов, К. Я. Громов, Н. А. Бонч-Осмоловская.

Когда наступило время проведения первых экспериментов по облучению и обработке танталовой мишени, мы были взяты дозиметрической службой под жесткий контроль. Работали буквально “обвешанные” различными дозиметрическими приборами. Результаты замеров показали, что корпус и голова защищены надежно. А на руки приходилась изрядная радиационная нагрузка — до 8 рентген за эксперимент.

Одновременно пополнялся и парк спектрометрических приборов, главным образом за счет институтов Ленинграда и Москвы. И стал расти штат сотрудников из стран-участниц ОИЯИ: С. Хойнацкий, А. Яниковский, З. Ковальский (ПНР), Г. Музиоль (ГДР), Б. Далхасурен (МНР), Ж. Желев, А. Стригачев (Болгария), супруги И. и В. Звольские (ЧССР), Л. Немеет (ВНР) и др. (всех уже не помню).

“Крейсерский” режим работы был одно облучение Та-мишени в неделю. Первые дни после облучения физики работали круглосуточно. А химики приводили в порядок свое рабочее место, а затем проводили повторные очистки источников. Зачастую окна лабораторий светились ночи напролет.

Химические процедуры позволяли нам разделить редкоземельные элементы по Z. Но очень часто, чтобы разобраться в сложных схемах распада, необходимо было разделить источники по массам. Масс-сепаратора у нас не было. Поэтому решено было попытаться использовать для этой цели серийный масс-сепаратор (если не ошибаюсь, типа МК-1305). В установке, настройке и эксплуатации этого прибора большую помощь нам оказали сотрудники РИАНа Л. М. Крижанский и Н. Е. Титов. Однако результаты оказались достаточно скромными: слишком мала была светосила прибора.

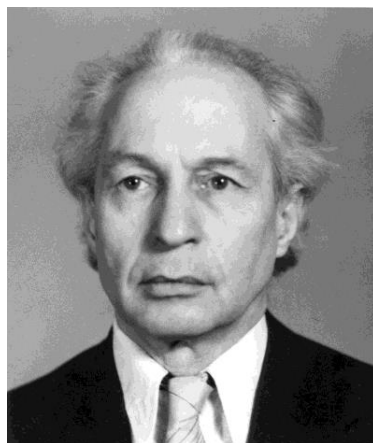
В 1960 г. был образован Отдел ядерной химии и спектроскопии (впоследствии переименованный в Отдел ядерной спектроскопии и радиохимии). В его состав входили три группы (которые впоследствии были переименованы в «сектора»):

- 1) группа ядерной химии (рук. Ютландов И. А.),
- 2) группа магнитной β -спектроскопии (рук. Громов К. Я.),
- 3) группа вторичных реакций (рук. Мехедов В. Н.).

Начиная с 1961 г. наша группа (В. Н. Покровский, В. Н. Рыбаков, Л. Н. Никитина, Л. М. Смирнова, А. К. Качалкин, А. И. Акатов, И. А. Ютландов) стала постепенно отходить от классической ядерной спектроскопии и сосредотачиваться на изучении ядерных реакций с малыми передачами энергии ядру-мишени ((p, pn), (p, 2n), (p, n)). Потом — мезохимия: изучение характера связи водорода в соединениях с помощью отрицательно заряженных π -мезонов, зависимость структуры μ -мезорентгеновского излучения от химической формы атома-мишени.

Потом более 10 лет ($\sim$ с 1967 по 1978 г.) я работал в составе других отделов. И поэтому продолжение истории этого отдела должно быть описано другими авторами.

2004 год



Вадим Григорьевич Чумин

В 1958 г. в ЛЯП по инициативе Б. С. Джелепова начались работы по новому для ОИЯИ направлению — ядерной спектроскопии. Можно сказать, что основа такому направлению закладывалась еще раньше, в Ленинграде, в РИАНе.

Дело в том, что в РИАНе в 50-е годы в соседних помещениях дома №1 по ул. Рентгена работали два отдела: отдел ядерной спектроскопии проф. Б. С. Джелепова и радиохимическая лаборатория проф. А. Н. Мурина. Сотрудник А. Н. Мурина Б. К. Преображенский разработал хороший метод разделения редкоземельных элементов без носителя, что было очень кстати спектроскопистам Б. С. Джелепова. Для них открывалось необозримое поле исследований с очень качественными радиоактивными источниками в мало изученной области изотопов.



А. Н. Мурин



Б. С. Джелепов

А в это же время в Дубне появляется возможность на синхроциклотроне Института ядерных проблем АН СССР (нынешняя ЛЯП) облучать протонами кусочки наиболее подходящего для получения редкоземельных элементов тантала.

Естественно, было разумно организовать спектроскопические исследования в самой Дубне, а не возить облученные мишени в Ленинград. Эту идею поддержали многие физики, в том числе И. Шинтльмайстер (ГДР), Г. Наджаков (НРБ), Г. Неводничанский (ПНР) и др. И в Дубне при активной поддержке директора ЛЯП В. П. Джелепова был образован сектор (№11) под руководством проф. А. Н. Мурина.

В химическом домике сектору были выделены одна комната для химиков и одна для физиков (в ней был размещен бета-спектрометр с неоднородным магнитным полем,

привезенный И. Днепровским из ГЕОХИ). Перед сектором была поставлена задача наладить обработку облученной протонами танталовой мишени, выделить из нее редкоземельные элементы и разделить их по фракциям.



Г. Неводничанский



Г. Наджаков



В. П. Джелепов

В самом начале в секторе штатными сотрудниками были И. А. Ютландов, Ю. В. Норсеев, Л. М. Гвоздева (Смирнова) и механик В. И. Соболев. Постоянно в командировку приезжали сам А. Н. Мурин, Г. М. Городинский, К. Я. Громов. Иногда — Б. С. Джелепов.



И. А. Ютландов



Ю. В. Норсеев



Л. М. Гвоздева



В. И. Соболев

В течение 1958–1959 гг. в штат сектора из РИАНа были переведены В. Г. Чумин, В. Н. Покровский, К. Я. Громов, В. А. Морозов. Из ЛГУ — Н. А. Бонч-Осмоловская.

В это же время быстрыми темпами был построен (в стиле "баракко") "павильон физических измерений". В строительстве павильона принимал участие электрик и сантехник, будущий административный директор ОИЯИ Виктор Леонидович Карповский.

Барак без промедления стал наполняться физическими приборами, привозимыми из ЛГУ: магнитная линза (П. А. Тишкин), магнитный спектрометр с однородным полем (О. Е. Крафт и А. С. Басина), бета-спектрометр с 3-кратной фокусировкой в однородном магнитном поле (Ж. Желев), магнитный спектрограф (А. Абдуразаков), изготовленный во ВНИИМе. Спектрометр ГЕОХИ с неоднородным магнитным полем был перевезен из химического домика. Мастерские ЛЯП (К. А. Байчер) поделились с нами старыми токарным (ДИП-200) и сверлильным станками. В бараке организовалась своя маленькая мастерская, в которой по необходимости работали Соболев, Плужников, Быстров, Пелевинов, Горбачев, Акатов, Качалкин.

Исследования велись по двум направлениям: ядерные реакции (группы В. Н. Мехедова и И. А. Ютландова) и ядерная спектроскопия (группа К. Я. Громова). Почти сразу к работе в секторе проявили интерес физики из стран-участниц: Польши (И. Стронский, З. Ковальский, С. Хойнацкий, Я. Ковнацкий, А. Ясинский), Болгарии

(Ж. Желев, А. Стригачев, Е. Наджаков, Д. Енчев), ГДР (Г. Музиоль), ЧССР (И. и В. Звольские, Б. Крачик, В. Гнатович, Я. Липтак), Китая (Чжао Таонань, Ван Чжуаньпэн, Ван Юньюй), Монголии (Б. Далхасурен), Вьетнама (Зыонг Чон Бай), Кореи (Ма Хо Ок, Ку За Хек), Венгрии (Л. Немеет, П. Бедроян, Ф. Мольнар, И. Деметер).



В. Г. Чумин



В. Н. Покровский



К. Я. Громов



В. А. Морозов



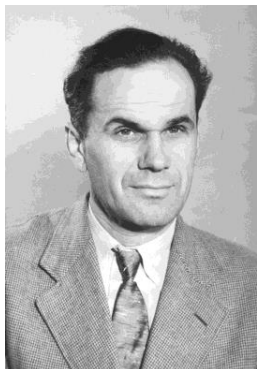
Н. А. Бонч-Осмоловская



Коллектив отдела ядерной спектроскопии и радиохимии (1962)

С первых же облучений на внутреннем пучке стало ясно, что получаемые препараты очень хороши для спектроскопических исследований (к радости физиков), но при этом участники эксперимента сильно облучаются. Было очевидно, что в таких условиях работать нельзя. ОРБ строго следила за нами.

В это время в сектор от Мехедова был переведен химик В. А. Халкин. По просьбе Б. С. Желепова и К. Я. Громова он организовал работу так, что облучение персонала не превышало допустимых норм. Все операции были поделены между участниками эксперимента: один ставит мишень на 3-й пробник ускорителя, другой снимает ее после облучения с пробника и опускает в контейнер, еще двое несут до выхода из первого корпуса, другие – в химдомик. Один вынимает из контейнера и помещает в бокс за защиту, другой снимает мишень с державки и опускает в платиновую чашку с раствором. Все операции выполняли вручную с помощью самодельных захватов наши механики и физики, заинтересованные в источниках. Дальше с растворами химичили уже химики (тоже вручную). Довольно быстро механик В. И. Соболев собрал электромеханическое приспособление (толкатель, приводимый в движение электромотором), которое сталкивало пластинку облученного Та с державки в платиновую чашку с раствором. Мотор включался тумблером, установленным вне бокса. Раствор с растворенным Та с помощью простейшего управляемого снаружи приспособления из чашки переливался в подготовленную для дальнейших операций пробирку.



В. Н. Мехедов



В. А. Халкин

В дальнейшем и снятие мишени с пробника после облучения, и помещение ее в контейнер были механизированы. Таким образом, и персонал не переоблучался, и препараты для экспериментов были очень сильными, чему немало удивились физики в Копенгагенском институте Нильса Бора. наших физиков стали приглашать (вместе с источниками) к себе (Громов, Кузнецов (1965), Адам). С тех пор источники использовались не только в нашей лаборатории, но и в других институтах СССР, и за границей (где нашим отдавали предпочтение перед получаемыми из других институтов).

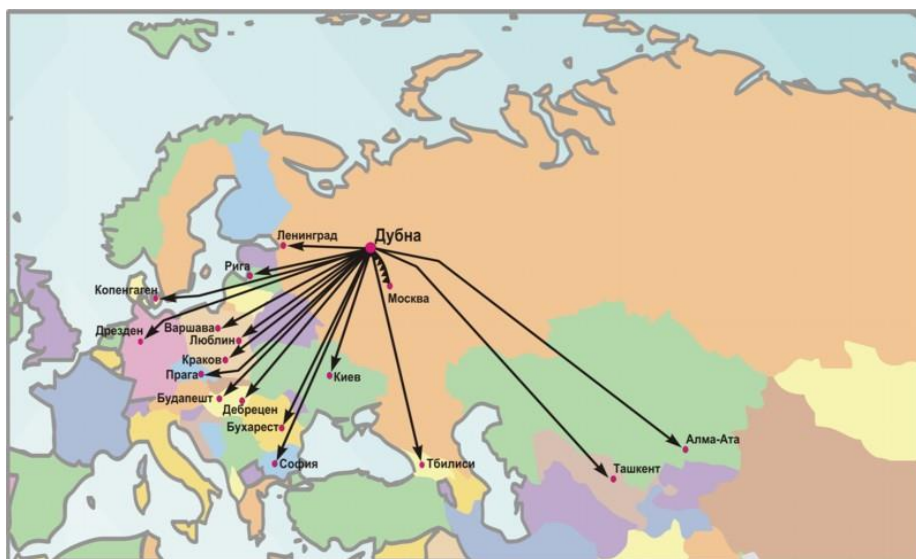
Развитие нашего отдела наглядно можно проследить по изменению процесса получения результатов физических экспериментов.

В 1960 или 1961 г. был организован Отдел ядерной химии и спектроскопии, позднее переименованный в Отдел ядерной спектроскопии и радиохимии (ОЯСиРХ). В него вошли 3 группы:

- группа ядерной химии (рук. И. А. Ютландов);
- группа магнитной бета-спектроскопии (рук. К. Я. Громов);
- группа вторичных реакций (рук. В. Н. Мехедов).

Сейчас с не очень веселой улыбкой вспоминается то время, когда создание любого нового прибора начиналось с намотки силового трансформатора для какого-нибудь усилителя, генератора, схемы совпадений. Для магнитных спектрометров на самодельных стойках собирались самодельные схемы питания: аккумуляторы, реостаты-рустрата, амперметры, вольтметры, 3-полюсные рубильники для изменения направления

электрического тока в обмотках магнита и для его размагничивания. Для измерения силы тока и контроля его стабильности собирали схемы из нормального элемента, потенциометра и гальванометра с "зайчиком". В ЛЯП тогда существовало бюро приборов. Серафима Федоровна Малышева (хозяйка этого бюро) часто выручала нас нужными приборами.



География поставок радиоактивных источников из ОИЯИ

Развитию наших магнитных спектрометров способствовало одно счастливое для нас обстоятельство: в соседнем Отделе новых ускорителей (начальник В. П. Дмитриевский) разрабатывали схемы стабилизации электротока и измерителей магнитного поля (Ю. Н. Денисов, С. А. Ивашкевич, П. Т. Шишлянников, В. М. Лачинов, Ю. И. Сусов, А. Н. Кокарев). Их разработки мы старались внедрить у себя. Правда, с некоторым отставанием. Пока мы внедряли — они уже разработали новый, более совершенный вариант. Но все равно — было здорово!

Вопреки разумному доводу "если нет нужного готового хорошего оборудования, то и дергаться не надо", все от души старались собрать ту установку, которую считали нужной, полезной, важной. В этом нам всегда помогали сотрудники КБ ЛЯП (Н. И. Фролов, А. Т. Василенко, Н. С. Толстой, В. И. Сидорова, Е. М. Андреев, Н. М. Коваленко, М. Ф. Кузнецова).

Во время "барачного" периода детекторами в спектрометрах были сцинтилляторы или счетчики Гейгера-Мюллера (заводские и самодельные). Импульсы с них фиксировались электромеханическими счетчиками. Экспериментатор включал (вручную) экспозицию набора импульсов на определенное время (5–30 мин). По секундомеру прерывал набор, показание счетчика записывал в журнал и включал следующую экспозицию. (Замечу в скобках: пока шла экспозиция, сотрудник мог пробежаться вокруг барака и пособирать грибы. Записав показания счетчика и включив следующую экспозицию, мог снова поискать.) И так весь эксперимент. По сведениям из журнала на миллиметровке рисовались линии конверсионных и гамма-спектров. По оси X — номер точки, по оси Y — количество импульсов. По правому и левому склонам линии чертились прямые линии. Их пересечение определяло положение линии на спектре. По пересечениям для нескольких линий с известными значениями энергий определялась зависимость: положение пересечения — энергия линии. Из соотношения площадей нарисованных линий определялись их относительные интенсивности. На все это требовалось много сил и времени. По полученным таким образом сведениям экспериментатор конструировал схему уровней исследуемого изотопа.

Орудиями всех расчетов последовательно были арифмометры: "Феликс", "Рейнметалл", "Электроника". Многоканальных анализаторов в то время у нас не было. В Союзе они только начали зарождаться, и Г. М. Городинский завязывал контакты на этот предмет с каким-то ленинградским институтом.

Следует сказать, что работой отдела постоянно интересовался Венедикт Петрович Джелепов (директор ЛЯП) и в те годы он мог в любое время дня и ночи по пути из 1-го корпуса заглянуть в барак и узнать кто чем и зачем занимается. Впрочем, он всегда этим интересовался, особенно перед крупными датами, когда подходили сроки выполнения сообразительств. И все с большой заинтересованностью "вкалывали". Со временем никто не считался (во вред, пожалуй, семье, воспитанию детей).

По инициативе (я думаю) А. Н. Мурина при поддержке В. П. Джелепова в ЛЯП строилось здание РХЛ (радиохимической лаборатории). Непосредственно с проектной и строительной организациями связывался инженер ЛЯП В. А. Богач под неусыпным оком главного инженера Б. И. Замолотчикова.

В 1961 г. здание было сдано в эксплуатацию.



Корпус Отдела ядерной спектроскопии и радиохимии

С этого времени отдел стал бурно развиваться во всех отношениях. Он разрастается численно (более 100 человек). Становится самым интернациональным отделом в ОИЯИ. В разные годы его возглавляли: К. Ф. Александер (ГДР), Ж. Желев (НРБ), Д. Чултэм (Монголия), Г. Лизурей (ПНР), Ц. Вылов (БНР), К. Я. Громов (СССР), В. Г. Калинин (РФ). (Не помню, была ли до этого в ЛЯП мода назначать иностранцев начальниками отделов.)

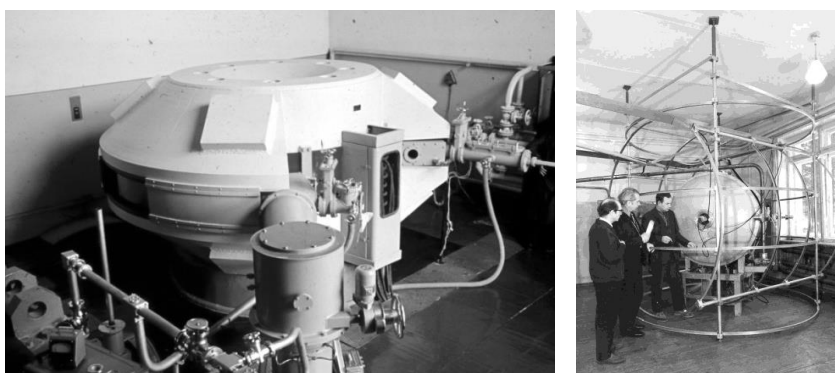
В секторе В. А. Халкина разрабатываются химические методики, интересные для самих химиков. Их удачные разработки тут же находили применение в работах по ядерной спектроскопии. Разрабатываются методы получения радиоактивных препаратов для медицины (йод-123, тулий-167). Такая организация обеспечила большой приток химиков и физиков из стран-участниц и интерес к сотрудничеству со стороны советских и зарубежных институтов (Ташкент, Самарканд, Минск, Киев, Ереван, Воронеж, Алма-Ата, ЛГУ, ВНИИМ, РИАН, Краков, Варшава, Ржеж, Прага, Дебрецен, Россендорф, университет и институт в Софии, Китай, Монголия, Корея, Вьетнам).

Отдел оснащается новой измерительной техникой. Создаются магнитные бета-спектрометры: с однородным магнитным полем и заводским торцовым счетчиком Гейгера-Мюллера (1959, Чумин), с неоднородным $\pi\sqrt{2}$ полем и самодельными счетчиками Гейгера-Мюллера (1963, Чумин, Желев), КЭТРОН (Бонч-Осмоловская), магнитный альфа-спектрограф с фотопластинками в качестве детектора (1965, Чумин, Желев, Соболев, Озеров). В Польше приобретается безжелезный тороидальный бета-спектрометр (1973, В. В. Кузнецов, М. Гасиор, М. Яницки).

Увеличивается парк магнитных бета-спектрографов с однородным полем и фотопластинками (1969, Г. Я. Умаров, А. А. Абдуразаков с сотрудниками из Узбекистана), создается электростатический бета-спектрометр (1986, А. Минкова).



Радиохимическая лаборатория



Магнитные спектрометры Отдела ядерной спектроскопии и радиохимии



А. А. Абдуразаков с сотрудниками из Узбекистана

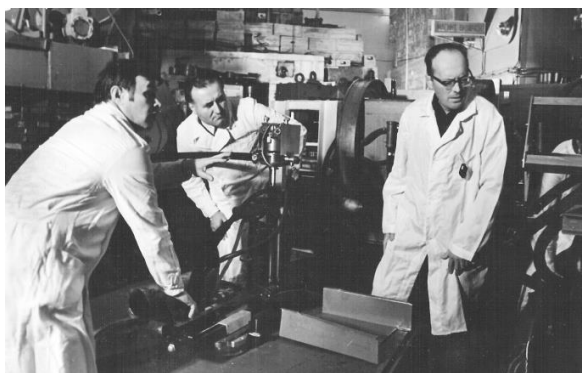
В РХЛ собирается масс-сепаратор (В. П. Афанасьев, И. И. Громова, В. И. Райко, механики В. А. Быстров, В. И. Соболев, В. Д. Плужников). На нем разделялись долгоживущие изотопы.



Масс-сепаратор (РХЛ)

Интересен случай с разделением изотопов Rn. Выделенный в полугорячей химлаборатории, он по трубке в несколько десятков метров перегонялся прямо в масс-сепаратор! Физики имели возможность ухватывать 15–20-минутные изотопы!

Для работы поближе к ускорителю приобретается масс-сепаратор (в Скандинавии, Тыррофф), который устанавливается на 1-м этаже первого корпуса ЛЯП. Интересную оценку культуры производства и надежности продукции СССР и Запада сделал Тыррофф, увидев, как летят болтики в "нежных ручках" байчеровских рабочих, собирающих "хлипкий" заграничный сепаратор: "Ведь это только советский пулемет можно забросить в болото, вытащить через год и продолжать стрелять". А что? Похоже! Сейчас оборудование 40-летней давности еще могло бы работать, если бы не устарело "морально" и не было бы выброшено на свалку.



Масс-сепаратор (ЯСНАПП)

От ускорителя к сепаратору прокладывается пневмопочта. Облученная мишень закладывается в капсулу и выстреливается к сепаратору. Появляется возможность изучать радиоактивные источники-минутники. Для этого организуется экспрессная радиохимия со спектрометрической и анализирующей аппаратурой, ЭВМ. Над этим работают В. И. Райко, А. Ф. Новгородов, Ю. В. Юшкевич, Н. Г. Зайцева, В. А. Быстров (СССР); Г. Музиоль, Г. Байер, Г. Ортлепп (ГДР); А. Машталка, О. Кнотек, М. Гонусек, М. Яхим (ЧССР); А. Ясински, Т. Козловски (ПНР).

В 1967 г. из ЛВТА перебазировается и собирается в РХЛ ЭВМ "Минск-2" (спины некоторых сотрудников помнят это "перевазирование" до сих пор).

*Может, помнишь, в РХЛе
ЭВМ в те дни была.
Верой-правдою служила,
Называлась "Минском-2".*

*Больше всех во всем ОЙЯИ
Помогала, как могла,
Публикаций, диссертаций
Выдавать нам на-гора.*

Возглавила эту операцию М. И. Фоминых. Основными ее помощниками были Е. Т. Кондрат, А. В. Ревенко, В. Е. Савин, В. И. Новикова. Появилась возможность не рисовать спектры на миллиметровке и определять площадь линий по квадратным миллиметрам и положение их по пересечению линий, проведенных по их склонам. Василь Гаджиков написал программу КАТОК, которая делала это автоматически и, кроме того, разделяла линии на сложных участках. З. Зайдлер соорудил осциллограф со световым карандашом. Стало очень легко размечать интересные участки спектра для последующей обработки КАТКОМ.



М. И. Фоминых и ЭВМ «Минск-2»

Создавались и другие программы, которые обслуживали эксперименты и применялись для обработки информации (Л. А. Вылова, Г. В. Винель, М. Потемпа, Н. и С. Станчевы, Г. Элер, Э. Рупп, У. Фромм, С. П. Аврамов). Машина использовалась 22 часа в сутки. Ежедневно тестировалась (М. Чикагова). В течение 12 лет она была центром накопления и обработки спектрометрической информации.

*Хороша была машина,
Но в последние года
Много кашляла, чихала
И на пенсию ушла.*

*Все немного повздыхали,
Дело наше не табак.
Нам до пенсии уж близко,
Доживем, авось, и так.*

*Мы уж было навестились
Снова "Феликса" крутить,
Только Вылов умудрился
Филиальчик нам всучить.*

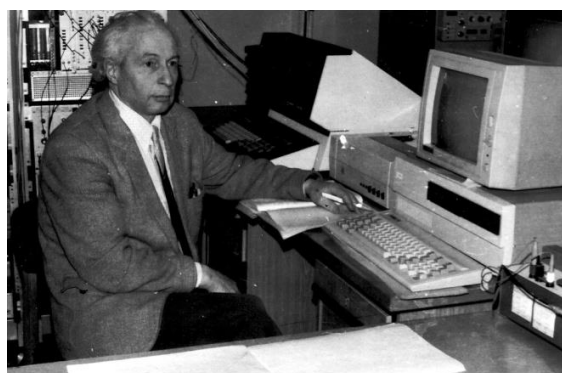
На смену "Минску" приходят более современные ЕС-1010, СМ-3, СМ-4.



Приблизительно в 1976 г. приобретается "Минск-22" (Е. Б. Озеров). На нем впервые (в отделе) было показано, что расчет кривых нелинейности спектрометра и эффективности детектора можно автоматизировать (к удивлению физиков, привыкших делать это вручную).

С 1987 г. стараниями Ц. Вылова, приобретшего "Правец-16", в отделе начинается эра персональных компьютеров. За их развитием и сменяемостью я уследить уже не мог. Развивается и внедряется в эксперименты полупроводниковая техника (группа Б. П. Осипенко).

Работы было много, и работа была интересна. А чтобы не расслаблялись, у нас было **СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЕ** соревнование, ради которого брались **ПОВЫШЕННЫЕ** обязательства, **ВСТРЕЧНЫЕ** планы. При этом мы еще и вперед смотрели! Мы боролись за звание **КОЛЛЕКТИВОВ КОМУНИСТИЧЕСКОГО ТРУДА**, больше того, за звание **УДАРНИКОВ КОМТРУДА!**



За работой с персональным компьютером «Правец-16»

Одновременно повышали свой экономическо-политический уровень: изучали труды Маркса-Энгельса-Ленина-Сталина (сколько времени было угроблено!). Мы помогали стране повышать экономическое благосостояние народа: выезжали на прополку, уборку и сортировку овощей, сенокос, стройку свинарника (лично мне свинарник не доверили – я подметал дорожки в ОРСе). Мы всегда радовались этим мероприятиям, особенно начиная с обеда.

Спаянность коллектива наиболее ярко проявлялась, когда отмечали праздники, события. А их было предостаточно: советские (с демонстрациями и без), два Новых года, Рождество и Пасха, дни рождения и именины, защиты диссертаций. Стран-участниц было тогда много, и каждая раз в год устраивала в Доме ученых прием в честь знаменательной для их страны даты. И ничего. Выдерживали!

5 сентября 2005 года

К. Я. Громов. ЯДЕРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ В ЛАБОРАТОРИИ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

(Доклад на семинаре памяти Венедикта Петровича Джелепова ЛЯП ОИЯИ, 12 апреля 2000 года.)



В. П. Джелепов, Ц. Д. Вылов, К. Я. Громов

Ядерная спектроскопия изотопов, получаемых на синхроциклотроне ЛЯП, как и многие другие направления в советской ядерной физике, начиналась в Ленинграде.

В лаборатории проф. А. Н. Мурина в РИАН в 1954–1955 гг. были начаты исследования

реакции глубокого расщепления ядер. Измерялись выходы (сечения образования) изотопов при облучении разных мишеней протонами с энергией 660 МэВ на синхроциклотроне ЛЯП. В частности, кандидат химических наук Б. К. Преображенский разработал радиохимическую методику выделения ядер редкоземельных элементов (РЗЭ) из облученной протонами танталовой мишени.

В то время я был аспирантом Б. С. Джелепова, и у меня в соседней комнате с Б. К. Преображенским был хороший β -спектрометр. В ноябре 1955 г. Б. К. Преображенский задал мне вопрос: можно ли при измерении спектров конверсионных электронов на β -спектрометре определить атомный номер Z ядер, содержащихся в источнике излучения? Ответ был прост: да, конечно, если источники будут достаточно тонкими, чтобы не ухудшалось энергетическое разрешение, и достаточно сильными, чтобы набрать статистику счета на линиях конверсионных электронов. Решили попробовать. Один из спектров, полученных в этих первых экспериментах, показан на Рис. 1.

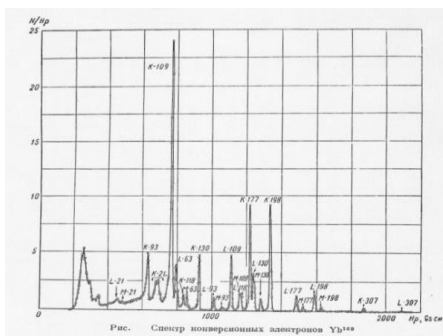


Рис.1

Оказалось, что источники (фракции РЗЭ) прекрасно удовлетворяют этим требованиям. По разностям энергий электронов внутренней конверсии на разных

оболочках (K, L, M) уверенно устанавливались Z ядер. Было показано, что примеси соседних с выделенным элементом ядер ничтожны. Сила источников достаточна для проведения прецизионных исследований. Стало ясно, что открывается новое, широкое направление в области экспериментальных исследований структуры атомных ядер. При облучении танталовой мишени протонами с энергией 660 МэВ образуются десятки радиоактивных изотопов РЗЭ, а это одна из двух областей таблицы изотопов, где тогда О. Бором, Моттelsonом и др. только что было установлено существование стабильной деформации ядер. Это явление интенсивно изучалось теоретиками и экспериментаторами.

В СССР теорией занимались А. С. Давыдов, Л. А. Слив. Начиная разработку сверхтекучей модели В. Г. Соловьев. Экспериментальных исследований в СССР было немного (трудности получения источников), и исследования ядер, получаемых на синхротроне, стали существенным вкладом в исследования деформированных ядер.

В январе 1956 г. я первый раз приехал в ИЯП для облучения мишени и впервые встретился с В. П. Дзепевым в корпусе напротив (здание, где мы находимся, еще строилось). После первой встречи осталось и сохранилось на всю жизнь впечатление о Венедикте Петровиче как о добром человеке, внимательном руководителе, умеющем четко организовать работу. Для нас — гостей-пассажиров на ускорителе — это было особенно важно.

В 1956 г. танталовые мишени многократно облучались на синхротроне, доставлялись в ИАН. Преображенский разделял продукты реакций по элементам, и фракции РЗЭ поступали для измерений на β -спектрометры в ИАН, ЛГУ, ВНИИМ и Физтех. Спектры γ -лучей изучали в лаборатории Мурина аспиранты Городинский и Покровский. Широким потоком пошла новая, актуальная информация. В январе 1957 г. доклады по этой тематике заняли важное место в программе 7-го ежегодного Всесоюзного совещания по ядерной спектроскопии.

В апреле 1957 г. по приглашению В. П. Дзепова группа ленинградцев докладывала о результатах на семинаре в ЛЯП (уже в этой аудитории). Приведу только один пример результатов того времени. Это схема распада ^{173}Lu из доклада на Второй Конференции по мирному использованию атомной энергии (1958 г.) (Рис. 2). Была установлена вращательная полоса основного состояния ^{173}Yb и одночастичное состояние с $I^\pi = 7/2^+$. Таких схем распада деформированных ядер тогда было построено более двадцати.

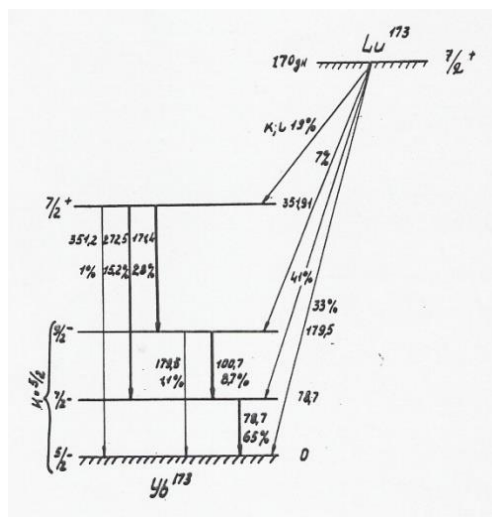


Рис.2

Успех исследований в Ленинграде поставил вопрос об организации исследований здесь, в Дубне. Действительно, доставка облученной мишени в Ленинград требовала в среднем сутки. Этим же пределом (одни сутки) ограничивался и нижний предел периодов полураспада ядер, которые можно было изучать в Ленинграде. Между тем в облученных

мишенях образуются и более короткоживущие ядра. Для изучения их свойств желательно было организовать радиохимию и спектроскопию рядом с ускорителем, и Венедикт Петрович в 1957 г. активно занимался этим.

Надо сказать, что единодушной поддержки разворачиванию исследований по спектроскопии в Дубне не было; были оппоненты, многие считали, что достаточно сильные источники получать на синхроциклотроне нельзя, так как сечения образования ядер-продуктов малы (барны и доли барна), т. е. в сотни и тысячи раз меньше сечений образования ядер в реакциях на циклотронах. Забывали при этом, что толщина мишеней на циклотронах мг/см^2 , в то время как протоны с $E=660 \text{ МэВ}$ сохраняют реакционную способность в мишенях толщиной десятки г/см^2 . Кроме того, на циклотронах вообще нельзя было получать большинство ядер, получаемых при глубоком расщеплении.

Другие полагали, что основное направление исследований в ОИЯИ — это физика элементарных частиц и не следует заниматься структурой атомного ядра в Объединенном институте. Запомнились в связи с этим слова Б. С. Неганова, сказанные им при встрече в первом корпусе во время одного из облучений мишени: «Приготовление радиоактивных ядер на синхроциклотроне подобно стрельбе из пушки по воробьям». На деле оказалось, что получаемые в этих исследованиях результаты — птицы покрупнее воробьев. И кроме того, их много.

В 1957 г. на осенней сессии Ученого совета ОИЯИ Венедикт Петрович выступил с предложением об организации в ЛЯП коллектива, занимающегося исследованиями структуры атомного ядра, и о создании соответствующей экспериментальной базы. Предложение было поддержано членами совета из ряда стран-участниц (Наджаков, Шимане, Шинтльмайстер, Неводничанский и др.). Было принято решение о срочном строительстве временного павильона (барака) для размещения спектрометров из Ленинграда, Москвы и других городов и строительстве здания, за которым закрепилось название РХЛ. Очень быстро, уже во второй половине 1958 г., временный павильон был построен. Там были размещены β -спектрометры, привезенные из ЛГУ, ГЕОХИ, МГУ и ТашПИ, и ученые из этих институтов сразу же приступили к исследованиям. Постепенно формировался коллектив. В Дубну на постоянную работу приезжали советские сотрудники. Активное участие в исследованиях стали принимать ученые из стран-участниц ОИЯИ. За короткое время Отдел ядерной спектроскопии и радиохимии стал самым международным подразделением в Институте.

Хочу здесь отметить серьезное отношение Венедикта Петровича к работе с кадрами. Поясню это на примере. Для работ по ядерной спектроскопии требовалось выделить из облученной мишени и разделить по элементам получаемые ядра. Казалось бы, для этого достаточно взять в штат специалистов, умеющих это делать, а заниматься химией как наукой не надо. Венедикт Петрович понимал, что такой подход не перспективен. На работу принимались химики высокой квалификации. Поддерживались их занятия «чистой» химией. И это дало отдачу. Для ядерной спектроскопии были разработаны методы получения изотопов ряда элементов (не только РЗЭ из танталовой мишени). Разработаны методы получения и использования в прикладных целях радиоактивных изотопов, получаемых на синхроциклотроне и других ускорителях. Работы наших химиков занимают видное место. Вы помните, что совсем недавно в этой аудитории на заседании НТС лаборатории Венедикт Петрович с гордостью сообщил о присуждении В. А. Халкину и Ю. В. Норсееву премии РАН им. В. Г. Хлопина за работы по химии астата.

Строительство здания РХЛ завершено в 1962 г., и в следующие несколько лет в нем была создана хорошая база для экспериментов по ядерной спектроскопии. Прежде всего надо отметить создание радиохимической лаборатории второго класса, позволившей без риска переоблучения персонала работать с высокоактивными (до 10 г-экв. Ra) мишенями.

Были построены большой магнитный α -спектрограф, электромагнитный сепаратор изотопов, несколько β -спектрометров и спектрографов. Мы начали широко применять в исследованиях полупроводниковые γ -, β - и α -детекторы. Для накопления и анализа

информации применялись ЭВМ. Многие знают, как внимательно следил Венедикт Петрович за созданием экспериментальных установок. Он всегда был в курсе работы, на всех этапах от проектирования до запуска. В своих почти ежедневных обходах лаборатории он следил за ходом работ. При запуске крупных установок мог появиться на месте поздним вечером.

У меня нет сейчас возможности сделать полный обзор полученных результатов. Обзорные статьи по нашим результатам были опубликованы в журнале «Атомная энергия» в 1969 г., в журнале ЭЧАЯ в 1974–1975 гг. Недавно на семинаре «50 лет синхроциклотрона ЛЯП» В. Г. Калинин докладывал о наших результатах.

Приведу только несколько примеров. В период до середины 1970-х гг. было открыто более ста новых радиоактивных изотопов. Нуклиды, впервые идентифицированные в ЛЯП ОИЯИ к 1969 году, перечислены в таблице 1.

Таблица 1.

Изотоп	Период полураспада	Литература	Изотоп	Период полураспада	Литература	Изотоп	Период полураспада	Литература
Rb ⁸⁰	8 дней	[4]	Pm ^{140m}	(6±1) мин	[10]	Er ¹⁵⁹	1 ч	[7]
Y ⁸¹	3–5 мин	[5]	Pm ¹⁴⁰	≤ 15 мин	[14]	Tm ¹⁶²	21,5 мин	[16]
Y ⁸¹	20–30 мин	[5]	Sm ¹⁴⁰	(13,7±0,8) мин	[14]	Yb ¹⁶²	26 мин	[16]
Zr ⁸¹	7–15 мин	[6]	Pm ^{141m}	(21±1) мин	[10]	Yb ¹⁶³	~ 13 мин	[10]
Zr ⁸²	(10±3) мин	[6]	Sm ¹⁴¹	(22,5±1,4) мин	[14]	Tm ¹⁶⁴	2 мин	[7]
Sr ⁸³	6,5–10 мин	[6]	Gd ¹⁴⁶	45 дней	[7]	Yb ¹⁶⁴	75 мин	[7]
Sr ⁸³	1,4 дня	[4]	Eu ¹⁴⁶	4,4 дня	[7]	Yb ^{166m}	18 мин	[10]
Zr ⁸⁴	(16±4) мин	[6]	Gd ¹⁴⁷	(35±1) ч	[7]	Lu ¹⁶⁶	(3,3±0,2) мин	[10]
Zr ⁸⁵	(15±4) мин	[6]	Tb ¹⁵⁰	3,5 ч	[7]	Hf ¹⁶⁶	(5,3±0,7) мин	[10]
Mo ⁹⁰	6,4 ч	[4]	Tb ¹⁵³	3 дня	[7]	Hf ¹⁶⁷	(1,9±0,2) мин	[10]
Te ¹¹⁶	2,5 ч	[7]	Dy ¹⁵³	(7±3) ч	[7]	Lu ¹⁶⁷	(55±3) мин	[7]
I ¹¹⁷	10 мин	[8]	Dy ¹⁵⁵	10 ч	[7]	Lu ¹⁶⁹	1,5 дня	[7]
Ce ¹³²	6,3 ч	[9]	Ho ¹⁵⁵	(46±3) мин	[7]	Hf ¹⁷¹	13 ч	[7]
Ce ¹³³	4,2 ч	[9]	Sm ¹⁵⁶	10 ч	[7]	W ¹⁷⁶	(2,5±0,4) ч	[7]
Pr ¹³⁴	1 ч	[7]	Er ¹⁵⁶	12 мин	[15]	Os ¹⁸¹	(2,5±0,4) ч	[7]
Nd ¹³⁶	55 мин	[10]	Ho ¹⁵⁷	18 мин	[15]	Ir ¹⁸³	(60±6) мин	[7]
Nd ^{137m}	55 мин	[11]	Er ¹⁵⁷	24 мин	[15]	Ir ¹⁸⁴	(3,1±0,3) ч	[7]
Nd ¹³⁷	(22±2) мин	[10]	Ho ¹⁵⁸	27 мин	[7]	Pt ¹⁸⁴	(2,6±0,6) ч	[7]
Pr ¹³⁸	(1,5±0,15) мин	[12]	Er ¹⁵⁸	2,5 ч	[7]	Pt ¹⁸⁵	0,5–1,8 ч	[7]
Nd ¹³⁸	5,5 ч	[13]						

Вы видите, что большинство из них короткоживущие (T_{1/2} — минуты и часы). Чтобы дать представление о том, каков был наш вклад в таблицы изотопов, в таблице 2 приведены сведения о числе изотопов, известных в соответствующие годы.

Таблица 2.

Таблицы изотопов		
(Г.Сиборг, И.Перлман, С.Ледерер...)		
5 изд.	(1958)	1321, из них стабильных - 333
6 изд.	(1967)	1524
7 изд.	(1978)	≥2600
8 изд.	(1996)	≥3100

Число изотопов, впервые наблюдавшихся в ЛЯП, составляет несколько процентов от их полного числа в те годы. Обнаружение нового изотопа — это только начало изучения его свойств. Далее надо получить экспериментальные данные о спектрах ядерных излучений, возникающих при его распаде, получить сведения о структуре возбужденных

состояний. Были изучены схемы возбужденных состояний многих десятков ядер. Одна из таких схем распада ($^{159}\text{Yb} - 1,4(2)\text{м} \rightarrow ^{159}\text{Tm} - 9\text{ мин}$) приведена на рис. 3. Десятки γ -переходов размещаются между уровнями ^{159}Tm . Установлены спины, четности, асимптотические квантовые числа возбужденных состояний. Это совсем не самая сложная схема распада среди изученных в ЛЯП.

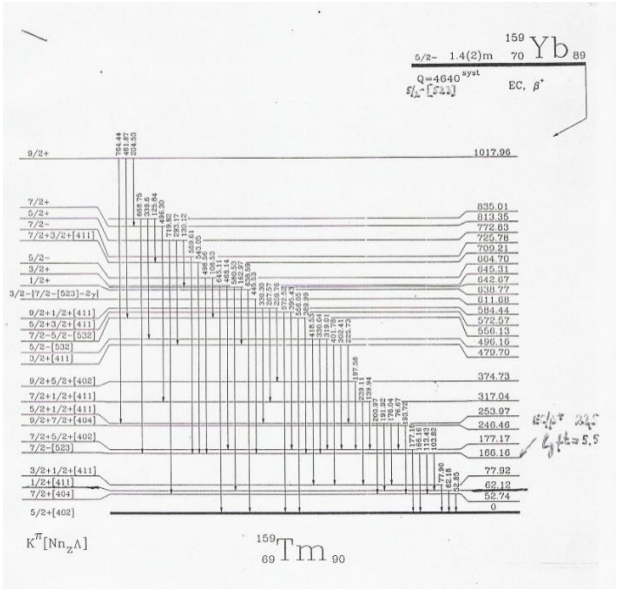


Рис. 3

На рис. 4 систематизированы сведения об уровнях вращательных полос четно-четных ядер РЗЭ. Постоянство энергии первых 2^+ уровней говорит о том, что моменты инерции (или деформация этих ядер) одинаковы. Увеличение энергии на краях свидетельствует о том, что эти ядра находятся на границе области деформации.

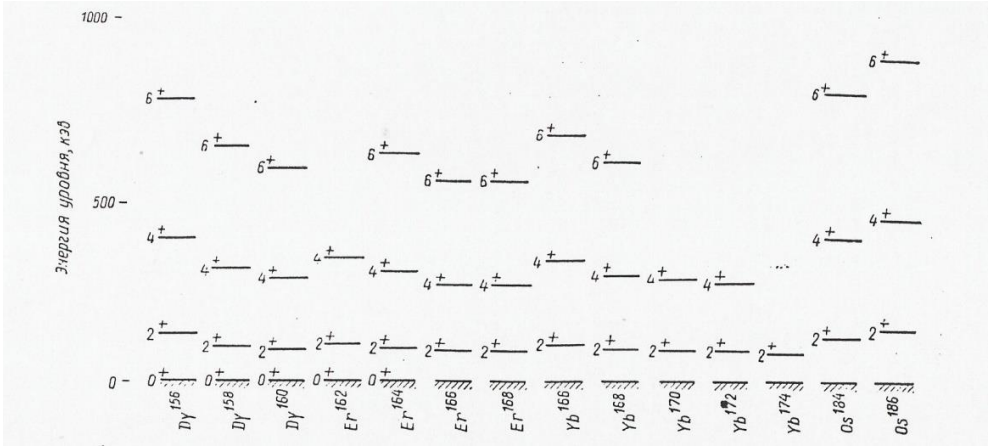


Рис. 4

В ЛЯП впервые наблюдалась тонкая структура α -спектров (α -распад на возбужденное состояние ядра) в области РЗЭ. Один из случаев наблюдения тонкой структуры α -спектров показан на рис. 5. На большом магнитном α -спектрографе наряду с линией, соответствующей распаду ^{151}Tb в основное состояние ^{147}Eu (ее интенсивность $9 \cdot 10^{-5}$ на один распад), наблюдалась линия, связанная с распадом на возбужденное состояние (интенсивность $8 \cdot 10^{-8}$ на один распад).

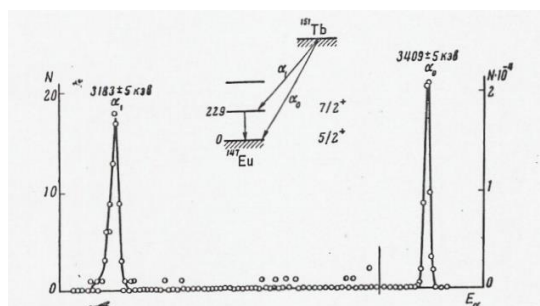


Рис. 5

Продолжалось сотрудничество с учеными из других городов, продолжались поставки изотопов из ЛЯП в эти города. На этой карте (рис. 6) показано, куда производились такие поставки.

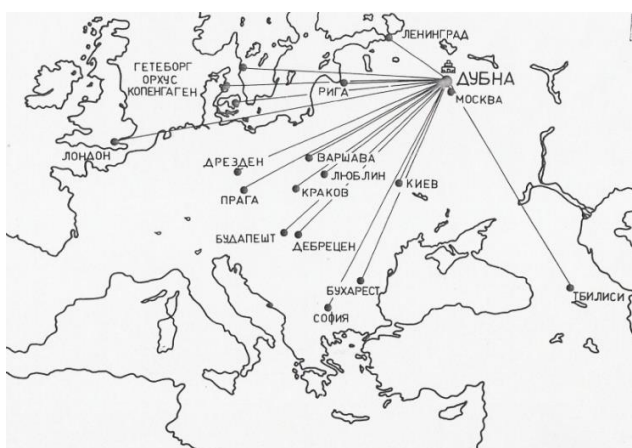


Рис. 6

В 1967 г. в Швеции состоялась первая международная конференция по ядрам, удаленным от полосы β -стабильности. На конференции было показано, что исследование ядер, значительно удаленных от дорожки стабильных, должно выявить новые, ранее не наблюдавшиеся свойства атомных ядер. Удаленные ядра — короткоживущие ($T_{1/2}$ до секунды). Экспериментально это требовало создания специальных (онлайн) экспериментальных комплексов. Развитие таких комплексов пошло по линии сооружения масс-сепараторов изотопов онлайн с мишенью, облучаемой на ускорителе или ядерном реакторе.

В следующие годы в ряде научных центров многих стран (европейском ЦЕРН, Германии, США, Франции, Швеции, СССР (Гатчине, ЛЯР и ЛЯП ОИЯИ)) были построены такие онлайн-экспериментальные комплексы. Первый из них начал работать в 1969 г. на синхротроне в ЦЕРН (установка ISOL). Замечу здесь, что первой широкой программой изучения ядер, удаленных от стабильных, следует считать исследования, о которых я рассказывал (правда, не в онлайн-, а в офлайн-режиме).

Более того, я считаю, что наши исследования в известной степени инициировали создание комплекса ISOL в ЦЕРН. В 1962 г. мне случилось докладывать о наших исследованиях в Институте Нильса Бора в Копенгагене, и у меня тогда сложилось впечатление, что наши результаты были встречены с некоторым недоверием или, точнее, удивлением. Позднее я узнал, что датские химики делали попытки облучать мишени на синхротроне в ЦЕРН, но, по-видимому, у них не было хорошей химии, и эти работы тогда не были продолжены. В 1963–64 гг. было сделано несколько поставок изотопов, полученных на нашем синхротроне в лабораторию проф. О. Б. Нильсена в Копенгагене. Венедикт Петрович нам сильно помог в осуществлении этих поставок, что и тогда было непростым делом, хотя проще, чем теперь. Наш сотрудник В. В. Кузнецов

участвовал в датских экспериментах, по результатам которых было опубликовано несколько работ. Проф. О. Б. Нильсен, опытный спектроскопист, писал мне тогда, что ему не приходилось ранее работать с такими сильными и чистыми от примесей источниками. Проф. О. Б. Нильсен стал потом одним из инициаторов и руководителей проекта ISOL.

Предложение о создании экспериментального комплекса с масс-сепаратором онлайн с пучком протонов было, естественно, сделано и нашим коллективом. Венедикт Петрович это предложение поддержал, но, поскольку в те годы активно проводились работы по подготовке к созданию в ЛЯП мезонной фабрики и ожидалось, что в первой половине 1970-х гг. у нас будет новый ускоритель, было решено планировать работы так, чтобы создать такой комплекс (ЯСНАПП) к моменту запуска нового ускорителя. Далее вы знаете, как развивались события.

Фазотрон был запущен только в 1984 г. Масс-сепаратор ЯСНАПП на пучке фазотрона был готов к этому времени, и на нем развернулись исследования. Хотя мы, по сравнению с установкой *ISOL* (Isolde), опоздали более чем на десять лет, еще были возможности для получения новых сведений о структуре атомных ядер, и они в какой-то степени были реализованы. Потом (в 1994–1995 гг.) начались трудные времена с оплатой электроэнергии, потребляемой ускорителем, и исследования на ЯСНАПП в онлайн-режиме сейчас почти прекратились. В период реконструкции ускорителя и во время подготовки к ней мы принимали активное участие в создании сепаратора изотопов на пучке синхроциклотрона в Гатчине (экспериментальный комплекс ИРИС) и в экспериментах на нем. Был передан наш опыт работы с масс-сепаратором. Эксперименты там проводились с использованием оригинального трубчатого ионного источника с поверхностной ионизацией, разработанного здесь. Группа физиков во главе с В. Г. Калининским систематически участвовала в сеансах.

На этом я заканчиваю свое выступление. Я не называл исполнителей на разных этапах наших работ. Их много, и перечисление их заняло бы слишком много времени, я приношу им всем свои извинения. Отмечу, что по результатам работ защищено более десяти диссертаций на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук в Советском Союзе и несколько — в странах-участниках. Защищено несколько десятков кандидатских диссертаций. Нашим работам неоднократно присуждались премии на конкурсах научных работ в ОИЯИ, наши работы удостоены Государственной премии Узбекской ССР и, как я упоминал, премии РАН им. академика В. Г. Хлопина.

Венедикт Петрович не был соавтором ни одной работы по ядерной спектроскопии. Я сделал одну попытку предложить ему участвовать в написании нашей первой обзорной работы, публиковавшейся в журнале «Атомная энергия» в 1969 г., но получил такой твердый отказ, что не смел делать подобные предложения позднее. Венедикт Петрович участвовал в нескольких работах по применению изотопов в медицине. Прошел год со дня смерти Венедикта Петровича. Трудно привыкнуть к тому, что его нет с нами, что нельзя зайти к нему поделиться успехами, рассказать о трудностях, получить совет и поддержку.

Память о В. П. Джелепове всегда будет жить в наших сердцах.



Владимир Александрович Морозов

Изучение времен жизни основных и возбужденных состояний ядер было одним из направлений ядерно-спектроскопических исследований, проводимых в ЛЯП, начиная с 1959 года. Исследования продуктов реакции расщепления различных мишеней при их облучении протонами на синхроциклотроне ЛЯП были развернуты под руководством Б. С. Джелепова после того, как в работах К. Я. Громова было показано, что активности, получаемые на синхроциклотроне ЛЯП, вполне достаточны для исследований не только на сцинтилляционных γ -спектрометрах, но и на магнитных спектрометрах, которые в те времена совсем не отличались высокой светосилой.

Необходимо отметить, что эти исследования были обусловлены успехами в разделении продуктов реакции по элементам хроматографическим методом, развитым в Радиевом институте в Ленинграде Б. К. Преображенским и в Дубне И. А. Ютландовым, В. А. Халкиным.

В настоящее время приходится только удивляться, насколько оперативно и активно были развернуты эти исследования в конце пятидесятых и в шестидесятых годах — не поднимается рука написать — прошлого столетия. Одно перечисление только некоторых центров, сотрудники которых принимали участие в исследованиях, стоит упоминания: это Радиевый институт АН СССР, Ленинградский университет, ВНИИМ, МГУ, ГЕОХИ, Дальневосточный университет, Ташкентский университет и Политехнический институт, Самаркандский университет, институты Украины и Казахстана. Если к этому еще добавить исследовательские центры стран-участниц ОИЯИ: Польши, ГДР, Чехословакии, Венгрии, Румынии, Болгарии, Китая, Кореи, Монголии, — то картина будет более или менее полной. А когда в отделе этап становления завершился и начались полномасштабные исследования, то были установлены рабочие контакты с Институтом Нильса Бора (Дания), Сассекским университетом (Англия), с ЦЕРН, с Институтом ядерных исследований (Югославия), а также с рядом институтов Франции.

Быстрое развертывание исследований было обусловлено тем обстоятельством, что уже на начальном этапе работы в отдел был доставлен целый комплекс магнитных бета-спектрометров, созданных в Ленинграде и Москве, а привлеченные сотрудники уже обладали значительным опытом в проведении ядерно-спектроскопических исследований.

Нашей группе достался магнитный бета-спектрометр, созданный в ЛГУ Петром Алексеевичем Тишкиным, — так называемая тонкая линза. Эта линза при разрешении в несколько процентов обладала светосилой всего лишь 0,1%, а после модернизации — 0,2%. И тем не менее именно на этом спектрометре были проведены первые измерения времени

жизни первого возбужденного состояния в ^{164}Er , которое оказалось менее 2 нс. Нужно пояснить, что в то время в отделе еще не было многоканальных анализаторов и кривую задержанных совпадений надо было снимать, изменяя линию задержки, точку за точкой.

Это время становления можно было бы назвать периодом “рукоделья”, потому что практически все приходилось делать самим: паять усилители, формирователи, дискриминаторы, блоки питания. Короче, все то, чего не хватало. И все это воспринимали как должное, за исключением одного, только что прибывшего на работу в наш отдел молодого сотрудника из ГДР, который, когда ему предложили взяться за паяльник, отказался, заявив: «Я же физик». Об уровне техники тех лет можно судить по тому, что магнитные спектрометры запитывались от аккумуляторов, изменение тока осуществлялось с помощью мощных реостатов, контроль стабильности — по положению зайчика гальванометра. Процедура сканирования бета-спектра заключалась в переключении курбелей ППТВ на определенный шаг, затем с помощью реостатов осуществлялась подгонка зайчика к нулевому значению гальванометра, и только после этого включалась на определенное время пересчетка ПС-64. Это было шестиразрядное устройство на неоновых лампочках, после выключения которого надо было двоичный код перевести в десятичный, не забыть при этом снять показания механического счетчика и, умножив их на 64, сложить с показаниями индикаторов. Чтобы начать новые измерения, надо было еще поставить и секундомер, и механический счетчик на ноль. И так далее с утра до ночи, а когда надо, то и на всю ночь.

Процедура снятия гамма-спектров на сцинтилляционном спектрометре с помощью дифференциального дискриминатора была чуть проще, потому что не было реостатов, зайчика гальванометра, а число шагов по всему спектру было существенно меньше.

В дальнейшем жизнь экспериментаторов значительно облегчилась, когда стало поступать стандартное оборудование: пересчетки с декадами, электронные секундомеры, многоканальные анализаторы. Первый анализатор, который нам достался, назывался АИ-100, что означало «100-канальный анализатор импульсов». Но отсутствие цифropечатающего устройства, мягко говоря, несколько затрудняло съем информации. Надо было 100 раз нажать на кнопку, которая обеспечивала сканирование по каналам и высвечивала содержимое каждого канала. Как видим, оперативный съем информации требовал по крайней мере двух человек: один нажимал и считывал, другой писал. Так было до тех пор, пока один студент не догадался повесить горизонтальную веревочку от одного края блока до другого (напротив кнопки), после чего, положив ногу на веревочку, уже не пальцем, а ногой можно было нажимать на эту кнопку. Дальнейший прогресс в развитии измерительной техники принес нам 256-канальный анализатор, — опять без цифropечати и с выводом на экране монитора содержимого каналов в двоичном коде. Так что можно представить себе нашу “радость”. Правда, к анализатору прикладывался фотоаппарат “Момент” — прообраз или аналог “Поляроида”, — который позволял получать моментальные отпечатки с экрана.

В первых работах по изучению задержанных совпадений проявил себя Ку За Хек, который прибыл из КНДР и которому принадлежит такое определение качества выделенных радиоактивных препаратов: маленький человек — маленький фон, большой человек — большой фон. При этом подразумевался рост химика, производящего разделение радиоактивных элементов.

Дальнейшее развитие методики поиска и измерения времени жизни изомерных состояний было связано с созданием нового магнитно-линзового бета-спектрометра (МЛС), в основе которого лежала конструкция, разработанная Герхольмом. Спектрометр отличался простотой конструкции, высокой изохронностью траекторий регистрируемых электронов, что позволяло проводить измерения времен жизни уровней в пикосекундном диапазоне,

светосилой, достигающей 5 %, и разрешением от 0,5 до 3,0 %. При создании и отработке методики временных измерений на этом спектрометре существенный вклад внес Т. М. Муминов.



Т. М. Муминов



Магнитно-линзовый спектрометр

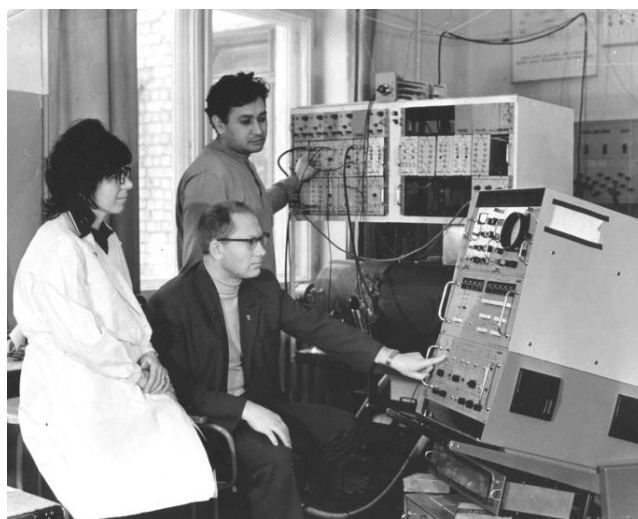
На этом спектрометре впервые была применена система временного контроля аппаратурной стабильности временного спектрометра на основе светодиодов. Она позволила одновременно регистрировать помимо кривой задержанных совпадений также и реперные кривые мгновенных совпадений. Впоследствии этот подход был реализован также в Швеции и Франции. Использование данной методики позволило определить времена жизни первых возбужденных состояний, составляющих несколько десятков пикосекунд в четно-четных изотопах Os. Эти состояния возбуждались при распаде изотопов Ir, выделенных Н. Г. Зайцевой после облучения мишени из золота на синхроциклотроне ЛЯП. Активное участие в этих работах принимал Т. Бэдикэ. Помимо этих работ на первоначальном этапе он участвовал в исследованиях распада ^{164}Tm , которые привели к установлению в деформированном ядре нескольких коллективных уровней типа 0^+ , предсказанных ранее В. Г. Соловьевым.

Кроме спектрометра е- γ -совпадений были созданы также спектрометры γ - γ -совпадений вначале со сцинтилляционными, а затем и с полупроводниковыми детекторами. Сочетание спектрометров е- γ - и γ - γ -совпадений позволило успешно проводить систематическое изучение времен жизни возбужденных состояний ядер в редкоземельной области. Отражением этих успехов может служить защита нескольких десятков дипломных работ, кандидатских — а впоследствии и докторских — диссертаций по данной тематике, причем не только в СССР, но и в странах-участниках.

При реализации на синхроциклотроне ЛЯП проекта ЯСНАПП-1, в котором основное внимание было уделено исследованию короткоживущих ядер ($T_{1/2} < 1$ ч), изучение времен жизни уровней было начато также группой Г. Музиоля. А наша группа начала отрабатывать высокоэффективную методику поиска изомерных состояний ядер, которая в настоящее время привела к созданию и развитию нового направления по поиску короткоживущих ядерных состояний и созданию однокристалльного сцинтилляционного временного спектрометра (ОСВС), позволившего на одном детекторе исследовать задержанные совпадения в нано- и микросекундном диапазоне с радиоактивными источниками в геометрии 4 π .



Умар Салихбаев, Мечислав Будзынски, Роза Йон-Михай, Рустам Усманов, Исабек Холбаев



Р. Йон-Михай, В. А. Морозов, Т. М. Муминов

Дальнейшее развитие получила также методика задержанных совпадений, позволяющая определять времена жизни уровней в пикосекундном диапазоне. Было показано, что для двухдетекторного сцинтилляционного спектрометра задержанных совпадений можно реализовывать одновременный режим регистрации задержанных и реперных мгновенных совпадений, но не с помощью светодиодов, запускаемых от генераторов, как ранее, а с использованием одной оптической линии задержки, которая передает фотоны во встречных направлениях от сцинтилляторов малого объема, состыкованных с фотокатодами ФЭУ и подсвеченных слабыми радиоактивными источниками. Регистрация излучения исследуемого источника производится основными сцинтилляторами. Таким образом, регистрируются два реперных пика мгновенных совпадений и между ними кривая задержанных совпадений от исследуемого источника. Такая система контроля временной стабильности спектрометра задержанных совпадений позволяет определять времена жизни уровней по сдвигу центра тяжести кривой задержанных совпадений вплоть до нескольких пикосекунд.

Другое интересное приложение оптических линий задержки в методе задержанных совпадений относится к прецизионному определению энергий гамма-переходов, регистрируемых полупроводниковыми детекторами. Спектрометр задержанных совпадений в этом случае состоит из сцинтилляционного и полупроводникового

детекторов, а также оптической линии задержки, состыкованной с фотокатодом ФЭУ и сцинтиллятором малого объема, подсвеченного радиоактивным источником, в γ -спектре которого есть интересующие нас реперные гамма-линии. Исследуемый радиоактивный источник размещается на фотокатод ФЭУ в сцинтилляторе типа “сэндвич”. При изучении двумерных E_γ -T совпадений с таким спектрометром появляется возможность разделить одновременно регистрируемые гамма-спектры реперного и исследуемого источников и обеспечить условия прецизионного определения энергии гамма-линий. А проблема корректного вычитания фона под гамма-линией, что существенно в таких экспериментах, решается разработанной процедурой квазидифференцирования гамма-спектра, позволяющей получить антикомптоновский спектр гамма-лучей.

Была также решена проблема определения времен жизни уровней по сдвигу центров тяжести кривых мгновенных и задержанных совпадений при использовании спектрометра с полупроводниковым и сцинтилляционным детектором. Использование и в этом случае оптической линии задержки позволяло одновременно снимать спектры и исследуемого источника, и источника мгновенных совпадений.

Изучение временных свойств ФЭУ различных типов позволило установить роль послеимпульсов, обусловленных ионной обратной связью, в искажении временных распределений и сформулировать критерий, позволяющий минимизировать их влияние на результаты эксперимента. Использование в наших экспериментах детекторов различного типа привело также к необходимости детального исследования временных свойств планарных и коаксиальных германиевых детекторов. Было обнаружено аномальное отклонение центров тяжести кривых мгновенных совпадений, обусловленное наличием мертвого слоя на поверхности детекторов, а также выяснено влияние фронтов импульсов от моноэнергетического излучения на разрешение γ -линии.

И наконец, последним достижением в развитии метода задержанных совпадений явилось создание автокорреляционного однокристалльного сцинтилляционного временного спектрометра задержанных совпадений (АОСВС). Его отличительными чертами являются: большой диапазон измеряемых времен жизни уровней от 4 нс до 200 мкс и высокая чувствительность. Так, минимальная активность исследуемого источника может быть всего лишь несколько беккерелей, что сравнимо с естественным фоном лабораторного помещения. АОСВС в сочетании с германиевым детектором позволяет устанавливать каскадные переходы, связанные с изомерным состоянием интенсивностью в сотые доли процента на распад, и устанавливать Z этого ядра. Поэтому эта методика, во-первых, позволяет проводить поисковые работы даже в тех ядрах, схемы распада которых считаются хорошо изученными, и, во-вторых, ее следует рассматривать как одну из наиболее перспективных для идентификации изомерных состояний при изучении ядер на ISOL-установках.

Существенную помощь в развитии этой методики оказал В. Б. Бруданин. Побочным продуктом этой методики явилось развитие статистического метода анализа формы импульсов нано- и микросекундного диапазона, в основе которого лежит аналоговое формирование временной оси анализатора импульсов при помощи амплитудно-временного конвертера с последующей ее дискретизацией с помощью стандартного АЦП. Таким образом реализуется цифровой осциллограф с ценой канала в несколько пикосекунд. Успешное развитие всего этого направления было связано с активным участием в этой работе И. Н. Чурина, Н. В. Морозовой, Н. А. Лебедева, Ю. В. Норсеева.

Параллельно с изучением времен жизни уровней с середины 60-х годов по инициативе польских сотрудников были начаты работы по исследованию невозмущенных и возмущенных угловых корреляций с использованием сцинтилляционных и полупроводниковых детекторов в спектрометрах γ - γ -совпадений. Начинали эти исследования Я. Ваврышук и Я. Сажински, к которым позднее подключился

М. Будзынски. Они доставили из Польши корреляционную установку и к ней электронное оборудование.



И. Н. Чурин



Н. В. Морозова

Позднее к ним присоединились со своей установкой и сотрудники из Румынии. Были проведены многочисленные эксперименты по определению спинов уровней в короткоживущих ядрах редкоземельной области.

Особенно интересными оказались работы по определению магнитных моментов уровней в нечетных ядрах гадолиния, а также измерения времен жизни возбужденных состояний и изучение угловых корреляций в ^{165}Er , которые позволили определить значение спина одного из двух состояний с разностью в энергии 108 эВ. На основе проведенных Ц. Выловым прецизионных измерений энергий γ -лучей, возникающих при распаде ^{165}Tm , и данных корреляционных измерений была уточнена разность энергий вышеупомянутых уровней и обосновано предположение о существовании в ^{165}Er нескольких дублетных переходов с этой разностью в энергии. В выяснении структурных особенностей возбужденных состояний ^{165}Er большую роль сыграли В. О. Нестеренко и Н. А. Бонч-Осмоловская.



Дальнейшее развитие аппаратуры и модернизация спектрометров были проведены в рамках реализации проекта ЯСНАПП-2. В этой работе особенно много сделали Э. Крупа и

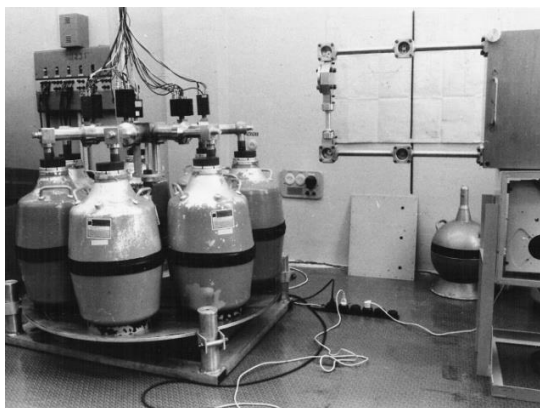
Э. Худайбердиев в плане улучшения электронно-оптических характеристик МЛС и подготовки этого спектрометра к *онлайн*-экспериментам.

А развитие методики исследования угловых корреляций было связано с реализацией предложения И. Адама о создании многодетекторной корреляционной установки МУК с полупроводниковыми детекторами. На этой установке были успешно проведены исследования угловых корреляций ряда короткоживущих изотопов в *онлайн*-режиме на комплексе ЯСНАПП-2. Большую роль в их проведении сыграли Д. Венос и П. Чалоун. Можно отметить, что именно на установках МЛС, а затем и МУК начались первые исследования на радиоактивных пучках комплекса ЯСНАПП-2.

Исследования возмущенных угловых корреляций, как интегральных, так и дифференциальных, были развернуты в начале 70-х годов. Большую роль в развитии этого направления сыграли Христу Фуя и Роза Йон-Михай. Ориентация радиоактивных ядер в этих исследованиях осуществлялась за счет внутренних магнитных полей, а выяснение роли релаксационных процессов — по температурным эффектам в измерениях при комнатной температуре и при температуре жидкого азота.



П. Чалоун и В. И. Стегайлов



Установка МУК

Нами была успешно решена проблема изучения магнитных моментов возбужденных состояний короткоживущих ядер методом задержанных совпадений в *онлайн*-экспериментах путем внедрения радиоактивных ядер в магнитную ленту, которая по мере необходимости обеспечивала последовательную смену источников. В этой работе активную роль сыграли М. Будзынски и О. И. Кочетов.

Развитие всех этих методик, взаимно дополняющих друг друга, позволило на основе проведенных исследований по определению схем распада радиоактивных ядер, установлению спинов и четностей их возбужденных состояний, определению дипольных (магнитных) и квадрупольных моментов состояний в четно-четных и нечетных ядрах, установлению параметров смешивания мультиполей электромагнитного излучения, а также приведенных вероятностей переходов выполнить ряд обобщающих работ, приведших к интересным результатам. Так, в анализе полученных в том числе и в наших исследованиях экспериментальных данных по ℓ -запрещенным $M1$ -переходам было показано, что снятие ℓ -запрета для $M1$ -переходов в ядрах, в которых существенно спаривание нуклонов, определяется спин-орбитальным взаимодействием квазичастиц. Расчеты приведенных вероятностей ℓ -запрещенных $M1$ -переходов в рамках теории конечных ферми-систем позволяет воспроизводить экспериментальные значения с точностью до коэффициента 2. Эта работа была выполнена при активном участии сотрудников Воронежского государственного университета И. В. Копытина, М. А. Долгополова и сотрудницы нашей лаборатории Н. А. Бонч-Осмоловской.

В другой работе проведенный анализ эффектов, связанных с замыканием оболочек и подоболочек в ядрах, привел к обнаружению новых физических закономерностей. Так,

отношение приведенных вероятностей однотипных протонных и нейтронных переходов $M1$ или $M2$ соответствует их одночастичному пределу для ядер, имеющих четно-четный магический кор ± 1 нуклон. Это означает, что электромагнитный переход в нечетном ядре с дважды магическим кором эквивалентен в некотором приближении электромагнитному переходу одиночного нуклона. Интересен также факт наблюдения в нечетном ядре наличия замкнутой оболочки, например, для дырочных состояний и отсутствия ее для частичных состояний и наоборот.

Повышение эффективности работы сотрудников отдела во многом было связано также с целенаправленной работой по расширению научных контактов и обмену информацией как в рамках ОИЯИ, так и с институтами за рубежом. В этом плане следует отметить роль К. Я. Громова, который активно содействовал этому процессу. С самого начала работы отдела в ЛЯП проводились ежегодные совещания по ядерной спектроскопии, участниками которых были сотрудники исследовательских центров Советского Союза и стран-участниц. Большую роль сыграли также заграникомандировки наших сотрудников в институты стран-участниц, а также стран Запада, позволившие им принимать участие в совместных исследованиях и осваивать новые методические направления.

Если подводить итоги проведенных исследований, то следует сказать, что все успехи были связаны с работой увлеченных своим делом сотрудников из разных стран и разных частей Советского Союза, а также примером деятельности тех людей, которые стояли у истоков соответствующих направлений. В первую очередь следует отметить роль Бориса Сергеевича Желепова — организатора и идейного вдохновителя целого научного направления ядерно-спектроскопических исследований на синхроциклотроне ЛЯП, а в плане направления, связанного с изучением времени жизни уровней, — Эммануила Ефремовича Берловича, работы которого всегда служили ориентиром в наших исследованиях.

2006 год



Мария Яковлевна Кузнецова



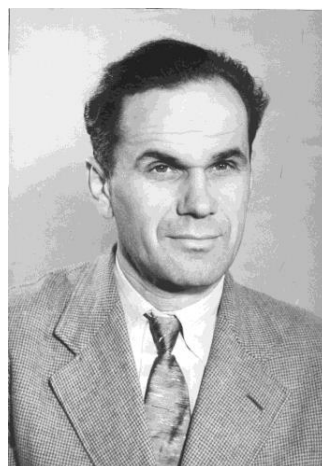
Владимир Алексеевич Халкин

В декабре 1949 г. в Дубне (тогда поселке Ново-Иваньково) был запущен синхротрон, на котором можно было проводить ускорение альфа-частиц, дейтронов, протонов до энергии в несколько сотен МэВ.

В начале 1950 г. начались радиохимические работы по исследованию расщепления ряда атомных ядер под действием этих ускоренных частиц. Работы проводились в двух группах. В одной группе, руководимой Б. В. Курчатовым (братом И. В. Курчатова), работали сотрудники Лаборатории №2 АН СССР (ЛИПАН) (в настоящее время — РНЦ «Курчатовский институт»). Другая группа состояла из сотрудников ГЕОХИ АН СССР и работала под руководством А. П. Виноградова и А. К. Лаврухиной. В качестве физиков в группе Курчатова работали В. Н. Мехедов и я.



Б. В. Курчатов



В. Н. Мехедов

В первых работах проводилось исследование общих закономерностей при расщеплении ядер серебра (в группе Курчатова) и ядер меди (в группе Лаврухиной) под действием ускоренных альфа-частиц, дейтронов, протонов. Исследования эти были новыми, работать было очень интересно.

В 1952 г. в некоторых работах начал участвовать аспирант-химик В. А. Халкин. А в 1955 г., будучи уже кандидатом химических наук, В. А. Халкин прибыл в Дубну в качестве

постоянного сотрудника Гидротехнической лаборатории (потом — Института ядерных проблем, а теперь — Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ).

Химики из ЛИПАНа (затем — Института атомной энергии) к тому времени вернулись в Москву, а Борис Васильевич продолжал еще несколько лет оставаться нашим безотказным консультантом. Наверное, с тех пор началось наше очень тесное сотрудничество с В. А. Халкиным.

Группа наша постепенно пополнялась новыми молодыми сотрудниками: как физиками, так и химиками. Мы продолжали заниматься изучением уже конкретных ядерных реакций, используя радиохимический метод.

В тесном сотрудничестве с В. А. Халкиным мы проработали до начала 60-х годов. В частности, были выполнены работы по изучению ядерных реакций типа (p, xn) , (p, pxn) и $(p, 2pxn)$ и вторичных реакций с вылетом ядер гелия из висмута $Bi[p(\alpha, xn)]At$ и с вылетом ядер лития из свинца $Pb[p(Li, xn)]At$. Анализ полученных результатов позволил предположить, что в механизме простых реакций (p, pn) , $(p, 2p)$ и $(p, 2n)$ преимущественная роль принадлежит процессам прямого взаимодействия с поверхностными нуклонами ядра и что “выбрасывание” надбарьерных фрагментов гелия и лития, по крайней мере частично, осуществляется на более ранних этапах, раньше, чем происходит равномерное нагревание ядра. При изучении ядерных реакций было открыто несколько новых изотопов йода и теллура.

Работали мы с большим интересом, согласованно, относились друг к другу с уважением, никогда у нас не возникало никаких претензий химиков к физикам, и наоборот, физиков к химикам. Все результаты обсуждались в спокойной, дружественной обстановке. При малейшем сомнении в чистоте эксперимента он повторялся.

Владимир Алексеевич был эрудированным человеком, высококвалифицированным химиком, прекрасно разбирался в вопросах физики, тщательно следил за новыми публикациями по интересующим его темам. Был он человеком жизнерадостным и доброжелательным, не лишенным чувства юмора, интересным рассказчиком, приветливым хозяином в своем доме. Работать с ним было легко и интересно, а во время отдыха не приходилось скучать.

Наше сотрудничество продолжалось и в последующие годы, но оно уже не было столь тесным, как это было при изучении ядерных реакций. Благодаря увлеченности наукой, высокому профессионализму, организаторским способностям и доброму отношению к людям В. А. Халкин внес огромный вклад в развитие не только химического сектора, но и всего отдела ЯСиРХ ЛЯП. Заслуги доктора химических наук, члена-корреспондента РАЕН В. А. Халкина перед страной отмечены наградами, благодарностями, именными премиями.

9 ноября 2003 года



Наталья Александровна Бонч-Осмоловская

Впервые мы приехали в командировку в Дубну в первых числах января 1959 года. Мы — это Ольга Евгеньевна Крафт, Аля Басина и я, все физики из Ленинградского университета с кафедры Б. С. Джелепова. Ольга Евгеньевна привезла с собой небольшого объема прибор — спектрометр с 3-кратной фокусировкой, который был построен в Питере. Магнит же для спектрометра был уже переправлен в Дубну. Назвали мы свой спектрометр «кастрюлей».

Нас поселили в лучшую гостиницу того времени, что находилась в 2-этажном доме на ул. Жолио-Кюри (позднее там разместилась редакция институтской газеты). Такой же дом напротив был гостиницей «люкс». Там жили иностранцы. Отличался «люкс» от нашей гостиницы только наличием буфета. Менее уютная гостиница, чем эти две, была на Парковой улице, где потом разместилась административная часть дубненской медицины.

И совсем плохим считалось размещение в коттедже на Черной речке, где было одновременно и общежитие охранников (вблизи моего будущего дома). Впрочем, мы там никогда не жили, нас отпугивала удаленность его от работы. Поскольку измерения шли круглосуточно, близость гостиницы к работе была важна, так как это позволяло прибежать поспать 2–3 часа и рядом, в столовой на площади, позавтракать или поужинать.

Однако в дальнейшем начальник АХО Михушкин всегда пытался вначале поместить нас на Черной речке, быстро смекнув, что мы очень заинтересованы в работе в ОИЯИ. «Не хотите жить на Черной речке — езжайте обратно в Ленинград», — говорил он с едкой улыбкой. И только вмешательство дирекции лаборатории разрешало эту проблему.

Территория ЛЯП («наша площадка») была в те годы еще более зеленой и очень пустынной. Здания ЛТФ, ЛЯР, ЛНФ только строились, да и сам «ЛЯП» еще не расширился. Мы работали в длинном одноэтажном деревянном бараке вблизи 1-го корпуса (в 80-х годах это здание снесли). Мы с Алей свой барак называли «спектральником». Из всех окон открывался вид на лес. По соснам прыгали белки. Было тихо и абсолютно безлюдно. У входа в барак стоял стол для пинг-понга. И, вконец очумев от измерений, можно было выскочить на улицу и немного размяться, погнав мячик.

Работали в бараке практически одни командировочные физики: из Еревана, Ташкента, Москвы, Ленинграда. Со временем приехали аспиранты из ЛГУ Ж. Желев и чета Звольских. Привез свой прибор $\pi\sqrt{2}$ Е. П. Григорьев, на нем работал его дипломник В. Калинин. Постоянных научных сотрудников было всего трое: В. Покровский, И. Ю. Левенберг (Осетинская) и В. Чумин. Примерно через год штат пополнился еще двумя сотрудниками из РИАНа: К. Я. Громовым и В. А. Морозовым.

Покровский измерял γ -спектры на сцинтилляционных детекторах, а Чумин работал на магнитном спектрометре типа «Даниша». Наш прибор поставили в комнату Чумина. Было несколько тесновато, а в жаркую погоду два магнитных спектрометра изрядно накаляли комнату.

В те годы у Чумина работала лаборанткой Оля Говорова. И в спокойные минуты механической работы они замечательно пели дуэтом. Сам же Вадим любил солировать с песней: «В жизни раз бывает 90 лет» (в настоящем тексте было, конечно, 18 лет).



Условия для работы в ту пору в Дубне были блестящие: каждую неделю проводилось облучение. Ускоритель работал прекрасно. Практически не было простоев из-за аварий или каких-нибудь сбоев.

Частые облучения задавали и высокий темп работы: надо было провести опыт, который длился обычно не менее двух суток, потом успеть обработать данные, подготовить задачу на следующее облучение, наладить аппаратуру. К сожалению, последнее у меня отнимало много времени, так как прибор-спектрометр с 3-кратной фокусировкой был хорош по физической идее, но технически выполнен неважно: вакуумные уплотнения заменял пластилин, на выход высокого напряжения на счетчиках запаивались капли пенициллина, но главной бедой были очень тонкие и большие окна на счетчиках, которые изготовлялись вручную. В таз наливалась вода, поверх воды какая-то жидкость, сияющая всеми цветами радуги, и надо было большой рамкой (примерно 10 x 3 см) подцепить это «сияние» так, чтобы не было дырок. Затем рамки вешались на просушку, и далее надо было перенести эту тончайшую пленку на окошко счетчика. Через какой-то срок (год или два) я вышла на московский институт кинопроизводства, откуда получала тонкие пленки из лавсана. Жить стало легче.

В первый раз я приехала вместе с О. Е. Крафт, а через месяц она уехала, так как преподавала в ЛГУ. И крутиться приходилось в одиночку, разрываясь на все «фронты», а во время измерений обходиться почти без сна. Ни о каких выходных днях не могло быть и речи, а рабочий день длился не менее 12 часов. Но энтузиазм был потрясающий! Все было неизведанное, интересное, каждый опыт приносил новые результаты, и мы «горели» на работе.

Помнится, лето 1959 г. было очень жарким. В нашей солнечной комнате, подогреваемой еще жаром двух магнитных спектрометров, нечем было дышать. И утром, идя на работу, мы говорили, что в обед сбегаем искупаться. Но наступал обед, и не было времени, как и в конце рабочего дня в 17 часов. И по дороге домой часов в 10 была одна мысль – скорее добраться до кровати. Впрочем, зимой на лыжах нам удавалось иногда бегать, чаще после конца измерений. И когда я возвращалась домой в Питер, то было одно

желание – выспаться в поезде, чтобы хоть попрличнее выглядеть, когда войдешь в дом. Часто в поезде, когда состав уже стоял на перроне в Питере, проводник с трудом мог растолкать меня: «Вставайте, а то поезд уйдет в депо».

Следующий месяц после Дубны мы проводили в ЛГУ: более фундаментально обрабатывали результаты, детальнее анализировали их, писали статьи. А потом опять в Дубну на месяц. В Дубне нам давали талоны на обед. Впрочем, их давали тогда всем, даже плотникам, и только потому, что их корпус стоял недалеко от ускорителя. Обеды были очень обильны и вкусны. Поначалу мы не могли их даже осилить. Столовая помещалась тогда в корпусе, где работает теперь группа Неганова. Заведующая столовой, полная и приятная дама, подходила к нам, обнимала за плечи и тихо спрашивала: «Вам вкусно?». Да, нам было очень вкусно, готовили прекрасно, особенно супы, что редко бывает в столовых.

Примерно через год в Дубне мне дали помощницу – физика-китайку Чжоу Юэва (мы ее звали Евой). Это была очень умненькая и способная девушка, канувшая в неизвестность во времена «культурной революции» в Китае. Как говорили, их помещали на родине в резервации для выветривания даже небольшого духа свободы, что был в СССР в период первой «оттепели». До отъезда Евы мы дружно с ней работали. Она была самоотверженным и вдумчивым работником. Иногда она говорила: «Сегодня я уйду рано, мы разучиваем песню о Мао Цзэдуне» (или на другое мероприятие в том же духе). Но после «песнопения» она всегда возвращалась в лабораторию, чтобы отработать пропущенное время.

В те годы в ЛГУ училось много студентов из соцстран. Более всего было китайцев. Кроме нашей стипендии, все иностранные студенты получали пособия из своих стран. И только китайцы отказались от родного пособия. Как они ухитрились жить на одну нашу стипендию? Уму непостижимо. Самоотверженные были ребята-китайцы, дисциплинированные и очень идейные.

Мои поездки в Дубну продолжались 2 года. В 1961 г. их пришлось прекратить, так как моя дочь стала часто болеть и при обследовании у нее обнаружили хроническую пневмонию. Было настоятельно рекомендовано вывезти ее на свежий воздух. Все попытки поменять нашу комнату на ближние городки под Ленинградом, а заодно и получить сухое жилье, успеха не имели.

На работе в ЛГУ ситуация тоже была безрадостная. Мы с моим коллегой П. П. Лебедевым построили такой же по идее прибор, на котором я работала в Дубне, но технически выполненный более совершенно. Однако измерять на нем было нечего...

Раз в месяц из Дубны привозили радиоактивные источники, но наши химики при их обработке часто терпели неудачу. Методика не была отлажена, и снова начиналось томительное бездействие. После динамичной работы в Дубне это было ужасно.

И вот все эти сложности и неприятности подводили к мысли — надо уезжать в Дубну насовсем. Мой муж приехал в 1962 г. к Векслеру и сразу был принят на работу в ЛВЭ старшим научным сотрудником. Все свершилось. Ну а мне, очевидно, был уготовлен путь в мой родной «спектральник». Однако В. П. Джелепов принципиально не брал на работу женщин-физиков.

В большом научном коллективе ЛЯП работали тогда три женщины-физика: Таня Блохинцева, Софа Биленькая и М. Я. Кузнецова, пришедшая «от самого Курчатова». Скрепя сердце, В. П. внял рекомендациям своего брата Б. С. Джелепова относительно меня и обещал взять на работу, но «потом, потом», когда будут ставки. К тому же В. П. вообще не любил наш отдел и не хотел тратить деньги и ставки на чуждую ему тематику. Но с нами приходилось считаться, так как именно в нашей тематике в те годы были наиболее заинтересованы специалисты всех соцстран. Наш отдел был самым интернациональным в ОИЯИ: примерно до 80% его составляли сотрудники-иностранцы. Ну а «советскоподданных» после меня были приняты единицы, да и то двое из них (Стегайлов и Бутцев) — бывшие освобожденные секретари комсомола ОИЯИ, которые после переизбрания имели право выбрать любую лабораторию и отдел Института.

Итак, моя семья перебралась в Дубну в 1962 г., а весной 1963 г. я была зачислена в штат ОИЯИ. К этому времени было построено новое здание, и все сотрудники переместились в него из барака. К моменту своего поступления в ОИЯИ я, конечно, совершенно не имела понятия о сложностях со ставками. Все выяснилось потом.

В принципе, мне предлагалось работать с Чуминым на α -спектрометре. Но одновременно Борис Сергеевич Желепов посоветовал мне заняться запуском «элотрона», камера которого и магнит к нему уже стояли в 114-й комнате. «Элотрон» — это магнитный γ -спектрометр, регистрация в котором осуществлялась по электронам отдачи. Мне эта работа показалась живее, и я согласилась, чем очень обидела Чумина. Правда, вскоре ему дали дипломника Н. Головкова, который и остался далее работать на α -спектрометре.



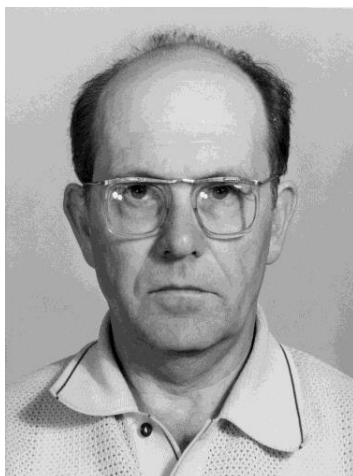
В те годы было принято брать «соцобязательство», согласно которому я должна была запустить «элотрон» к новому 1964 году. И работа закипела. Дирекция выделила мне бригаду механиков, электриков и т. п. Был дан даже персональный конструктор — В. И. Сидорова. «Элотрон» представлял собой еще пустую камеру, которую надо было начинить всем необходимым. Работы было тьма, и я уходила домой не ранее 11 часов, чтобы только переночевать дома. Но меня захватывала такая бурная работа.

Итак, в последних числах декабря 1963 г. прибор был готов, и тут пришел К. Я. Громов и... принес оттиск статьи из Канады об открытии Ge(Li)-детекторов. Бутылку шампанского мы все же разбили об «элотрон», далее я сделала на нем ряд методических задач, но через несколько месяцев в чешской группе в ЛНФ под руководством Я. Урбанца появился спектрометр с Ge(Li)-детектором, которым они любезно разрешили пользоваться сотрудникам нашего отдела.

И стало ясно, что век магнитных γ -спектрометров закончился...

Я не жалела о проделанной как бы «зря» работе над «элотроном». Мне нравилась эта бурная работа, да и чего жалеть, когда появились такие замечательные γ -спектрометры с еще невиданной разрешающей способностью, открывающие новую эру в спектроскопии.

1995 год



Всеволод Михайлович Цупко-Ситников

Эти воспоминания написаны в свободном стиле и не претендуют на абсолютную точность и полноту освещения всех проблем и роли всех специалистов в их решении. Они излагаются с позиций человека, занимавшегося проблемами электроники и автоматизации, и, хотя он был тесно связан с задачами отдела и его людьми, его изложение, безусловно, субъективно. Я заранее прошу извинения у тех, кто не упомянут или имеет иную (возможно более точную и правильную) точку зрения.

В 1966 г., когда я начал работать в научно-экспериментальном отделе ядерной спектроскопии и радиохимии (сокращенно РХЛ, а всех нас без различия называли в лаборатории "химиками"), он представлял собой вполне сложившуюся научную лабораторию со своей тематикой, аппаратурой и молодым, но квалифицированным и работоспособным коллективом. Отдел имел широкие международные связи и привлек к работе молодых специалистов из стран-участниц ОИЯИ. Этому способствовали и возможность получения сильных радиоактивных источников на синхроциклотроне, и радиохимия для их выделения, а также наличие разнообразных магнитных спектрометров, спектрографов и другой аппаратуры, методик для исследования спектров радиоактивного излучения ядер.

Кроме того, важным моментом была рабочая творческая атмосфера, доброжелательное отношение, понимание и поддержка всех, кто хотел работать, вносил идеи или просто добросовестно трудился. Решающую роль в создании такой обстановки играл начальник отдела К. Я. Громов.



К. Я. Громов



В. В. Кузнецов

Однако были и проблемы. Магнитные спектрометры и спектрографы нуждались в автоматизации измерений. Недавнее (1964 г.) появление полупроводниковых детекторов (ППД) открывало совершенно новые возможности для гамма-спектрометрии. Ожидалось резкое увеличение объемов спектрометрических данных, а стало быть, возникали проблемы массовых измерений, накопления и обработки информации.

Руководство отдела понимало все это, и было решено создать группу электроники и автоматизации, которая должна решать обозначенные проблемы применительно к специфике исследований в области ядерной спектроскопии. В решении этой задачи начальнику отдела К. Я. Громову активно помогал физик В. В. Кузнецов, бывший в то время секретарем партгруппы в отделе. В отделе уже работал В. И. Фоминых — специалист в области электроники, который создал несколько спектрометров с ППД.

Группа электроники и автоматизации начиналась с нескольких человек и со временем выросла в сектор, где иногда собиралось 20–25 сотрудников: физиков, инженеров, техников, механиков, лаборантов и монтажниц. И всегда это был интернациональный коллектив, в котором работали специалисты из Болгарии, Германии, Венгрии, Монголии, Польши, Чехословакии и Советского Союза.

В то время в ОИЯИ уже был определенный опыт автоматизации спектрометрических измерений. В здании циклотрона ЛЯП находилось несколько многоканальных анализаторов, позволявших измерять спектральные распределения. В ЛНФ существовал достаточно развитый измерительный центр, созданный на базе многоканальных анализаторов советского производства АИ-4096 «Тензор».



Е. Т. Кондрат и АИ-4096 «Тензор»

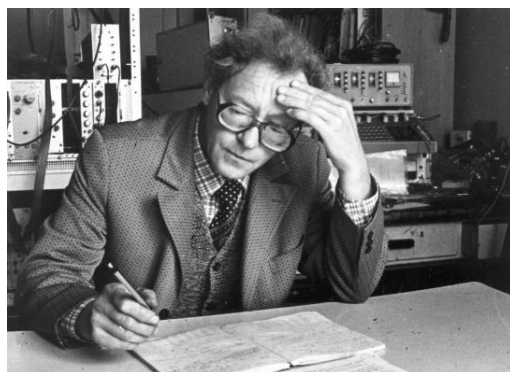
В 1967 г. была образована Лаборатория вычислительной техники и автоматизации (ЛВТА), где шло успешное освоение вычислительной техники. Уже становилось ясно, что в обработке спектров надо переходить от привычных "ручных" методов к обработке на ЭВМ. В ЛВТА разрабатывалась аппаратура связи ЭВМ с многоканальными анализаторами. На ЭВМ "Минск-2" в ЛВТА совместно с сотрудниками ЛНФ был создан "анализаторный режим", т. е. стойка, включавшая аналого-цифровой преобразователь (АЦП), блок связи с машиной, был подключен "осциллограф со световым карандашом" (ОСК). Он обеспечивал не только визуализацию спектров (что совершенно необходимо для наладки и контроля работы), но и возможность различных манипуляций над спектрами. Это позволяло вести их элементарную обработку и подготовку к машинному анализу с помощью специальных программ. Такие технические возможности даже опережали спрос на них в Институте.

Один из создателей ЛВТА, профессор Г. И. Забиякин, с которым у нас были дружеские отношения со студенческих лет, предложил нам использовать эти возможности. У нас не было практически ничего, и это предложение показалось заманчивым. Расстояние между отделом, где находились ППД-спектрометры, и ЭВМ "Минск-2" в ЛВТА составляло

700 метров. Мы загорелись, протянули кабель и стали использовать "Минск-2" как многоканальный анализатор. Эффект был поразительным, несмотря на неудобство отдаленного размещения аппаратуры. Позже в маленьком чулане недалеко от "Минска" мы поставили ППД-спектрометр и стали проводить измерения. Мы поняли, какие огромные возможности заложены в применении ЭВМ в спектрометрии. И это определило на много лет вперед направление нашей работы.

Для ЛВТА "Минск-2" не представлял ценности: довольно старая транзисторная машина, занимавшая большой зал, с памятью в 4096 36-разрядных слов и "быстродействием" в 32 тысячи операций в секунду. Свою роль "испытательного полигона" она сыграла. Найдя в нас горячих и заинтересованных потребителей, дирекция ЛВТА предложила взять машину к нам в отдел. Заманчивое и пугающее предложение. Но многие физики: начальник отдела К. Я. Громов, В. В. Кузнецов, И. Звольски, Ж. Желев, В. А. Морозов, З. Стахура и другие, — поработав в новых условиях, оценили огромные возможности ЭВМ.

В 1967 г. на банкете по случаю защиты К. Я. Громовым докторской диссертации мы вышли с таким предложением к директору ЛЯП В. П. Желепову. Обстановка была подходящей, директор согласился. Но возникало множество проблем: кадры для обслуживания, помещение. Мы пригласили на работу М. И. Фоминых — специалиста по ЭВМ. Были и сомнения: справится ли одна женщина с такой задачей?



В. И. Фоминых



М. И. Фоминых

Но Майя Ивановна оказалась для нас замечательной "находкой". Она быстро освоила машину, еще находившуюся в ЛВТА. Инженер из ГДР З. Зайдлер был подключен к системе связи внешних объектов с ЭВМ и СК. Руководство отдела во всем шло нам навстречу: и по кадрам, и с помещением. А. В. Ревенко (опытный техник-механик) освоил внешние устройства ЭВМ. Е. Т. Кондрат, А. В. Ревенко и механик В. Е. Савин активно участвовали в подготовке площадей для размещения оборудования. Пришлось делать зал, фальшпол, прокладывать каналы для многочисленных кабелей связи между стойками машины и внешними устройствами. Добавили к машине еще "куб" памяти на 4096 каналов. Все это кажется ничтожным и жалким в сравнении с современными ПК: миллионы слов оперативной памяти, миллиарды на дисках, огромная производительность, в тысячи (и даже миллионы) раз превышающая то, что имели мы тогда. И при этом — ничтожные размеры! Но в то время — для нас — это был новый мир с огромными возможностями.

Однако у нас отсутствовал опыт, не было аппаратуры, например аналого-цифровых преобразователей на 4096 каналов, которые необходимы для реализации возможностей ППД. И тут мы использовали опыт ЛНФ, ЛВТА, отдела электроники ЛЯП.

М. И. Фоминых — человек больших и разнообразных способностей — помимо ведения всей ЭВМ, расширения ее памяти и создания новых режимов работы, взяла на себя и программное обеспечение работы всей техники, базирующейся на машине. В обслуживании машины Майе Ивановне в течение многих лет помогала оператор Мария

Чигакова (Чехословакия). Много лет добросовестно трудились в нашем коллективе лаборантки-чертежницы Кристина Зайдлер, Эрика Бреттер (ГДР) и Алтан Даваа (Монголия).

Направления своей деятельности мы выбирали, находясь в постоянном контакте с физиками отдела. Особенно следует отметить роль Иржи Звольски, с которым мы обсуждали все проблемы и шаги, привлекали к сотрудничеству специалистов из других подразделений ОИЯИ. Знания и обаяние И. Звольски во многом способствовали продвижению многих наших начинаний.



К. Я. Громов и И. Звольски

Помимо обеспечения "одномерной" гамма-спектрометрии были поставлены задачи создания корреляционных измерений с помощью нескольких ППД или сцинтилляторов. Для таких измерений необходимо иметь несколько АЦП на 4096 каналов и большие объемы памяти для регистрации обширной информации. АЦП нам помог сделать один из их разработчиков — В. Г. Тишин, работавший в ЛНФ. Первые режимы гамма-гамма-совпадений на базе "Минск-2" (с цифровыми окнами) мы осуществили совместно с сотрудниками ЛНФ и ЛВТА Г. П. Жуковым, В. Г. Тишиным, Ф. Дудой, З. В. Лысенко и В. И. Приходько. С нашей стороны в этих работах активно участвовали В. И. и М. И. Фоминых.

Со временем на базе "Минск-2" был создан целый комплекс для многомерных измерений и обработки информации. Сюда вошли гамма-гамма-совпадения, угловые корреляции гамма-квантов и временные гамма-гамма- t -измерения. В создании этих систем участвовали физики В. А. Морозов, Т. М. Муминов, Я. Ваврышук, В. В. Кузнецов.

В течение нескольких лет в нашей группе работал польский физик из Люблина Мечислав Будзынски. Он приехал уже сложившимся специалистом и непосредственно занимался непростой методикой исследования гамма-гамма угловых и возмущенных угловых корреляций. Мечислав выделялся необыкновенным трудолюбием и работоспособностью, работал без выходных, с утра и до ночи и очень много успел сделать. Уже дома он успешно защитил докторскую диссертацию и стал директором своего института. С ним успешно работали специалисты из Польши Я. Сажински, Э. Крупа и аспирант из Ташкента, а ныне один из ведущих сотрудников отдела О. И. Кочетов.

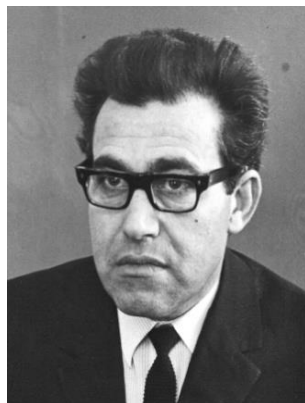
Ограниченные возможности техники регистрации стимулировали творческую инициативу и заставили нас искать способы сжатия данных. Был предложен и осуществлен ряд режимов регистрации с применением методов сжатия, которые позволяли сохранять "полезную" информацию при сокращении общего объема данных в десятки и сотни (а иногда и тысячи) раз. Также ограниченность памяти ЭВМ для многомерных измерений привела к тому, что 36-разрядное машинное слово "Минска-2" разбивалось на 4 "этажа" по 9 бит, что позволяло увеличить объем памяти в 4 раза.

В. И. и М. И. Фоминых были созданы режимы и программы обработки двумерных спектров гамма-гамма-совпадений, позволявшие с помощью ОСК автоматизировать все этапы обработки. При этом ряд наших разработок был признан изобретениями. И в 1972 г. В. И. Фоминых успешно защитил кандидатскую диссертацию по теме «Многомерные измерения на базе ЭВМ "Минск-2" в задачах ядерной спектроскопии».

В течение нескольких лет с нами работал известный болгарский специалист в области электроники Славко Орманджиев. Этот человек отличается высочайшим профессионализмом в сочетании с большим творческим потенциалом. Только на его личном счету было свыше 20 изобретений. Успешно работала в группе супружеская пара – инженеры из Болгарии Станчо и Надя Станчевы.



С. Орманджиев



С. Станчев



Н. Станчева

В конце 60-х гг. в отделе появился Васил Гаджоков — талантливый болгарский математик, программист и специалист по обработке спектрометрической информации. Он привез программу КАТОК и адаптировал ее для нашей машины.

К возможности машинной обработки сложных спектров физики отнеслись очень недоверчиво. Наш коллега-физик из Кракова Збигнев Стахура подготовил тест — так называемый "пример Стахуры". Он "синтезировал" участок спектра, в котором сложно перекрывались несколько пиков, причем так, что вообще было неясно, сколько пиков на участке. Этот пример было предложено решить программе КАТОК. И она блестяще справилась, найдя все 6 заложенных туда пиков и восстановив их параметры.

Для эффективного использования программы КАТОК необходимо было отмечать участки с несколькими пиками и задавать начальные приближения — примерное положение пиков на участке, причем не обязательно всех. Этот процесс был автоматизирован на базе ОСК. Спектр последовательно выводился на экран, "карандашом" отмечались границы участков и пики на них. Информация запоминалась, и в дальнейшем весь массив обрабатывался в автоматическом режиме.



Васил Гаджоков

Это был знаменательный момент: физики поверили в машинную обработку спектров, и в дальнейшем разнообразные возможности "Минска-2" получили такой спрос,

что пришлось составлять расписание работы, делить время. Среднесуточная наработка "Минск-2" составила 22 часа. Нам не хватало времени на обслуживание и ремонт. И тут были проблемы: старые цифропечати, магнитофоны с широкой лентой — все требовало постоянного ухода. Детали и запчасти мы добывали по всему Советскому Союзу.



ЭВМ «Минск-2»



Гейнц Элер

Если физики для своей работы нуждались в программах, способных обеспечить высокую надежность и точность обработки с получением строго обоснованной погрешности, другие направления, например быстрая радиохимия, основным требованием ставили экспрессность обработки, то есть работу в "реальном времени". В отделе работала большая интернациональная группа радиохимиков под руководством В. А. Халкина, обеспечивавшая быстрое выделение из облучаемых на синхроциклотроне ЛЯП мишеней фракций изотопов, в том числе и короткоживущих, для физических исследований. Именно успехи наших радиохимиков-новаторов в своей области определяли возможности для физиков. Необходимо было наладить на ЭВМ экспрессную обработку серий гамма-спектров, накапливаемых в процессе химических процедур для отработки методик и их контроля. Этой проблемой занималась группа (сектор) Гейнца Элера. Сам Г. Элер, его аспирант П. М. Гопыч (ныне доктор наук) и Г. В. Винель разработали методы быстрого поиска пиков и подгонки их параметров. На этой базе были написаны программы экспрессной обработки гамма-спектров для радиохимиков на "Минск-2". В этой работе принимали участие У. Фромм и Л. А. Вылова. Проблемой экспрессной обработки спектров в нашей группе также занималась Э. Рупп. Тут тоже шло постоянное и тесное сотрудничество М. И. Фоминых с разработчиками программ, радиохимиками, с Н. Г. Зайцевой, Ю. В. Норсеевым, А. Ф. Новгородовым и рядом других специалистов. Надо сказать, что простые и достаточно надежные экспрессные методы обработки получили спрос во многих организациях, ведущих прикладные исследования. И мы передавали эти программы в другие институты и организации.

Для исследования спектров конверсионных электронов в отделе наряду с разнообразными магнитными спектрометрами (с электронной регистрацией информации) широко использовались и магнитные спектрографы, где спектры электронов регистрировались на фотопластинках. Эффективность этих приборов ограничивалась трудоемкостью обработки спектрограмм — фотометрирование вручную плотности почернения на микрофотометре. Была и проблема точности такой обработки. Мы взяли решиться эту задачу.

В работе на разных этапах принимали участие В. И. Приходько (ЛНФ), студент-дипломник из Томска Ф. В. Левчановский (сейчас кандидат наук, сотрудник ЛНФ), Мария Потемпа (Краков) и Г. А. Кононенко, завершивший работу созданием действующего автоматического микрофотометра (АМФ) и методики надежной обработки спектрограмм. Это была кандидатская работа Г. А. Кононенко. Работы по прибору и методикам велись в

тесном сотрудничестве с узбекскими физиками А. А. Абдуразаковым, Т. А. Исламовым, А. Х. Холматовым, А. А. Тангабаевым, А. Караходжаевым. Прибор работал на линии с ЭВМ. Новую механику для него сделали А. В. Ревенко и сотрудник ИЯФ Латвии В. А. Залите. На базе измерений этим прибором было выполнено много физических работ и издан "Атлас спектров электронов внутренней конверсии нейтронодефицитных радиоактивных нуклидов в области $A=131-172$ ". Прибор использовался для измерения распределения активности на приемном устройстве масс-сепаратора и для обмера яркости "колец" черенковского излучения.

В 1968 г. в отдел пришел молодой болгарский физик Цветан Вылов. Он сразу зарекомендовал себя как самостоятельный, целеустремленный и исключительно работоспособный человек. Ц. Вылов пошел своим путем и создал направление «Прецизионная спектрометрия гамма- и бета-излучения». Будучи вначале совсем один, он взял на себя предоставленный отделу узбекскими физиками многоканальный анализатор TRIDAC, на порядок превосходивший по стабильности имевшуюся у нас аппаратуру. Со временем Ц. Вылов собрал вокруг себя молодых физиков, привлек к тесному сотрудничеству группу отдела, занимавшуюся полупроводниковыми детекторами (ППД), и, используя возможности ускорителя и масс-сепаратора, наладил систематические прецизионные измерения спектров гамма-излучения всех доступных радиоактивных изотопов, которые можно было получать на синхроциклотроне ЛЯП.

Этому предшествовала кропотливая работа по созданию нормалей линий гамма-излучения, которая обеспечила точную энергетическую калибровку спектров гамма-излучения. Без такой калибровки изучение сложных спектров гамма-лучей, содержащих до 500 линий, было бы просто невозможно.

На базе этих измерений были изучены свойства и структура десятков радиоактивных ядер. Более того, Ц. Вылов с коллегами (фактически большой международной коллаборацией) составил и издал в двух томах атлас спектров радиоактивных нуклидов. Первый том посвящен свойствам ППД и технике работы с ними, а также прецизионной спектрометрии на их базе, плюс содержит таблицы гамма-линий с энергиями и интенсивностями в измеренных спектрах. Второй том – собственно атлас спектров радиоактивных изотопов, ставший просто настольным пособием для спектрометристов, занимающихся гамма-спектроскопией. Это была подвижническая, титаническая работа, давшая прекрасные результаты.

Со временем на заложенной Ц. Выловым базе выросли новые направления исследований, активно проводимые отделом сейчас. Это прецизионные исследования в области поиска и определения массы нейтрино, сложные измерения корреляции испускания ядрами нейтрино с бета-излучением, прецизионные измерения спектров бета-излучения в низкой области энергий с разрешением в несколько электронвольт.

Выросли и ученики Ц. Вылова: В. Б. Бруданин, В. М. Горожанкин, В. Г. Егоров, — ставшие руководителями указанных новых направлений исследований. Но все это заслуживает отдельного подробного рассказа.

Шло время, приходила в институт новая вычислительная техника. Вместе с тем стало ясно, что возможностей "Минск-2" и второй появившейся в отделе из ЛВТА машины — более новой модели "Минск-22" (у которой был свой штат во главе с опытным инженером Е. Б. Озеровым) — уже было недостаточно. На базе ЭВМ НР-2116-С в измерительном центре при синхроциклотроне ЛЯП, который к тому времени был укомплектован многоканальными анализаторами АИ-4096 ("Тензор") и вычислительными машинами более высокого класса, чем "Минск", сотрудниками нашей группы и отдела: физиками, инженерами и специалистами из отдела электроники ЛЯП — была создана эффективная система трехмерных гамма-гамма- t -совпадений уже с регистрацией всей информации и записью из буферов ЭВМ на ее магнитные ленты. Эта система по принципу была выполнена на уровне, который уже в наше время можно назвать вполне современным.

В ее создании принимали участие сотрудники отдела В. И. Гилев, М. Гонусек, Я. Липтак, Р. Луцински, Т. М. Муминов, С. Орманджиев.

Помимо "генеральной линии" на автоматизацию нам приходилось выполнять и отдельные текущие работы. При создании масс-сепаратора отдела над его блоками много потрудились А. В. Ревенко, а опытная радиомонтажница В. И. Новикова выполнила большой объем монтажных работ. И вообще, Валентина Ивановна за многие годы смонтировала большую часть всех наших систем. Успешно и очень самостоятельно работали над автоматизацией магнитного спектрометра инженеры из Чехословакии Владимир Бон и Ярослав Черны.

Узким местом была обработка спектров на машинах "Минск-2" и "Минск-22". И большую проблему составляла обработка спектров многомерных измерений в режиме записи всей информации. В ЛВТА появились машины СМ-3, М-4 и БЭСМ-6 с более высоким быстродействием и большой по тем временам оперативной памятью (500–1000 кбайт). В Институте созрела и стала реализовываться концепция многоуровневой системы сбора и обработки информации. Система начиналась с измерительных центров в лабораториях, оснащенных многоканальными анализаторами (МКА) и доступными ЭВМ, и завершалась измерительным центром в ЛВТА, куда поступали новые, более мощные машины. Создавались линии связи и локальные сети. Все самодельное: время стандартов в этой области еще не пришло.

Для работы на новых ЭВМ надо было создавать и новые программы. У нас за эту задачу взялся математик из Болгарии Станислав Аврамов. В сотрудничестве со специалистами ЛТФ и ЛВТА, в частности Любомиром Александровым, был разработан комплекс программ, обеспечивавший обработку сложных спектров на СМ-4 и БЭСМ-6. В этой работе принимала участие Е. В. Сосновская из Соснового Бора, которая, доработав комплекс к потребностям и условиям на АЭС, внедрила его у себя на станции.

Мы проложили линию связи и передавали с "Минска" предварительно размеченные спектры, которые обрабатывались на более мощных машинах гораздо быстрее. Со стороны ЛВТА в этих работах участвовала Л. С. Нефедьева со своей группой.



Л. Александров



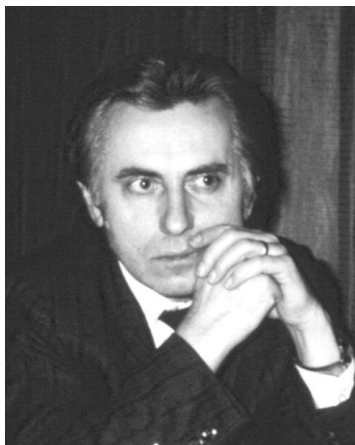
Л. С. Нефедьева

В конце 70-х гг. к работе над новыми программами подключились два аспиранта из МИФИ — А. А. Бялко и А. К. Чураков. А. Бялко было предложено проработать идею построения схем распада на базе нового подхода — математического (и логического) анализа матрицы гамма-гамма-совпадений. Он блестяще справился с этой задачей, найдя путь строго математического анализа матрицы совпадений, обоснованный тремя теоремами. К сожалению, тогда на базе имевшихся ЭВМ создать программу для реализации этой идеи не удалось.

Мы вернулись к проблеме через 15 лет. Приехавший из Чехии снова работать в Дубну Индржих Адам, воспитанник отдела еще 60-х годов, оценил метод и предложил реализовать его в программе. Для применения метода к реальной матрице совпадений пришлось много чего придумать, так как ее отличие от идеальной (ложные совпадения, ненаблюдение слабых совпадений) существенно мешало реализации подхода. Выход был найден, и работающая программа, в интерактивном режиме позволявшая преодолевать "овраги", была написана дипломником из МИФИ Михаилом Фуксом.

А. А. Бялко разработал и реализовал в "онлайн"-режиме метод сжатия двумерной информации путем разложения исходной матрицы по собственным значениям. Это что-то вроде двумерного разложения Фурье со сжатием на порядок исходных данных. И эта работа опередила свое время. А. Чураков разработал комплекс программ обработки гамма-спектров, который сейчас используется для решения многих прикладных задач и входит в комплект поставки спектрометров производимых, в частности, фирмой АСПЕКТ, работающей на базе ОИЯИ. Очень полезной оказалась разработка Чураковым программ автоматической (и полуавтоматической в интерактивном режиме) обработки спектров гамма-гамма-совпадений для БЭСМ-4. Сейчас мы попросили автора переделать эту программу для использования на ПК.

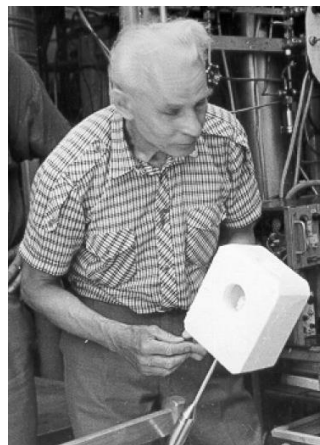
В начале 70-х гг. Мирослав Фингер, чешский физик и воспитанник отдела, вышел с инициативой создать установку для исследования излучения, испускаемого радиоактивными ядрами, ориентированными в магнитном поле при сверхнизких температурах (несколько милликельвинов). Такая установка открывала новые возможности для исследования структуры ядер и изучения ряда задач физики твердого тела. За несколько лет до этого Б. С. Неганов, сотрудник ЛЯП, впервые в мире создал рефрижератор на принципе растворения гелия-3 в гелии-4.



М. Фингер



Установка СПИН



В. Н. Павлов

Это открыло новые возможности получения сверхнизких температур при высокой хладопроизводительности. Сотрудник сектора Б. С. Неганова Валентин Павлов — физик и мастер на все руки — сделал сложную, конструктивно и технологически "тонкую" установку на этом принципе, и в 1975 г. была получена ядерная ориентация при сверхнизких температурах.

Однако измерительной базы не было. Измерять же нужно там, где находился рефрижератор и соответствующая аппаратура для циркуляции He-3 и He-4, — в секторе низких температур. Мы протянули по столбам освещения кабели (300 метров) и подключали во время экспериментов детекторы к МКА "Тензор" и ЭВМ "Минск-2". Таким образом в широком международном сотрудничестве удалось начать систематические исследования с ориентированными ядрами, и эти исследования оказались весьма успешными.

Установка получила название СПИН. Группа СПИН много лет работала в составе сектора электроники и автоматизации, радуя нас обильными результатами и нагружая заботами. На этом направлении выросло много высококлассных специалистов, были защищены многочисленные кандидатские и несколько докторских диссертаций. Руководитель этого направления Мирослав Фингер сумел привлечь к работе многих специалистов из стран-участниц ОИЯИ и других стран. Неоднократно на эксперименты в Дубну со своими аспирантами приезжал известный ученый из Сассекского университета Деннис Гамильтон, было систематическое сотрудничество с финскими специалистами (из университета г. Ювяскюля — известного финского образовательного и научного центра), с университетом в бельгийском Лювене. Со временем группа СПИН выросла в самостоятельное подразделение. Но это тоже большая тема, заслуживающая отдельного рассказа.

Конец 60-х, 70-е и начало 80-х годов были для отдела периодом высокой исследовательской активности в области ядерной спектроскопии. Как-то подсчитали, что за десять лет, с 1969 по 1979 год, на созданном аппаратурном комплексе было измерено и обработано более 20 тысяч различных спектров. Успехи и возможности отдела привлекали многих специалистов из стран-участниц ОИЯИ.

Мы, в свою очередь, передавали программы, делились опытом, обсуждали пути развития и учились у других. ОИЯИ систематически проводил совместно со странами-участницами совещания и школы по электронике и автоматизации, на которых докладывались и обсуждались новые разработки. Наша группа принимала в них участие, предоставляя оригинальные сообщения и обзорные доклады.

1990-е годы принесли резкий прорыв в области электроники и компьютерной техники. Сейчас на столе у каждого физика и инженера стоит ПК, возможности которого лет 25 назад не могло представить даже самое смелое воображение. Это совершенно изменило характер работы. То, что мы вынуждены были выдумывать и сами делать, стало уделом промышленных технологий и поставляется (за деньги) готовым и на несравненно более высоком уровне.

Наша группа проработала более 30 лет. Мы старались обеспечить отдел средствами и методами автоматизации экспериментов на всех этапах. Это были годы напряженной работы. Коллектив сектора всегда получал поддержку руководства отдела, а при создании и становлении — в первую очередь от К. Я. Громова. На последующих этапах в разные периоды нам активно помогали заместители директора ЛЯП и начальники отдела: Ж. Желев, К. Александер, Д. Чултэм, Г. Лизурей.

Практически во все времена работы нам удавалось сохранять благоприятную, дружескую обстановку в коллективе, работая вместе, мы вместе отмечали праздники, дни рождения, а позднее и юбилеи. Мы всегда тепло и доброжелательно встречали гостей и новых сотрудников и помогали им адаптироваться к работе и коллективу. В этом я вижу заслугу всех сотрудников, работавших в секторе, и благодарен им за труд и доброжелательность.

За прошедшие годы девять сотрудников сектора и прикомандированных аспирантов защитили кандидатские диссертации. По методическим разработкам сектора были опубликованы десятки статей, обзоров и сообщений ОИЯИ, не считая участия наших специалистов в сотнях физических публикаций.

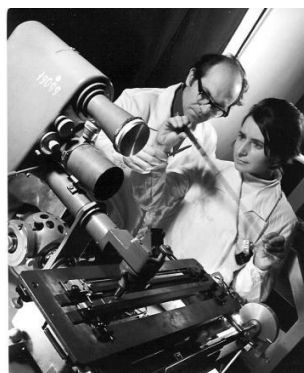
Конечно, были просчеты и неудачи. Мы довольно долго пытались решить задачу автоматизации счета треков альфа-частиц на фотопластинках от магнитного альфа-спектрографа. Многое было сделано, но на уровне существовавших тогда технических возможностей (70-е годы) добиться решения проблемы нам не удалось.

Не всегда у нас складывались хорошие отношения с руководством Отдела электроники ЛЯП. Тут были субъективные причины: в определенной мере соперничество. Хотя, по большому счету, мы сотрудничали и развивали общелабораторную базу автоматизации эксперимента.

В лучшие годы коллектив Отдела ядерной спектроскопии и радиохимии достигал 150 человек, и даже более. Специалисты разных профилей (физики, радиохимики, масс-сепараторщики, разработчики ППД, электронщики и программисты-математики) работали в общем направлении — проведении исследований структуры ядра и обеспечении этих исследований. Отношения были неформальными, даже дружескими, что способствовало успеху дела и создавало комфортные условия для работы.

Было нелегко: темп жизни и работы был напряженным, были сложности и проблемы. Но эти годы — годы исканий, определенных достижений — оставили о себе добрую память.

2000 год







Мария Яковлевна Кузнецова



Наталья Гавриловна Зайцева

В дни, когда наша лаборатория отмечает свой 20-летний юбилей, мы вспоминаем время начала исследований по ядерной спектроскопии и радиохимии.

Трудно сейчас сказать, когда именно было положено начало отделу, но если говорить об исследованиях в области ядерной спектроскопии в Дубне, то с определенностью можно назвать 1957–1958 годы.

В Лаборатории ядерных проблем трудился в то время немногочисленный коллектив сектора № 6. Руководил сектором В. Н. Мехедов, во главе химической группы был В. А. Халкин. В секторе работали О. А. Говорова, В. В. Кузнецов, Н. Г. Зайцева, В. Н. Рыбаков, В. А. Быстров, В. Д. Плужников, А. М. Акимова, М. Я. Кузнецова, А. И. Акатов, Н. С. Мальцева, И. Ю. Левенберг.

В конце 1957 – начале 1958 г. в Дубну нагрянули ленинградцы: В. Г. Чумин, К. Я. Громов, Ж. Желев, И. и В. Звольские, И. А. Ютландов, В. Н. Покровский, В. А. Морозов и др. Прибыли и приборы: бета-спектрометр с трехкратной фокусировкой на 180° и бета-спектрометр с фокусировкой на угол $\pi/2$. В так называемом «измерительном павильоне» (а попросту в помещении барачного типа) закипела работа. Ж. Желев и В. и И. Звольские устанавливают свои приборы, проводят их юстировку, улучшают любыми путями характеристики приборов. Вместе с супругами Звольскими работает совсем юный дипломник – В. Калинин. В. Чумин поглощен созданием бета-спектрометра с полукруговой фокусировкой, В. Морозов трудится над установкой $\epsilon\gamma$ -совпадений. Над созданием гамма-спектрометров работают В. Н. Покровский, молодой сотрудник из ГДР Г. Музиоль, В. В. Кузнецов и др. Сотрудники из группы МГУ, руководимой доктором физ.-мат. наук В. С. Шпинелем, и сотрудники из ТашПИ во главе с А. Абдуразаковым устанавливают в том же «павильоне» свои бета-спектрографы.

Пополняется людьми и группа химиков: приезжают из Ленинграда только что окончившие ЛГУ Лебедев Коля и Норсеев Юра. Химики трудятся в основном над разделением редкоземельных элементов. На смену первым неудачам приходит большой успех: получены высококачественные радиоактивные препараты редкоземельных элементов. В. А. Халкин ликует. Но радиоактивность опасна для здоровья, а защиты практически нет. Приборы же, а физики и подавно, ждать не могут.

Созревает решение – распределить работу с высокоактивными мишенями на отдельные этапы. Отсутствие защиты компенсируется количеством участвующих в работе, физики на подхвате — там, где не нужны специалисты высокой квалификации.

Исследования продолжают. Душой и организатором всех работ является К. Я. Громов. Тем временем Н. А. Лебедев с успехом трудится над проектированием и установкой защитного бокса и хроматографической колонки с дистанционным

управлением. У В. А. Халкина забот более чем достаточно: нужна защита (а еще лучше — полностью оборудованная химическая лаборатория), надо «пробить» и получить новые манипуляторы, нужны реактивы, химическая посуда и т. д. и т. п.

Вернемся к физикам. Они рады, они увлечены беспредельно и «сидят» на измерениях днями и ночами, строят графики, радуются каждой «красивой» линии, тем более что почти все они (линии) не только «красивые», но и новые, впервые обнаруженные; физики строят первые варианты схем распада исследуемых ядер и не задумываются над тем, сколько других вариантов им еще предстоит построить, насколько со временем усложнятся их первые варианты; физики еще не знают, что совсем скоро им на помощь придут Ge(Li)-детекторы и придется перемерять все гамма-спектры заново.

В первое время в распоряжении физиков был всего один 128-канальный анализатор и сцинтилляционные NaI(Tl)-детекторы (бедняги!). Время идет. В исследования по ядерной спектроскопии активно включаются сотрудники из стран-участниц ОИЯИ, прибывают физики из Ташкента. Частым гостем в то время был член-корреспондент АН СССР Б. С. Дзелепов — один из инициаторов развития исследований в области ядерной спектроскопии в Дубне.

Работа шла, но ОЯСиРХ как административная единица еще не существовал. И только в 1960 г. был издан приказ об организации ОЯСиРХ.



Корпус ОЯСиРХ

В начале 1963 г. отдел справляет новоселье. С радостью переезжает в новый корпус, все приборы удобно размещаются в больших светлых комнатах, многие сотрудники получают в свое распоряжение «тихие» комнаты без приборов, где можно заняться обработкой полученных результатов, подумать об их интерпретации, почитать научную литературу (теперь этот корпус для отдела уже тесен). К тому времени отдел располагал несколькими 256-канальными анализаторами, установкой для изучения гамма-гамма-совпадений и тройных гамма-гамма- t -совпадений, несколькими прецизионными бета-спектрографами и бета-спектрометрами.

В новом корпусе было специально запроектировано два больших помещения: одно для альфа-спектрографа, другое для масс-сепаратора. К сооружению этих приборов приступили не сразу. Вначале был построен бета-спектрометр с двухкратной фокусировкой на угол $\pi/2$. Работали над этим прибором И. Адам, М. Фингер и др. Руководил работой В. Г. Чумин. Одновременно Н. А. Бонч-Осмоловская занимается созданием элострона. В конце 1963 г. оба прибора были запущены. В дальнейшем в группе Ж. Желева было построено еще два бета-спектрометра типа $2\pi/2$. Большую работу по автоматизации этих приборов проделали Я. Черны и В. Бон.

В. Г. Чумин после запуска бета-спектрометра с двухкратной фокусировкой начал работать над сборкой и установкой альфа-спектрографа. В 1965 г. прибор был запущен и

начаты измерения альфа-спектров ядер редкоземельных элементов. Большой вклад в создание альфа-спектрографа внесли Н. А. Головков, Б. Махмудов и др.



Альфа-спектрограф

В конце 1968 г. В. А. Морозовым, Т. М. Муминовым, В. И. Разовым были начаты измерения времен жизни возбужденных уровней радиоактивных ядер с использованием установок $e-e^-$ и $e-\gamma$ -совпадений. Над созданием установок работали Т. М. Муминов, В. И. Разов и др., руководил работой В. А. Морозов.

В область преданий уходят в исследовательских работах сцинтилляционные гамма-спектрометры. Пришли Ge(Li)-детекторы! Конечно же, физики хотят иметь эти чудо-детекторы, необходимы «тензоры», ЭВМ. Отделу нужна сложная электронная аппаратура. Обеспечить ее надежную бесперебойную работу могут только специалисты-электронщики, и в отделе организуется группа электроники, руководит которой В. М. Цупко-Ситников. При активном участии В. И. Фоминых, П. Шошева, З. Зайдлера, С. Станчева, М. И. Фоминых, Н. Станчевой, А. В. Ревенко, Е. Т. Кондрата и других сотрудников создается измерительный комплекс на базе ЭВМ «Минск-2». Использование этого измерительного комплекса при наличии Ge(Li)-детекторов и гамма-спектрометра, находящегося в 1-м корпусе, позволяет получить обширную новую информацию о свойствах исследуемых ядер.

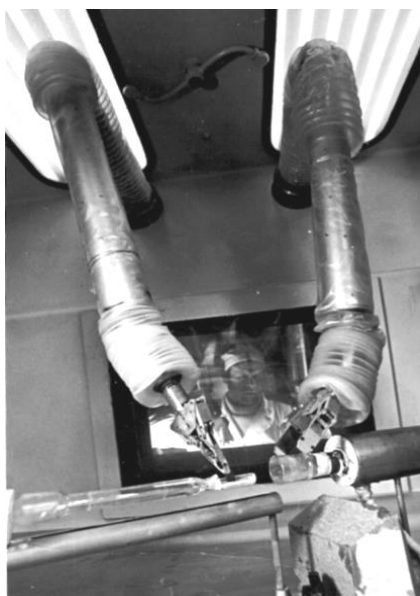
В 1965 г. в отделе была начата работа по созданию масс-сепаратора.



В 1966–1968 гг. Г. Музиоль провел большую организационную работу по приобретению другого масс-сепаратора, который предполагалось поставить в «линию» с синхроциклотроном.

Оба сепаратора в настоящее время запущены, проведено несколько опытов по разделению радиоактивных изотопов, получены новые результаты. Большую работу по созданию и установке масс-сепараторов провели В. П. Афанасьев, И. И. Громова, Х. Тыррофф, В. И. Райко, В. В. Кузнецов, А. В. Ревенко, А. Пиатровски, В. А. Быстров, В. Д. Плужников и ряд других товарищей. Большая помощь при этом была оказана практически всеми подразделениями ЛЯП.

Очевидно, что все сложные и дорогостоящие приборы, которыми располагает отдел, остались бы «вещью в себе», если бы не было качественных радиоактивных препаратов, которые с большим искусством готовят наши химики: Н. А. Лебедев, Ю. В. Норсеев, В. и М. Михайловы, Э. Херрманн, Г. Ю. Байер и др. Большую помощь им оказывают Н. В. Виноградова, В. И. Соболев, А. М. Акимова, А. М. Озеров и др.



Успех работы нашего отдела – во взаимосвязи, взаимопонимании и взаимоуважении всех групп. Просим не считать эту заметку полным отображением всех дел отдела, в ней вспоминается лишь о том, что нам было наиболее близко и что более всего запомнилось. Безусловно, что в заметке не упомянуты фамилии многих сотрудников, которые немало сделали полезного для нашего отдела, не отмечены и все этапы становления ОЯСиРХ.

1969 год

Б. А. Аликов, В. В. Кузнецов. ПЛОДОТВОРНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

За коммунизм. 1979. 13 марта. №19



Борис Алексеевич Аликов



Вячеслав Васильевич Кузнецов

В настоящее время Объединенный институт ядерных исследований сотрудничает более чем с 60 институтами и университетами Советского Союза. Это сотрудничество охватывает практически все союзные республики.

Сотрудничество научных организаций и вузов Узбекистана с ОИЯИ установилось почти 20 лет назад. Наиболее широко оно проводится с Научно-экспериментальным отделом ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем, руководит которым в течение двадцати лет доктор физико-математических наук, профессор К. Я. Громов.



В настоящее время Научно-экспериментальный отдел ядерной спектроскопии и радиохимии является одним из наиболее крупных и хорошо оснащенных приборами центров ядерной спектроскопии. Уникальные возможности получения радиоактивных изотопов, в основном сильно удаленных от полосы бета-стабильности, на синхротроне Лаборатории ядерных проблем в сочетании с возможностью получения сепарированных изотопов позволяют с высокой надежностью проводить исследования характеристик ядер и их возбужденных состояний.

За всем этим – самоотверженный и упорный труд десятков ученых-физиков и химиков, инженеров, рабочих и специалистов стран-участниц ОИЯИ. Определенный вклад в исследования внесен и физиками Узбекистана.

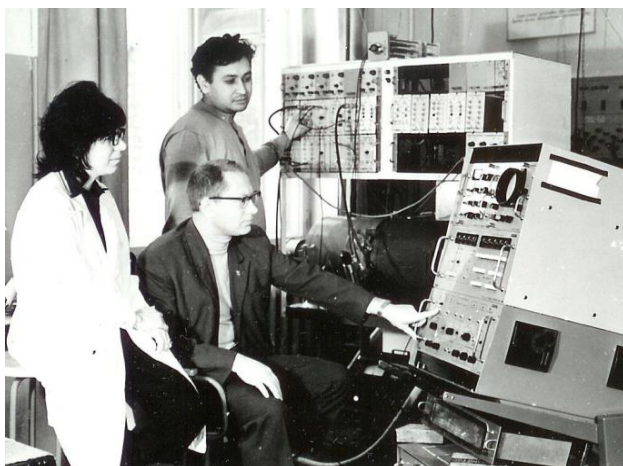
Первые контакты с Дубной были установлены Т. Я. Умаровым, ныне членом-корреспондентом АН УзССР, и А. А. Абдуразаковым, в настоящее время профессором и деканом физического факультета Ташкентского университета. Для исследования радиоактивных изотопов, получаемых на синхроциклотроне ЛЯП, физиками из Ташкента совместно с сотрудниками отдела был создан комплекс бета-спектрографов с постоянными однородными магнитными полями. Эти приборы имеют лучшие параметры в сравнении с другими идентичными приборами. Комплекс позволяет проводить исследования в широком диапазоне энергии излучения. Его использование дало возможность не только изучать схемы распада известных изотопов, но и открыть и изучать целый ряд новых.



Активное участие в исследованиях с 1959 г. по настоящее время принимали А. А. Абдуразаков, А. А. Абдумаликов, Ф. Мухтасимов, У. К. Назаров, С. С. Сабилов, Т. А. Исламов, М. Тошев, Ш. М. Комоходжаев. В исследовательской работе отдела участвовали также Р. Бабаджанов, А. И. Ахмаджанов, Г. Исхаков, А. Ш. Хамидов, Х. М. Исламова, которые успешно защитили кандидатские диссертации и работают в настоящее время в различных научных организациях Узбекистана.



С 1970 г. В Научно-экспериментальном отделе ядерной спектроскопии и радиохимии сформировалась группа физиков Самаркандского государственного университета, руководимая кандидатами физико-математических наук, старшими научными сотрудниками В. А. Морозовым и Т. М. Муминовым. Самаркандские физики приняли активное участие в работе по программе ЯСНАПП, занимаясь проблемой изучения короткоживущих радиоактивных изотопов методами задержанных совпадений и угловых корреляций. За короткий срок был создан большой комплекс установок, предназначенных для измерения времен жизни возбужденных состояний ядер, позволяющий проводить прецизионные измерения периодов полураспада возбужденных состояний в широком диапазоне энергий излучения. Параметры этих установок близки к предельным значениям, достигнутым в мировой практике временных измерений. В разные годы в составе группы активно работали А. Б. Халикулов, Б. А. Аликов, Р. Р. Усманов, И. Холбаев, Н. З. Марупов, У. С. Салихбаев, К. М. Муминов. Исследования, проведенные за период с 1970 г., легли в основу диссертаций всех указанных сотрудников Самаркандского государственного университета. Непосредственное участие в разработке этой темы принимали советские сотрудники отдела К. Я. Громов, В. А. Морозов, В. Г. Калинин, В. В. Кузнецов, физики из Польской Народной Республики — Г. Лизурей, Я. Ваврышук, М. Будзынски, Я. Сажински, Э. Крупа, из Народной Республики Болгарии — В. Андрейчев, из Социалистической Республики Румынии — Х. Фуя, Р. Ион и многие другие специалисты стран-участниц ОИЯИ.



Выполненные совместно с физиками Узбекистана исследования отражены более чем в 150 публикациях и неизменно получают высокие оценки на всесоюзных и международных конференциях и симпозиумах.

Одной из замечательных сторон сотрудничества физиков Узбекистана с Лабораторией ядерных проблем является то, что за период совместной работы в коллективе Научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии выросла целая плеяда высококвалифицированных молодых физиков, способных самостоятельно ставить и решать сложные задачи в области физики ядра. В настоящее время более 15 специалистов-физиков, защитивших кандидатские и докторские диссертации по материалам совместных работ, продолжают активно работать в различных научных организациях и вузах Узбекистана.

Физики Узбекистана благодарны дирекции Объединенного института ядерных исследований, Лаборатории ядерных проблем, сотрудникам Научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии за неоценимую помощь, поддержку и участие, оказываемые в течение всего времени многолетнего сотрудничества.

В. И. Фоминых. ВТОРОЕ ПРИШЕСТВИЕ КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ В РХЛ И НЕКОТОРЫЕ ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЯ



Валерий Иванович Фоминых

1967 год в РХЛ считается годом начала внедрения ЭВМ в процесс физических исследований. Именно в этом году по инициативе И. Звольского, Ж. Желева, К. Я. Громова, В. М. Цупко-Ситникова в отделе появилась вычислительная машина (по меркам того времени — машина среднего класса) ЭВМ «Минск-2», проработавшая до 1979 года.

В этом плане 1987 год можно считать годом начала второго этапа компьютеризации в РХЛ и переходом от идеологии целесообразности ЭВМ коллективного пользования к идеологии целесообразности персональных компьютеров.

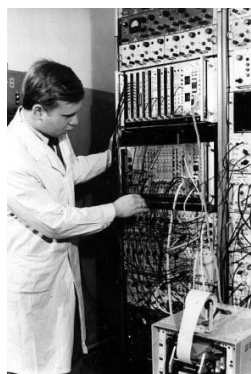
Итак, в первых числах января 1987 года в конференц-зал (помещение напротив ныне действующего конференц-зала) были приглашены все пришедшие в тот день на работу научные сотрудники. На столах было выставлено около 20 персональных компьютеров (РС) «Правец-16», изготовленных в Болгарии и приобретенных ОИЯИ для отдела по инициативе Ц. Вылова — в то время начальника НЭОЯСиРХ ЛЯП.

После краткого вступительного слова (в телеграфном стиле) сотрудникам было предложено в сжатые сроки освоить РС, а для облегчения поставленной задачи разрешалось заниматься компьютерными играми. Уже через две недели после приобретения необходимых навыков пользования клавиатурой последовал строгий запрет на игры в рабочее время. В течение следующего месяца были проведены более углубленные занятия с привлечением специалистов из ЛВТА и ЛЯП. Больше всего запомнился Ю. П. Иванов. Появились и собственные специалисты по связям с экспериментальными установками, по программированию на Assembler, BASIC, Turbo Pascal, C, Fortran и т. д. В их числе: З. Гонс, Э. Аугустыняк, В. Г. Егоров, М. Левандовский и многие другие.

Надо заметить, что в предшествующие 2–3 года практически все экспериментальные установки отдела при активной поддержке Ц. Вылова (очень часто в плане ликбеза) были оснащены амплитудными анализаторами, микроЭВМ, блоками многомерного анализа, выполненными в стандарте КАМАК. Естественно, возникла необходимость связи измерительных установок с РС «Правец-16», а в дальнейшем с IBM-286-486-AT. И. Н. Чуриным в отделе А. И. Синаева был разработан и налажен выпуск контроллера КК-009, что позволило успешно решить эту задачу. Экспериментальные установки, связанные таким образом с РС, получали фантастические возможности развития и совершенствования.

Этот период по времени совпал с периодом ввода в эксплуатацию измерительного комплекса ЯСНАПП-2, входившего в состав одной из базовых установок ОИЯИ — фазотрона "Ф". Мне довелось участвовать в подготовке и проведении онлайн-

экспериментов на измерительной установке ЭЛГА, расположенной на одном из четырех ионопроводов масс-сепаратора. С большой теплотой вспоминаются коллеги по этой работе: Н. Малахов, Э. Аугустыняк, Р. Лушински, Э. Арваи, Я. Гуяш, Я. Сайдимов. Душой и организатором был незабвенный Вячеслав Васильевич Кузнецов. Отличительная особенность установки состояла в том, что измерение спектров излучений облученной протонами мишени можно было начинать сразу после отклонения ионного пучка, т. е. мгновенно, не затрачивая время — как этого требовали другие установки — на транспортировку мишени к детекторам, что позволяло проводить исследования в миллисекундном диапазоне.



И. Н. Чурин



Контроллер KK009

Первые эксперименты проводились под контролем «Правец-16» с записью информации на НМЛ ИЗОТ-5003, с последующей сортировкой и анализом спектров излучений. В дальнейшем с обоюдного согласия произошло объединение с польской группой: А. Потемпа, Я. Ваврышук, М. Левандовски. Группа располагала установкой транспортировки облученных мишеней по типу монетного автомата, а также самым «мощным» в то время в отделе (правда, на очень короткий срок) персональным компьютером IBM-286-AT (с двумя винчестерами общей памятью 80 МБ!). Установка получила название УМКС. Конструктивные решения, примененные в установке, делали ее очень эффективной для регистрации излучений и позволяли существенно подавлять фон. К исследованиям активно подключился К. Я. Громов, назначенный вскоре официальным руководителем группы. Ситуация с получением времени на ускорителе была достаточно благоприятной. В течение года удалось измерить альфа-спектры Du, Ho, Er, Tm, Yb и Lu с $A=150-158$ и $T_{1/2}$ от 70 мс до нескольких минут. Результаты исследований были опубликованы в виде сообщений ОИЯИ.

В начале 1991 года по инициативе А. Потемпы были начаты работы по измерению энергий бета-распада редкоземельных элементов (РЗЭ) в широком диапазоне масс $A=134-164$. Была разработана оригинальная методика, основанная на использовании бета-детектора из сверхчистого германия, обладающего высокой эффективностью регистрации бета-частиц в широком диапазоне энергий с относительно высоким энергетическим разрешением и, что немаловажно, возможностью точной калибровки по гамма-линиям. Для восстановления первичной формы бета-спектра с помощью подгонок предварительно измеренных калибровочных спектров была смоделирована и введена функция отклика детектора. После процедуры коррекции измеренных бета-спектров по графику Ферми-Кюри определялись граничные энергии.

К этим работам подключились сотрудники из Санкт-Петербурга и Узбекистана: Г. В. Веселов, В. А. Сергиенко, С. И. Кудря, М. Юлдашев, Ш. Маликов, Ж. Саматов. Были определены энергии распада 25 изотопов РЗЭ, из которых 12 — впервые. Результаты исследований были опубликованы в отечественных и зарубежных научных журналах. Важность этих исследований подтверждена выделением на эти цели гранта РФФИ (руководитель проекта К. Я. Громов).

Параллельно на других ионопроводах проводились эксперименты на установках МУК, МАТЧ и др. (Д. Венос, П. Чалоун, В. Абросимов, В. Морозов, В. Егоров, В. Г. Чумин и др.).



Э. Аугустыняк



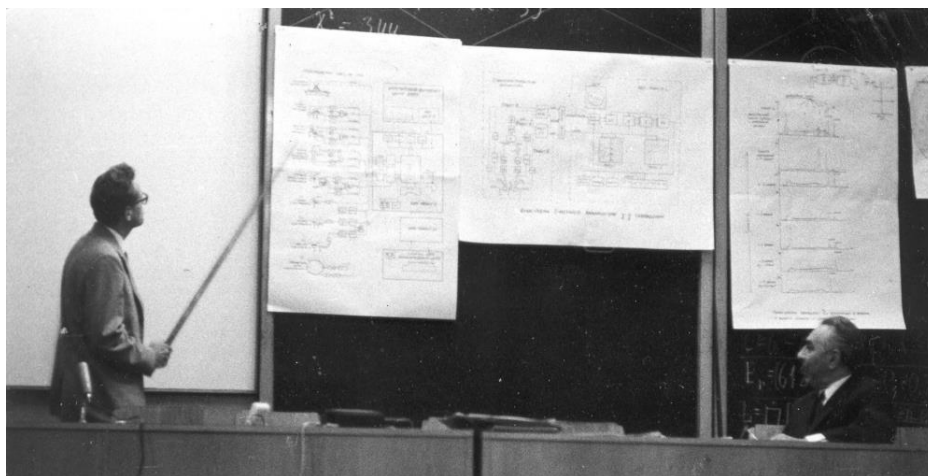
М. Левандовский

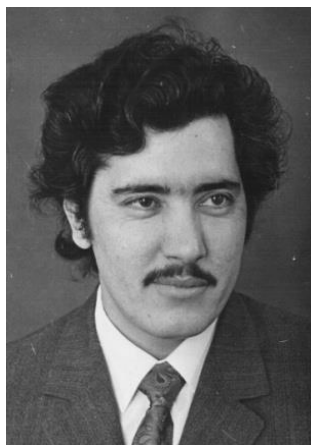
Последовавшие вскоре изменения экономической ситуации в стране привели к резкому сокращению финансирования фундаментальных исследований, что сделало невозможным проведение *онлайн*-экспериментов на ЯСНАПП-2. По предложению К. Я. Громова, поддержанному дирекцией ЛЯП и, в частности, Ц. Выловым, на аппаратуре установки УМКС были начаты исследования распадов в цепочке ^{225}As , выделяемого из препарата ^{229}Th с использованием оригинальной радиохимической методики, разработанной в ЛЯП ОИЯИ. К исследованиям подключились В. Г. Чумин, С. С. Елисеев, радиохимики Ю. В. Норсеев, В. В. Цупко-Ситников. Эта работа также получила поддержку в виде нового гранта РФФИ (руководитель проекта К. Я. Громов). По результатам исследований защищены три кандидатские диссертации (М. Юлдашев, С. Кудря, Ш. Маликов), опубликовано более 10 статей в научных журналах.

И все это стало возможным в результате стечения многих обстоятельств, одним из которых была компьютеризация в РХЛ.

Что ожидает нас дальше?

2001 год





Басар Мухитдинович Сабиров

Всё началось со стихийного бедствия: 26 апреля 1966 г., в 4 часа 30 минут, Ташкент испытал мощное землетрясение. Заметная часть жилищ города была разрушена, были человеческие жертвы, пострадали городские коммуникации и официальные здания. Это было время, когда все народы СССР жили дружно, без межнациональных антагонизмов. И поэтому вся страна немедленно откликнулась на эту беду и пришла на помощь. Откликнулись и вузы страны – все желающие студенты принимались переводом в соответствовавшие специальностям вузы России.

Физический факультет Ташкентского госуниверситета имел установившиеся тесные связи с ОИЯИ. Кафедра ядерной физики сотрудничала с Отделом ядерной спектроскопии и радиохимии ЛЯП и постоянно имела в этом отделе 3–4 своих прикомандированных сотрудников. Поэтому вполне естественным было на производственную практику командировать в этот отдел трёх студентов пятого курса, в числе которых оказался и я.

Это было время освоения полупроводниковых детекторов и начала их применения в ядерной спектроскопии. От руководства кафедры в лице А. Абдуразакова я получил задание изучить принцип работы кремниевых и германиево-литиевых детекторов и принять участие в их изготовлении. Начал я с группы В. Кушнирука (ЛЯР), где участвовал в изготовлении Si-детекторов. Затем была группа Э. Ф. Рындиной в ЛНФ, где я продолжил освоение Si-детекторов. И наконец, я пришёл в группу Б. П. Осипенко в ОЯСиРХ ЛЯП, где не только уже было налажено изготовление Si-детекторов, но и начаты опыты по изготовлению Ge(Li)-детекторов. Отсутствие в то время в СССР кристаллов германия высокой чистоты не позволяло получить отечественные детекторы хорошего разрешения.

Вскоре стало известно, что в ЛНФ, в группе Я. Урбанца (ЧССР), появился Ge(Li)-детектор объёмом 5 см³ с высоким для того времени разрешением 3,5 кэВ на линии 609 кэВ. Это была сенсация! Руководство моей кафедры немедленно направило меня в группу Я. Урбанца для освоения этого прибора. Все задачи, решавшиеся в этой группе, были тесно связаны с тематикой ОЯСиРХ ЛЯП.

Несмотря на напряжённый ритм работы, тогда хватало времени не только на измерения и обработку результатов, но и на чтение литературы в НТБ ОИЯИ. Тогда можно было свободно забираться в книгохранилище и просиживать там долгие часы за чтением книг и журналов. И там я наткнулся на книгу А. О. Вайсенберга «Мю-мезон». Я знал, что в ЛЯП ведутся работы по исследованию деполяризации мюонов в секторе А. П. Игнатенко (впоследствии В. С. Евсеева). В книге А. О. Вайсенберга я узнал о мезорентгеновском излучении в мю-мезоатомах и об их уникальных свойствах.

К этому времени Д. Ф. Зарецким было предсказано, а Б. Понтекорво с коллегами открыто явление безрадиационных переходов в тяжёлых мезоатомах; В. Г. Зинов и сотоварищи с помощью сцинтилляционного NaI(Tl)-детектора большого объема

обнаружили влияние химических связей на структуру мезорентгеновских спектров. Применение полупроводниковых детекторов в исследованиях мезорентгеновского излучения сулило многообещающие перспективы. Из монографии О. И. Сумбаева “Кристалл-дифракционные спектрометры” был виден путь к дальнейшему увеличению энергетического разрешения мезорентгеновских спектров. А улучшение разрешающей способности γ -детектора приводило к мысли о решении фундаментальной задачи — измерении массы мюона. С этим предложением я и явился к В. Евсееву. Он доложил об этом В. П. Джелепову, а тот тут же приказал оформить меня на работу в штат ЛЯП. Так с 1968 г. началась моя “мезорентгеновская” деятельность в ЛЯП.

Параллельно с работой над проектом “Кристалл-дифракционный гамма-спектрометр (КДГС) для работы на мюонных пучках синхроциклотрона ЛЯП” в секторе В. Евсеева началось планомерное исследование различных аспектов мезоатомной физики и мезохимии. К тому времени стали появляться неплохие советские Ge(Li)-детекторы: в группе Б. П. Осипенко и в Институте электроники в Риге, в группе, руководимой В. А. Скакодубом и Г. М. Щербаковым. В наших экспериментах мы в основном пользовались рижскими детекторами. После ельцинского разгрома СССР рижская группа была вынуждена переехать в Дубну и влиться в состав Института физико-технических проблем (ИФТП), где было быстро налажено производство полупроводниковых приборов. В. А. Скакодуб по-прежнему возглавлял отдел полупроводников, а Г. М. Щербаков стал директором ИФТП.

Работы по мезоатомной физике, мезохимии и мезоядерной физике велись нашей группой (В. С. Евсеевым, В. С. Рогановым и мной) в сотрудничестве с широким кругом учёных, как советских, так и зарубежных: С. М. Поликановым, Г. Музиолем (ГДР), Р. Арльтом (ГДР), Х. Г. Ортлеппом (ГДР), Т. Крогульским (ПНР), Р. Энгфером (PSI, Швейцария), Х. Шнёйвли (PSI, Швейцария), Ж. Ганзоригом (МНР), Д. Чултэмом (МНР), В. Н. Рыбаковым, В. Кузнецовым, В.-Д. Фроммом (ГДР), В. Кожокару (ССР), А. Минковой (НРБ) и многими-многими другими.



С. М. Поликанов и Б. М. Сабиров

В 1977 г. по инициативе Е. А. Красавина начались исследования биомедицинских аспектов применения мюонов. Эксперименты проводились совместно с Институтом медико-биологических проблем АН СССР. Исследовалось изменение элементного состава живых организмов (крыс) после пребывания в космическом полёте.

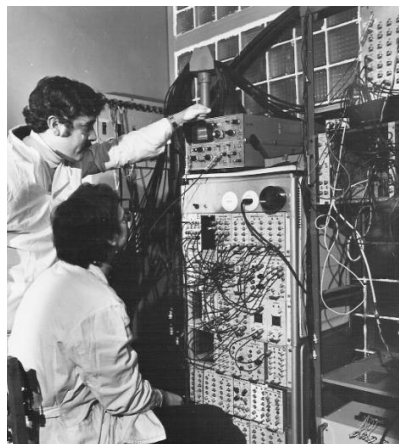
Затем — уже по инициативе В. П. Джелепова, а также вследствие его договоренности с ФМБА — было проведено исследование влияния условий космического полета на элементный состав костной ткани человека. Для этого были привлечены 32 добровольца (мужчины 32–35 лет), которые в течение трех месяцев для имитации условий космического полета должны были лежать при наклоне головы в сторону на 4° . Ответственным от ФМБА был врач Ю. Ю. Осипов, который лично участвовал во всех измерениях на мюонных пучках и обеспечивал транспортировку испытуемых от ФМБА до здания ускорителя и обратно. Результаты этих экспериментов были приняты в качестве

рекомендаций при подготовке космонавтов для длительных космических полётов. За этот цикл работ нашей группе была присуждена премия ОИЯИ.

После остановки синхроциклотрона на реконструкцию в 1979 г. мною в ЛИЯФ АН СССР было сделано предложение эксперимента «Поиск монополюсного возбуждения ядра ^{152}Sm при распаде связанного мюона». Эксперимент был успешно проведён, получена верхняя граница вероятности этого процесса. В этом эксперименте активно участвовали физики ЛИЯФ: В. А. Гордеев, Г. Г. Семенчук, Г. Е. Солякин, Н. А. Воинова-Елисеева, И. А. Митропольский, Е. Н. Комаров; а от ЛЯП — В. Абазов, В. Вагнер (ГДР), К. Грама (СРР), Д. Х. Кыонг (СРВ), М. Левандовски (ПНР), Ш. Гэрбиш (МНР), А. В. Демьянов, И. В. Фаломкин и др.



*Наладка онлайн-режима работы регистрирующей электроники (Ш. Гэрбиш, В. Абазов, В. Вагнер, Б. Сабиров).
Фото Ю. Туманова*



*Отладка блок-схемы электроники (Б. Сабиров, В. Вагнер).
Фото Ю. Туманова*



Контрольный осмотр экспериментальной установки МЕГА (Ш. Гэрбиш, Б. Сабиров, В. Вагнер, В. Семенчук, Г. Солякин). Фото Ю. Туманова

На этом моя «мезорентгеновская» деятельность завершилась. Дальнейшая деятельность уже относится к темам других отделов и другой физике.

2004 год



Галина Владимировна Винель

Мои воспоминания о работе в Отделе ядерной спектроскопии и радиохимии (ОЯСиРХ) Лаборатории ядерных проблем относятся к 1971–1977 годам.

Наша семья — мой муж, Зигфрид Маттхиз, я, Галина Владимировна Винель, и двое детей, Андрей и Ирина, — приехала из ГДР в Дубну в апреле 1971 года. К этому времени в ОИЯИ работало около 70 сотрудников из ГДР (цифра по памяти). Мой муж, физик-теоретик, работал в ЛНФ. Меня как физика, работавшего в ГДР в вычислительном центре Центрального института ядерных исследований (ЦИЯИ) в Россендорфе и знакомого с программированием на ЭВМ того времени, направили в ОЯСиРХ в группу Гейнца Элера.



Гейнц Элер

Задачей группы была разработка и внедрение программного обеспечения на ЭВМ для полной автоматизации обработки гамма-спектров, снятых на спектрометрах с полупроводниковыми детекторами. В составе этой группы были как сотрудники из ГДР (Г. Элер, В. Хабенихт, Г. В. Винель), так и сотрудники ОИЯИ (Л. А. Вылова и П. М. Гопыч). Несколько позже в группе начали работать сотрудники из ГДР У. Фромм и Б. Реец.

Опишу коротко ситуацию с имеющимися в то время в распоряжении сотрудников отдела ЭВМ, на базе которых осуществлялся процесс автоматизации сбора, накопления и обработки данных в экспериментальных исследованиях.

Вопросами автоматизации в отделе занималась группа электроники, руководил которой В. М. Цупко-Ситников. Измерительный центр этой группы был основан на базе ЭВМ малой мощности «Минск-2», главным инженером — и, можно сказать, душой — которого была М. И. Фоминых. С группой В. М. Цупко-Ситникова, и в особенности с

М. И. Фоминых, у меня было тесное сотрудничество в течение всего периода работы в ОЯСиРХ.



М. И. Фоминых и У. Фромм

На ЭВМ «Минск-2» был полностью автоматизированный процесс сбора и передачи данных с различных спектрометров, их первичной обработки и записи спектров на магнитные ленты. Обработка гамма-спектров по программе КАТОК (автор В. Гаджоков) была разделена на два этапа: предварительную обработку с участием экспериментатора на осциллографическом дисплее со световым карандашом и окончательную обработку. Общий поток гамма-спектров в измерительных центрах отдела, измеренных в радиохимических исследованиях короткоживущих изотопов, а также в экспериментах по программе ЯСНАПП, достигал многих десятков — а иногда и сотен — спектров (по 4096 каналов) в неделю. Большая часть этих спектров содержала десятки и сотни пиков. Обработка 100 сложных спектров по программе КАТОК занимала около 200–300 часов времени ЭВМ, из которых 50–100 часов уходило на предварительную дисплейную обработку. Существовал канал связи с БЭСМ-8, центральной ЭВМ ОИЯИ, по которому предполагалось передавать спектры для окончательной обработки. Кроме того, имелась возможность передачи данных, записанных на магнитные ленты, в измерительный центр в здании синхроциклотрона, базовыми ЭВМ которого были НР-2116С и «Минск-22». Там же находилась более мощная ЭВМ БЭСМ-4.

Необходимо было создание быстрых (экспрессных) программ, полностью автоматизировавших обработку спектров. В нашей группе велась разработка программы ЭПОС (экспресс-программа обработки спектров). Основой программы был предложенный Г. Элером довольно простой метод статистической подгонки, представляющий итерационный процесс с направленно-сужающейся областью поиска параметров пиков по методу Монте-Карло. Это позволило увеличить скорость обработки спектров на 2–3 порядка по сравнению с программами, использующими более сложные в математическом отношении алгоритмы (метод наименьших квадратов, градиентный метод и т. п.).

Предварительная обработка спектров (определение положения спектральных линий и площадей под ними) была полностью автоматизирована в первой части программы ЭПОС-1 и представляла интерес для обработки спектров в режиме *онлайн* с экспериментом. Окончательная обработка спектров по методу статистической подгонки (определение параметров пиков и оценка ошибок этих параметров) осуществлялась по программе ЭПОС-2.

Мной была написана первая часть программы ЭПОС-1 в машинных кодах ЭВМ «Минск-2». Работа велась в тесном сотрудничестве с М. И. Фоминых и А. Ф. Новгородовым, который впоследствии являлся основным пользователем этой программы. ЭПОС-1 обрабатывала обычный гамма-спектр на «Минске-2» за 2–3 минуты с

учетом времени, необходимого для записи спектра на магнитную ленту, вывода результатов на цифропечать и простых операций экспериментатора за пультом ЭВМ. Точность результатов для одиночных пиков была достаточной для наблюдений за процессом эксперимента.

В наше «компьютерное» время, когда существуют ЭВМ и ПК с огромными скоростями вычислений и гигантскими накопительными возможностями, трудно себе представить, как ухитрялись в те годы экспериментаторы и программисты обрабатывать в режиме *онлайн* данные, полученные в экспериментах. Примером может служить «Минск-2» со следующими ресурсами: рабочая память 8 К, четыре магнитофона, цифровая печать, перфораторный ввод.

Во время обработки программой ЭПОС-1 память ЭВМ распределялась следующим образом:

- 4К занимал обрабатываемый спектр, считываемый с магнитной ленты;
- 2,5К — программа, причем 1К отводилось под управляющую программу;
- 1,5К под отдельные алгоритмы обработки, которые из-за ограниченности памяти «Минск-2» были выполнены в двух частях и попеременно вызывались с магнитной ленты;
- оставшиеся 1,5К были заняты под результаты обработки, которые выдавались на цифропечать и записывались на магнитную ленту для последующей обработки.

Программой ЭПОС-1 до 1977 года было обработано свыше 10000 реальных спектров.

Сотрудниками группы Г. Элера в полном объеме была реализована программа ЭПОС на различных ЭВМ: HP-2116C (на Фортране), БЭСМ-4 (на Алголе), БЭСМ-6 (на Фортране), позже на ЕС-1040 (на Фортране).

Вариант программы ЭПОС для ЭВМ БЭСМ-3М был передан в 1974–1975 годах в измерительный центр Научно-исследовательского института атомных реакторов (НИИАР) в Димитровграде. Внедрение в эксплуатацию этого варианта происходило в рамках моей совместной работы с Б. Басовой (НИИАР). Программа применялась как для экспрессной обработки, так и в комплексе с другими программами, разработанными в НИИАР, для решения задачи автоматизации обработки гамма-спектров при исследовании твэлов. Сотрудниками группы Г. Элера — Беатой Реетц и Урсулой Фромм — был создан специальный вариант ЭПОС для Института физики моря в Севастополе. Этот вариант написан на Фортране для ЭВМ М-6000.

После возвращения в ГДР в вычислительном центре ЦИЯИ мной был написан вариант программы ЭПОС для ЭВМ ZRA-2, который успешно использовался Г. Байером для обработки гамма-спектров в радиохимических исследованиях.

Разработка алгоритмов программы ЭПОС и ее реализация на различных ЭВМ легли в основу моей кандидатской диссертации «Об автоматизации обработки гамма-спектров, представленной комплексом программ экспрессной обработки ЭПОС». В этой работе приведены также точные формулы для оценки погрешностей параметров одиночного пика, связанных со статистикой экспериментальных данных. Эти формулы были получены в моих совместных теоретических исследованиях с З. Маттхизом и проверены на большом числе моделированных спектров на ЭВМ БЭСМ-4. Полученные при этом таблицы погрешностей параметров спектра могут служить ориентиром при подготовке и планировании эксперимента, а также для определения критерия обрыва итерационного процесса подгонки в программе ЭПОС.

Хочу отметить исключительно благоприятные условия работы в Отделе ядерной спектроскопии и радиохимии ЛЯП ОИЯИ, теплые дружественные отношения, квалифицированную помощь сотрудников в научных вопросах. Я всегда с благодарностью и большой теплотой вспоминаю как сотрудников нашей группы Г. Элера, Л. А. Вылову, П. М. Гопыча, В. Хабенихта, У. Фромм, Б. Реетц, так и многих других сотрудников отдела,

с которыми мне приходилось вести самые разнообразные дискуссии и беседы (от научных до житейских), в особенности А. Ф. Новгородова, Ц. Вылова, М. Я. Кузнецову, М. И. Фоминых, В. И. Фоминых, В. М. Цупко-Ситникова, Г. Байера, С. Аврамова, Э. Рупп, З. Зайдлера. Это был дружный интернациональный коллектив. И конечно, вспоминаются не только моменты, связанные с работой. Вспоминаются любимые интернациональные чаепития в рабочей комнате М. И. Фоминых, куда собирались те, кто мог на время отвлечься от работы. Вспоминаются встречи в нерабочее время, узбекский плов на реке Дубне, пикник на Волге, танцы до упада на банкете после защиты диссертации Ц. Вылова, новоселье в семье Фоминых, вкусные торты в семье Зайдлеров, а также многослойные торты «Наполеон» в семье В. М. Цупко-Ситникова.



В.-Д. Фромм, Г. Винель, Ирина Маттхиз, У. Фромм, З. Маттхиз



Чаепитие



Банкет

Это было время успешной работы и отдыха в кругу друзей. И не только в нашей семье жизнь в разговорах делится на периоды «до» и «после» Дубны.

2005 год

Е. П. Григорьев. ФИЗИКИ ЛЕНИНГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА В ОБЪЕДИНЕННОМ ИНСТИТУТЕ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ДУБНЕ

Санкт-Петербургский университет. 1999. 30 сент. №19 (3515)



Евгений Петрович Григорьев

В послевоенные годы Ленинградский университет занимал ведущее положение в СССР в изучении структуры атомного ядра. Здесь происходило быстрое развитие ядерной спектроскопии — той области ядерной физики, которая позволила многое узнать о свойствах основных и возбужденных состояний ядер, этих мельчайших частиц вещества.

В начальный период работа кафедры ядерной физики проходила в обстановке строгой секретности. Лекции студенты записывали в специальные журналы, которые были пронумерованы, прошнурованы и скреплены сургучной печатью и сдавались на хранение в спецотдел. Экспериментальная работа велась за железными дверьми, у некоторых из них находились специальные посты охраны. Студенты кафедры ядерной физики проходили тщательный отбор, и им выплачивалась повышенная стипендия.

В середине 50-х годов на кафедре ядерной физики, которую создал и возглавил профессор Б. С. Желепов, был построен парк высококачественных магнитных спектрометров для анализа спектров электронов, излучаемых радиоактивными атомными ядрами. В те годы гамма-излучение ядер намерялось сцинтилляционными гамма-спектрометрами. Они имели недостаточное для измерения сложных спектров разрешение и, соответственно, недостаточную точность определения энергии. Можно было обнаружить дублетную структуру линии, если расстояние между ее компонентами составляло десять или более килоэлектронвольт, а при меньших расстояниях — что часто встречается в спектрах — эти два компонента (или большее число линий) выглядели как одиночный пик.

Уже было известно, что гамма-переходу сопутствуют линии электронов внутренней конверсии, которые, как заряженные частицы, удобно анализировать в магнитном поле. Разрешение бета-спектрометров и точность определения энергии здесь были намного выше, чем у гамма-спектрометров. Трудность состояла в необходимости иметь сильные радиоактивные препараты, так как для большинства гамма-переходов число гамма-квантов в тысячи раз превышает число конверсионных электронов.

Наилучшими характеристиками обладал построенный А. В. Золотавиным бета-спектрометр с двойной фокусировкой электронов на угол $\pi/2$. Его разрешение 0,4% было очень высоким для тех лет. Два спектрометра с улучшенной фокусировкой типа «кэтрон» (конверсионный электрон) были созданы в лаборатории А. А. Башилова. На кафедре имелись линзовые спектрометры, установки для изучения совпадений, специальный

спектрометр с малым фоном для изучения слабых спектров. Радиоактивные препараты нарабатывались на ядерных реакторах, и набор источников был довольно ограничен.

В те годы начались работы по изучению продуктов облучения различных мишеней быстрыми протонами, ускоренными на синхроциклотроне ОИЯИ до энергии 600 мегаэлектронвольт (МэВ). Они проводились в ЛГУ и в Радиевом институте профессором А. Н. Муриным и его сотрудниками-химиками. При облучении танталовой мишени возникает большое количество изотопов различных элементов, включая редкоземельные от лантана до лютеция.

Б. К. Преображенский использовал метод хроматографического разделения редких земель по элементам, он сумел получить сильные и очень чистые препараты. Примеси соседних элементов не превышали десятых долей процента. Изучением нуклидов, входящих в выделенные фракции, занимались Г. М. Городинский и В. Н. Покровский. Они использовали автоматизированные сцинтилляционные гамма-спектрометры. Более совершенных полупроводниковых гамма-спектрометров тогда еще не существовало.

В 1956 году произошло важное событие. Выпускник университета, сотрудник Радиевого института К. Я. Громов приготовил источник из изотопов тулиевой фракции и поставил его в магнитный бета-спектрометр. Многие считали, что сила циклотронных препаратов недостаточна, чтобы использовать их для измерений спектров электронов. Но спектр получился отличным, а дальнейшие измерения позволили обнаружить ряд новых изотопов, исследовать состав их излучения и установить структуру возбужденных состояний дочерних ядер, которые возникают при бета-распаде.

Новаторское исследование К. Я. Громова было быстро оценено ленинградскими ядерщиками. Они оценили и использовали возможности нового способа приготовления радиоактивных препаратов.

С 1957 года начался первый этап в планомерном изучении новых ядер. Его особенность заключалась в том, что источники излучения синтезировались в Дубне и исследовались в Ленинграде на действовавших к тому времени спектрометрах. С согласия руководства университета была приобретена и оборудована свинцовой защитой грузовая автомашина для доставки радиоактивных изотопов из Дубны, введена штатная должность шофера этой машины. За 10 часов машина успевала доехать до Ленинграда. Здесь происходило разделение облученной радиоактивной мишени по элементам. Через 2-3 часа препараты были готовы для проведения исследований. Через 15 часов после конца облучения успешно исследовались те нуклиды, периоды полураспада которых составляли более 5 часов. Более короткоживущие нуклиды не доживали, они распадались в дороге.



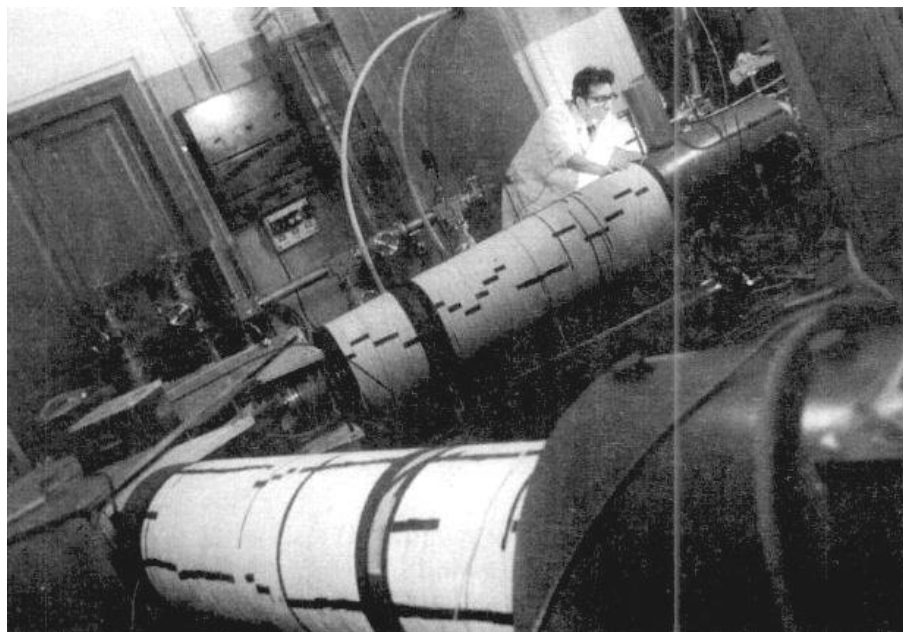
1971 год, 60-летие Б. С. Джелепова

Академик В. А. Фок, выпускники ЛГУ 1954 года Ю. С. Белле и Е. П. Григорьев

По поводу аналогичных перевозок главная городская газета «Ленинградская правда» опубликовала в то время поразившую меня корреспонденцию (привожу по памяти). «По дороге идет машина. В ней находится смертельно опасный груз, она везет радиоактивные вещества. Его излучение губит все живое. Машину сопровождают мужественные люди. Им не страшны опасные лучи — у них есть дозиметры!» Действительно, водитель и сопровождающие люди имели дозиметры, находились под контролем радиационной службы и не получали больше допустимых в то время доз облучения от довольно сильных перевозимых препаратов.

Получаемые радиоактивные ядра, как правило, обладали недостатком нейтронов по сравнению со стабильными и получили название нейтронодефицитных. Процедура приготовления источников заключалась в ряде последовательных операций. В Дубне облучалась танталовая мишень. Тантал — довольно тугоплавкий металл, он не плавится от нагрева под действием интенсивного пучка протонов. Облученная мишень доставлялась в Ленинград. Ее принимала группа химиков Физического института: Н. Д. Новосильцева, М. К. Никитин, Ю. С. Катыхин, О. В. Ларионов. Они растворяли мишень и выделяли из нее редкие земли. Смесь редкоземельных элементов разделялась хроматографическим методом. Все изотопы каждой фракции были сосредоточены в нескольких каплях раствора. Они наносились на алюминиевую фольгу и выпаривались. Сухой остаток был почти невидим, но в нем оставались все радиоактивные ядра из фракции. Готовые источники устанавливались в камеры бета-спектрометров.

Работа кипела. Измерения проводились на многих приборах круглые сутки. Открывались новые изотопы, новые бета- и гамма-переходы, строились схемы распада. Сообща работал большой коллектив физиков, согласуя порядок проведения измерений. Фракция за фракцией просматривалась на линзовом спектрометре П. А. Тишкина. Эти опыты позволили быстро выяснить, какие изотопы содержатся в каждой фракции, какие наиболее интенсивные линии наблюдаются в их спектрах.



Призмочно-линзовый спектрометр кафедры ядерной спектроскопии

Более длительные и трудоемкие измерения проводились А. А. Башиловым и Н. М. Антоньевой на «кэтронах», А. В. Золотавиным и Е. П. Григорьевым на спектрометре $\pi/2$. Высокое разрешение приборов позволило разделять близкие линии и по их интенсивностям определять мультипольности гамма-переходов и характеристики ядерных уровней. Исследования О. Е. Крафт на низкофоном бета-спектрометре с трехкратной фокусировкой позволили впервые измерить позитронные спектры ряда ядер.

В. А. Сергиенко, измеряя совпадения на двухлинзовом бета-спектрометре, экспериментально подтвердил или установил большое число возбужденных уровней атомных ядер. В дружный коллектив кафедры влились и первые исследователи из социалистических стран. Здесь работали аспиранты из ЧССР Б. Крачик, И. Звольски, В. Звольска, из БНР — Ж. Желев. На приборах проводили измерения студенты из ГДР, ЧССР, КНР и других стран. В постоянных обсуждениях результатов работ, в планировании экспериментов участвовали теоретики кафедры Л. К. Пекер, М. А. Листенгартен, В. А. Крутов, Л. Н. Зырянова,

Одной из форм подведения итогов работы оказались ежегодные совещания по нейтронодефицитным изотопам, которые проходили в Дубне с 1958 года. Обобщения содержались также в десятке кандидатских диссертаций, защищенных в конце 50-х и в начале 60-х годов. Проводимые работы были целенаправленными. Созданная в 50-е годы Бором и Моттельсоном обобщенная модель, за которую авторы были удостоены Нобелевской премии, нуждалась в экспериментальной проверке и уточнении на многих ядрах. Модель развивалась, конкретизировалась, выявлялись новые особенности. Это стало возможным только в результате набора огромного экспериментального материала. Многие исследования «дубненских» изотопов послужили основой для развития модели. Цикл публикаций об открытиях новых ядер и установлении их свойств был удостоен первой университетской премии 1959 года, а итог работ был представлен на 2-ю Международную конференцию по мирному использованию атомной энергии в Женеве, что было весьма необычно для того времени вследствие большой секретности ядерных работ.

Вторым важным шагом в развитии работ по строению ядра и сотрудничества между ЛГУ и ОИЯИ было перемещение ленинградских приборов ближе к тому месту, где получают радиоактивные препараты. На площадке Лаборатории ядерных проблем (ЛЯП) построили павильон физических измерений, так называемый «барак». Он явился зародышем будущего отдела ядерной спектроскопии и радиохимии. В нем разместились привезенные из ЛГУ магнитные бета-спектрометры. Здесь началось интенсивное изучение нуклидов, имеющих периоды полураспада выше десятков минут.

Бета-спектры изучали О. Е. Крафт и Н. А. Бонч-Осмоловская на низкофоновом спектрометре. Спектры электронов измеряли Е. П. Григорьев, А. В. Золотавин, В. и И. Звольские на привезенном из Ленинграда и усовершенствованном бета-спектрометре $\pi\sqrt{2}$. Его разрешение было улучшено и доведено до 0,1%. В этих исследованиях нередко принимали участие наши студенты. Первая группа приехала зимой 1958 года. В нее вошли советская студентка Н. Дрессен и чехи И. Адам и М. Вейс. С их участием было проведено исследование ряда ядер и опубликованы полученные результаты.

Нужно отметить большую роль директора ЛЯП В. П. Желепова и заведующего кафедрой ядерной спектроскопии ЛГУ проф. Б. С. Желепова. Они отчетливо понимали актуальность и важность изучения структуры ядра и необходимость объединения усилий дубненских и ленинградских физиков для успешного проведения работ. Сотрудничество обеих лабораторий было закреплено договором между ЛГУ и ОИЯИ. Он узаконил и облегчил отношения и устранил ряд неудобств, связанных с поездками в Дубну.

Третий этап работ начался в середине 60-х годов после окончания строительства нового корпуса и создания в ОИЯИ отдела ядерной спектроскопии и радиохимии. Отдел обзавелся новыми современными приборами, и ленинградцы принимали участие в их эксплуатации. Одновременно происходит совершенствование ленинградских спектрометров как в ОИЯИ, так и в ЛГУ. Новый большой бета-спектрометр был создан и установлен в ЛГУ А. В. Золотавиным, Е. П. Григорьевым, В. О. Сергеевым. Одновременное использование двух приборов с близкими параметрами дало возможность более рационально распределить физические задачи между ними. Были проведены

подробные исследования изотопов гадолиния, европия, гольмия и других. Они легли в основу диссертационных работ М. П. Авотиной и В. О. Сергеева.

Исторически сложилось такое положение, что ОИЯИ стал первым в СССР институтом, где появились полупроводниковые гамма-спектрометры. С 1966 года наладилось тесное сотрудничество с чешской группой Я. Урбанца в Лаборатории нейтронной физики (ЛНФ). Здесь был выполнен цикл работ по исследованию изотопов технеция, родия, палладия, серебра. Их результаты вошли в кандидатские диссертации Ю. Н. Подкопаева, Л. Я. Протасовой (ЛГУ), Я. Липтака (Карлов университет в Праге), составили заметную часть докторской диссертации Е. П. Григорьева. В ЛНФ, а потом в ЛЯП, проводились исследования и традиционных “ленинградских” нуклидов, которые привозились в ОИЯИ и измерялись на новой современной аппаратуре.

Структура ОИЯИ включает ряд институтов, называемых лабораториями, оборудованных крупнейшими ядерными установками. С их сотрудниками были налажены связи ученых университета, тесный контакт Ю. В. Наумова и О. Е. Крафт с коллективом ЛНФ, эксплуатировавшим электростатический генератор протонов, позволил установить нестатические эффекты при разрядке резонансных состояний ядер. Эти исследования послужили основой докторской диссертации Ю. В. Наумова. Совместно с физиками Лаборатории высоких энергий (ЛВЭ) Л. В. Краснов исследовал фрагментацию ядер при их облучении альфа-частицами и другими ионами с энергией в десятки гигаэлектронвольт (ГэВ). Результатом явилось обнаружение изотопических эффектов при расщеплении ядер.

Широкие контакты были установлены в области теоретической и вычислительной физики. Еще в 1961–65 годах К. А. Гриднев и Л. В. Краснов совместно с дубненцами В. К. Лукьяновым, В. И. Фурманом, И. Н. Кухтиной и В. Л. Никитиной создали первую в СССР программу расчета прямых ядерных реакций методом искаженных волн. Ею в течение многих лет пользовались все ядерные центры страны. В 1971 году К. А. Гридневым, В. К. Лукьяновым и В. С. Звоновым была предсказана интерференция кулоновского и ядерного возбуждения ядер, которая позднее экспериментально была подтверждена в Ленинграде, в Физико-техническом институте, и в Копенгагене.

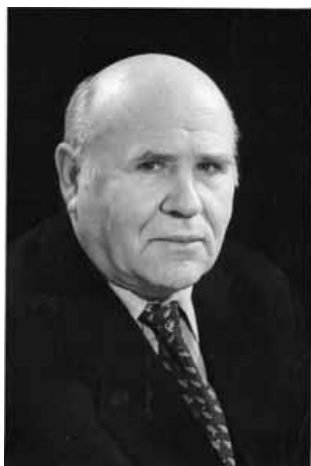
Связи Ленинградского университета и ОИЯИ имеют очень глубокий характер. Многие выпускники ЛГУ стали сотрудниками и ведущими учеными ОИЯИ.

Говоря о сотрудничестве между ЛГУ и ОИЯИ, нужно отметить и постоянный обмен информацией. Он проявляется в основном в совместных работах и в обсуждениях научных проблем, в участии в семинарах, руководстве дипломными и аспирантскими работами. Под руководством В. Г. Калинникова работали в ОИЯИ аспиранты ЛГУ Н. А. Тихонов, А. А. Александров и ряд студентов. Аспирант ЛГУ А. Фересин (руководители Б. С. Дзелепов и М. А. Листенгартен) большую часть своих теоретических расчетов провел в ЛТФ, используя ЭВМ и программы этой лаборатории. Сотрудник ОИЯИ Н. А. Бонч-Осмоловская выполнила кандидатскую работу под руководством Е. П. Григорьева, который прочел также цикл лекций по моделям ядра сотрудникам отдела ядерной спектроскопии.

Нельзя забывать и о регулярном общении многих петербургских и дубненских физиков на ежегодных международных совещаниях по ядерной спектроскопии. Каждое пятое из них проходит в нашем городе, а в 2000-м году предстоит провести 50-е (!) совещание. Петербуржцы проводят совместные работы в ЛЯП, ЛНФ, ЛЯР и ЛТФ, то есть они широко используют возможности современных крупных установок.

За последние годы наблюдается быстрое развитие техники эксперимента. В ЛЯП увеличилась интенсивность пучка протонов на синхроциклотроне, что позволяет получать более сильные препараты. Работают масс-спектрометры, гамма-спектрометры с современной электроникой, обработка результатов опытов ведется на ЭВМ.

В ОИЯИ создан новый комплекс ЯСНАПП — ядерная спектроскопия на пучке протонов. Для него построено новое здание, в которое введен пучок протонов от синхроциклотрона. Система измерительных приборов работает «в линию» с ускорителем. Применяется быстрая химия. Время доставки радиоактивного ядра от мишени к детектору уменьшено до долей секунды.



Константин Александрович Гриднев

К сожалению, полное отсутствие финансирования на приобретение техники в СПбГУ привело к застою в развитии эксперимента. Нет средств на получение радиоактивных источников и стабильных изотопов для мишеней. Из-за отсутствия средств, небольших по сравнению с затратами на эксплуатацию ускорителей или реакторов, практически перекрыт путь даже к еще работающим установкам в других институтах. Физики находят временный выход в обмене экспериментальными данными и другой информацией. Этому способствует технический прогресс, который нас коснулся в результате приобретения вычислительной техники и возможности использования мощных ЭВМ. Неоценима заслуга в этом деле заведующего кафедрой ядерной физики профессора К. А. Гриднева. Его усилиями поддерживаются и укрепляются связи с различными подразделениями ОИЯИ и с целым рядом зарубежных научных учреждений.

Сегодня основным каналом связи, получения и обмена информацией является электронная почта. Безусловно, она ни в какой степени не заменяет ни участия ученых, особенно молодых, в эксперименте, ни личного общения ученых разных институтов и разных стран.

1999 год

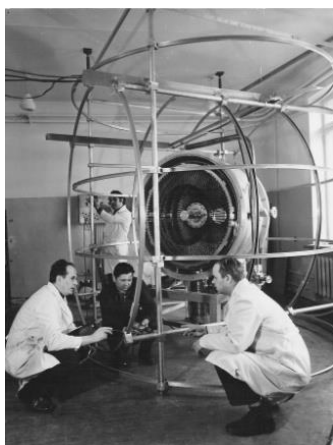
— Пилите, Шура, пилите!
И. Ильф, Е. Петров «Золотой теленок»



Вячеслав Михайлович Горожанкин

Моя работа в ОИЯИ началась в сентябре 1973 года, когда, будучи ассистентом (а с сентября 1974 года — аспирантом) кафедры ядерной физики Воронежского госуниверситета (руководитель доц. Л. Н. Сухотин), я был направлен для выполнения диссертационной работы в Радиохимическую лабораторию ЛЯП, в группу В. В. Кузнецова.

В течение полутора лет в тесном сотрудничестве с коллегами (Г. Лизуреем, М. Гасиором, М. Яницким, немного позднее к нам присоединились Т. Крецу и Г. Макарие) была создана методика измерения и обработки непрерывных бета-спектров. Они были получены на магнитном безжелезном тороидальном бета-спектрометре СТ-2 (типа «Апельсин»), впервые с учетом его функции отклика, включавшей зависимость ее от энергии (импульса) испускаемых электронов. Форма приборной линии, исследовавшейся с помощью ЭВК γ -переходов (в диапазоне энергий 207–587 кэВ) изотопов ^{169}Yb , ^{152}Tb и ^{167}Tm , строилась как суперпозиция «гаусса» и задаваемого в виде экспоненты «хвоста».



Были изучены зависимости изменения параметров функции отклика от энергии электронов и некоторых искажающих факторов, обусловленных свойствами радиоактивного источника (самопоглощение в источнике, обратное рассеяние от подложки) и свойствами самого спектрометра (влияние остаточного вакуума, рассеяние на витках токовой катушки, неточность юстировки источника и детектора в фокусах магнитного поля спектрометра, изменения температуры катушки).

Созданная программа BETARZ, которая минимизировала разность аппаратурного спектра и построенного путем конволюции теоретической формы с функцией отклика спектрометра расчетного спектра, позволяла определять граничную энергию, интенсивность отдельных компонент (в случае многокомпонентного спектра), а также ряд других параметров. С применением разработанной методики были измерены позитронные спектры ^{153}Tb , $^{155,157,159}\text{Ho}$, $^{163,165}\text{Tm}$ и $^{169,171}\text{Lu}$. В перечисленных случаях вероятности испускания позитронов не превышали процентов на распад, а для ^{165}Tm и ^{171}Lu составляли менее $10^{-2}\%$, что свидетельствовало о работоспособности методики.

Зимой 1975 года волею судьбы я подключился к работам по созданию методики прецизионных измерений спектров излучений радионуклидов с помощью ППД под руководством Ц. Вылова. Начальное становление спектрометрии излучений на ППД (связанное с разработкой и изготовлением детекторов, совершенствованием конструкции криостатов, охлаждаемых входных каскадов предусилителей, собственной спектрометрической аппаратуры) к тому времени уже произошло с участием С. Орманджиева, В. С. Александрова, С. К. Васильева, Я. Юрковского, Б. П. Осипенко. Уже появились в группе промышленные французские анализаторы TRIDAC-C (немного позднее DIDAC), стандартизованная стойка из четырех трактов спектрометрических усилителей. Изготавливаемые по отработанной технологии детекторы не выходили из строя продолжительное время (от года до нескольких лет).



В. М. Горожанкин и Ц. Вылов

Находкой того времени явилось введение типовых режимов с дискретным изменением исследуемой энергетической области. Это позволяло закрепить градуировки спектрометров для нескольких диапазонов измеряемых энергий и в дальнейших экспериментах лишь контролировать их неизменность. В организации поточных измерений это оказалось безусловным достижением.

Это было время очень плодотворного познания, когда собственные «открытия» делались практически ежедневно. Особенно интересным был период изучения эффектов, искажающих форму аппаратурного спектра. В группе собралась компания молодых энтузиастов (С. Васильев, А. Иванов, Ш. Оманов, позднее примкнули С. Бацев, Е. Фролов, А. Щусь, М. Еникова), которая под присмотром 30-летних «аксакалов», В. С. Александрова и Ц. Вылова, step by step пыталась создать самодостаточную и последовательную методику измерений радиоизлучений с помощью ППД. Неоценимую помощь все это время нам оказывали И. Егошин, Я. Юрковски, Б. П. Осипенко, В. Г. Чумин, С. Орманджиев, М. И. Фоминых, Л. А. Вылова и др.

Логическим шагом на базе создаваемой методики измерений стало построение нормалей энергий и интенсивностей γ -лучей, необходимых для калибровки спектрометров. Основой будущего набора нормалей энергий послужили результаты кристалл-дифракционных измерений γ -лучей ^{182}Ta и ^{192}Ir (в диапазоне 65–612 кэВ) с последующим расширением диапазона путем использования *кроссовер*- γ -переходов. Для нормалей интенсивностей использовались данные трех абсолютно калиброванных наборов ОСГИ.

Первые этапы построения наборов нормалей (построение кривых эффективности регистрации с помощью источников ОСГИ и измерение энергий *кроссовер*-переходов ^{95m}Tc (диапазон до 820 кэВ)) были пройдены «на ура» без каких-либо заметных трудностей. Надо отметить, что, к счастью, в этом диапазоне была хотя и слабая, но позволявшая контролировать получавшиеся результаты линия 884 кэВ (^{192}Ir). Проблемы начались позднее — в энергетике с каскадами ^{134}Cs и ^{110m}Ag (диапазон до 1,5 МэВ) и в кривых эффективности с точкой ^{113}Sn . Признаюсь, тогда я плохо (а честно, наверное, совсем не) анализировал причины расхождений, достигавших 15–20 эВ для этих каскадов, просто эксперимент давал такой результат, а логического объяснения ему я не находил. Чередовались комбинации усилителей и АЦП, использовались частотно-независимые аттенюаторы, увеличивалось число серий измерений, а согласованность получаемых значений нормалей не приходила. Еще большие расхождения (до 40–50 эВ) начались с переходом 2598 кэВ (^{56}Co). Я бился как рыба об лед, но ничего не получалось. Это сегодня мне кажется очевидным, что по-другому и быть не могло и причиной этих расхождений являлось несохранение формы кривой нелинейности с увеличением энергетического диапазона, когда фактически в конце области измерений у нас стояла одна *кроссовер*-точка и нелинейность экстраполировалась до нее неконтролируемым образом. А тогда?



В. С. Александров и И. И. Оманов



С. Бацев

В конце концов и переход 2598 кэВ, и диапазон до 3,5 МэВ доделывали Симеон Бацев и Шавкат Оманов, и работа была закончена. Так завершился срок моей аспирантуры.

В январе 1978 года я был принят на работу в РХЛ старшим инженером. В этой части своего эссе я сделал упор на методической работе, однако справедливости ради надо заметить, что эта работа проходила на непрерывном «фоне» еженедельных двухразовых (вторник, четверг) облучений мишеней на синхроциклотроне, химического их разделения, сепарирования источников, измерений и обработки спектров. Спектроскопическая деятельность вызывает самые приятные воспоминания от общения с М. Я. Кузнецовой, Н. А. Бонч-Осмоловской, ленинградцами М. А. Михайловой, Р. Б. Ивановым, В. П. Приходцевой. Это они дали мне познания о схемах распада и интерпретации экспериментальных данных, что позволило немного позднее защитить диссертацию.

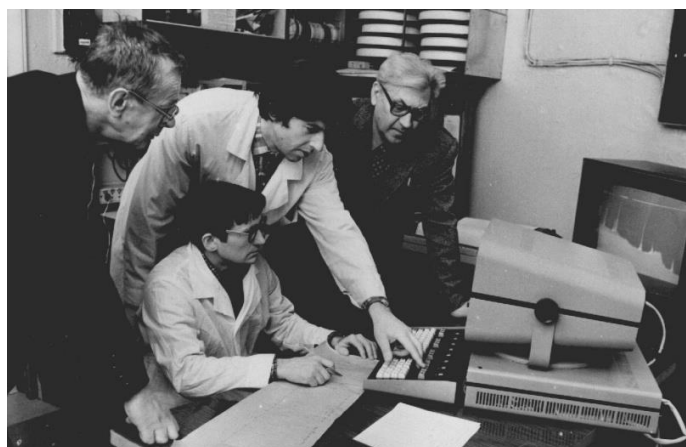
Далее моя работа на достаточно долгое время переплелась, а потом перешла в тесное сотрудничество с В. Н. Покровским и коллегами из МИФИ (В. П. Чистяковым, Т. М. Телевиновой, М. Лепешкиным, немного позднее Б. А. Щукиным, В. В. Пилугиным,

Л. Л. Капустиной). С их помощью удалось познакомиться с новыми для меня областями знаний — оценивания ядерных данных и интерактивной обработки экспериментальных данных.

В это же время в сотрудничестве с РИАН (В. Г. Недовесовым, Ю. В. Хольновым, В. П. Чечевым) и ВНИИФТРИ (В. Даниленко, С. Матвеевым, Э. К. Степановым) проводилась разработка стандартных справочных данных в области гамма-спектрометрии. Счастливое сочетание теоретических разработок от первого сотрудничества с практическим приложением к оценке конкретных экспериментальных данных и созданию на их основе адаптированных справочных данных в значительной мере повлияло на мое будущее.



*Т. И. Попова, Н. А. Головков, В. М. Горожанкин, В. М. Михайлов,
М. А. Михайлова, В. П. Приходцева*



Р. Б. Иванов, Ю. С. Саульский, С. К. Васильев, А. Г. Дмитриев

Неизгладимое впечатление осталось у меня от эксперимента по измерению спиральности нейтрино из распада ^{152m}Eu , проводившегося в сотрудничестве с ИЯФ УзССР (г.Улугбек). Фактически это было повторение классического опыта Гольдхабера, Гродзинса и Саньяра в новых экспериментальных условиях (использование ППД, более современная электроника).

В КОНТЕКСТЕ

Морис Гольдхабер (18.04.1911–11.05.2011) — американский физик, член Национальной АН (1958). Родился во Львове. Учился в 1930–1933 гг. в Берлинском университете, окончил Кембриджский университет (1936), где работал в 1936–1938 гг. В 1938–1950 гг. — профессор

Иллинойского университета, с 1950 г. — в Брукхейвенской национальной лаборатории (в 1961–1973 гг. — директор).

Работы в области атомной и ядерной физики, нейтронной физики, физики элементарных частиц, космологии. Совместно с Дж. Чэдвигом открыл в 1934 г. ядерный фотоэффект и предсказал (1935) бета-распад свободного нейтрона, осуществил (1934–1936) расщепление медленными нейтронами ядер ряда легких элементов (лития, бора, азота). Открытые реакции, в частности ${}^6\text{Li} + n \rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{H}$ (1934–1935) и ${}^{14}\text{N} + n \rightarrow {}^{14}\text{C} + p$ (1936), имели большое значение как источник получения соответственно радиоактивных трития ${}^3\text{H}$ и углерода ${}^{14}\text{C}$. В 1937 г. выполнил первые систематические исследования рассеяния медленных нейтронов ядрами и получил значение их поперечного сечения (использованное в первых ядерных реакторах). В 1940 г. показал, что бериллий можно использовать в качестве замедлителей нейтронов. В 1948 г. с Э. Теллером предсказал резонансное рассеяние на ядре (гигантский резонанс) и в 1950 г. наблюдал его.

Измерил (1958) спиральность нейтрино (опыт Гольдхабера). Провел эксперимент по проверке закона сохранения электрического заряда, установил, что период полураспада для процесса $e^- \rightarrow \nu + \gamma$ превосходит 10^{19} лет. В 1956 г. разработал схему классификации элементарных частиц, положив в основу три частицы: протон, нейтрон и отрицательный каон (модель Гольдхабера). Выдвинул гипотезу Вселенной на ранней стадии ее эволюции.

За исследования электромагнитных и слабых взаимодействий в ядрах удостоен в 1971 г. премии Т. Боннера.

Мне казалось еще с университета, что я понимаю этот эксперимент. Как глубоко я ошибался! Обработка и интерпретация полученных результатов — вот когда выявилось глубочайшее заблуждение относительно собственной оценки моих познаний. Получение расчетной степени циркулярной поляризации γ -квантов, учитывающее множество физических явлений, влияющих на сечение резонансного рассеяния на Sm мишени, — это впечатлило (Покровский! А Гольдхабер!! Ведь мы-то уже повторяли!). И когда эксперимент подтвердил сделанные оценки, у меня был внутренний подъем: сошлись все наши умозаключения и их описание соответствовало природным процессам.

И совсем противоположный осадок остался от наступившего далее периода Любимова–Рагхавана–Симпсона. Результаты этих экспериментов как-то сразу на интуитивном уровне вызвали недоверие в их реальности. Несомненно, работы Любимова стимулировали на десятилетие вперед большой скачок в методическом развитии спектрометрии электронов в тритиевых экспериментах, становление и гигантское развитие нового направления исследований (изучение нейтринных осцилляций), стремительное возобновление интереса к изучению и, в конце концов, наблюдению двойного бета-распада. Но удовлетворения от собственных работ этого периода у меня нет: они носили характер какой-то отрывочности и метаний в проводимых экспериментах, завершившихся безвременным уходом В. Н. Покровского и моим переходом в администрацию.

Воспоминания о работе Ученым секретарем оставляют двойственное впечатление. С одной стороны, мне удалось познакомиться и узнать очень многих людей — как в лаборатории, так и в Институте — исключительно благодаря этой должности, но в профессиональном и человеческом плане, мне кажется, я потерял гораздо больше. После возвращения в отдел ощущение отношения окружающих к тебе как к клерку не покидает меня до сих пор.



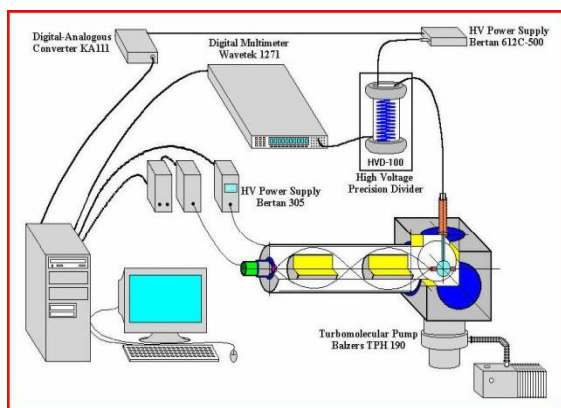
И. Н. Михайлов, В. Г. Егоров, В. М. Горожанкин, К. Я. Громов

Мое возвращение в отдел совпало с началом кардинальных реформ в обществе. На работе это сказалось так же кардинально: практически перестал работать ускоритель, в здании не осталось работающих спектрометров, добывание каждого источника — длительный процесс, химия закрыта, а самое главное — взаимоотношения между людьми перешли исключительно в денежную плоскость. Очень непривычно стало работать в новых условиях. Капиталистической ответственности, когда за невыполнение должностных обязанностей должно следовать увольнение, так и не наступило, но принцип, что за каждые выточенные болт или гайку должна быть премия, был усвоен очень быстро.

Попытка наведения методического порядка в измерениях спектров низкоэнергетических (до 50 кэВ) электронов на ESA-50 осталась нереализованной. Проведение серии из нескольких сотен измерений конверсионных спектров ^{57}Co и ^{169}Yb с варьированием условий приготовления тонких источников и измерений, казалось, позволило добиться устойчивой воспроизводимости в получении их величин энергии и интенсивности. Как вдруг эксперименты с ЭВК ^{83}Rb выявили такие большие (на порядок выше погрешности) расхождения, что, кроме как назвать их «твердотельными эффектами», другого объяснения так и не было найдено. И это все наблюдалось для источников-электронных захватчиков. Энергии ЭВК β -распадчиков принципиально сдвинуты от них. Самое главное, что все эти сдвиги в энергиях варьируются от эксперимента к эксперименту (эффектов хоть отбавляй, см. диссертацию А. Ковалика). Для какой-то методичности и последовательности нужно прежде всего стабилизировать источники, а это означает по крайней мере отсутствие любого контакта с атмосферой после напыления, иначе источник окисляется и все плывет. А денег нет. Годы научили осознавать, что финансирование соответствует актуальности задачи, и вывод: значит это не актуально.

Самое неприятное, что в такой же ситуации оказалось большинство методических работ в отделе. А ведь именно развитие методики, на мой взгляд, всегда создавало ту базу, которая позволяла поддерживать современный уровень исследований. Появилось много молодых ребят, которые прекрасно общаются с компьютером (не вылезают из-за дисплея, сделают модельные расчеты всего, что попросишь), но к спектрометру подходят чрезвычайно редко (в отделе по крайней мере, может, где-то еще у них это получается, ведь хоть изредка, но выезжают).

2002 год



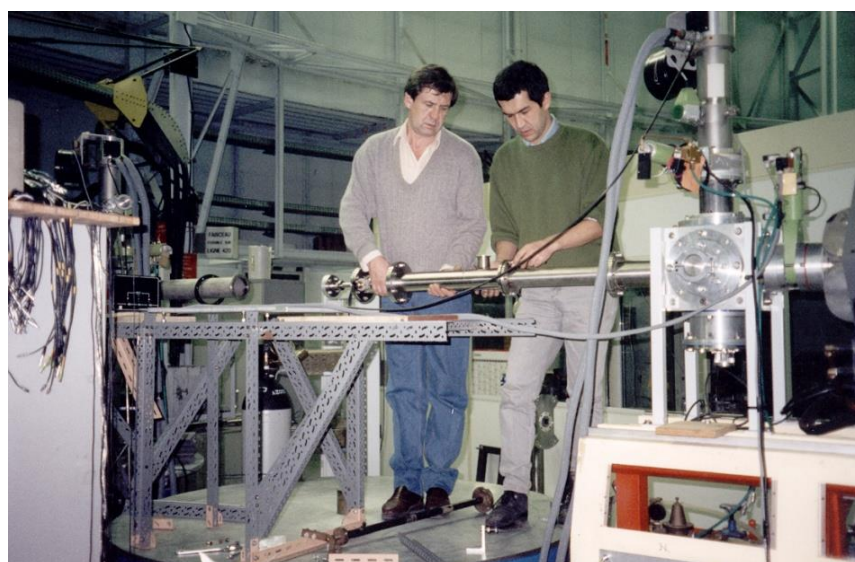
Спектрометр ESA-50



В. М. Горожанкин



Т. А. Осипова



Так работалось в Париже

СОВЕЩАНИЯ ПО ПРЕЦИЗИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ



Бухара, октябрь 1979 года



Бухара, октябрь 1979 года



Паланга, май 1982 года

А. Минкова. ВОСПОМИНАНИЯ О СОЗДАНИИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО СПЕКТРОМЕТРА



Ани Минкова (Ахабабян)

Для меня история электростатического спектрометра началась жарким июньским днем 1979 года. В большом зале ЛТФ проходила международная конференция, в которой, как я узнала, должен был принять участие мой коллега Ненчо Ненов. В обеденный перерыв я зашла в зал, но заседание продолжалось, поэтому я решила подождать в фойе. Там стояла элегантная дама, которая тоже, видимо, ожидала окончания заседания. Бросив взгляд на бейджик на груди дамы, я поняла, что она из Франции. Призвав на помощь свой французский, в котором мне в последний раз довелось упражняться в 1974 году в Страсбурге, я завязала разговор.



Шанталь Бриансон



Роберт Вален

Мы беседовали на самые разные темы, в том числе оказалось, что у нас обеих есть сыновья и т. д. Слово за слово стало ясно, что французские коллеги собрали маленький электростатический электронный спектрометр с очень высоким разрешением. Так как я работаю на кафедре атомной физики, эта новость чрезвычайно сильно заинтриговала меня, и в тот же день после обеда я направились в 116-й кабинет в здании РХЛ, чтобы сообщить данную новость начальнику сектора доктору Цветану Вылову. Он ответил мне, что знаком с француженкой по ежегодным конференциям, посвященным ядерной спектроскопии, и что может пригласить ее рассказать нам о новом приборе. Француженка приняла наше приглашение, и встреча состоялась.

Я очень хорошо помню, как она показывала привезенные диапозитивы, проецируя их на стену в кабинете Цветана. Среди присутствовавших были проф. Громов, Симеон Бацев и, конечно же, Цветан Вылов. Был ли тогда среди нас Игорь Михайлов, не помню, но я

почти уверена, что после завершения демонстрации, когда были получены ответы на все вопросы, связанные со спектрометром, Громов предложил г-же Шанталь Бриансон (так звали нашу новую французскую знакомую) написать вместе с Михайловым статью в ЭЧАЯ: он – теорию, а она – экспериментальные аргументы в ее поддержку. В дальнейшем они начали работать над этой статьей, и отношения между ними стали очень теплыми и дружескими.

Даже больше, но об этом я узнала два года спустя, когда по нашему приглашению в конце февраля Шанталь прибыла в Дубну. Из-за антизападных настроений, нагнетавшихся в советском обществе в связи с последним съездом КПСС, у Шанталь были очень серьезные проблемы с получением визы. Кроме того, в дни визита Шанталь в Дубну супруга Игоря устраивала ему такие скандалы, что мне пришлось пригласить г-жу Бриансон к себе домой, а через два дня сопровождать ее до аэропорта Шереметьево... Но...вернемся к спектрометру...

Рассказ Шанталь произвел на меня такое сильное впечатление, что я тут же в пылу предложила Цветану и Бацеву: "Давайте и мы тоже сделаем такой спектрометр!". Как будто мой энтузиазм передался им, и мы начали постепенно обсуждать: для каких целей мы сможем его использовать и что им можно будет измерять? Моей заветной студенческой мечтой было заниматься ядерной спектроскопией, а в группе Петрухина, в которой я к тому времени работала уже два года, мезохимия меня особо не привлекала... Я уже не помню точно, когда мы решили собрать спектрометр, но помнится, что однажды Цветан торжественно спросил меня: "Ты берешься довести дело до конца? И чтобы без сюрпризов, типа выхода в декрет!". В ответ на это я дала торжественное обещание, что выполню все, что надо, и ни за что не подведу, что за механическую часть я беру на себя полную ответственность, но вот не знаю, как быть с автоматикой. На что Цветан ответил мне: "Именно с этим у тебя не будет никаких проблем!".

Итак, мы начали переговоры с Шанталей. Подробностей по датам не помню. В те времена не существовало электронной почты, а телефонная связь с границей была трудным делом. Кажется, мы заявили Шанталей о своих намерениях в ходе ее следующего визита в Дубну. Несколько месяцев спустя Громов посетил лабораторию Валена в Орсе и увидел спектрометр.

Прошло еще некоторое время, и Шанталь привезла нам чертежи их спектрометра, после чего я начала их изучать. Несомненно, нам предстояло многое выяснить, ответить на множество вопросов. Между тем в конце 1979 года в Дубне появился и Петьо Петев. Ему было поручено спроектировать все необходимое для автоматизации управления спектрометром. В апреле 1980 года Шанталь должна была приехать вместе с Робертом Валеном на ежегодную конференцию по ядерной спектроскопии (не помню, где она должна была проходить), и мы решили, что должны встретиться с ними в Москве. Французы остановились в гостинице "Интурист". Мы с Петевым сели на электричку из Дубны и прибыли в столицу. В те времена попасть в отель, где проживали иностранцы, было серьезным драматическим приключением, но нам все же удалось туда проникнуть, и мы встретились с Шанталей и Робертом в баре на 20-м этаже. То, что мы рассматривали чертежи и беседовали по-французски, сильно заинтриговало местные спецслужбы, и вокруг нас как бы ненароком вдруг оказалось множество людей, которые очень внимательно слушали, о чем мы говорим. Но это я осознала лишь на обратном пути в поезде, а тогда больше следила за тем, что говорю, а не за тем, кто находится вокруг нас...

Постепенно дела налаживались, и я начала готовить чертежи спектрометра. Вначале мы решили сделать его один к одному с французским, что сильно облегчало мою задачу. Я подготовила все схемы в деталях (около 60 шт.) за два месяца. Я копировала их со сборочного чертежа на миллиметровку на прозрачном столе на 3-м этаже в РХЛ. Дело дошло до того, что Петрухин как-то лишил меня премии, потому что в его отделе я почти

не появлялась. Пришлось собрать чертежи и пойти с ними к нему. Моя работа произвела на Петрухина такое сильное впечатление, что он в дальнейшем попросил сделать ему копии, чтобы по ним собрать собственный спектрометр для его нужд.



Петьо Петев

Я как раз закончила чертежи, когда в ходе своего очередного визита в Дубну Шанталь и Вален предложили сделать наш спектрометр в полтора раза большим. Конечно, все пришлось начать сначала, но на этот раз дела пошли значительно быстрее, потому что на чертежах по деталям я изменяла только размеры и масштаб. Мы отправили заказ в большую мастерскую к Сазонову и стали ждать своей очереди.

Осенью в Дубну прибыл Отокар Драгоун из ИЯФ (г. Ржеж) и рассказал нам об их спектрометре. Думаю, прошло не много времени, и Цветан направил меня в Ржеж, чтобы посмотреть на их электростатический спектрометр, который уже работал. В то время в Ржеже проходила какая-то конференция, на которой Драгоун попросил меня сделать доклад о нашем проекте. Участники конференции проявили к нему большой интерес. Увиденное в Ржеже навело меня на новые идеи, связанные с вакуумной системой, включая и то, что вакуумные уплотнения следует сделать из индия. Таким образом, вернувшись из Чехословакии, я принялась добавлять новые канавки под индиевые прокладки. Сборка спектрометра к тому времени уже сильно продвинулась, поэтому изменения следовало вносить прямо на ходу.



Отокар Драгоун



Электростатический спектрометр в ИЯФ (Ржеж)

Одновременно я начала проектировать вакуумную систему и крепежные детали для спектрометра и вычерчивать их. Вакуумная система включала большой сорбционный насос довольно сложной конструкции, но в мастерских его выполнили с исключительно высокой точностью. В это время я уже перешла в сектор Цветана и работала в одном кабинете с Чуминым, который помогал мне очень ценными советами.

Цветан решил, что мы должны увидеть спектрометр в Орсе, и нас с Петевым откомандировали туда на 20 дней. Кажется, это было осенью 1981-го. Я обсуждала все подробности с Бернаром Леграном, французским конструктором спектрометра, а Петев с Гобло и Даниэлем Лекутюрье обсудили системы накопления спектров и автоматизации управления. Несколько месяцев спустя Шанталь приехала в Дубну вместе с Бернаром и Даниэлем для того, чтобы мы продолжили работы с их помощью и рекомендациями.



Знакомство со спектрометром в Орсе (1981)

Пока все развивалось нормально и зависело лишь от нас и нашего энтузиазма. Но следовало найти средства на источник высокого напряжения, делитель и высокочувствительный вольтметр. Они являлись частью автоматизированной системы управления. Для вакуумной системы пришлось удовлетвориться насосами советского производства. Так как вакуум должен был быть "безмасляным", мы остановились на компромиссном варианте, включавшем форвакуумный насос с азотной ловушкой, сорбционный насос, сделанный в местных мастерских, и ионно-разрядный насос НОРД. Требование отпустить средства на покупку западной электроники должно было быть подкреплено очень существенными аргументами: в каких целях необходим данный спектрометр? Одним из самых серьезных наших доводов стало то, что мы можем измерять массу нейтрино. Может быть, это совпало с сенсационным результатом, опубликованным в 1981 году ИТЭФ, относительно измеренной "ненулевой массы нейтрино". В это же время Цветана попросили написать рецензию на проект Ю. К. Акимова, касавшийся эксперимента по исследованию двойного бета-распада. Не помню точно, каким был тот проект, но данная рецензия помогла Цветану гораздо глубже вникнуть в проблемы двойного бета-распада и, подвергнув критике слабые места проекта, придти к идее создания телескопа из 16 пар кремниевых детекторов с источниками кальция-48 между каждой парой...

Итак, весной 1982 года электростатический спектрометр вместе с вакуумной системой, системой управления высоким напряжением и пр. был готов. У нас, однако, не было ни делителя напряжения, ни источника, с которыми мы могли бы его запустить и посмотреть, что у нас получилось. Шанталь и Вален, для того чтобы запустить спектрометр, решили сделать источник иттербия-169 и привезти в Дубну свой делитель. Французские коллеги прибыли в мае 1982 года, и при выходе из аэропорта Шереметьево источник был

зафиксирован. Очевидно, своим непривычным видом и размерами делителя он привлек внимание спецслужб, и они срочно вызвали человека со счетчиком. А источник в вакуумной стеклянной ампуле находился среди туалетных принадлежностей Валена.



*17 мая 1982 г. Запуск спектрометра.
На столе болгарское, советское и французское шампанское*

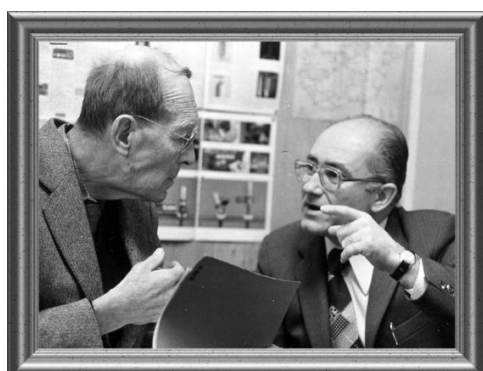
К моему огромному сожалению, мне не довелось присутствовать при историческом запуске спектрометра, так как у моего отца случился сердечный приступ и мне срочно пришлось вылететь в Софию, где спустя несколько дней (9 мая) он скончался. Я вернулась в Дубну позднее. Уже первые спектры показали невиданное мною ранее разрешение. На них сразу были видны дискретные потери энергии. Измеренные таким образом с этим первым источником спектры подтолкнули нас к пониманию роли естественной ширины линии. Мы поняли, что если она не учитывается при анализе спектров, можно "сгенерировать" массу нейтрино. Именно это Громов продемонстрировал коллегам из ИТЭФ на конференции в Москве в следующем году. До тех пор подобные идеи не приходили им в голову. А мы измерили эти М-конверсионные линии перехода 20,7 кэВ, которые в дальнейшем они использовали в качестве инструментальной формы линии при обработке непрерывных бета-спектров трития.

Думаю, излишне будет описывать наши следующие шаги: долгий путь к созданию программ для обработки измерений спектров и еще более долгий к получению источников такого качества, каким обладали источники Роберта Валена, этого исключительного экспериментатора, физика и химика...

В июне 1983 года мы вернулись в Софию, и я продолжила работать в разных проектах, в том числе и над повышением эффективности спектрометра, ежегодно проводя в Дубне по три месяца. Эстафету по обслуживанию спектрометра принял Анвар Иноятов, защитивший кандидатскую диссертацию по результатам своей работы на данной установке. За ним последовал и Алоиз Ковалик, бывший аспирантом Драгоуна.

Лично я очень рада тому, что именно Ковалик стал работать со спектрометром и что до сих пор, вот уже 20 лет после его запуска, это исключительно востребованный в проведении исследований прибор, системы которого многократно усовершенствовались и который дает отличные физические результаты. Я счастлива и потому, что такой педантичный и точный спектроскопист, как Слава Горожанкин, также работает на спектрометре, получая и обрабатывая множество данных, что, надеюсь, приведет в конце концов к публикации Атласа измеренных электронных спектров.

13 января 2002 года



8 апреля 1982 г. Юбилей Роберта Валена. Дом ученых ОИЯИ



Анвар Иноятв

Идея создания спектрометра ESA-50 возникла во время визита Цветана Вылова и Ани Минковой во Францию (Орсе) в 1979 году, куда они приехали по приглашению Шанталь Бриансон. В то время в ЦЯСиМС Орсе был только что построен предшественник нашего спектрометра, имевший меньшие размеры. Уникальной особенностью спектрометра являлось то, что в приборе впервые для задач ядерной физики были объединены два типа анализатора: интегральный сферический замедлитель и дифференциальное двойное цилиндрическое зеркало.

Необходимость создания в Дубне подобного спектрометра с усовершенствованной конструкцией и улучшенными параметрами была обусловлена целым рядом актуальных задач ядерной и атомной физики, таких как поиск сильно конвертированных низкоэнергетических ядерных переходов, изучение безрадиационной релаксации атомных оболочек при радиоактивном распаде, решение проблемы, связанной с оценкой массы электронного антинейтрино из анализа бета-спектра трития, и др. С учетом требований физических задач, поставленных для дубненского спектрометра, было решено, что новый прибор из соображений увеличения трансмиссии должен иметь большие по сравнению с прототипом размеры, и в его конструкцию были внесены соответствующие изменения.



Цветан Вылов



Анвар Иноятв и Ани Минкова

Работы по созданию спектрометра в НЭОЯСиРХ ЛЯП ОИЯИ проводились под руководством Ц. Вылова. В 1979 году А. Минкова при техническом содействии французских коллег завершила подготовку и комплектацию всей технической

документации, и чертежи нового спектрометра были переданы в опытное производство ЛЯП (ОП). Неоценимую помощь и поддержку в исполнении заказа в опытном производстве — которое в то время было полностью мобилизовано на реконструкцию фазотрона — оказали проф. К. Я. Громов, дирекция ЛЯП и начальник ОП В. Г. Сазонов.

За сравнительно короткий срок к концу 1979 года основные детали спектрометра были уже готовы, и А. Минкова приступила к работам по их монтажу в комнате 222 корпуса НЭОЯСиРХ. С началом сборочных работ совпало мое прикомандирование в качестве стажера-исследователя в группу, возглавляемую Ц. Выловым. Вся моя последующая работа в группе была связана с запуском и проведением физических исследований на ESA-50.

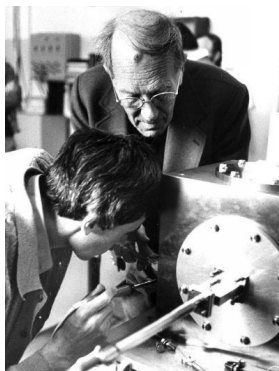
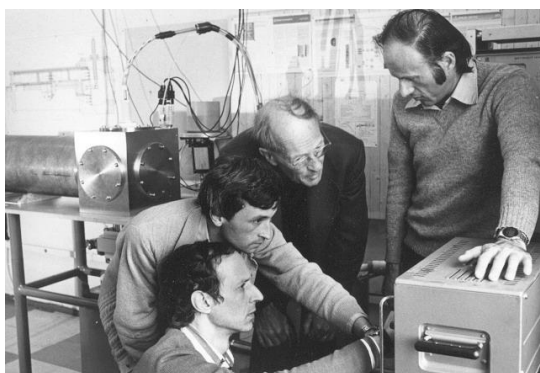
До 1981 года проводились работы по сборке спектрометра и комплектации вакуумной системы. В основу вакуумной системы была положена безмасляная откачка (вакуум не хуже 10^{-6} мм рт. ст.) с помощью магниторазрядного насоса НОРД-250, который в последующем доставил нам немало хлопот и едва не сыграл роковую роль в судьбе спектрометра (да и не только спектрометра). Но все это было позже, а пока мы вместе с А. Минковой выполняли рутинные, но небезынтересные работы по юстировке деталей и доработке отдельных узлов спектрометра и вакуумной системы. Завершение сборочных и наладочных работ совпало, к сожалению, с окончанием срока работы Ани Минковой в ОИЯИ.

В начале 1982 года она уехала в Болгарию, в дальнейшем приезжала в Дубну в сравнительно краткосрочные командировки и принимала непосредственное участие в доработках конструкции спектрометра. Параллельно со сборочными работами проводились работы по отладке системы стабилизации высокого напряжения и управления спектрометром. Согласно выбранному режиму работы спектрометра развертка спектра осуществлялась изменением тормозящего напряжения на сферическом замедлителе в пределах от 0 до 50 кВ с шагом 1 В. При этом стабильность высокого напряжения должна поддерживаться на уровне 10^{-5} . Эти условия обеспечивались с помощью специально разработанного Оливье Гобло (Орсе) и П. Петевым блока в стандарте КАМАК, шестиразрядного цифрового вольтметра и высокоточного термостабильного делителя высокого напряжения SPELMANN.

На начальном этапе управление спектрометром осуществлялось в полуавтоматическом режиме, а позже было полностью автоматизировано на базе микроЭВМ в стандарте КАМАК. Разработка программного обеспечения к микроЭВМ выполнена В. Т. Сидоровым из ОАФЭ ЛЯП.

К началу 1982 года все подготовительные работы к запуску спектрометра были практически завершены, и в мае в присутствии наших французских коллег Ш. Бриансон, Р. Валена, Б. Леграна были выполнены первые измерения спектра низкоэнергетических электронов из распада радионуклида ^{169}Yb . Эти измерения сразу же продемонстрировали превосходные параметры спектрометра. Например, ширина (ПШПВ) измеренной аппаратурной линии $L_{120,7}$ кэВ ($E_c=10,6$ кэВ) составила 8,1 эВ при естественной ширине этой линии $\Gamma(L_1)\approx 5$ эВ, а линии $M_{120,7}$ кэВ ($E_c=18,4$ кэВ) – 19 эВ при $\Gamma(M_1)\approx 14$ эВ. Эти результаты соответствуют абсолютному разрешению спектрометра $\sim 6,8$ эВ в области энергий $E_c\sim 20$ кэВ, что являлось тогда рекордным.

Как известно, использование спектрометра с высоким энергетическим разрешением является необходимым, но недостаточным условием для достижения соответствующего уровня точности и достоверности в спектрометрии излучения низкоэнергетических ($E_c < 30$ кэВ) электронов при радиоактивном распаде. С этой точки зрения запуск спектрометра был только начальным этапом новых в ОИЯИ исследований.



Запуск электростатического бета-спектрометра

Фактически к тому времени мы имели только базовый прибор, применительно к которому еще предстояло с нуля разрабатывать методику прецизионной спектрометрии низкоэнергетических электронов, включавшую все процедуры: от приготовления тонкослойных бета-источников до обработки аппаратурных спектров и калибровки спектрометра. Высокая чувствительность формы аппаратурной линии низкоэнергетических электронов к качеству используемого радиоактивного источника предъявляет к характеристикам источников жесткие, порой несовместимые друг с другом требования. Основное из них – минимальная толщина радиоактивного слоя при максимальной удельной активности.

В электронной спектроскопии существует множество методов приготовления тонкослойных бета-источников. Однако ни один из них не может претендовать на универсальность, поскольку выбор метода определяется конкретной задачей и условиями эксперимента. В качестве базового мы избрали метод испарения в вакууме, внося в него целый ряд новшеств, направленных на улучшение качества изготавливаемых источников. Выбранная процедура испарения позволила нам с достаточной стабильностью изготавливать бета-источники высокого качества. В случаях, когда это было необходимо, мы использовали и другие методы, такие как электролитическое осаждение и ионная имплантация.

Так, позже нашими радиохимиками был предложен еще один способ получения мономолекулярных слоев (основанный на модификации метода Ленгмюра-Блоджетт), который в ряде случаев дал превосходные результаты. Наши достижения в изготовлении высококачественных бета-источников стали возможными благодаря высокому профессионализму сотрудников сектора радиохимии А. Ф. Новгородова, Н. А. Лебедева и Д. В. Философова.

Параллельно с разработкой методики спектрометрии проводились первые измерения исследовательского характера. Запуск спектрометра совпал во времени с необычайным подъемом интереса исследователей к процессам с участием электронного (анти)нейтрино, а именно к возможности оценки m_ν путем детального изучения этих процессов. Ввиду малости ожидаемой величины особый интерес представляла форма бета-спектра трития в области граничной энергии $Q_\beta(^3\text{H})=18,6$ кэВ, из анализа которой в 1981 году группа ИТЭФ впервые получила указание на ненулевое значение $m_\nu c^2$ ($14 < m_\nu c^2 < 46$ эВ).



Семинар В. Третьякова в ОИЯИ о массе антинейтрино

Вскоре после опубликования результатов ИТЭФ десятки лабораторий мира обнародовали свои проекты по тритиевым экспериментам и приступили к их реализации.

Во всех экспериментах, связанных с измерением бета-спектра трития, вывод о наличии и величине массы (анти)нейтрино основывается на нескольких предположениях, главным из которых является точная информация о приборной форме линии системы “источник–спектрометр”. Поскольку искомая форма линии, в свою очередь, определяется при помощи калибровочных линий (как правило, конверсионных либо оже-линий), энергии которых близки к $Q_{\beta}(^3\text{H})$, то возникает необходимость детального изучения формы самих этих линий. Так, согласно результатам вычислительных экспериментов В. Н. Покровского с соавторами, неучет лишь естественной ширины калибровочной линии может привести к генерации ненулевого значения m_{ν} при истинном нулевом его значении. Использование в качестве калибровочных линий К-серии оже-электронов элементов с малыми атомными номерами требует вдобавок детального изучения структуры оже-переходов.



В. Н. Покровский

Указанные проблемы явились первоочередными на начальном этапе физических измерений на ESA-50. Первые измерения касались определения естественных ширин атомных уровней из анализа аппаратурной формы одиночных конверсионных линий. В рамках данной задачи было проведено свыше 30 измерений спектров ЭВК из распада ^{57}Co , ^{169}Yb (использовался в качестве калибровочного источника в тритиевых экспериментах) и ^{201}Tl . Для обработки аппаратурных спектров конверсионных линий В. Н. Покровским, И. А. Простаковым и А. А. Пасько (МИФИ) был предложен алгоритм и на базе ЭВМ СМ-4 разработана программа диалоговой графической оптимизации. В полезных обсуждениях методов решения задачи и анализе результатов активное участие принимали А. Проjkова и А. Маринов (Болгария). В результате впервые из прямых измерений формы конверсионных линий были получены экспериментальные данные о естественных ширинах атомных уровней Fe, Tm, Hg.



И. А. Простаков и А. А. Пасько



А. Маринов

Начало систематических исследований спектров оже-электронов, сопровождающих радиоактивный распад ядер, связано с приходом в группу ESA-50 А. Ковалика (1984). По его инициативе и непосредственном участии выполнены работы по систематизации имевшихся к тому времени теоретических и экспериментальных данных по спектрам оже-

электронов из радиоактивного распада и сформулирована программа перспективных исследований на ESA-50. Результатом реализации этой программы явилось детальное исследование KLL-, KLM-, KMM- и LMM-переходов Оже 14 элементов в малоизученной области $23 < Z < 69$. Для большинства исследованных элементов данные были получены впервые.



А. Ковалик

В начале 1990-х годов группу ESA-50 возглавил В. М. Горожанкин. Примерно в это же время группа пополнилась молодыми сотрудниками в лице М. А. Махмуда и Е. А. Якушева. В этот период был выполнен значительный объем работ по модернизации морально устаревших к тому времени вакуумного хозяйства и системы управления спектрометра. В сотрудничестве с ИЯФ АН Чехии были успешно проведены эксперименты по поиску примеси тяжелых нейтрино в β -распаде. Впервые из измерения β -спектра ^{241}Pu получено значение верхнего предела 0,40% на примесь тяжелого нейтрино с массой покоя от 14 до 17 кэВ и 1% для нейтрино с массой покоя от 5 до 14 кэВ.

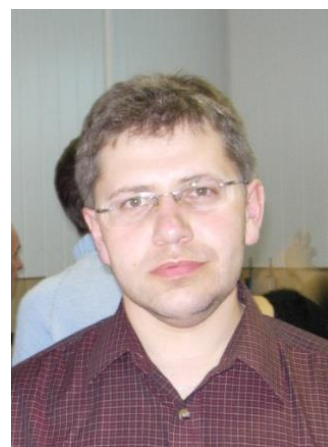
13 января 2002 года



В. М. Горожанкин



М. А. Махмуд



Е. А. Якушев

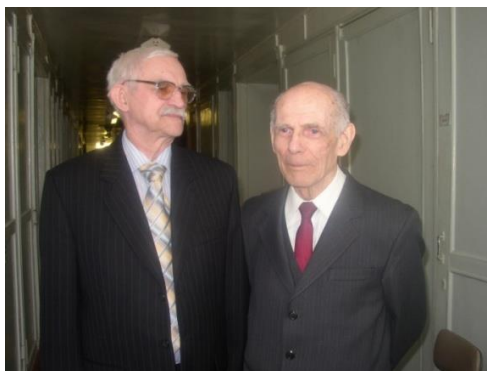
Ю. П. Попов. РАДИОХИМИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ЛЯП
(Опыт сотрудничества)



Юрий Павлович Попов

РХЛ для ЛНФ ОИЯИ очень близкое по научной тематике, а кроме того, и по используемой аппаратуре подразделение. Поэтому нас давно связывают перекрывающиеся интересы, а часто и дружеские взаимоотношения. К тому же и корпуса наши стоят рядом. В случае чего и сходить недалеко. Поставлять друг другу оппонентов для диссертаций нам просто, в чем можно убедиться, посмотрев диссертации наших подразделений. Можно договориться о рецензировании статьи в журнал. РХЛ не раз помогала нам выйти из затруднительных положений.

Вспоминается такой случай. Три десятка лет назад при нормировке сечений реакции (n, α) , которой мы начали заниматься, мы получали результаты, различающиеся вдвое, когда использовали нормировку на тепловое сечение данного изотопа или когда пытались нормироваться на стандартное сечение этой реакции для образца из естественного лития. Около года мучились с этим вопросом, не могли понять причину разногласий, а следовательно, и публиковать результаты. Наконец кто-то посоветовал проверить изотопный состав нашего образца из естественного лития на масс-сепараторе РХЛ. Нам по-дружески тут же помогли. Оказалось, что наш образец из естественного лития содержал ${}^6\text{Li}$ в два раза меньше, чем указывается во всех справочниках. Теперь все встало на места, и мы, уверенные в своих результатах, отправили статью в журнал.



Я. Юрковский и Б. П. Осипенко

Специалисты РХЛ неоднократно помогали нам в освоении новой методики и в работе с полупроводниковыми спектрометрами альфа-частиц (Борис Павлович Осипенко), а пан Ян Юрковский многократно восстанавливал наши $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторы после того, как

они выходили из строя, поработав в наших нейтронных полях. Не раз приходилось нам консультироваться и у А. Ф. Новгорода.



А. Ф. Новгородов



К. Я. Громов

Особенно мне хочется отметить мои взаимоотношения с бывшим руководителем РХЛ Кириллом Яковлевичем Громовым — ученым с широким кругозором и очень доброжелательным человеком, что делает идеальной его кандидатуру для комиссии по приему кандидатских экзаменов или для совета по присуждению научных степеней. С ним не раз приходилось обсуждать интересные для нас вопросы. Да и сейчас мы часто перезваниваемся, обсуждая возникающие проблемы по методике, а также научные или редакторские вопросы.

Хорошо заниматься наукой в ОИЯИ, где рядом работают опытные и доброжелательные специалисты в смежных областях!

2004 год



Выступает В. Ю. Пономарев (ЛТФ). Сидят В. Г. Соловьев и Ю. П. Попов



Жугдарийн Сэрээтэр

Мне посчастливилось впервые побывать в Дубне весной 1958 года, когда я учился на первом курсе физического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова (МГУ). Международный отдел МГУ устраивал экскурсию в Дубну для нас, иностранных студентов. Когда я учился на четвертом курсе, НИИЯФ МГУ посетили монгольские сотрудники, которые в то время работали в ОИЯИ, среди них был Д. Чултэм, впоследствии ставший первым монгольским ученым, получившим ученую степень в Дубне.

Мы с Б. Чадраа были первыми монгольскими выпускниками физического факультета МГУ. После окончания университета в феврале 1963 года меня направили в Монгольский государственный университет (МонГУ), где я преподавал общую физику студентам химического факультета. В конце того же года нас откомандировали в Дубну. Хотя я учился на кафедре профессора Л. В. Грошева и выполнял дипломную работу в лаборатории профессора В. С. Шпинеля, меня направили в Лабораторию нейтронной физики (ЛНФ). Позже узнал, что в ЛНФ до нас работал Н. Содном, один из основателей ядерно-физических исследований в Монголии, и по его инициативе была достигнута договоренность о передаче МонГУ генератора нейтронов (НГ) с энергией 14,7 МэВ. Меня приняли на работу в научную группу А. А. Александрова, где научными сотрудниками работали Г. С. Самосват, Д. Дорчамон (Румыния) и Цой Ген Сор (КНДР). В результате первой моей научной публикацией стала работа по электрической поляризуемости нейтрона, которая была опубликована в «Письмах в ЖЭТФ».



Н. Содном



Д. Чултэм



Ш. Гэрбиш

В 1966 году я получил поручение организовать совместную работу с ОИЯИ по разработке устройства для приведения нейтронного генератора (НГ) в импульсный режим вместе с вновь прибывшими монгольскими сотрудниками: Ш. Гэрбишем и другими. Я помню, что мы с Д. Чултэмом и Ш. Гэрбишем пригласили в кафе Дома ученых Г. И. Забиякина для обсуждения и консультации по данному устройству. Георгий Иванович рассказал, как это делать, и рекомендовал разрабатывать устройство совместно с Г. П. Жуковым и К. Г. Родионовым. Для этой совместной работы мы получили сцинтилляционный γ -спектрометр с 256-канальным анализатором.

В то время 256-канальный анализатор был для нас большой технической новинкой, так как при выполнении дипломной работы в НИИЯФ МГУ я использовал 100-канальный анализатор. Как мы работали с этим анализатором? Чтобы записывать измеренные спектры, нужно было каждый раз нажимать кнопку и записывать вручную число импульсов в канале, при этом для ускорения записи кнопку нажимали ногой с помощью педали, прикрепленной к анализатору (каким образом было сделано это приспособление, сейчас не помню).

Когда я приехал в Дубну через 10 месяцев после окончания МГУ, вычислительная техника в ОИЯИ была уже совсем на ином уровне. Информацию с 4096-канального анализатора получали с помощью цифropечатающего устройства. Один эпизод, как я работал с этим анализатором, был описан М. М. Лебеденко в книге «Дубна. 1956–1966» (стр. 84). Когда я собирался уезжать на родину, эту книгу мне подарил начальник Международного отдела В. С. Шванев с надписью «Моему монгольскому другу и товарищу Сэрээтэру в память о Дубне с наилучшими пожеланиями. 10.08.67».

По возвращении на родину в сентябре 1967 года мне было поручено запускать нейтронный генератор в импульсный режим. При запуске НГ было замечено, что ремень мотор-генератора изношен, а запасного ремня у нас не было. Ремень нужно было достать срочно. Когда я приехал в Дубну и обратился к сотрудникам В. И. Салацкому и А. Б. Кобзеву, работавшим на НГ, ремень быстро достали.



ОИЯИ – 40 лет!

Были у нас и другие трудности при эксплуатации НГ. В то время в Монголии не было жидкого азота для охлаждения диффузионного масляного насоса. Мы вновь обратились в ОИЯИ, на этот раз в ЛЯР. А. М. Кучер сделал для нас приспособление для охлаждения масляного насоса с помощью фреонного холодильного аппарата.

Нам также помогали коллеги из Института ядерной физики Киевского государственного университета. Они поставили на безвозмездной основе разделительный трансформатор для замены мотор-генератора нашего НГ.

Вначале был запущен миллисекундный импульсный, а чуть позже — с помощью сотрудника ЛЯР А. Б. Белова — и микросекундный импульсный режим НГ. Так коллективными усилиями у нас был запущен НГ в необходимом рабочем режиме.

Первые научные работы, сделанные с помощью НГ, были посвящены изучению схем распада основных и изомерных состояний ядер $^{112-118}\text{In}$, возникающих в (n,p)- и (n,2n)-реакциях при бомбардировке разделенных изотопов индия и олова быстрыми нейтронами с энергией 14,7 МэВ. На основе этих исследований по настоянию профессора Д. Чултэма мною была написана диссертация. В то время у нас не было Ученого совета по физико-математическим наукам. Ректор нашего университета профессор Н. Содном написал письмо ректору МГУ Р. В. Хохлову с просьбой рассмотреть вопрос о возможности принятия моей диссертации для защиты в НИИЯФ МГУ. Через несколько месяцев был получен ответ с просьбой прислать диссертацию и другие необходимые материалы. В феврале 1977 года я был откомандирован второй раз в ОИЯИ на 6 месяцев. Целью командировки была защита диссертации. В начале июля 1977 года я защитился на Ученом совете НИИЯФ МГУ. Одним из оппонентов был профессор К. Я. Громов. Так я стал ученым благодаря ОИЯИ и его ученым и сотрудникам, которые бескорыстно помогали мне. Я с благодарностью всегда вспоминаю о Дубне и о ее людях, с которыми я встречался.

Следующая моя длительная командировка в Дубну состоялась в декабре 1988 года через 20 лет после первой. На этот раз я приехал работать по своей специальности в Отдел ядерной спектроскопии и радиохимии. Как раз перед моим приездом после длительной реконструкции был запущен фазотрон.

2003 год



Дирекция ОИЯИ с профессорами и преподавателями МонГУ



Открытие аллеи им. Н. Соднома в ОИЯИ

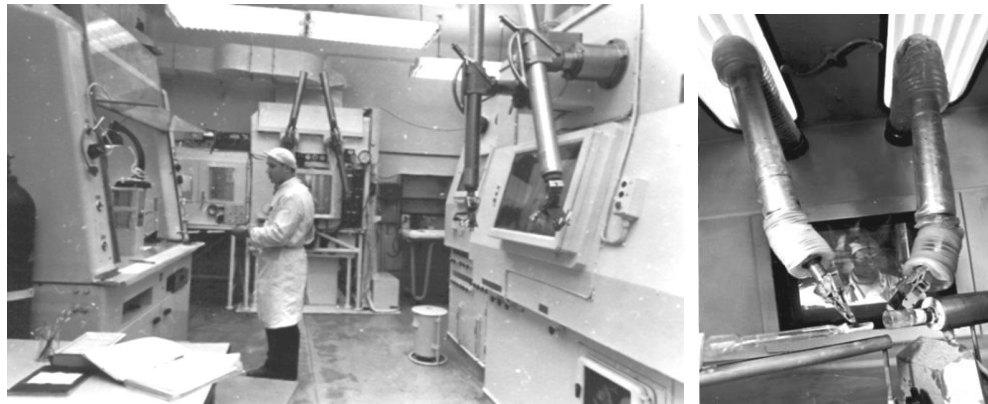
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НЭОЯСиРХ (в рамках ПТП ОИЯИ)

1966–1971. Тема «Спектроскопия нейтронодефицитных ядер, короткоживущие изотопы, тонкая структура спектров»

- Исследование свойств короткоживущих изотопов на пучке синхроциклотрона по программе ЯСНАПП (Г. Музиоль).
- Исследование схем распада деформированных ядер в области $150 < A < 190$ (К. Я. Громов, Ж. Желев).
- Исследование схем распада ядер в переходных областях $140 < A < 150$, $A < 100$ (К. Я. Громов, Ж. Желев).
- Исследование схем распада в области $A = 130-140$ (Ж. Желев, В. А. Морозов).
- Исследование схем распада и тонкой структуры альфа-спектров в области свинца (В. Г. Чумин).
- Разработка методов выделения радиоактивных изотопов (В. А. Халкин).

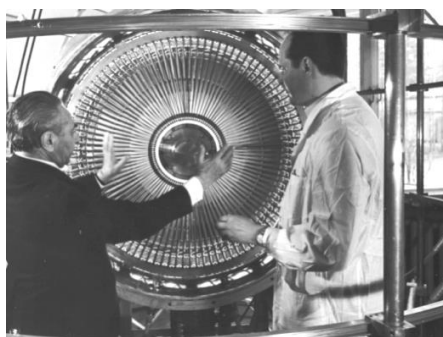
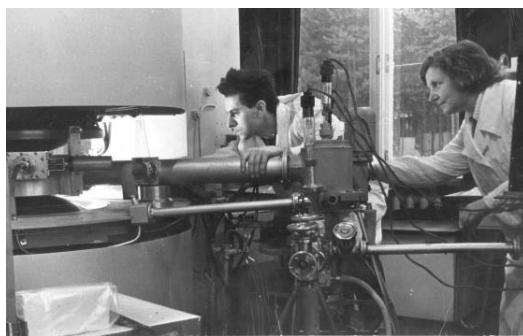
Разработки отдела

Разрабатываются методы получения радиоактивных препаратов для медицины (йод-123, тулий-167). Это обеспечило большой приток химиков и физиков из стран-участниц и интерес к сотрудничеству со стороны советских и зарубежных институтов.



Радиохимическая лаборатория

Создаются собственные магнитные бета-спектрометры: с однородным магнитным полем и заводским торцовым счетчиком Гейгера-Мюллера (1959, Чумин), с неоднородным $\pi\sqrt{2}$ полем и самодельными счетчиками Гейгера-Мюллера (1963, Чумин, Желев), КЭТРОН (Бонч-Осмоловская), магнитный альфа-спектрограф с фотопластинками в качестве детектора (1965, Чумин, Желев, Соболев, Озеров). В Польше приобретается безжелезный тороидальный бета-спектрометр (1973, В. В. Кузнецов, М. Гасиор, М. Яницки). Увеличивается парк магнитных бета-спектрографов с однородным полем и фотопластинками (1969, Г. Я. Умаров, А. А. Абдуразаков с сотрудниками из Узбекистана).



Магнитные спектрометры отдела ядерной спектроскопии и радиохимии



Многоканальный анализатор «Тензор» и ЭВМ «Минск-2»

Вслед за разработкой оригинальной эффективной методики радиохимического разделения редкоземельных элементов появилась методика разделения изотопов с помощью электромагнитных масс-сепараторов. Таким образом была решена и проблема изготовления качественных источников, позволяющих проводить прецизионные измерения спектров электронов и α -частиц. Масс-сепаратор ЯСНАПП положил начало ядерной спектроскопии на пучке протонов (ЯСНАПП) синхроциклотрона ОИЯИ.



Масс-сепаратор РХЛ



Масс-сепаратор ЯСНАПП



Масс-сепараторы НЭОЯСиРХ

Сектор И. А. Ютландова





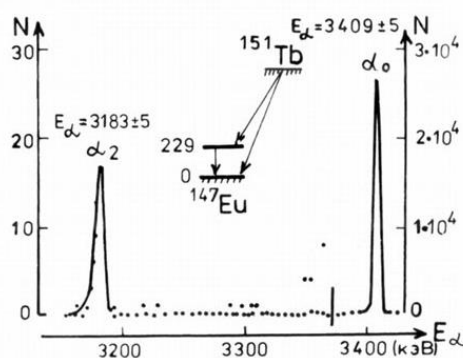
1966 г. Научно-исследовательские работы. Вторая премия

А. А. Абдуразаков, В. Гнатович, К. Я. Громов, Ж. Желев, И. Звольски, В. Звольска, В. Г. Калинин, М. Я. Кузнецова, В. В. Кузнецов, В. А. Морозов, Г. Музиоль, Я. Урбанец, М. Фингер, В. Г. Чумин

«ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ОСНОВНЫХ И ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ СИЛЬНОДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР РЕДКОЗЕМЕЛЬНОЙ ОБЛАСТИ»

Разработанная в Ленинграде и внедренная в ОИЯИ методика выделения из облученной танталовой мишени безносительных образцов редкоземельных элементов обеспечила уникальные, не имеющие аналогов возможности исследований короткоживущих изотопов с периодом полураспада $T_{1/2}$ до 20 мин. Основная новая информация получена в исследованиях спектров конверсионных электронов и позитронов на магнитных бета-спектрометрах и бета-спектрографах, созданных в ЛЯП ОИЯИ.

В исследованиях открыты новые изотопы ^{164}Yb (75 мин), ^{162}Yb (20 мин), ^{162}Tm (20 мин), ^{159}Er (35 мин) и ^{137}Nd (30 мин). Исследованы спектры конверсионных электронов восемнадцати нуклидов, спектры γ -лучей трех нуклидов и спектры позитронов пяти нуклидов. Изучены альфа-спектры изотопов тербия. Полученная информация позволила впервые построить или существенно усовершенствовать схемы распада восемнадцати ядер редкоземельных элементов, определить спины и четности основных и возбужденных состояний. Среди новых возбужденных уровней идентифицированы ряд ротационных и коллективных состояний ядер и трехквартичное состояние ^{165}Er .

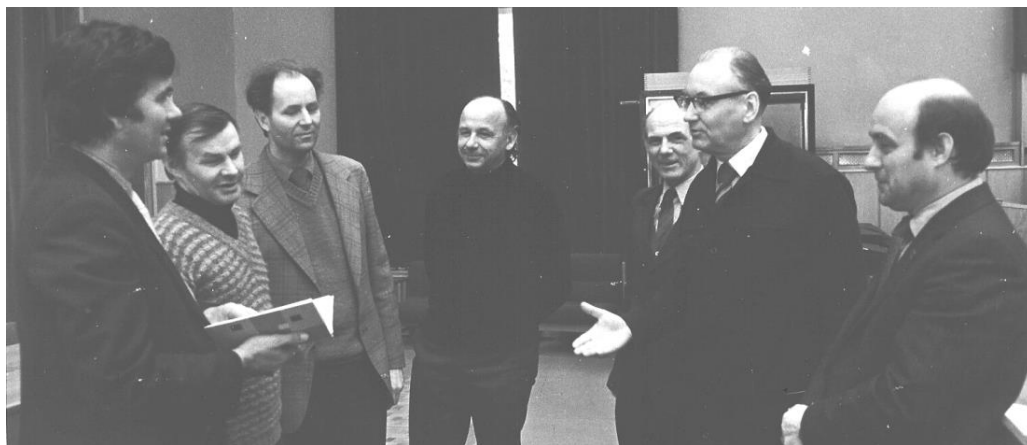


1969 г. Научно-методические работы. Дополнительная вторая премия
Г. Ю. Байер, Н. А. Лебедев, Ф. Мольнар, А. Ф. Новгородов, В. А. Халкин, Э. Херрманн
«МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОАКТИВНЫХ ПРЕПАРАТОВ
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ»

В результате исследований адсорбции элементов цериевой группы редких земель сильноосновными анионитами из нейтральных воднометанольных растворов нитратов была разработана методика быстрого разделения макро- и микроколичеств легких лантанидов, позволяющая выделять из облученного гадолиния чистые высокоактивные препараты элементов от самария до лантана в течение полутора-двух часов. Это делает возможным исследование многих относительно короткоживущих изотопов в области легких лантанидов.

Метод анионного обмена, как и экстракционная хроматография, открывает новые интересные возможности для редкоземельной промышленности. Поэтому разработанный метод был признан изобретением.

Важной конструкторской разработкой является создание установки для хроматографического разделения элементов с высокой радиоактивностью, включающей микрохроматографическую колонку с дистанционным управлением и полуавтоматическое устройство для транспортировки, измерения радиоактивности и сбора фракций эффлюента. Установка проста в обращении, надежна в работе и позволяет в пределах норм радиационной безопасности быстро разделять смесь лантанидов практически с любой радиоактивностью, какая может быть получена в настоящее время на синхроциклотроне ОИЯИ.

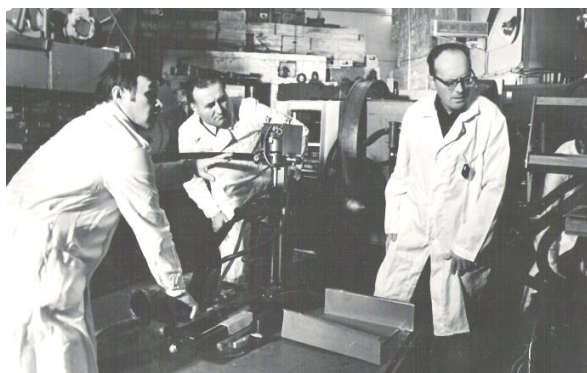


1972 г. Научно-исследовательские работы. Вторая премия

*Р. Арльт, В. А. Быстров, К. Я. Громов, Н. Г. Зайцева, С. В. Медведь, Г. Музиоль,
В. И. Райко, Х. Тыррофф, Т. Фенеш, Х. Штрусный*

**«ЯДЕРНО-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРОТКОЖИВУЩИХ
ИЗОТОПОВ ПО ПРОГРАММЕ ЯСНАПП»**

Подведены итоги исследований изотопов, удаленных от полосы β -стабильности, которые были проведены в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в 1967—1972 гг. по программе ЯСНАПП. Дано краткое описание методов получения и исследования изотопов, изложены результаты и их анализ для сферических и переходных ядер: $Z \sim 40$ и $N \sim 50$; $Z > 50$ и $N \leq 82$; $Z = 81$ и $N \leq 116$; $Z = 84—87$ и $N \leq 126$.



Участники программы ЯСНАПП

Алушта-1972



Алушта, 21 апреля 1972 года



К. Я. Громов, З. А. Усманова, С. И. Федотов, Х. Штрусный
**ТРЕХКВАЗИЧАСТИЧНЫЕ СОСТОЯНИЯ В ДЕФОРМИРОВАННЫХ
ЯДРАХ В ОБЛАСТИ $150 < A < 190$**
ЭЧАЯ. 1970. Т.1, вып.2. С.525-546

Рассматриваются расщепление и разрядка трехквазичастичных состояний, а также возможности их экспериментального обнаружения и исследования в деформированных ядрах в области $150 < A < 190$. Подсчитаны энергии расщепления наблюдаемых экспериментальных трехквазичастичных состояний, граничные значения параметров W и a , определяющих силу взаимодействия и часть спиновых сил в общих парных силах соответственно.

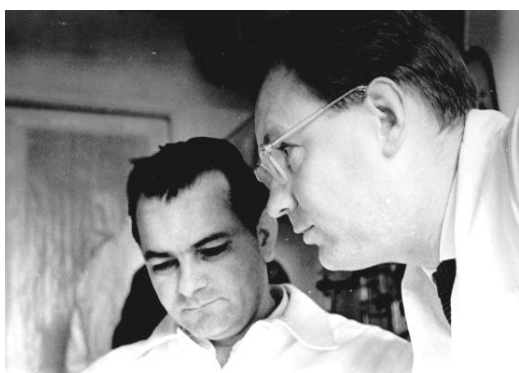
Как показывает анализ экспериментального материала, разрядку трехквазичастичных уровней на одноквазичастичные состояния, которая F -запрещена в модели независимых квазичастиц, можно объяснить на основе простых модельных представлений.

Ф. Мольнар, В. Халкин, Э. Херрманн
**ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОРАДИОАКТИВНЫХ ПРЕПАРАТОВ НЕЙТРОНО-
ДЕФИЦИТНЫХ ИЗОТОПОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ
ЦЕЛЕЙ ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**
ЭЧАЯ. 1973. Т.4, вып.4. С.1077-1150

Рассматриваются методы отделения нейтронодефицитных изотопов редкоземельных элементов от макроколичеств лантаноида-мишени после облучения протонами с энергией 660 МэВ. Для этой цели использовались:

- 1) экстракционная хроматография с ди-(2-этилгексил) ортофосфорной кислотой,*
- 2) анионообменная хроматография из воднометанольных растворов нейтральных нитратов,*
- 3) цементация микроколичеств лантаноидов цериевой подгруппы РЗЭ амальгамой натрия,*
- 4) эффект Сциларда—Чалмерса в диэтилентриаминпентаацетатных комплексах РЗЭ.*

Приводится описание хроматографического разделения суммарного высокорadioактивного препарата продуктов ядерных реакций на отдельные элементы и подготовки разделенных элементов к измерениям спектров конверсионных электронов и масс-сепарации.



Ф. Мольнар, В. Халкин



Э. Херрманн

Р. Арльт, К. Я. Громов, Н. Г. Зайцева, В. Г. Калинин, Б. Крачик, Г. Музиоль,
В. И. Райко, Т. Фенеш
**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗОТОПОВ, УДАЛЕННЫХ ОТ
ПОЛОСЫ β -СТАБИЛЬНОСТИ**
Итоги работ по программе ЯСНАПП в ЛЯП ОИЯИ. Часть 1
ЭЧАЯ. 1974. Т.5, вып.4. С.843-891

Подводятся итоги исследований изотопов, удаленных от полосы β -стабильности, которые были проведены в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в 1967–1973 гг. по программе ЯСНАПП. Дается краткое описание методов получения и исследования изотопов, изложены результаты и их анализ для сферических и переходных ядер: $Z \sim 40$ и $N \sim 50$; $Z > 50$ и $N \leq 82$; $Z = 81$ и $N \leq 116$; $Z = 84 - 87$ и $N \leq 126$.

К. Я. Громов, Х.-У. Зиберт, В. Г. Калинин, Г. Музиоль, Х. Штрусный
**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗОТОПОВ, УДАЛЕННЫХ ОТ
ПОЛОСЫ β -СТАБИЛЬНОСТИ** Итоги работ по программе ЯСНАПП в ЛЯП
ОИЯИ. Часть 2
ЭЧАЯ. 1975. Т.6, вып.4. С.971-1039

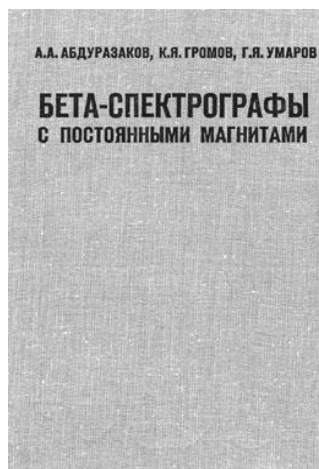
Дан обзор результатов исследований свойств деформированных ядер с $150 < A < 190$, выполненных по программе ЯСНАПП на синхроциклотроне ОИЯИ.



Из истории НЭОЯСурХ

А. А. Абдуразаков, К. Я. Громов, Г. Я. Умаров
БЕТА-СПЕКТРОГРАФЫ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ
Ташкент: Фан, 1970, 187 с. (АН УзССР, физ.-техн. ин-т)

Изложена методика измерения спектров ЭВК с помощью бета-спектрографа с постоянным однородным магнитным полем. Детально описаны бета-спектрографы ЛЯП ОИЯИ, и дан краткий обзор полученных результатов.



Т. М. Муминов, К. Я. Громов и А. А. Абдуразаков

9 ноября 1977 года А. А. Абдуразакову, К. Я. Громову и Т. М. Муминову за выдающиеся успехи в области науки и техники была присуждена Государственная премия Узбекистана им. Бируни.

1971–1975. Тема «Свойства нейтронодефицитных изотопов, удаленных от линии бета-стабильности (ЯСНАПП)»

— Свойства возбужденных состояний ядер в области чисел нейтронов $N=40$ и $N=50$ и протонов $Z=40$ (Р. Арльт).

— Свойства возбужденных состояний деформированных ядер с большим недостатком нейтронов в области редкоземельных элементов $90 < N < 108$, $Z=65 \div 75$ (К. Я. Громов, Х. Штрусный, В. В. Кузнецов, В. Г. Калинин).

— Исследование схем распада ядер в областях от сферической формы к деформированной $N \geq 82$ и $N < 126$ (М. Я. Кузнецова, В. Г. Калинин).

— Свойства ядер в новой области деформации $N < 82$, $A < 135$ (К. Я. Громов, Р. Арльт, В. Г. Чумин).

— Исследование схем распада и тонкой структуры альфа-спектров нейтронодефицитных ядер в области дважды магического ядра ^{208}Pb (В. Г. Чумин).

— Разработка быстрых радиохимических методов выделения изотопов. Химия горячих атомов. Радиохимия астата (В. А. Халкин, Н. Г. Зайцева, Э. Херрманн).

1975–1979. Тема «Свойства нейтронодефицитных изотопов, удаленных от линии бета-стабильности (ЯСНАПП)»

— Свойства основных и возбужденных состояний атомных ядер с $A \approx 70 \div 200$ (К. Я. Громов, Г. Лизурей, В. В. Кузнецов, В. Г. Калинин, А. Ясински, М. Госиор, Я. Липтак).

— Исследование схем распада и тонкой структуры альфа-спектров нейтронодефицитных ядер в области дважды магического ядра ^{208}Pb (В. Г. Чумин, М. Я. Кузнецова).

— Разработка быстрых радиохимических методов выделения изотопов. Химия горячих атомов. Радиохимия астата (В. А. Халкин, Н. Г. Зайцева, Ю. В. Норсеев).

Организационная структура НЭОЯСиРХ

Начальник отдела — К. Я. Громов

Сектор № 1 — В. И. Райко

Сектор № 2 — Г. Элер

Сектор № 3 — Р. Арльт (и. о.)

Сектор № 4 — В. Г. Чумин

Сектор № 5 — В. А. Халкин

Сектор № 6 — В. М. Цупко-Ситников

Сектор № 7 — Б. П. Осипенко



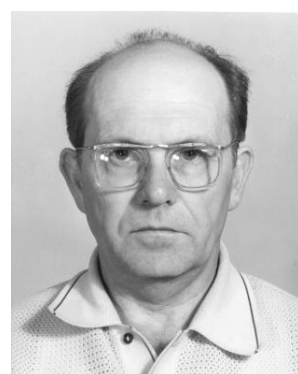
В. И. Райко



Г. Элер



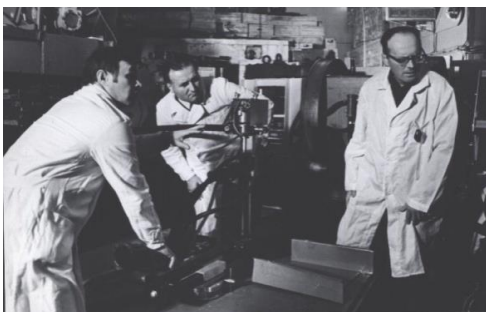
Р. Арльт



В. М. Цупко-Ситников



Радиохимии



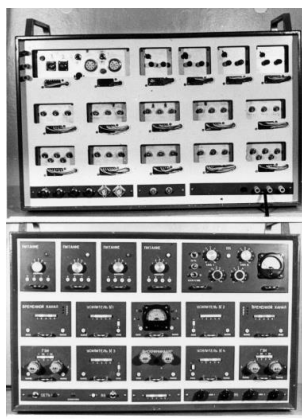
Физици

По решению академика Г. Наджакова в ноябре 1968 года я приехал на работу в ОИЯИ сроком на один год. Ехать не хотелось, так как была возможность поработать в Канаде. Но выбирать не дали: использовать возможность поездки на Запад хотелось и другим...

И вот я в ОЯСиРХ. Определили в группу Ж. Желева – магнитная спектроскопия. Еще помню бурное распределение между физиками различных химических фракций облученной на синхроциклотроне танталовой мишени. Долгое время некоторых коллег помнил больше по названию химического элемента, нежели по паспорту.

Итак, мне поручено исследование нечетных изотопов диспрозия. Несколько раз готовил источники для измерения спектров электронов на магнитном спектрометре. При этом я не говорю о полученной во время изготовления источника дозе: тогда все были героями и в химлаборатории работали с чувством солдата на передней линии фронта. Мне стало ясно: работа есть до самой пенсии. Спектры сложные, время жизни диспрозия короткое (часы). Вот тут и возникло желание сделать что-то новое для проведения таких исследований. Так появилась **задача применения полупроводниковых детекторов (ППД).**

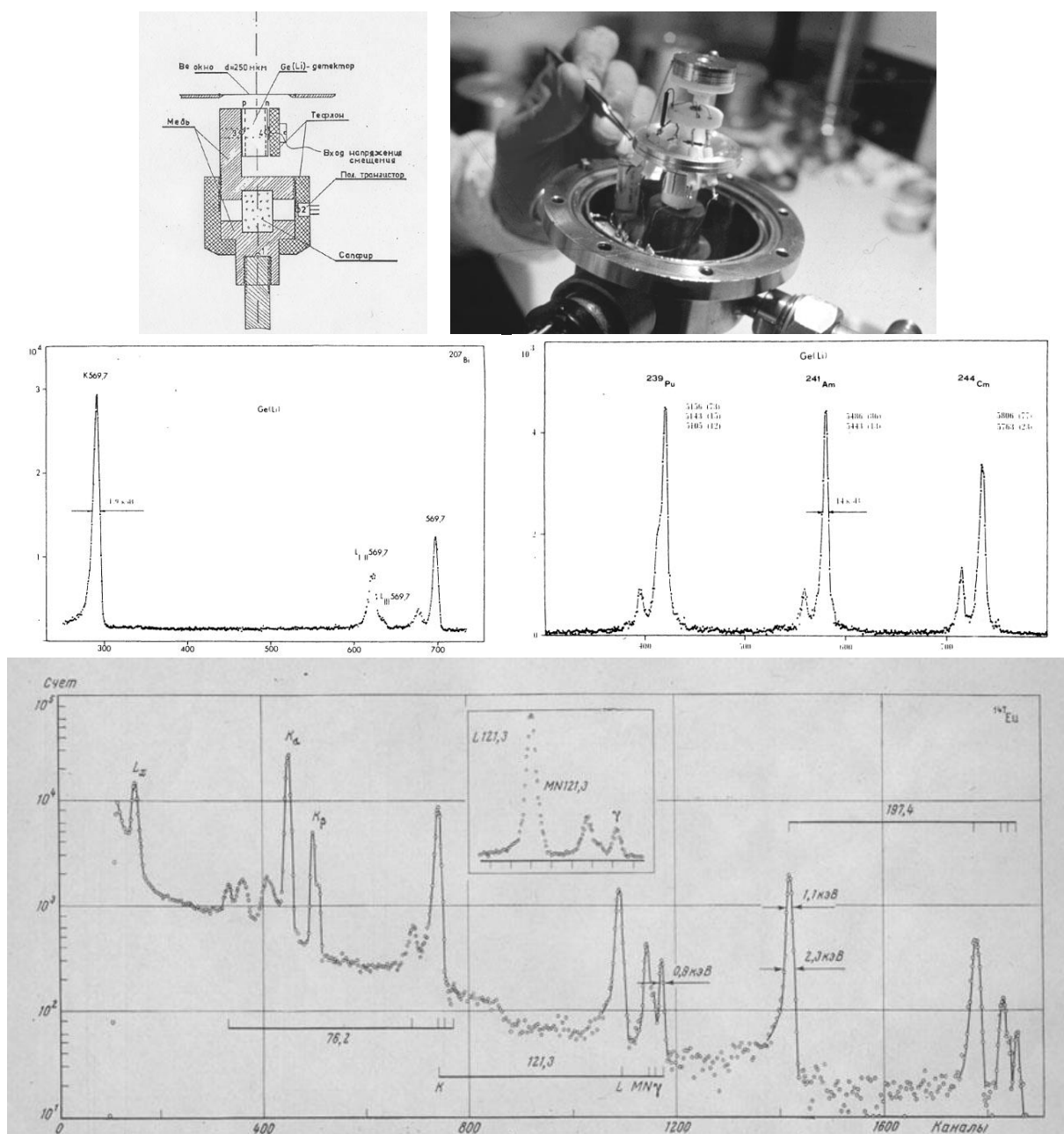
Это был трудный, но интересный путь. Детекторщики относились благосклонно, электронщики ухмылялись, начальники ругались. Сильно выручил физик из ВНИИМ В. С. Александров. Он учил, помогал и сам учился. Пришлось делать всю электронику, в том числе и низкошумящую. Проблемы с шумами заставили даже сделать свой механический стандарт. Вот так выглядела электроника, размещенная на первом этаже корпуса, а используемый единственный многоканальный анализатор находился на третьем этаже – прекрасные условия для поддержания хорошей физической формы.



Зачем это делалось? Традиционно ОЯС использовал магнитные спектрометры, — в то время это были лучшие приборы. К новым полупроводниковым детекторам отношение было пренебрежительным. Таким было оно и в СССР. Из-за этого первые Ge(Li)-детекторы появились раньше не в ОЯС, а в ЛНФ. И долгое время спектроскописты отдела (в том числе и из СССР) часто проводили свои эксперименты именно в ЛНФ. Уже позже появились в РХЛ два детектора из Чехословакии. Но это были гамма-спектрометры. А в эксперименте нужны и измерения спектров электронов конверсии, бета-частиц, альфа-частиц, рентгеновского излучения. Все это в планах отдела не значилось, хотя попытки создавать разные детекторы в группе Б. П. Осипенко делались.

Вот так жизнь сама поставила научно-методическую задачу, и ее пришлось решать. По-моему, очень удачно. На советском кристалле из германия в 1972 году был сделан рентгеновский Ge(Li)-спектрометр с рекордным в то время разрешением в 650 эВ. При измерении спектров электронов внутренней конверсии было получено разрешение 1,1 кэВ.

Я и сегодня не вижу лучшего результата. С помощью Ge(Li,Au)-детекторов были измерены спектры электронов конверсии и гамма-лучей. Это позволило очень точно определить коэффициенты внутренней конверсии (результаты также уникальные). Аналогично с помощью Ge(Li,Au)-детекторов измерялись спектры альфа-частиц. И наконец, экспериментально проверенная возможность измерения спектров электронов с помощью детекторов из сверхчистого германия позволила позже предложить эксперимент по поиску двойного безнейтринного бета-распада с помощью телескопа из HPGe-детекторов.



Аппаратурные спектры излучений радионуклидов, измеренные с помощью ППД

В 1967 году из ЛВТА в ОЯСиРХ перебазировается и собирается ЭВМ «Минск-2». Возглавила эту операцию М. И. Фоминых. Основными ее помощниками были Е. Т. Кондрат, А. В. Ревенко, В. Е. Савин, В. И. Новикова. Появилась возможность не рисовать спектры на миллиметровке и определять площадь линий по квадратным миллиметрам, а положение — по пересечению линий, проведенных по ее склонам. В. Гаджиков написал программу «Каток», которая делала это автоматически и, кроме того,

разделяла линии на сложных участках. З. Зайдлер соорудил осциллограф со световым карандашом. Стало очень легко размечать интересующие участки спектра для последующей обработки «Катком». Создавались и другие программы, обслуживающие эксперименты и для обработки (Л. А. Вылова, Г. В. Винель, М. Потемпа, Н. и С. Станчевы, Г. Элер, Э. Рупп, У. Фромм, С. П. Аврамов). Машина использовалась по 22 часа в сутки, ежедневно тестировалась (М. Чикагова) и в течение 12 лет была центром накопления и обработки спектрометрической информации.

В 1970 году был завершен этап организации центра накопления и обработки ядерно-спектроскопической информации в ОЯСиРХ на базе ЭВМ «Минск-2». Важными вехами явились: первый спектрометр с Ge(Li)-детектором (1966), осциллограф со световым карандашом (1970), двухмерный анализатор для измерений времен жизни (1970), спектрометр для измерения угловых корреляций (1970), двухмерный анализатор $\gamma\gamma$ -совпадений с ППД на базе ЭВМ «Минск-2» (1970).



Многоканальный анализатор «Тензор» и ЭВМ «Минск-2»

Одновременно с проведением исследований дискретных излучений развивалась методика измерения непрерывных бета-спектров.



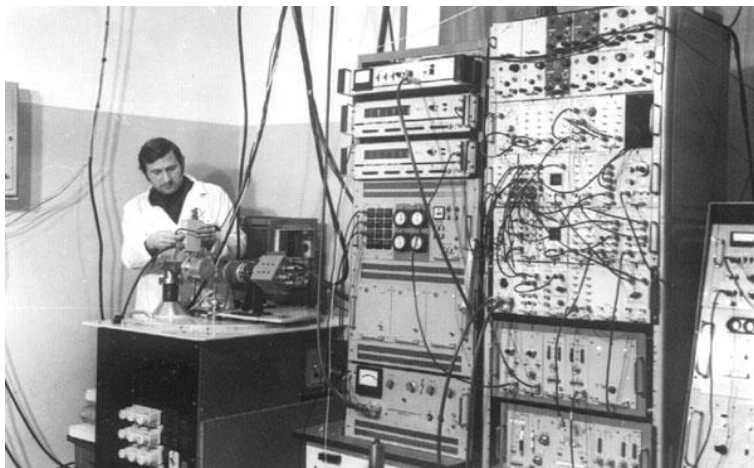
Проблема экспериментальных исследований β -спектров имеет свои специфические особенности. При исследовании непрерывных электронных спектров наряду с обычными источниками искажений должны быть рассмотрены источники ошибок и искажений, обусловленные непрерывным характером изучаемых спектров. В связи с этим была разработана методика измерений и анализа сложных β -спектров на безжелезном β -спектрометре с тороидальным магнитным полем (СТ-2). В частности, детально изучены характеристики спектрометра и исследовано влияние формы спектральной линии прибора на результаты анализа β -спектров. Разработаны программы для обработки сложных β -спектров на ЭВМ. Предложен новый метод многомерных исследований спектров β -совпадений.



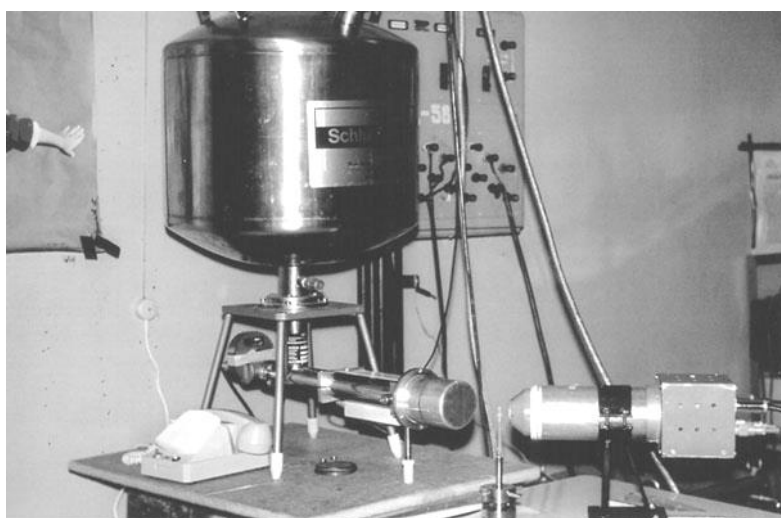
Безжелезный β -спектрометр с тороидальным магнитным полем (СТ-2)

Работы по созданию комплекса корреляционных установок в Научно-экспериментальном отделе ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем получили развитие в конце 60-х годов вскоре после внедрения в спектрометрию ядерного излучения полупроводниковых детекторов (ППД). Высокое энергетическое разрешение ППД, превосходившее в десятки раз разрешение лучших сцинтилляционных счетчиков, позволило поставить впервые или на существенно более высоком уровне целый ряд корреляционных измерений.

За прошедшие годы корреляционные установки прошли большой путь развития и совершенствования. Был создан ряд установок, базировавшихся на многоканальных анализаторах и ЭВМ «Минск-2». Ограниченные возможности анализаторов и вычислительных машин второго поколения требовали разработки различных методов выборочной регистрации информации или применения методов ее сжатия. При большом вкладе С. В. Медведя, В. А. Морозова, А. Н. Синаева, В. И. Фоминых, М. И. Фоминых, З. Зайдлера, Х. Хаупта и Ю. Цахера (ГДР), В. Разова (ДВГУ) и других специалистов были сделаны оригинальные разработки и созданы установки, позволившие получить интересную физическую информацию.



Установка для измерения $\beta\gamma$ -, $\gamma\gamma$ -возмущенных угловых корреляций. М. Будзыньски



Установка для измерения угловых корреляций

Изучение времен жизни основных и возбужденных состояний ядер было одним из направлений ядерно-спектроскопических исследований в ЛЯП с 1959 года. Оно проводилось под руководством В. А. Морозова. Быстрое развертывание этих исследований было обусловлено тем обстоятельством, что уже на начальном этапе работы в отдел был доставлен целый комплекс магнитных бета-спектрометров, созданных в Ленинграде и Москве, а привлеченные сотрудники уже обладали значительным опытом в проведении ядерно-спектроскопических измерений.

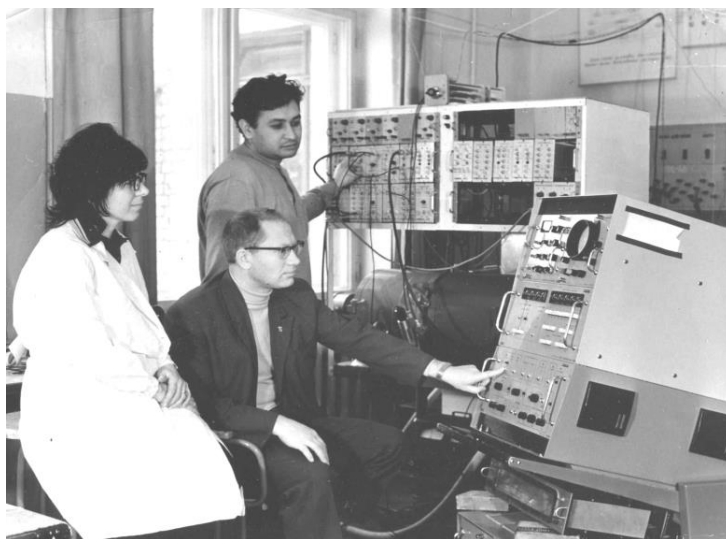


Развитие методики поиска и измерения времени жизни изомерных состояний было связано с созданием нового магнитно-линзового бета-спектрометра (МЛС), в основе которого лежала конструкция, разработанная Герхольмом. Спектрометр отличался простотой конструкции, высокой изохронностью траекторий регистрируемых электронов, что позволяло проводить измерения времен жизни уровней в пикосекундном диапазоне со светосилой, достигающей 5%, и разрешением от 0,5 до 3,0%. В отработку методики временных измерений на этом спектрометре существенный вклад внес Т. М. Муминов.

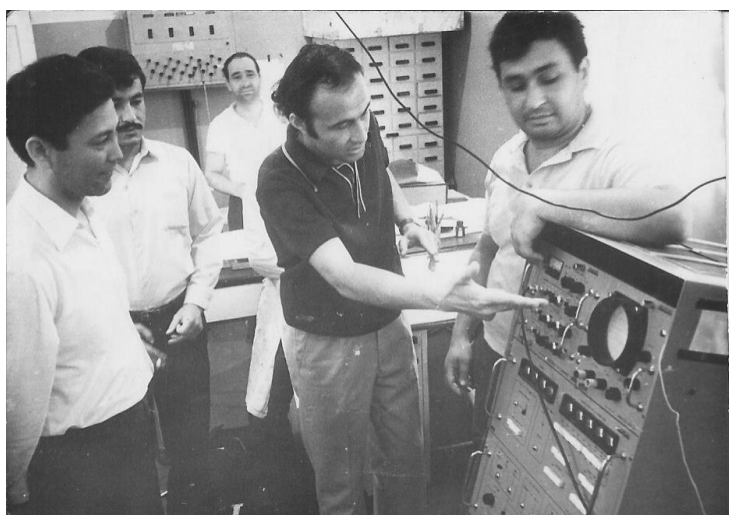
Использование данной методики позволило определить времена жизни первых возбужденных состояний, составляющих несколько десятков пикосекунд в четно-четных изотопах Os. Эти состояния возбуждались при распаде изотопов Ir, которые выделялись Н. Г. Зайцевой после облучения на синхроциклотроне ЛЯП мишени из золота. Активное участие в этих работах принимал Т. Бэдикэ. Помимо этих работ на первоначальном этапе он участвовал в исследованиях распада ^{164}Tm , которые привели к установлению в деформированном ядре нескольких коллективных уровней 0^+ , предсказанных ранее В. Г. Соловьевым.

Кроме спектрометра е- γ -совпадений были созданы также спектрометры γ - γ -совпадений вначале со сцинтилляционными, а затем и с полупроводниковыми детекторами. Сочетание спектрометров е- γ - и γ - γ -совпадений позволило успешно проводить систематическое изучение времен жизни возбужденных состояний ядер в редкоземельной области. Отражением этих успехов может служить защита нескольких десятков дипломных работ, кандидатских диссертаций — а впоследствии и докторских — по данной тематике, причем не только в СССР, но и в странах-участницах.





Р. Ион-Михай, В. А. Морозов, Т. М. Муминов



Подготовка и проведение исследований по измерению времен жизни ядер (1975)

В этот период радиохимии продолжали работу по **развитию и совершенствованию методов разделения спалогенных элементов** и изготовлению высококачественных радиоактивных источников. Под руководством В. А. Халкина велись работы по изучению химических и физических свойств астата. Основное внимание уделялось методам приготовления, описанию физических и химических свойств, различным валентным состояниям астата, а также синтезу и свойствам некоторых астаторганических соединений.

Позднее за серию работ “Открытие и исследование свойств новых неорганических и органических соединений астата” сотрудникам Объединенного института ядерных исследований доктору химических наук Юрию Васильевичу Норсееву и доктору химических наук Владимиру Алексеевичу Халкину Президиумом Российской академии наук была присуждена премия имени В. Г. Хлопина.

Премия им. В. Г. Хлопина АН СССР
за серию работ «Открытие и исследование свойств новых неорганических и
органических соединений астата»
17 марта 1998 года



ДИПЛОМ

ПРЕЗИДИУМ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

постановлением от 17 марта 1998 года присудил

ДОКТОРУ ХИМИЧЕСКИХ НАУК

Юрию Васильевичу

НОРСЕЕВУ

ДОКТОРУ ХИМИЧЕСКИХ НАУК

Владимиру Алексеевичу

ХАЛКИНУ

ПРЕМИЮ имени В.Г. ХЛОПИНА

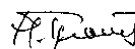
ЗА СЕРИЮ РАБОТ "ОТКРЫТИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ
НОВЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ И ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ АСТАТА"

ПРЕЗИДЕНТ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
АКАДЕМИК

ГЛАВНЫЙ УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
АКАДЕМИК



 Ю. С. Осипов

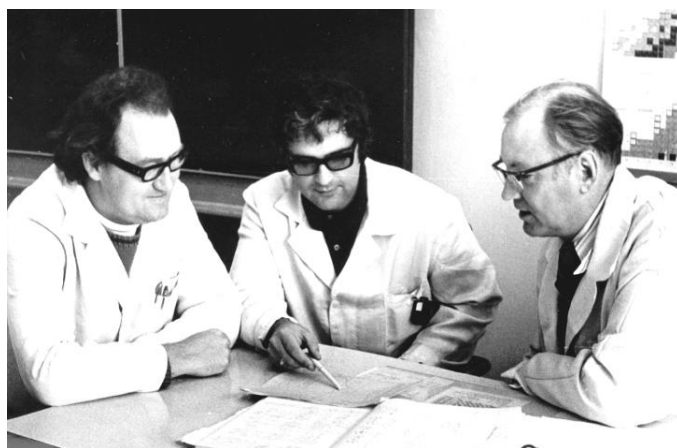
 Н. А. Платов

№ 1309

Москва



В. А. Халкин



Ю. В. Норсеев, М. Миланов, В. А. Халкин

Ю. В. Норсеев об астате

(По материалам цикла работ «Открытие и исследование свойств новых неорганических и органических соединений астата».)

Астат — пятый галоген, замыкающий седьмую группу периодической системы. У астата нет стабильных изотопов. Наиболее долгоживущие изотопы At-210 и At-211 имеют периоды полураспада 8,3 и 7,2 часа соответственно. Благодаря высокой удельной активности ($\sim 10^6$ Ки/г) количество астата в одном опыте не превышает $1 \cdot 10^{-10}$ г. Из-за коротких периодов полураспада изотопов элемента каждому эксперименту с астатом должно предшествовать облучение на ускорителе с последующим проведением отделения объекта исследований от материала мишени, очистки его от других радионуклидов и концентрирования элемента.

Для выделения и очистки астата из облученных мишеней тория и висмута нами был разработан ряд методик. Наиболее оригинальными, легко выполнимыми за биологической защитой и позволяющими быстро получать препараты астата (примерно за 2 часа), по нашему мнению, являются газотермохроматографические методы очистки с адсорбцией астата из газовой фазы металлическим серебром с последующей перегонкой астата в водные растворы заданного состава.

В области неорганической химии астата нашим главным достижением следует считать открытие в водных растворах устойчивого однозарядного катиона астата. Это открытие явилось результатом целенаправленного поиска. Общеизвестна тенденция систематического увеличения электроположительных свойств при переходе в группе галогенов от более легкого элемента к более тяжелому. Проявлением такой тенденции, в частности, является первый потенциал ионизации атома астата, равный 9,5 эВ, что на 1эВ меньше, чем у иода.

Следовательно, логично было предположить, что наиболее четко металлические свойства могут проявляться у последнего – пятого галогена. Это, в частности, означает, что астат может легче, чем иод, приобретать положительный заряд и существовать в водных растворах в форме устойчивого катиона.

Первые же эксперименты подтвердили правильность этой гипотезы: астат при электрофорезе в растворах азотной кислоты, содержащей бихромат-ион, мигрирует к катоду и обратимо сорбируется на катионите с сильнокислотными функциональными группами. Мы изучили свойства однозарядного катиона астата в растворах различных кислот.

К новым и, несомненно, важным результатам в неорганической химии астата следует отнести и первый успешный синтез соединения семивалентного астата. Высшее окисленное состояние астата было получено действием дифторида ксенона на астатид-ион в щелочном растворе. Достоверность полученной формы астата была доказана методом электрофореза и сокристаллизацией с метапериодами калия и цезия.

В Дубне успешно реализовано новое направление в химии пятого галогена – **органическая химия астата**.

Новаторской работой в этом направлении были наши исследования по получению элементоорганических соединений многовалентного астата. Было показано, что астат, как и иод, образует органические производные, в которых он существует в валентных состояниях +3 и +5. Для получения органических соединений моновалентного астата нами был разработан метод межгалогенного обмена брома или иода на астат. Этот метод явился универсальным при синтезе многочисленных алифатических и ароматических соединений астата, в том числе термически малоустойчивых соединений.

Нами был разработан новый метод синтеза астатароматических соединений, основанный на реакции электрофильного замещения водорода одновалентным катионом астата в бензоле и его производных.

Предложен и развит новый методический подход к изучению химии астата. В его основу положены процессы, происходящие с астатом, образующимся из радона путем захвата орбитального электрона. Синтезированы соединения, образующиеся при взаимодействии “горячего” астата с предельными и алициклическими углеводородами, спиртами, а также с бензолом и его производными.

Нами было получено около 30 новых органических соединений астата и изучено их физико-химическое поведение. В результате исследования кинетики термического разложения невесомых количеств органических соединений астата мы экспериментально определили величину энергии разрыва химической связи (D_{C-At}) углерод-астат в астатбензоле, в его производных и в насыщенных углеводородах. В астатбензоле эта величина составляет 188 ± 21 кДж/моль ($44,9 \pm 5,1$ ккал/моль).

В последние годы наблюдается повышенный интерес к астату в связи с возможностью его использования в ядерной медицине и биологии. По своим ядерным свойствам изотоп астат-211 может оказаться перспективным нуклидом для создания радиофармацевтических препаратов. Это чистый альфа-излучатель с периодом полураспада 7,2 часа. Каждый акт

распада изотопа астата-211 сопровождается испусканием альфа-частиц со средней энергией 6,8 МэВ. Длина их пробега в биологических тканях составляет 60 микрон, следовательно, ионизация происходит в малом объеме. При локализации астата в опухоли окружающие ткани не будут страдать от его радиоизлучения. В своих первых исследованиях по изучению биологического действия альфа-излучения астата-211 мы использовали в качестве транспортного средства металлический теллур. Астат-211 сорбировался на 20-микронные частички металлического теллура и в виде суспензии в физиологическом растворе вводился мышкам в брюшную полость, где плавали раковые клетки асцидного рака Эрлиха (АРЭ). В зависимости от введенной радиоактивности At-211 наблюдалось увеличение продолжительности жизни или полное излечение животных.

Нами был разработан признанный изобретением метод получения нового радиофармпрепарата астата – меченные астатом-211 моноклональные антитела, обладающие уникальной специфической способностью взаимодействия с опухолевыми клетками. Моноклональные антитела (МКАТ) – это транспортное средство, целенаправленно доставляющее астат в пораженный орган. Было установлено, что в полученном нами радиофармпрепарате МКАТ-At (моноклональные антитела – РЯ₁ к антигену рака яичника) астат прочно удерживается в биомолекуле “in vitro” и его иммунная активность не меняется в течение 20 часов.

Не менее эффективным транспортным средством для целенаправленной радиотерапии является такое соединение, относящееся к фентиазиновым красителям, как метиленовый синий.

Известно, что метиленовый синий избирательно связывается с меланином (эффективность связи 87%) и благодаря этому прочно присоединяется к пигментированным клеткам меланомы. Синтез меченного астатом метиленового синего осуществлялся методом электрофильного астатирования. Исследования показали, что астат-211, введенный в метиленовый синий, селективно накапливается в пигментированных опухолевых клетках и таким образом выступает в качестве радиофармпрепарата в радиотерапии диссеминированной меланомы при минимальном повреждении нормальных тканей.

Распределение активности по органам мышей-самок F₁(СВА х ВІ₍₆₎) с перевитой опухолью меланомы В₁₆ показало, что через 3 часа в опухоли накапливается (12–15)% от введенного количества At-211 и это соотношение сохраняется и через 12 часов.

Данные об открытых в радиохимическом секторе НЭОЯСиРХ ЛЯП формах и соединениях астата вошли в фундаментальный справочник по химии – “Astatine”, Gmelin Handbook of Inorganic Chemistry, 8th Edition (Eds. H. K. Kugler and C. Keller), Springer, Berlin, 1985.

Сведения о свойствах впервые полученных и изученных нами соединений астата цитируются в учебной литературе:

Б. В. Некрасов. Основы общей химии, т.1.– Изд. 3. – М.: Химия, 1973;

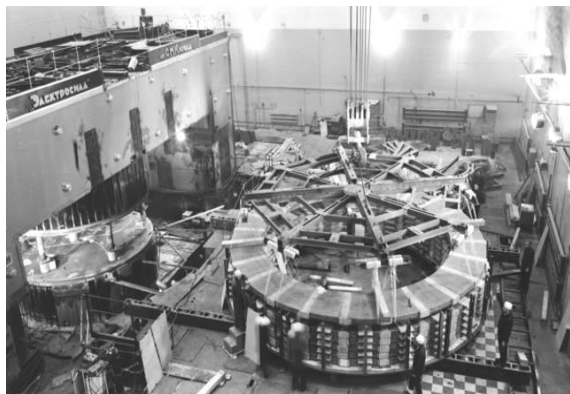
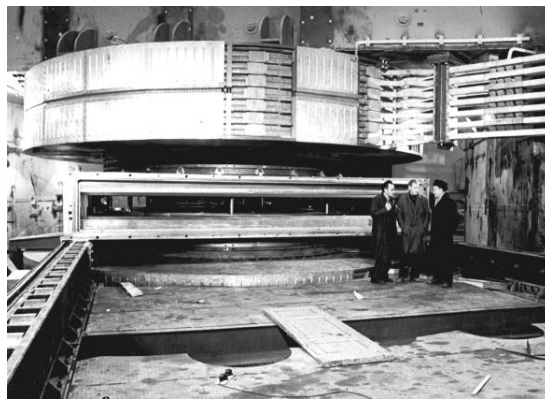
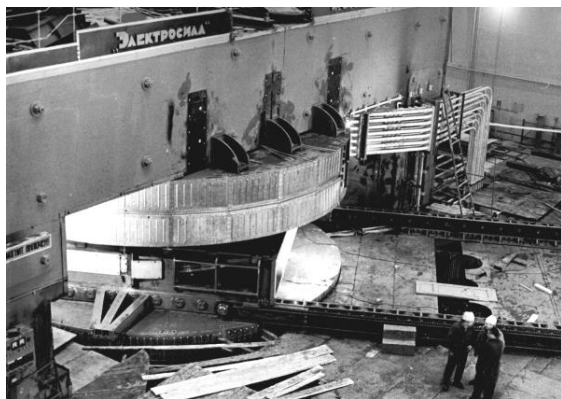
В. Д. Нефедов, Е. Н. Текстер, М. А. Торопова. Радиохимия. Учебное пособие. – М.: Химия, 1978;

А. Н. Несмеянов. Радиохимия: Учебник для спец. вузов – Изд. 2. – М.: Химия, 1978.

Итоговый отчет по программе ЯСНАПП за 1979 год

Исследования свойств нейтронодефицитных изотопов, удаленных от линии бета-стабильности, осуществлялись по общей программе совместно с ГДР, МНР, ПНР, СРР, СССР и ЧССР. Специалисты ИЯИЯЭ БАН принимали участие в создании программ обработки спектров ядерного излучения, совместно с сотрудниками Варшавского университета измерены характеристики распада четырех новых изотопов Sm и Pr. На синхротронном ЛЯИФ АН СССР (Гатчина) в экспериментах ЯСНАПП-ИРИС обнаружено десять новых изотопов лютеция и иттербия. Совместно с ИЯФ (Ржеж) и Политехническим институтом (Прага) ведется обработка результатов измерений излучений

ориентированных ядер, полученных на установке СПИН. Сотрудники Технического университета в Дрездене ведут совместные исследования свойств нейтронодефицитных спалогенных радионуклидов, ими подготовлена часть аппаратуры для исследований подвижности ионов аста. С 13 июля 1979 года синхроциклотрон остановлен на реконструкцию. В сжатые сроки, в основном силами лаборатории, проведен демонтаж экспериментальных установок и оборудования ускорителя.



В. П. Афанасьев
О И Я И — Л И Я Ф:
СОТРУДНИЧЕСТВО ПЛОДОТВОРНОЕ, ПЕРСПЕКТИВНОЕ
За коммунизм. 1979. 12 дек.

Реконструкция синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем в установку «Ф» в значительной степени расширит возможности научных исследований не только в области физики высоких энергий и прикладных наук, связанных с ней, но и в области ядерной спектроскопии. Большая интенсивность протонного пучка позволит нашим физикам далеко продвинуться к границам стабильности ядер, пополнить сведения о структуре атомного ядра и, в конечном счете, о строении материи.

Для того чтобы суметь полностью использовать возможности, предоставляемые реконструируемым ускорителем, сотрудники научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии работают сейчас над созданием новых установок и экспериментальной аппаратуры, которые должны быть спроектированы, изготовлены и испытаны к моменту вступления в строй нового ускорителя. С этой точки зрения важное значение приобретают методические и физические исследования, которые проводятся нами совместно с сотрудниками Ленинградского института ядерной физики имени

Б. П. Константинова в Гатчине на масс-сепараторе, установленном на пучке протонов ускорителя ЛИЯФ.

Результатом регулярных экспериментов, проводимых нашими сотрудничающими группами, было открытие нескольких новых изотопов (порядка десяти) короткоживущих редкоземельных элементов, измерение их времен жизни и уточнение схем распада. Удалось продвинуться до границы стабильности ядра иттербия. Были также проведены некоторые методические разработки, относящиеся к наиболее важному узлу будущей центральной установки лаборатории ЯСПАПП-2 — ионному источнику масс-сепаратора. И, может быть, по мнению одного из сотрудников группы, еще более ценным результатом, чем создание новых установок, является приобретение опыта работы в новых для нас условиях — в непосредственной связи с ускорителем.

В сложных экспериментах — и это стало обычным явлением в современной физике — участвует большой коллектив, насчитывающий с обеих сторон свыше 20 человек. От нашего отдела постоянное участие в этих опытах принимает интернациональная группа, в которую входят польские, советские, чехословацкие и венгерские сотрудники — специалисты различного профиля. Мы надеемся, что сотрудничество наших групп — отдела ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и сектора глубокого расщепления в ЛИЯФ — будет продолжаться столь же успешно.



Профессор Э. Е. Берлович (ЛИЯФ), заместитель директора ЛЯП профессор К. Я. Громов, вице-директор ОИЯИ профессор М. Совински и начальник научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии ЛЯП доктор Г. Лизурей у лентопротяжного механизма масс-сепаратора ЛИЯФ

Вылов Ц., Байер Г. Ю., Горожанкин В. М., Желев Ж., Иванов А. И., Иванов Р. Б., Калинин В. Г., Кузнецова М. Я., Лебедев Н. А., Михайлова М. А., Муминов А. И., Новгородов А. Ф., Норсеев Ю. В., Оманов Ш., Осипенко Б. П., Степанов Э. К., Тиме К., Чумин В. Г., Щусь А. Ф., Юшкевич Ю. В.

СПЕКТРЫ ИЗЛУЧЕНИЙ РАДИОАКТИВНЫХ НУКЛИДОВ, ИЗМЕРЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ

ZFK-399, Dresden, 1980

Ts. Vylov, G.-J. Beyer, S. Batsev, V. B. Brudanin, V. M. Gorozhankin, A. I. Ivanov, A. H. Inojatov, V. G. Kalinnikov, N. A. Lebedev, M. Milanov, A. F. Novgorodov, B. P. Osipenko, N. I. Rukhadze, K. Thieme, V. G. Chumin.

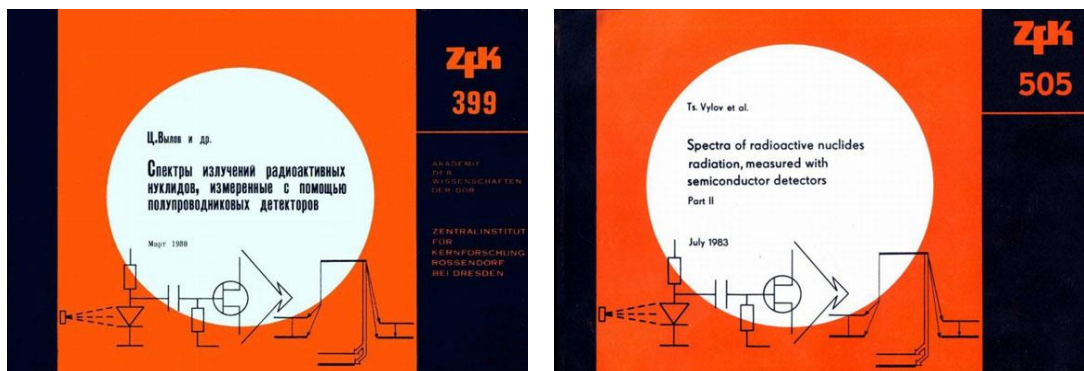
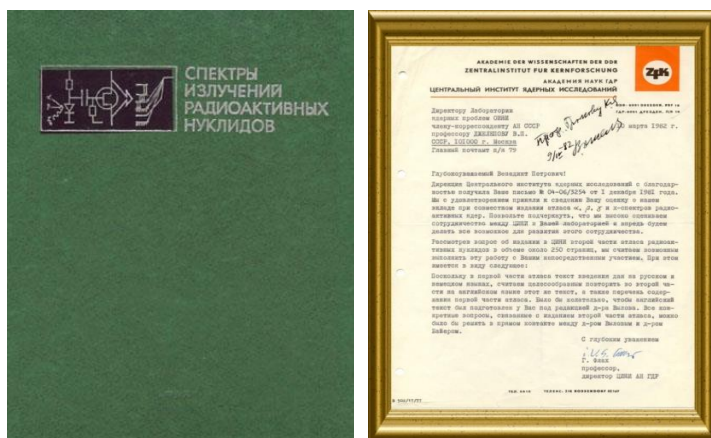
SPECTRA OF RADIOACTIVE NUCLIDES RADIATION, MEASURED WITH SEMICONDUCTOR DETECTORS (part II)

ZFK-505, Dresden, 1983

Ц. Вылов, В. М. Горожанкин, Ж. Желев, А. И. Иванов, Р. Б. Иванов, В. Г. Калинин, М. Я. Кузнецова, Н. А. Лебедев, М. А. Михайлова, А. И. Муминов, А. Ф. Новгородов, Ю. В. Норсеев, Ш. Оманов, Б. П. Осипенко, Э. К. Степанов, В. Г. Чумин, А. Ф. Щусь, Ю. В. Юшкевич.

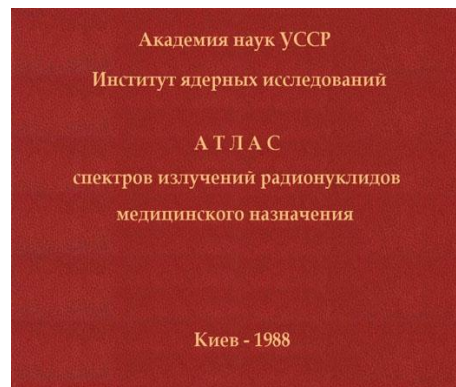
СПЕКТРЫ ИЗЛУЧЕНИЙ РАДИОАКТИВНЫХ НУКЛИДОВ Ташкент, ФАН, 1980

В 1979 году была закончена работа по созданию атласа экспериментальных данных радиоактивных нуклидов, полученных при облучении на фазотроне ЛЯП ОИЯИ и измеренных с помощью полупроводниковых детекторов. Приведены также данные, полученные с помощью магнитных спектрометров ОЯСиРХ.



Атлас аппаратурных спектров

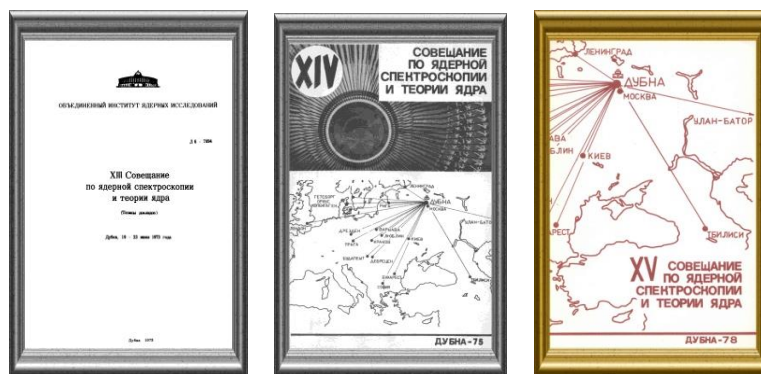
В 1988 году был издан также атлас спектров излучений радионуклидов медицинского назначения, измеренных с помощью полупроводниковых и сцинтилляционных детекторов.



Атлас аппаратурных спектров радионуклидов медицинского назначения

Совещания по исследованию распада нейтронодефицитных ядер, проводившиеся ОЯСиРХ в 1964–1978 гг.



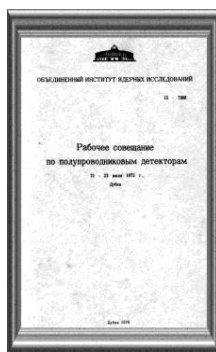


Сборники материалов этих совещаний ОЯСиРХ

Рабочее совещание по полупроводниковым детекторам

Дубна, 21–23 июля 1972 года

Обсуждались результаты работ, выполненных в странах-участницах ОИЯИ, по исследованию физических свойств исходных материалов и детекторов, разработке новых типов ППД, перспективы дальнейших работ.



Рабочее совещание по полупроводниковым детекторам

Дубна, 25–27 июня 1974 года

В Дубне состоялось международное совещание по полупроводниковым детекторам, в котором приняли участие специалисты стран-участниц ОИЯИ. Совещание обсудило вопросы, связанные с технологией изготовления ППД, конструированием полупроводниковых спектрометров и их использованием в ядерных исследованиях.

Научные центры социалистических стран тесно сотрудничают с ОИЯИ в области изготовления и применения ППД для решения ряда научно-технических задач.

Совещание в Дубне обсудило также вопросы дальнейшего сотрудничества в этой области. С докладом и сообщениями выступили академик Г. Н. Флеров, ученые Болгарии, Польши, ГДР, Венгрии и других стран.



1975 г. Научно-методические и научно-технические работы. Вторая премия

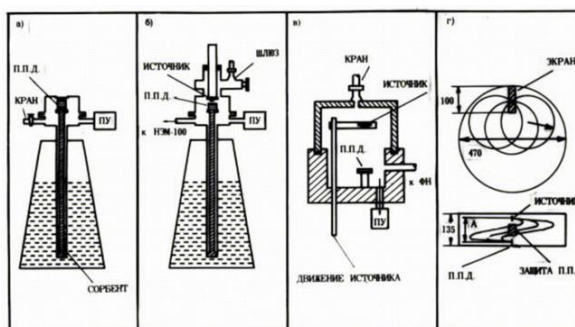
Ц. Вылов, И. Н. Егшин, С. Орманджиев, Б. П. Осипенко, Я. Юрковски

**«РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ
ДЛЯ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ»**

Работа посвящена созданию полупроводниковых детекторов (ППД) и их применению для прецизионных измерений характеристик излучений радиоактивных нуклидов. С этой целью разработаны технология и соответствующее технологическое оборудование для изготовления ППД, сконструированы и изготовлены вакуумные камеры с учетом оптимальных условий работы ППД и полевых транзисторов, исследованы эффекты, которые искажают форму аппаратного спектра, разработана методика измерений энергий и интенсивностей гамма-лучей.

Поскольку основные параметры изготовления ППД (емкость, объем, обратные токи) заметно отличаются друг от друга, большое внимание уделено выбору оптимальных схем подключения детектор-предусилитель и температурных режимов. Это позволило получить в рабочих условиях при нагрузках $\sim 10^4$ имп./с энергетические разрешения на уровне лучших результатов. Результаты же в спектрометрии электронов конверсии и спектрометрии α -частиц с помощью Ge(Li)-детекторов в настоящее время являются рекордными.

При конструировании вакуумных камер обращалось внимание на особенности регистрации данного излучения, что потребовало: применения тонких бериллиевых и майларовых окон для регистрации низкоэнергетических гамма-квантов, а иногда и электронов внутренней конверсии; применения шлюзов для ввода-вывода источников; применения многотищевых вакуумных разъемов для использования предусилителей с охлаждаемым входным каскадом; применения магнитного бездисперсионного устройства для фильтрации X-, γ -, α -, β^+ -излучений в измерении спектров электронов конверсии.

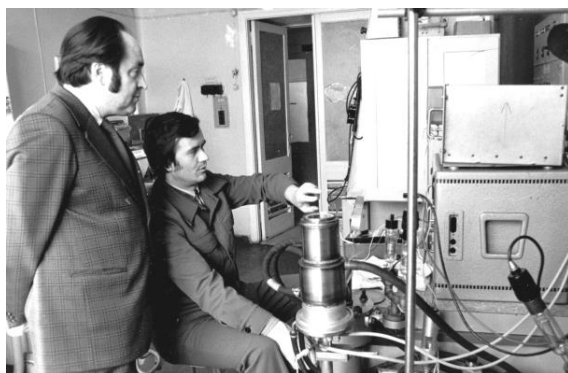


Полупроводниковые детекторы для спектрометрических исследований

1978 г. Научно-технические прикладные работы. Вторая премия
*М. Адилбиш, Г. Ю. Байер, Н. Г. Зайцева, О. Кнотек, М. Я. Кузнецова, Н. А. Лебедев,
Р. Мюнце, Ю. В. Норсеев, В. Г. Франк, В. А. Халкин*
**«СПАЛОГЕННЫЕ НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫЕ НУКЛИДЫ ЙОД-123 И
ТУЛИЙ-167 ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ»**

Исследования возможностей использования получаемых в Дубне нейтронодефицитных нуклидов для медицинской диагностики были начаты в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ по инициативе директора лаборатории члена-корреспондента АН СССР В. П. Джелепова и руководителя сектора научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии профессора В. А. Халкина. Для этих целей по планам совместных работ ученых ОИЯИ и ГДР в радиохимическом секторе было налажено производство препаратов тулия-167 и йода-123. Получение радионуклидов проводилось в Дубне, изготовление радиофармакологических препаратов и медико-биологические исследования с ними — в Дрездене. Так, проведенные клинические испытания спалогенного тулия-167 экспериментально доказали целесообразность использования этого радионуклида, получаемого в Лаборатории ядерных проблем, для радиодиагностики в онкологии.

Исследования прикладного характера с йодом-123 и тулием-167 развернуты в Лаборатории ядерных проблем в связи с реконструкцией синхроциклотрона в установку «Ф». Введение в строй этой установки позволит на новом уровне продолжить успешно начатую работу, результаты первого этапа которой высоко оценены жюри конкурса на премии ОИЯИ.



В. А. Халкин, Г.-Ю. Байер, Р. Мюнце

Н. Г. Зайцева

1979 г. Научно-исследовательские экспериментальные работы. Вторая премия
В. П. Афанасьев, В. А. Быстров, В. Г. Калинин, Я. Кормицки, К. А. Мезилев,
Ю. Н. Новиков, А. Потемпа, Э. Рураж, Ф. Таркани, Ю. В. Юшкевич
«ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОРОТКОЖИВУЩИХ НУКЛИДОВ С
ПОМОЩЬЮ МАСС-СЕПАРАТОРА «В ЛИНИЮ» С СИНХРОЦИКЛОТРОНОМ»

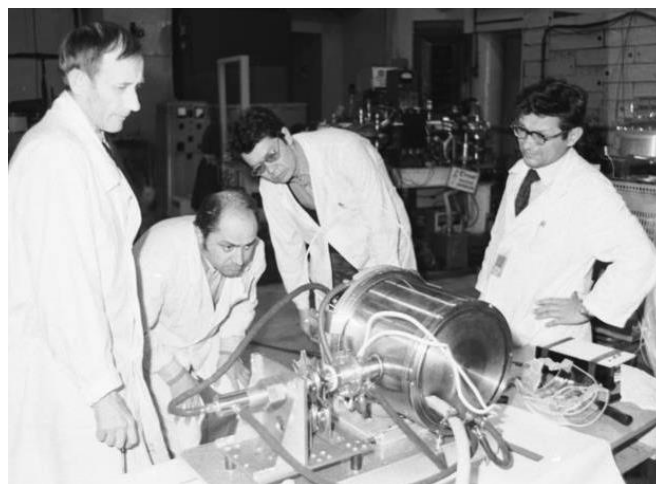
Представленный на конкурс цикл работ посвящен получению и исследованию короткоживущих радиоактивных изотопов редкоземельных элементов. Для этих целей на базе синхроциклотрона ЛИЯФ и масс-сепаратора ИРИС запущена система, работающая в режиме «в линию». Протонный пучок ускорителя с энергией 1 ГэВ канализировался к мишени, совмещенной с ионным источником масс-сепаратора. Ионный источник разработан и изготовлен в ЛЯП ОИЯИ.

Мишень из тугоплавкого вещества в виде тонкой длинной проволоки, свернутой в спираль, помещается прямо в ионизатор ионного источника. Такой способ совмещения ионного источника с мишенью дает возможность поддерживать высокую рабочую температуру мишени ($\sim 3 \cdot 10^3$ K), что обеспечивает высокую эффективность и быстродействие. Это позволяет получить оптимальный выход исследуемых короткоживущих продуктов в режиме «в линию» при небольшой массе вещества мишени (5–8 г). Полученная кривая выходов изотопов Yb, например, имеет меньший наклон при удалении от полосы стабильности, чем аналогичная кривая, полученная в ЦЕРН на установке ISOLDE. Для регистрации короткоживущей активности смонтирован коллектор изобар (изготовлен в ОИЯИ), состоящий из трех сборников ионов, поочередно подаваемых на пучок ионов с последующей транспортировкой к кремниевому детектору. Система позволяет проводить измерения активности с периодом полураспада вплоть до $\sim 0,1$ с. Проведены исследования альфа-спектров изотопов в диапазоне масс $A=150-158$.

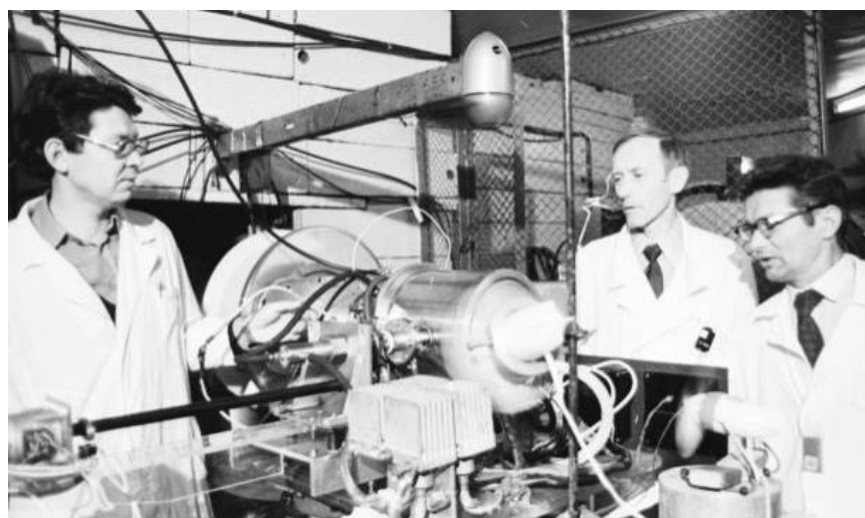
Исследование альфа-спектров масс-сепарированных источников позволило однозначно сделать идентификацию нуклидов и установить генетические связи между альфа-излучателями, что дало возможность исследовать распад новых изотопов, а также уточнить данные, имеющиеся в литературе. Идентифицированы новые изотопы ^{153}Yb ($T_{1/2} = 4,2 \pm 0,5$ с), ^{156}Yb ($T_{1/2} = 26,7 \pm 0,6$ с, $E_\alpha = 4,688 \pm 0,010$ МэВ), ^{157}Lu ($T_{1/2} = 5,5 \pm 0,3$ с, $E_\alpha = 4,995 \pm 0,010$ МэВ) и ^{158}Lu ($T_{1/2} = 10,4 \pm 1,0$ с, $E_\alpha = 4,665 \pm 0,010$ МэВ).



Ф. Таркани (ОИЯИ), Н. Ганбаатор (ОИЯИ), К. А. Мезелев (ЛИЯФ), А. М. Нурмухамедов, Ю. Н. Новиков (ЛИЯФ). Подготовка к эксперименту (26 апреля 1981)



В. П. Афанасьев (ОИЯИ), Ю. Н. Новиков (ЛИЯФ), Ф. Таркани (ОИЯИ), А. Г. Поляков (ЛИЯФ) готовят ионный источник установки «Ирис» к работе



Ф. Таркани (ОИЯИ), В. П. Афанасьев (ОИЯИ), А. Г. Поляков (ЛИЯФ)



Н. Ганбаатор (ОИЯИ) и К. А. Мезелев (ЛИЯФ) ведут обработку информации у дисплея

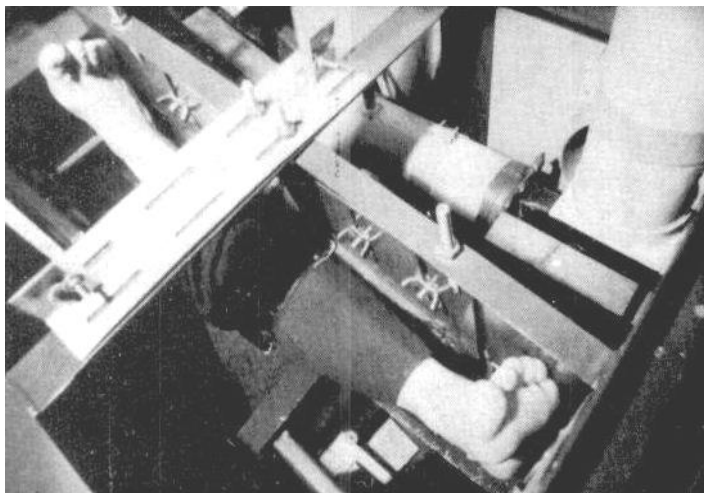
1981 г. Научно-технические прикладные работы. Вторая премия

Р.-Д. Арльт, В. С. Евсеев, А. Л. Карповский, Е. А. Красавин, Т. Н. Мамедов, А. Минкова, Х.-Г. Ортлепп, В. С. Роганов, Б. М. Сабиров, П. Экиштейн

«ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ ПО МЕЗОРЕНТГЕНОВСКОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ (МЮОННАЯ ДИАГНОСТИКА)»

Метод основан на регистрации мезорентгеновского излучения из химических элементов, входящих в состав живых организмов при остановке в них отрицательно заряженных мюонов. Впервые идею использования мюонов для элементного анализа живого организма выдвинули независимо друг от друга Х. Даниэль (ФРГ, 1969 г.) и группа советских физиков в составе В. Г. Зинова, А. Д. Кониная и А. И. Мухина (1970 г.). В связи с началом интенсивного исследования космоса возникла необходимость прижизненного неразрушающего элементного анализа, в частности, костной ткани человека, которая более всего подвержена деминерализации при длительном пребывании в невесомости. Эксперименты были начаты в Лаборатории ядерных проблем под руководством В. С. Евсеева в 1973 году совместно с Институтом медико-биологических проблем. Первый эксперимент был осуществлён на крысах, претерпевших трёхнедельный полёт на спутниках Земли «Космос-605» и «Космос-690», методом измерения мезорентгеновского излучения из организма крыс до и после полёта. Отсутствие заметных изменений элементного состава свидетельствовало о том, что изменение минеральной насыщенности костной ткани следует наблюдать на определённых участках скелета, а не во всём организме. Поэтому следующим шагом стал эксперимент по исследованию методом мюонной диагностики минерального состава пяточной кости человека, пребывавшего в экстремальных условиях, имитировавших условия космического полёта. Исследование проведено на 18 физически здоровых мужчинах в возрасте 32-37 лет, которые в течение 182 суток находились в условиях антиортостатической гипокинезии. Все испытуемые были разделены на 3 группы: I – контрольная, II – принимала полный комплекс профилактических мер и III – принимала 35% профилактики. В результате исследования отмечена корреляция изменений минерального состава костной ткани с профилактическими мерами, что явилось одной из рекомендаций для подготовки космонавтов к длительным космическим полётам.

Таким образом, продемонстрирована уникальная возможность применения мюонных атомов для сравнительного элементного анализа в биомедицинских исследованиях.



На пучке мюонов. Экспозиция закрепленной ноги испытуемого



Т. Мамедов и В. С. Евсеев

1983 г. Научно-методические и научно-технические работы. Первая премия

*Г.-Ю. Байер, Ц. Вылов, В. М. Горожанкин, К. Я. Громов, В. Г. Калинин,
А. Ф. Новгородов, Б. П. Осипенко, В. Г. Чумин, Ю. В. Юшкевич*

**«ПРЕЦИЗИОННАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ ДИСКРЕТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ
РАДИОАКТИВНЫХ НУКЛИДОВ С ПОМОЩЬЮ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ДЕТЕКТОРОВ»**

Цикл работ посвящен разработке методики прецизионной спектрометрии дискретных излучений с помощью полупроводниковых детекторов (ППД) и ее применению для исследования свойств атомных ядер.

Создан современный комплекс спектрометрической аппаратуры с ППД, детально проанализированы эффекты, которые искажают форму аппаратного спектра дискретных излучений. Рассмотрены вопросы обработки спектральных линий с помощью ЭВМ и вытекающие из этого анализа следствия при планировании эксперимента. На основе этих исследований разработана методика прецизионной спектрометрии энергий и относительных интенсивностей дискретных излучений, а также соответствующее программное обеспечение для обработки экспериментальных данных.

С помощью разработанной методики впервые создан полный набор нормалей энергий и относительных интенсивностей гамма-лучей и электронов внутренней конверсии (ЭВК), а также коэффициентов внутренней конверсии (КВК). Экспериментальные погрешности полученных значений нормалей энергий составляют 1–10 эВ, интенсивностей – 0,5–1,5%, КВК – 1–3%. Созданный набор нормалей и интенсивностей гамма-лучей составил основу ГССД (государственных стандартных справочных данных), широко используемых в СССР в исследовательской и промышленной деятельности, связанной с ионизирующими излучениями.

С помощью созданного комплекса спектрометрической аппаратуры и разработанной методики измерений исследован с различной степенью полноты радиоактивный распад 180 нуклидов. По сравнению с более ранними экспериментами точность измерения энергий гамма-лучей улучшена более чем на порядок, а точность измерения относительных интенсивностей – в 2–4 раза. Полученные данные о спектрах ЭВК для 95 радионуклидов являются практически единственными на сегодняшний день. Улучшенные параметры спектрометрической аппаратуры повысили результативность и качество измерений, что, в итоге, привело к открытию более 1000 новых переходов. Полученные данные использованы при разработке или уточнении схем распада свыше 100 радионуклидов. Эти результаты опубликованы в книге.

Впервые с помощью разработанной методики по пику полного поглощения при регистрации Ge(Li)-детектором гамма-лучей от захвата тепловых нейтронов водородом выполнено измерение энергии связи дейтрона:

$$E_D = 2224,563 \pm 0,009 \text{ кэВ.}$$

Из этих данных определена разность масс нейтрона и атома водорода:

$$n - {}^1\text{H} = 782,336 \pm 0,007 \text{ кэВ.}$$

Таким образом, относительная погрешность определения массы нейтрона снижена более чем в два раза и равна 0,015 ppm (ранее 0,037 ppm).

С помощью созданного нами комплекса спектрометрической аппаратуры с ППД впервые систематизированы и опубликованы 760 аппаратных спектров альфа-, бета-, гамма- и рентгеновского излучений для 261 радионуклида. Атлас аппаратных спектров широко используется экспериментаторами многих стран при планировании и проведении спектрометрических исследований. Накопленный опыт в наборе такого материала позволил сформулировать принципы создания машинного банка аппаратных спектров.

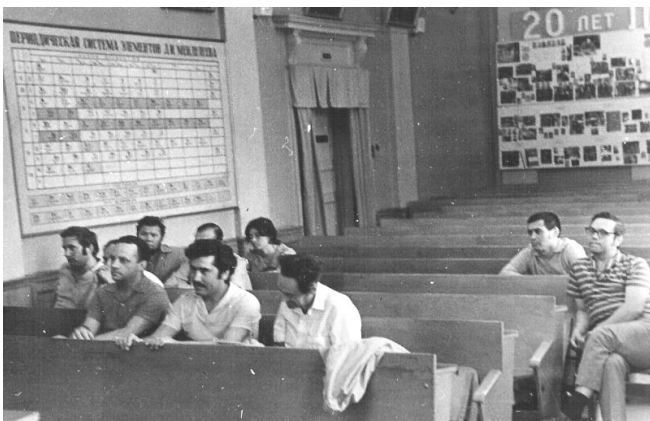
В настоящее время такая программа реализуется.

Б. М. Сабилов

**ПРИМЕНЕНИЕ МЮОННЫХ АТОМОВ В БИМЕДИЦИНСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ**

ЭЧАЯ. 1984. Т.15, вып.1. С.156-177

В обзоре на примере экспериментальных работ ученых США, ФРГ и ЛЯП ОИЯИ показаны уникальные возможности применения мюонных атомов для сравнительного элементного анализа, в частности в биологии и медицине. Метод мюонных атомов обладает рядом преимуществ перед другими ядерно-физическими методами и открывает широкие возможности в дальнейшем развитии и применении в смежных областях науки и техники.

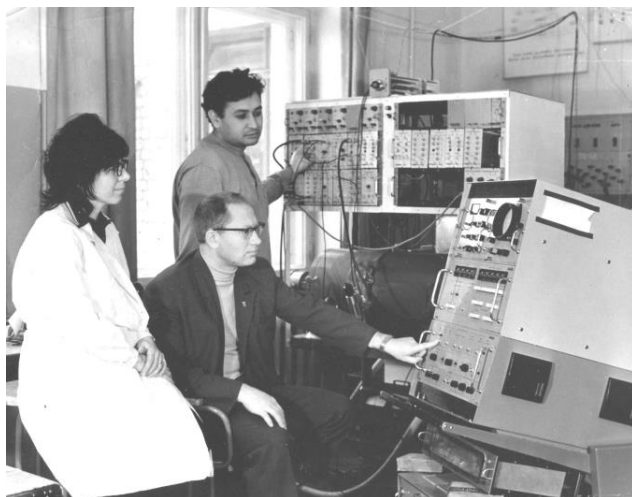


Б. А. Аликов, М. Будзынски, Р. Ион-Михай, В. А. Морозов

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ
ЯДЕР МЕТОДОМ ЗАДЕРЖАННЫХ СОВПАДЕНИЙ (МЕТОДЫ
ОБРАБОТКИ)**

ЭЧАЯ. 1976. Т.7, вып.2. С.419-449

В обзоре рассматриваются наиболее часто применяемые методы обработки спектров задержанных совпадений при изучении времени жизни возбужденных состояний ядер, а также варианты программ, разработанных в отделе ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.



Р. Ион-Михай, В. А. Морозов, Т. М. Муминов

Ц. Вылов, Б. П. Осипенко, В. Г. Чумин
**ПРЕЦИЗИОННАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ ИЗЛУЧЕНИЙ РАДИОАКТИВНЫХ
НУКЛИДОВ С ПОМОЩЬЮ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ**
ЭЧАЯ. 1978. Т.9, вып.6. С.1350-1459

Описываются методы регистрации γ -квантов, электронов внутренней конверсии и α -частиц радиоактивных нуклидов при помощи полупроводниковых детекторов. Рассмотрены эффекты, искажающие форму аппаратного спектра. Изложена методика измерения энергий и относительных интенсивностей моноэнергетических излучений. Построен полный набор нормалей энергий и относительных интенсивностей γ -квантов, а также КВК.

В. Гаджоков
**АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСКРЕТНОЙ
СПЕКТРОМЕТРИИ ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ**
ЭЧАЯ. 1980. Т.11, вып. 6. С.1474-1518

Обзор посвящен автоматизированной обработке с помощью ЭВМ данных, накапливаемых в измерениях дискретных ядерных спектров. Задача обработки таких данных разбита на два этапа, первый из которых осуществляется в диалоговом режиме, а второй решает сформированный на первом этапе поток однотипных нелинейных задач в полностью автоматическом режиме. Детально рассмотрены алгоритмы двух этапов обработки. Указаны требования, предъявляемые к алгоритмам с тем, чтобы они обладали универсальностью применения к данному классу задач. Обсуждается построение таких алгоритмов на основе регуляризованных итерационных процессов.



Ц. Вылов и В. Гаджоков

**1976–1980. Тема «Разработка методики прецизионной
спектроскопии ядерного излучения»**

- Разработка технологии изготовления детекторов из новых полупроводниковых материалов. Изготовление ППД по заявкам лабораторий (Б. П. Осипенко).
- Разработка и создание специализированной аппаратуры для задач ядерной спектроскопии (В. М. Цупко-Ситников).
- Создание единой системы сбора, обработки и анализа спектрометрической информации на базе ЭВМ ЕС-1040 (Ц. Вылов).

В ЛЯП разработаны технология и оригинальное оборудование, позволившие изготавливать детекторы из кремния и германия с параметрами, близкими к предельно возможным. Это различные типы поверхностно-барьерных, диффузионно-дрейфовых, имплантированных детекторов, предназначенных для регистрации излучений в широком диапазоне энергий: от единиц кэВ до десятков МэВ.

Детекторами, созданными в группе ППД, пользуются практически во всех лабораториях ОИЯИ. Высокий уровень проводимых разработок в значительной степени определил успехи экспериментаторов в ряде направлений. Так, создание уникальных детекторов заряженных частиц, в особенности из ультрачистого германия, явилось основой для развития работ по физике нейтрино. Такие детекторы позволили в совместных с ЛИЯФ (Гатчина) экспериментах впервые определить границу протонной устойчивости ядер. Методика получения больших литий-дрейфовых детекторов послужила базой для созданного в сотрудничестве с МИФИ многокристального спектрометра, с помощью которого успешно развиваются исследования взаимодействий π -мезонов с ядрами.

Под руководством В. М. Цупко-Ситникова была проведена работа по автоматизации фотометрирования плотности почернения спектрограмм. Была решена и проблема точности такой обработки. На разных этапах в работе участвовали В. И. Приходько (ЛНФ), студент-дипломник из Томска Ф. В. Левчановский (сейчас кандидат наук, сотрудник ЛНФ), М. Потемпа (Краков) и Г. А. Кононенко, завершивший работу созданием действующего автоматического микрофотометра (АМФ) и методики надежной обработки спектрограмм (это была кандидатская работа Г. А. Кононенко). Работы по прибору и методикам велись в тесном сотрудничестве с узбекскими физиками А. А. Абдуразаковым, Т. А. Исламовым, А. Х. Холматовым, А. А. Тангабаевым, А. Караходжаевым. Прибор работал на линии с ЭВМ. Новую механику для него сделали А. В. Ревенко и сотрудник ИЯФ Латвии В. А. Залите. На базе измерений этим прибором было выполнено много физических работ и издана монография "Атлас спектров электронов внутренней конверсии нейтронодефицитных радиоактивных нуклидов в области $A=131-172$ ". Прибор использовался для измерения распределения активности на приемном устройстве масс-сепаратора и для обмера яркости "колец" черенковского излучения.



В. М. Цупко-Ситников и М. Потемпа

Также была предпринята попытка решить и задачу автоматизации счета треков альфа-частиц на фотопластинках от магнитного альфа-спектрографа. Много было сделано, но на уровне существовавших тогда технических возможностей (70-е годы) добиться решения проблемы не удалось. Эта работа проводилась под руководством В. М. Цупко-Ситникова и С. Орманджиева.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ О РЕОРГАНИЗАЦИИ ЦЕНТРА НАКОПЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В НЭОЯСиРХ

В НЭОЯСиРХ созданы различные высокоэффективные установки для спектрометрических исследований, работающие с ЭВМ. С их помощью появилась возможность проводить комплексные исследования излучений радиоактивных нуклидов по программе ЯСНАПП.

Для этого необходимо обеспечить эти установки программами с общей идеологией, сгруппировать их вокруг ЭВМ и организовать удобную и надежную связь с ЕС-1040.

Предлагается в освобождающийся после демонтажа "Минск-22" машинный зал силами ОННР и ОЯСиРХ установить устройства для передачи информации от спектрометрических установок и первичной обработки результатов эксперимента. Как было ранее согласовано, техническая политика по созданию центра накопления и обработки информации определяется ОННР по согласованию с заинтересованными отделами. ОННР обеспечивает обслуживание ЭВМ.

Экспериментальные установки разместить в помещениях, прилегающих к машинному залу (см. приложение), что позволит планировать эксперимент и работать одновременно на нескольких установках, что заметно повысит эффективность использования радиоактивных источников. Кроме того, территориальная близость установки упрощает задачу оперативной связи, сбора информации, её сортировки и передачу для полной обработки на другие ЭВМ.

Предлагаемый комплекс накопления и обработки информации будет обеспечивать спектрометрические измерения в ЛЯП (ЯСНАПП, СУПП и др.) *офлайн*, а также прикладные работы и разработку ППД.

В будущем эту систему легко можно будет применять для организации *онлайн*-измерений на ускорителе.



ПРОЕКТ ЦЕНТРА ДЛЯ НАКОПЛЕНИЯ И ОБРАБОТКИ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НЭОЯСиРХ ЛЯП

(1977 год)

Задачами центра являются:

- 1. Сбор цифровой информации от физических установок в корпусе НЭОЯСиРХ на базе ЭВМ ЕС-1010.*
- 2. Накопление цифровых данных в стандарте КАМАК.*
- 3. Создание системы программ для управления экспериментом.*
- 4. Передача цифровой информации от ЭВМ ЕС-1010 в ЕС-1040 и обратно.*
- 5. Создание системы программ для полной обработки аппаратурных спектров излучений радиоактивных нуклидов.*
- 6. Обработка ядерно-спектроскопических данных и создание для этого банка данных.*

Базовой машиной в полном ядерно-спектроскопическом эксперименте считаем ЕС-1040. Для эффективного управления ЭВМ в системе ОС и передачи контрольной информации необходимо размещение одной дисплейной станции в корпусе НЭОЯСиРХ. Взаимосвязь ЭВМ ЕС-1010 и ЕС-1040 предлагаем сделать в варианте связь КАМАК-КАМАК (CCL) и интеллигентного быстродействующего адаптера между селекторным каналом ЕС-1040 и КАМАК под управлением малой ЭВМ KRS-4200.

В настоящее время связь контроллера КК004 с ЭВМ ЕС-1010 работает нормально. Кроме того, ведутся разработки модулей в стандарте КАМАК для связи некоторых физических установок (TRIDAC-C, DIDAC, ICA-70). В октябре-ноябре планируется подключение ОСК и начало разработок программ разметки участков спектров с его помощью для обработки по программе КАТОК. Идет также разработка программы КАТОК в улучшенном варианте на машинах системы ЕС, и предполагается её адаптация на ЕС-1040 в начале 1978 года. Разработанные в НЭОЯСиРХ программы калибровки спектров низкоэнергетических излучений уже внедрены на ЕС-1040.

Однако пока имеются определенные трудности в осуществлении связи ЕС-1010–ЕС-1040. Модули связи CCL разрабатываются Техническим университетом в Дрездене, и уже ведутся очередные испытания передачи данных между ЕС-1010 и ЕС-1040, включая KRS-4200. До полного внедрения этой связи информацию от ЕС-1010 предполагается передавать на ЕС-1040 с помощью магнитной ленты. Такой путь может быть реализован только в случае приобретения магнитофона ЕС-5017 и устройства сопряжения фирмы VIDEOTON.

Систему накопления цифровой информации в стандарте КАМАК можно организовать только на основе ЭВМ, имеющей расширенную сеть периферийных устройств. В связи с этим изучается возможность использования ИЗОТ-0310, принадлежащей ИЯИЯЭ (София).

Для эффективного использования базовых вычислительных машин ОИЯИ в зале ЭВМ ЕС-1010 необходимо разместить терминал от CDC-6500 с печатающим устройством.

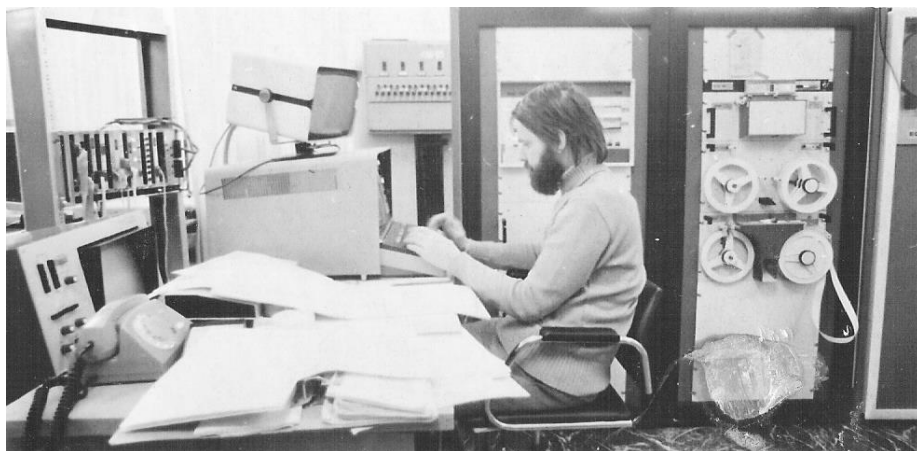
Это было время кардинальных, прежде всего психологических для большинства сотрудников отдела, преобразований.

Вот что писал Ц. Вылов об этом периоде:

«Теперь, по истечении времени, можно понять, как морально и этически было сложно организовать новую многоуровневую систему накопления и обработки информации, работа которой должна объединить профессионализм коллег, взаимопонимание у которых порой не складывалось по многим причинам. Еще сложность состояла в том, что дирекция ЛЯП рассматривала деятельность отдела не под первым приоритетом. А это приводило к принципу остаточного финансирования. Только благодаря

личной инициативе появились детекторы разного типа и современные многоканальные анализаторы (TRIDAC-C, DIDAC). По остаточному принципу доставили и ЭВМ «Минск-22» и ЕС-1010. Также на личных отношениях это все увязывалось в единую систему. Это потом кирпичики хорошо легли, и все стало логично, как будто так и планировали. Но нужно подчеркнуть, что это получилось благодаря очень либеральным взглядам К. Я. Громова: он мало мог помочь, но очень сильно мог помешать, чем, надо сказать ему спасибо, не пользовался. И надо признать, что с другими руководителями было очень много проблем.

Итак, вначале появилась ЭВМ «Минск-22» с прекрасным специалистом Е. Б. Озеровым во главе и командой операторов. Здесь уже можно было проводить не только первичную обработку спектров, но и полную обработку экспериментальных данных с помощью программ на Фортране. После демонтажа «Минск-22» при поддержке А. Н. Синаева в отделе появилась освободившаяся у В. П. Дзелепова ЭВМ ЕС-1010, работа которой поддерживалась лабораторным вычислительным центром под руководством С. В. Медведя. Работали на этой ЭВМ сотрудники из ГДР, педантичное отношение к делу которых и определило перспективность сотрудничества. Постепенно появился стандарт КАМАК на ЕС-1010 и связь с ЭВМ ЕС-1040. Но это уже отдельный сценарий».



М. Ноак у пульты ЭВМ ЕС-1010



З. Кальтвассер

Ц. Вылов
А КАК ЖЕ ДАЛЬШЕ?

Дубна: Наука. Содружество. Прогресс. 7 нояб. 1980.

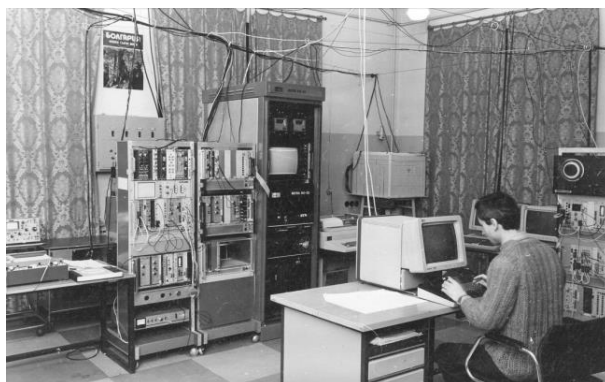
Прошло чуть больше трех лет с момента начала организации трехуровневой системы сбора, обработки и анализа спектрометрической информации. Какие же наши успехи на сегодняшний день?

1. Мы имеем уже настоящую многоуровневую систему, включающую в себя ЭВМ ЕС-1040 (первый уровень), ЕС-1010 и ИЗОТ-0310 (второй уровень) и другую (третьего уровня) аппаратуру. При этом важным является факт, что аппаратура различных уровней связана с помощью стандарта КАМАК и это позволяет легко перестраивать систему для решения конкретных (иногда незапланированных) задач.

2. Для ЕС-1040 внедрена автоматизированная система информации по ядерным данным, что являлось отдельским социалистическим обязательством к 7 ноября. Теперь за считанные секунды физик может получить оцененные данные о радиоактивном распаде из файла ENSDF так, как это сделано в журналах Nucl. Data Sheets.

3. ЕС-1010 освоена достаточно полно как в аппаратном, так и в программном плане в качестве ЭВМ второго уровня. Подключены имеющиеся многоканальные анализаторы и интерфейсная аппаратура, которая облегчает работу экспериментатора (графические дисплеи, плоттеры, алфавитно-цифровые дисплеи, цветные телевизоры и т. д.).

4. Имеются успехи в организации экспериментов на третьем уровне, и прежде всего в применении различных устройств в стандарте КАМАК для накопления информации. Уже сегодня анализатор в этом стандарте начинает становиться главным прибором в будущих спектрометрических экспериментах. Имеются и другие интересные идеи, рассмотрение которых находится за рамками этой заметки. Существенен, однако, вывод, что мы имеем качественную, экономически доступную аппаратуру для организации современного эксперимента.



Итак, первая очередь трехуровневой системы сбора обработки и анализа спектрометрической информации в работу введена, причем в объеме большем, чем планировали, кто хотел, системой пользовался. В ходе работы мы видели что хорошо и что плохо, а значит, постарались правильно двигаться вперед. Учитывая факт, что мы находимся на пороге новой пятилетки, нельзя не обратить внимание на некоторые выводы из проделанной работы. Продолжу, пожалуй, в телеграфном стиле:

1. Любая система хороша, если она имеет широкое применение. В нашем случае сказать этого пока нельзя. И причина только в консерватизме физиков, связанном с привычками в работе. И не следует забывать, что время идет и то, что вчера казалось творчеством, сегодня есть ремесло.

2. Опыт ввода в работу системы указал и на ошибки организаторов. Сегодня мы понимаем, что невозможно изменить психологию экспериментатора скачком (а следовательно, и ввести новую технику). Необходим плавный переход с помощью знакомых физикам приемов.

3. Хочу отметить, что изменились взгляды на организацию современного эксперимента. Эра мини-ЭВМ прошла, и сегодня главным инструментом является уже микроЭВМ. Это удобно (собственная аппаратура), надежно (меньше электроники) и доступно (не так дорого). Если эту тенденцию экспериментатор не учтет, он может попасть в ситуацию, когда ничего не сделает или из-за отсутствия аппаратуры (нет денег на приобретение ЭВМ), или из-за трудностей в экстренном ремонте (нет и не будет собственных специалистов).

А в общем-то, уже праздник, и, думаю, хватит замечаний. Поскольку мы подытоживаем этап, хочется вспомнить отличную работу Х. Эберля, М. Ноака, И. Чурина, Н. Журавлева, В. Сидорова, В. Бруданина, П. Петева, Р. Милановой, С. Ивановой, Л. Выловой, З. Кальтвассер, М. Туровецку. Если присмотреться к списку, можно увидеть фамилии сотрудников двух отделов, и хотелось бы пожелать попутного ветра такому сотрудничеству, ибо в этом — и только в этом — случае можно увидеть будущие успехи ядерной спектроскопии. С праздником, дорогие друзья!



Сотрудники сектора А. Н. Синаева

Рабочее совещание по полупроводниковым детекторам

Варна, 25–27 октября 1976 года

В Болгарию вылетела группа ученых ОИЯИ для участия в Международном совещании по полупроводниковым детекторам. В нем приняли участие специалисты восьми социалистических стран — Болгарии, СРВ, Венгрии, ГДР, Польши, Румынии, СССР и Чехословакии. Международная встреча специалистов социалистических стран по полупроводниковым детекторам организована ОИЯИ и ИЯИЯЭ БАН. Это уже восьмое совещание специалистов по этой проблеме.

Совещание подвело итоги работ ученых за последние два года по применению полупроводниковых детекторов в исследованиях в области физики атомного ядра и элементарных частиц и обсудило вопросы дальнейшего сотрудничества.



1976–1985. Тема «Создание комплекса ЯСНАПП-2: совершенствование масс-сепараторов и методов получения чистых радиоактивных препаратов»

(В. Г. Калинин, Г. Лизурей, Н. А. Головков, В. Г. Чумин, В. В. Кузнецов, В. А. Морозов, М. Фингер, Ц. Вылов, В. А. Халкин, А. Н. Синаев)

В. Егоров, А. Солнышкин, Ю. Юшкевич
СОЗДАЕТСЯ КОМПЛЕКС ЯСНАПП-2

Дубна: Наука. Содружество. Прогресс. 1982. 1 дек. (№46)

В ОИЯИ проходило совещание по программе ЯСНАПП-2, участниками которого были специалисты из институтов НРБ, ВНР, ГДР, ПНР, СССР и ЧССР. На совещании обсуждался широкий круг вопросов, связанных с осуществлением программы ЯСНАПП-2. О работах по этой программе рассказывается в публикуемой сегодня статье.

В течение ряда лет в НЭОЯСиРХ ЛЯП ведутся исследования по программе ЯСНАПП (ядерная спектроскопия на пучке протонов). Итогом этих работ явилось открытие более пятидесяти новых изотопов разных элементов от рубидия до таллия;

детально были изучены схемы распада более ста изотопов. Полученные экспериментальные данные оказали существенное влияние на развитие представления о структуре атомного ядра.



Однако круг исследованных ядер ограничен возможностями экспериментальной техники, не позволяющей в режиме офлайн изучать ядра с короткими периодами полураспада. В настоящее время известно около 2100 ядер, тогда как всего, по различным оценкам, их может быть от 5 до 7 тысяч. Расширение круга изучаемых ядер и их систематическое исследование являются актуальной задачей экспериментальной ядерной физики. Особый интерес представляет изучение ядер, удаленных от полосы бета-стабильности и имеющих вследствие этого малые периоды полураспада (меньше 1 с). Получение и исследование таких ядер возможно на ISOL-установках (ISOL — аббревиатура от английских слов «Isotope Separator online», что означает «масс-сепаратор в линии»), работающих в непрерывном режиме на нейтронах ядерных реакторов или на пучках заряженных частиц от ускорителей.

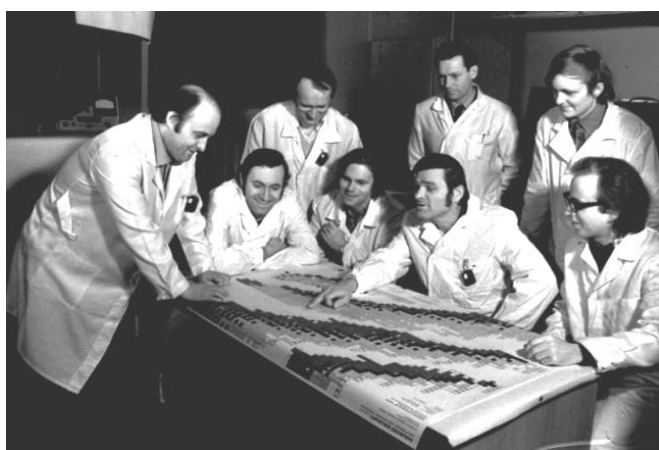
В настоящее время в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ ведутся работы по созданию ISOL-комплекса ЯСНАПП-2, где в качестве бомбардирующих частиц планируется использование выведенного протонного пучка сильноточного фазотрона ОИЯИ (установка «Ф»).

Основным, центральным узлом комплекса ЯСНАПП-2 является электромагнитный масс-сепаратор, ионный источник которого совмещен с мишенным устройством. Радионуклиды, образующиеся при взаимодействии протонов с веществом мишени, ионизируются в ионном источнике и поступают в магнит масс-сепаратора, где разделяются по массам и транспортируются по четырем ионопроводам.

На пучках ионов разделенных изотопов предполагается разместить следующие экспериментальные установки: магнитный анализатор тяжелых частиц (МАТЧ), имеющий высокое энергетическое разрешение и малый уровень фона, что обеспечивает благоприятные возможности для поиска и наблюдения редких распадов (задержанные протоны, альфа-частицы, протонный распад и др.); магнитный спектрометр типа «мини-апельсин» в сочетании с полупроводниковыми детекторами (установка ЭЛГА) для изучения схем распада короткоживущих ядер; универсальную многодетекторную установку для изучения угловых корреляций гамма-лучей (МУК), создаваемую совместно с ИЯФ ЧСАН и имеющую семь больших германий-литиевых детекторов с соответствующим электронным и программным обеспечением; установку СПИН-2, создаваемую в сотрудничестве специалистов ОИЯИ и Карлова университета в Праге и предназначенную для изучения распада ориентированных короткоживущих ядер при сверхнизких температурах, что позволяет получить уникальную информацию о магнитных моментах ядер, находящихся в основных и возбужденных состояниях, о мультипольностях переходов...

Кроме того, в комплекс ЯСНАПП-2 планируется включить тороидальный светосильный бета-спектрометр; светосильные магнитно-линзовые бета-спектрометры для измерений времени жизни возбужденных состояний ядер; лазерный спектрометр для изучения сверхтонкой структуры оптических линий короткоживущих изотопов, измерения угловых бета-нейтринных корреляций при бета-распаде и т. д. Управление работой масс-сепаратора, ионных трактов и экспериментальных установок будет осуществляться с использованием электронной аппаратуры в стандарте КАМАК, связанной с ЭВМ типа СМ-4 и включающей в себя ряд микропроцессоров.

На сегодняшний день в мире уже существует около десяти аналогичных ISOL-систем. Тем не менее наша программа вполне актуальна и конкурентоспособна. Это обусловлено, с одной стороны, большим объемом предстоящих исследований, а с другой стороны — наличием ряда уникальных экспериментальных установок, не имеющих в мире аналогов, высокой квалификацией научных кадров и, наконец, тесным международным научно-техническим сотрудничеством ученых социалистических стран.



В. Г. Калинин

СЕГОДНЯ В ПАВИЛЬОНЕ ЯСНАПП

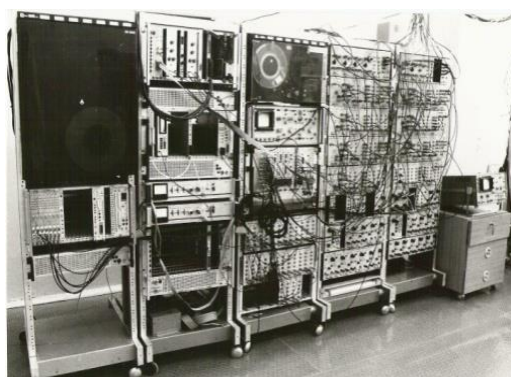
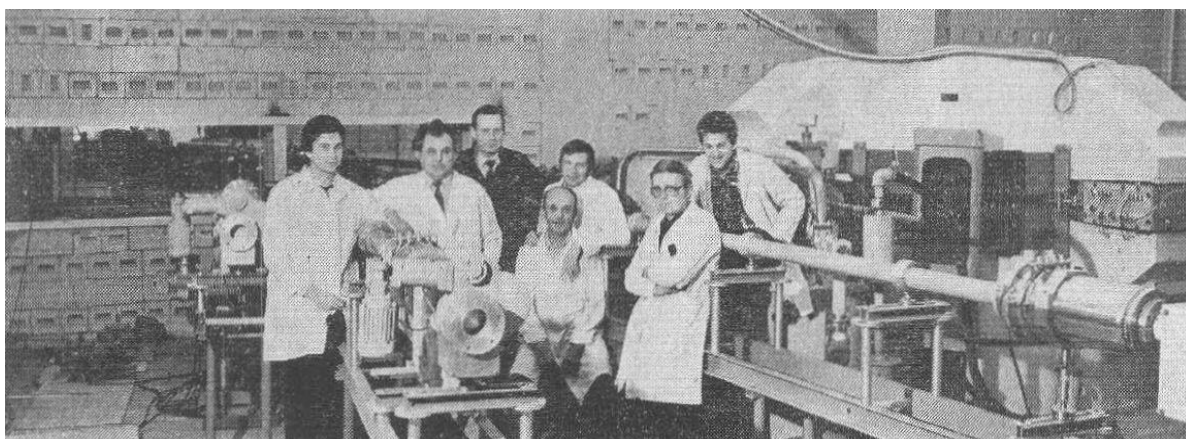
Дубна: Наука. Содружество. Прогресс. 1986. 31 дек. (№50)

Последние дни декабря в павильоне ЯСНАПП мало чем отличались от предыдущих. Объединенные общими целями и заботами, научные сотрудники, инженеры, рабочие укладывали последние кирпичи биологической защиты, устанавливали ионопроводы, монтировали оборудование экспериментального комплекса. В канун Нового года коллектив Лаборатории ядерных проблем выполнил социалистическое обязательство, которое предусматривало смонтировать, наладить и испытать основные узлы экспериментального комплекса ЯСНАПП для онлайн-экспериментов на пучке протонов. Об этом рассказывает начальник сектора Научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии ЛЯП В. Г. Калинин.

Из-за строительных недоделок в новом здании мы начали монтаж на пять месяцев позже плана, но благодаря усилиям сотрудников нашего сектора и коллег из НЭОЯСиРХ, других отделов и служб лаборатории сделать успели многое. Завершен монтаж всех систем масс-спектрометра — основного узла экспериментального комплекса. Собраны и испытаны вакуумная камера, система водоохлаждения, система электропитания.

Вот они на снимке — участники создания комплекса ЯСНАПП: стажер-исследователь С. В. Евтисов, старший инженер М. Яницки (ПНР), слесарь высокой квалификации В. А. Быстров, старший инженер М. Яхим (ЧССР), инженер В. Г. Егоров,

старший инженер Ю. В. Юшкевич, стажер-исследователь Н. Ю. Котовский. Вместе с ними прилагали большие усилия к выполнению социалистических обязательств научный сотрудник В. П. Афанасьев и слесарь А. В. Казаков из нашего сектора, слесари В. Н. Кобозев, В. С. Горбачев, М. М. Федоров, С. И. Миньков, радиомонтажник Т. В. Ледница, техник В. И. Новикова, лаборант З. Ф. Додохова. Добрых слов заслуживают младший научный сотрудник А. А. Солнышкин и научный сотрудник Ли Дык Сан, которые не гнушались самой черновой работы.



Создание экспериментального комплекса ЯСНАПП стало предметом забот всего коллектива лаборатории, все наиболее сложные вопросы постоянно держали в поле зрения заместитель директора ЛЯП профессор К. Я. Громов и главный инженер лаборатории Л. М. Онищенко. Большой объем работ по конструированию узлов масс-сепаратора и других элементов комплекса выполнили сотрудники конструкторского отдела Н. Д. Топилин и Н. С. Толстой под руководством А. Т. Василенко. В течение нескольких лет в цехе опытно-экспериментального производства ЛЯП, руководимом В. Г. Сазоновым, рабочие участков В. В. Дмитриева и Ю. А. Жаднова изготавливали и монтировали сложное оборудование комплекса. На важном и ответственном этапе монтажа оборудования в новом здании хорошо потрудились сотрудники группы теплоснабжения (начальник Н. Д. Снеговой) и электротехнологического отдела (начальник В. И. Смирнов). Большую поддержку получали мы и от сотрудников отделов оборудования и материально-технического снабжения Института. Обычно их ругают, а мы в канун Нового года выражаем им свою благодарность. Сложные вопросы взаимодействия со строителями успешно решал старший инженер Ю. В. Костин.

Сейчас завершается сооружение электромагнитного сепаратора изотопов на пучке протонов ускорителя ЛЯП. Подобная установка работает в Гатчине, но наша будет обладать значительно большими возможностями. Она имеет более современные и эффективные ионные источники, вместо трех ионопроводов — четыре, что позволяет более гибко подходить к организации экспериментов.

На ионопроводах масс-сепаратора уже размещено несколько установок.

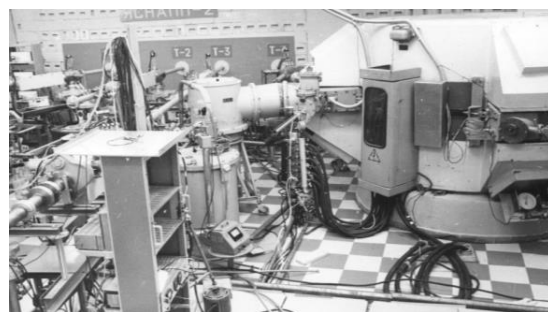
В. Г. Чумин при активном участии группы сотрудников Воронежского университета смонтировал установку МАТЧ — магнитный анализатор тяжелых частиц.

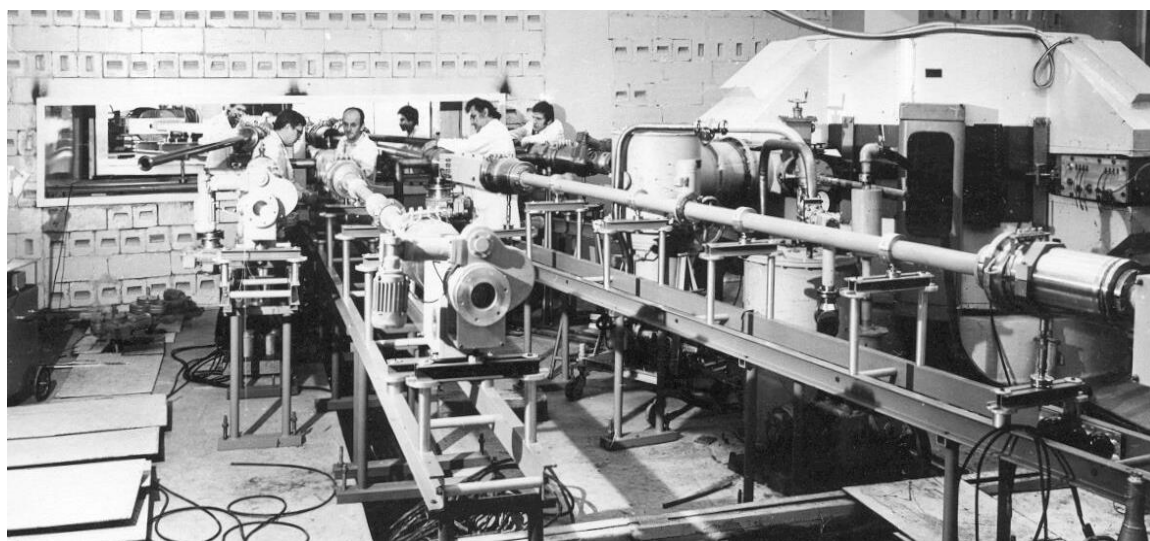
В. В. Кузнецов, В. И. Фоминых, Р. Лущински создали установку для измерения спектров электронов конверсии, гамма-квантов, альфа-частиц — она получила название ЭЛГА.

МУК — многодетекторная установка для измерения угловых корреляций гамма-квантов — детище В. А. Морозова, В. И. Стегайлова и их чехословацких коллег Ф. Пражака, З. Гонса, П. Чалоуна, Д. Веноса, причем значительный материально-технический вклад в создание этой установки внес Институт ядерной физики ЧСАН в Ржеже, а один из ведущих специалистов этого центра И. Адам много помогал на всех стадиях реализации проекта.

Монтажом на ионопроводе магнитно-линзового спектрометра для измерения времен жизни ядерных состояний (МЛС) сейчас заняты В. А. Морозов, В. Н. Абросимов и А. И. Акатов. Планируется также разместить установку СПИН-3, нацеленную на изучение характеристик распада ориентированных при сверхнизких температурах короткоживущих ядер. Подготовительными работами по созданию этой онлайн-установки руководят М. Фингер, В. М. Цупко-Ситников, В. Н. Павлов.

Я назвал уже многих, но это, конечно, далеко не все участники и помощники, которых каждый день можно увидеть в новом здании, прилепившемся, как ласточкино гнездо, к первому корпусу Лаборатории ядерных проблем. Мне кажется, главная черта этого коллектива, интернационального по своему составу, — готовность к выполнению любых заданий, какими бы сложными они ни были.





Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ

1985 г. Научно-исследовательские экспериментальные работы. Вторая премия
 Г. Д. Алхазов, Н. Ганбаатор, К. Я. Громов, В. Г. Калинин, К. А. Мезилев,
 А. Потемпа, Ф. Таркани, Ю. Н. Новиков

«ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АТОМНЫХ ЯДЕР, УДАЛЕННЫХ ОТ ПОЛОСЫ СТАБИЛЬНОСТИ, ПО ПРОГРАММЕ ИРИС-ЯСНАПП»

Среди радиоактивных ядер особое место занимают ядра, удаленные от области бета-стабильности. Такие ядра переобогатены протонами или нейтронами, имеют времена жизни порядка секунды или долей секунды. Они довольно плохо исследованы, а большая их часть еще совсем не изучена, так как трудности экспериментального исследования резко возрастают по мере удаления в область более короткоживущих нуклидов.

По мере удаления от полосы β -стабильности возрастают разности масс ядер, возрастает энергия, доступная для ядерных β -, α -, γ - и других переходов. При этом энергия отрыва нуклона (B_p или B_n) уменьшается, а энергия β -распада увеличивается и вблизи границы нуклонной стабильности ($B_p \sim 0$ или $B_n \sim 0$) достигает больших значений (20–30 МэВ). Увеличение разностей масс ядер с удалением от полосы β -стабильности открывает возможности обнаружения и изучения новых явлений, новых типов ядерных распадов, невозможных вблизи полосы стабильности. Это такие виды распадов, как

протонный и двухпротонный распад, β -распад с испусканием задержанных нейтронов, протонов, β^- и более тяжелых частиц, задержанное β -распадом деление и др.

Следует отметить трудность теоретического описания рассматриваемых ядер, заключающуюся в том, что используемые в расчетах опорные экспериментальные данные отсутствуют и их приходится далеко экстраполировать.

Исследования удаленных ядер ведутся очень интенсивно на реакторах (например, программа ТРИСТАН), протонных ускорителях (Изольда, ЦЕРН; Изосель, Орсэ) и на ускорителях тяжелых ионов (Дармиштадт; ОИЯИ). В 1976–77 гг. была запущена совместно сотрудниками ОИЯИ и ЛИЯФ первая в странах социалистического содружества изоль-установка ИРИС на протонном пучке синхроциклотрона ЛИЯФ АН СССР. На этой установке ведутся систематические исследования радиоактивного распада короткоживущих нуклидов редкоземельной области.

Одним из принципиальных вопросов современной ядерной физики является экспериментальное установление границ нуклонной устойчивости ядер. Эти границы, в частности, определяют область ядер, которые можно создать и которые будут существовать заметное по сравнению с ядерным ($\sim 10^{-22}$ с) время. Число таких ядер в зависимости от использования разных формул масс ядер оценивается равным 5–7 тысячам. В настоящее время известно около 2600 изотопов, из них около 300 стабильных, т. е. значительное их число предстоит открыть.



1977–1986. Тема «Создание установки для исследований с ориентированными радиоактивными ядрами (СПИН)»

(М. Фингер, Б. С. Неганов, К. Я. Громов)

М. Фингер, К. Я. Громов, Ю. М. Казаринов
НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ
За коммунизм. 1977. 25 февр.

Коллектив Лаборатории ядерных проблем в конце 1976 года рапортовал о досрочном выполнении общепланового социалистического обязательства: «Ввести в действие первый вариант установки СПИН и получить первые физические результаты на нем». Был успешно завершён начальный этап цикла работ, нацеленных на создание

комплекса аппаратуры, — установка СПИН для исследований с ориентированными радиоактивными ядрами на создаваемом в ЛЯП сильноточном фазотроне по программе ЯСНАПП.



Предложение о создании установки СПИН было сделано несколько лет назад по инициативе чехословацких сотрудников из Карлова университета и Политехнического института в Праге. Исследования с ориентированными радиоактивными ядрами являются новым, быстро прогрессирующим направлением. Они позволяют получить уникальную прецизионную информацию о структуре атомных ядер. Имеются также возможности для проведения интересных исследований по физике твердого тела, по физике и технике сверхнизких температур. Установка СПИН использует эффект сверхтонкого расщепления ядерных уровней при сверхнизких температурах в магнитном поле. В связи с этим при сооружении установки большое значение имели достижения лаборатории в области получения сверхнизких температур методом растворения гелия-3 в гелии-4, а также успехи в получении очень чистых и сильных образцов радиоактивных изотопов, удаленных от полосы бета-стабильности, и в области спектрометрии ядерных излучений, достигнутые с помощью полупроводниковых детекторов.

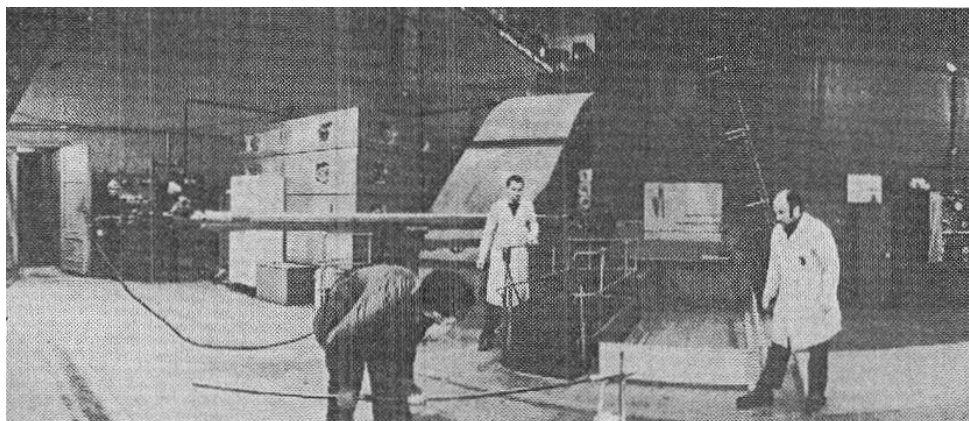
Работы по созданию установки СПИН ведутся в лаборатории силами двух отделов: физики высоких энергий и ядерной спектроскопии и радиохимии. Они осуществляются в тесном сотрудничестве с рядом научных коллективов Чехословакии — математико-физическим факультетом Карлова университета, ядерным и физико-инженерным и машиностроительным факультетами Политехнического института в Праге, районным вычислительным центром этого института, институтом

приборостроения ЧСАН в Брно и другими. В этих работах принимают участие также сотрудники Московского государственного университета во главе с профессором В. С. Шпинелем и группа Сассекского университета в Великобритании, руководимая профессором У. Д. Гамильтоном.

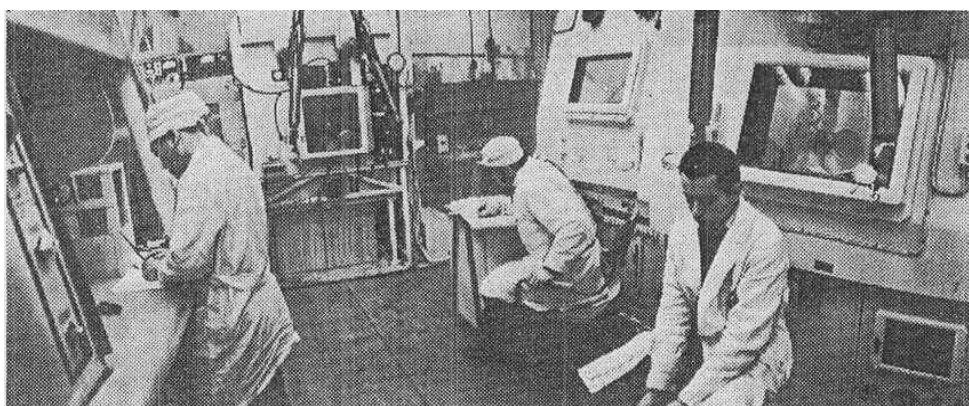
Развитие исследований в новом для ОИЯИ и стран-участниц направлении потребовало решения ряда научных и технических проблем. Сложность задачи сделала необходимым условием успеха комплексный подход к ее решению и тесное сотрудничество специалистов разных направлений. Благодаря большому научному и техническому потенциалу ЛЯП все эти проблемы удалось решить в короткий срок.

Значительные успехи Б. С. Неганова и его сотрудников в создании рефрижераторов высокой хладопроизводительности на базе растворения ^3He – ^4He , большой опыт работы Б. С. Неганова и В. Н. Павлова позволили при участии Н. С. Борисова, Я. Коничека и Й. Ота создать рефрижератор растворения новой оригинальной конструкции, позволяющий уже на первом варианте установки СПИН достичь рекордных в мировой практике параметров: рабочая температура на образце 12 мК и время охлаждения — 3,5 часа, что позволяет уже сейчас проводить исследования ориентированных ядер с периодом полураспада выше одного часа. В создании отдельных узлов криогенной части установки и

систем ее обслуживания приняли также участие: И. З. Крахтилов, Л. О. Орлов, И. Свобода, Л. Хадима, Р. Л. Хамидулин, А. Холлер, О. Н. Шевелев, К. Шольц, З. Яноут, коллективы механических мастерских и конструкторского бюро.



Центральный зал синхроциклотрона. Облучение



Радиохимическое разделение

Большие успехи достигнуты И. И. Громовой, Я. Дупаком и А. Маховой при разработке методик изготовления образцов для ориентации ядер имплантацией ионов в ферромагнитные матрицы с использованием масс-сепаратора и последующей термической обработкой. Значительный вклад в развитие методов и обеспечение экспериментов внесли радиохимики Н. А. Лебедев, Н. С. Авдеева, Хан Хен Мо. Существенные успехи были достигнуты в разработке методики измерения сверхнизких температур на базе радиоактивных термометров А. Маховой, И. Ржиковской, З. Яноутом и аспирантом Харьковского государственного университета А. Ф. Щусем.

Под руководством В. М. Цупко-Ситникова выполнена большая работа по созданию измерительной системы первой очереди установки СПИН на базе германиево-литиевых детекторов и спектрометрических трактов, работающих на линии с ЭВМ «Минск-2». В создание и отладку электроники и связей вложили много сил В. И. Гилев, Е. Т. Кондрат, М. И. Фоминых, В. И. Фоминых, А. Ф. Щусь. Самоотверженно работали при прокладке линий связи криогенного корпуса с отделом ядерной спектроскопии и радиохимии рабочие В. Е. Савин и М. М. Федоров. Под руководством И. Ржиковской, С. Аврамова, Е. Стейскалова, П. Ференци, М. И. Фоминых создан комплекс программ для автоматической обработки экспериментальной информации и физического анализа данных, полученных на установке СПИН, на ЭВМ «Минск-2» и БЭСМ-6 в Дубне и ICL-72 в Праге.

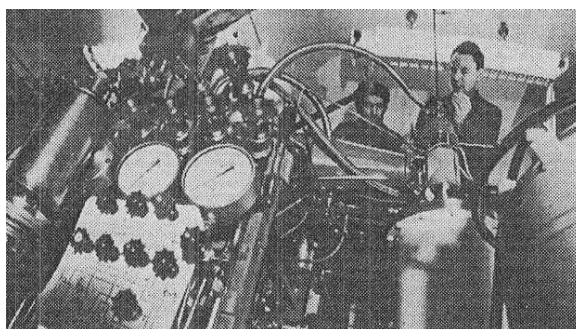
В минувшем году на первом варианте установки СПИН проведены четыре серии измерений. Отлаживалась методика. Проводились исследования распада ориентированных ядер тербия 149–166. В одном из первых экспериментов приняла участие группа сотрудников Сассекского университета. Получена важная информация о спинах основных и возбужденных состояний ядер, о магнитных моментах ядер, вероятностях электромагнитных переходов.

Создание первой очереди установки СПИН является важным вкладом в развитие методов исследований на синхроциклотроне ЛЯП после его реконструкции в сильноточный ускоритель. Доказана принципиальная возможность проведения экспериментов с короткоживущими радиоактивными ядрами на интенсивном протонном пучке установки «Ф».

Для чехословацких институтов, принимающих участие в сотрудничестве, особенно важны осуществление широкой интеграции научно-исследовательских работ в этом направлении между ЧССР и ОИЯИ и возможность участия сотрудников, студентов и аспирантов ряда факультетов чехословацких университетов в работах по новой актуальной научно-исследовательской тематике в области исследования структуры ядра, физики твердого тела, физики и техники сверхнизких температур с использованием уникальных базовых установок ОИЯИ. Многолетнее плодотворное сотрудничество с Лабораторией ядерных проблем имеет для сотрудников чехословацких университетов в Праге большое значение. Приобретенный опыт, большой научный и инженерный потенциал ЛЯП и объединение усилий являются надежной гарантией того, что стоящие перед учеными ответственные задачи на втором этапе реализации проекта СПИН будут успешно решены.



Масс-сепарирование



Охлаждение, измерение

Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ

1978 г. Научно-методические работы. Вторая премия

*Я. Дупак, Я. Коничек, Б. С. Неганов, В. Н. Павлов, И. Ржиковска, М. Фингер,
В. И. Фоминых, В. М. Цупко-Ситников, Хан Хен Мо, З. Яноут*

«ФИЗИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПАДА КОРОТКОЖИВУЩИХ РАДИОАКТИВНЫХ ЯДЕР, ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПРИ СВЕРХНИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ (УСТАНОВКА СПИН)»

В последнее время в мире возник широкий интерес к использованию пучков радиоактивных ядер в связи с возможностями, которые они открывают для исследований в ядерной физике, атомной физике, астрофизике, физике твердого тела и материаловедении. Обширные исследовательские и конструкторские работы нацелены на реализацию различных методов получения, ускорения и сепарации пучков радиоактивных частиц. Исследования также направлены на разработку новых и совершенствование уже

существующих методов регистрации, которые бы позволили наиболее полно использовать открывающиеся возможности.

Большие возможности для исследований с радиоактивными пучками в широком диапазоне их массовых чисел предоставляет комплекс ЯСНАПП в Объединенном институте ядерных исследований. На этом комплексе с использованием реакций глубокого расщепления на различных мишенях с помощью протонов внутреннего и внешнего пучков синхроциклотрона ОИЯИ можно получать для исследований интенсивные источники нейтронодефицитных и обогащенных нейтронами радиоактивных ядер, лежащих как вблизи, так и удаленных от полосы стабильности.

Разнообразные эксперименты с радиоактивными ядрами могут выполняться с использованием техники ядерной ориентации, основанной на сверхтонких взаимодействиях при низких температурах. Эта область возникла на пересечении ядерной физики и физики твердого тела. И таким образом, ядерная ориентация при низких температурах может быть эффективно использована для исследования фундаментальных проблем ядерной физики и физики твердого тела. Основанная на последних технологических достижениях установка для низкотемпературной ориентации ядер — СПИН — была разработана и создана в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в Дубне. На этой установке может быть реализована обширная программа исследований в области ядерной физики и физики твердого тела с использованием набора ядер с широким спектром атомных и изотопных масс и времен жизни, получаемых на комплексе ЯСНАПП.

Разработанная в ЛЯП ОИЯИ офлайн-система ядерной ориентации использует уникальный рефрижератор высокой холодопроизводительности, загружаемый сверху и работающий на принципе растворения He^3 в He^4 , реализованном впервые в мире в этой лаборатории. Этот рефрижератор способен охладить радиоактивный образец, погружаемый в камеру растворения, до температуры менее 10 мК за несколько часов. В офлайн-режиме получения изотопов, масс-сепарации и имплантации ионов в соответствующую матрицу на установке СПИН удастся осуществить исследование распада ориентированных ядер с периодом полураспада в 1 час.

Используемая на установке СПИН техника измерений позволяет исследовать пространственное распределение, линейную поляризацию и температурную зависимость гамма-излучения от ориентированных ядер, а также ядерный магнитный резонанс на ориентированных ядрах, проявляющийся в резонансном разрушении с частотой анизотропии излучения, и изучать спин-решеточную релаксацию.

Разработанная и созданная в ОИЯИ установка СПИН обеспечивает Институту и его странам-участницам хорошую возможность работать в быстро развивающейся области ядерной физики и над связанными с ней проблемами физики твердого тела, физики низких температур и материаловедения.





Установка СПИН

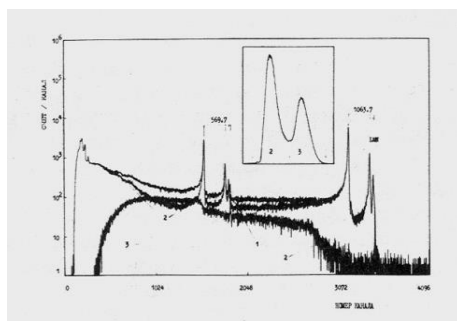
1981–1985. Тема «Разработка технологии и изготовление ППД для многокристальных спектрометров»

(Б. П. Осипенко)

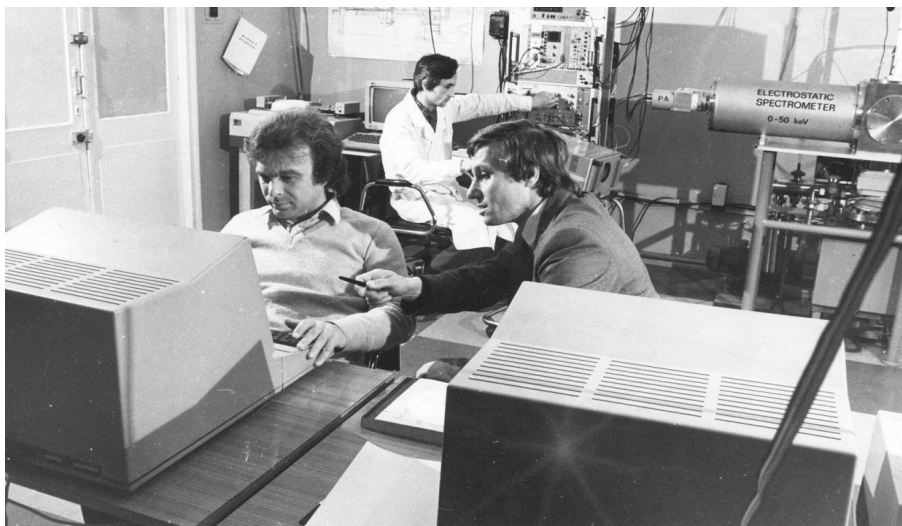
Проведен цикл работ «Методические вопросы временных измерений при помощи полупроводниковых детекторов», в котором рассмотрены временные свойства полупроводниковых детекторов (ППД) и пути улучшения их временных характеристик. Дальнейшее совершенствование методики физического эксперимента требует улучшения энергетического и временного разрешения аппаратуры для изучения коррелированных во времени событий, улучшения пространственного разрешения спектрометров.

Проведенные исследования показали, что метод апробирования импульсов с полупроводниковых детекторов позволяет существенно улучшить временное разрешение спектрометров совпадений с применением ППД, добиться некоторого улучшения энергетического разрешения и с помощью коаксиальных детекторов отчетливо выделить ту группу импульсов, которая соответствует поверхностному слою детектора.

Исследована возможность разделения спектров электронов и γ -квантов, регистрируемых планарным HPGe-детектором, по временным характеристикам анализируемых импульсов. Показано, что применение временной селекции электронов внутренней конверсии из непрерывного и дискретного γ -излучения на примере ^{207}Bi эквивалентно подавлению фона от γ -квантов более чем в 70 раз при незначительной потере в эффективности. Использование метода временной селекции излучений в сочетании с магнитным фильтром "мини-апельсин" дало дополнительное существенное увеличение избирательности β -спектрометра.



Идентификация бета-частиц по форме импульса



Обзоры научных исследований, опубликованные в журнале ЭЧАЯ

В. Г. Сандуковский, В. И. Савельев
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ТРЕКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ
 ЭЧАЯ. 1991. Т.22, вып.6. С.1347–1399

Представлено современное состояние исследований в области разработок различных типов полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов. Особое внимание уделено "миниатюрным" типам дискретных приборов: микростриповым детекторам, приборам с зарядовой связью, дрейфовым камерам. Проанализированы преимущества и недостатки рассматриваемых типов детекторов, методы оптимизации их основных параметров: пространственной точности, двухтрекового разрешения, быстродействия и количества информационных каналов. Изложены различные методы считывания информации, требования, предъявляемые к первичной электронике, условия оптимальной обработки сигналов с детекторов, а также последние достижения в области применения первичной многоканальной интегральной электроники. Рассмотрены

эффекты, связанные с влиянием радиационной нагрузки и магнитных полей на параметры детекторов. Даны примеры использования полупроводниковых трековых систем в ряде современных экспериментов.



Ю. А. Туманов и В. Г. Сандуковский



В. Б. Бруданин и В. Г. Сандуковский

1981–1985. Тема «Разработка методов накопления, обработки и анализа спектрометрической информации»

(Ц. Вылов, В. М. Цупко-Ситников)

В работе К. Я. Громова, И. Звольского и В. М. Цупко-Ситникова подведены итоги по созданию аппаратного комплекса, с помощью которого с 1965 по 1979 год проводились ядерно-спектроскопические исследования. Многоуровневая система измерения, накопления и обработки информации включает четыре уровня: детекторный (спектрометры различных типов, в том числе полупроводниковые детекторы), анализаторный (регистрация многоканальных спектров), малые ЭВМ (сбор информации, обработка, многомерный анализ) и мощные ЭВМ (полная обработка, анализ данных). Приведены характеристики основной спектрометрической аппаратуры, используемой в комплексе, средств автоматизации измерений, сбора и обработки информации. Описанная система обеспечила проведение массовых спектрометрических измерений и комплексную автоматизацию обработки спектрометрической информации.

Современный физический эксперимент немислим без широкого использования как средств автоматизации при проведении измерений, так и ЭВМ для обработки результатов наблюдений. Особо важную роль методы автоматизации играют в ядерной спектроскопии, ибо в этой области экспериментальные методы непрерывно совершенствуются, что, в свою очередь, порождает интенсивный поток данных – в последние годы практически каждые пять лет происходит удвоение объема информации.

Если учесть тот факт, что набор экспериментальных данных является неполным (это связано как с несовершенством аппаратуры, так и с исключительной малостью многих эффектов, существенных для определения физических характеристик ядер), то естественно, что каждому набору экспериментальных данных соответствует некая приближенная картина физических следствий. Следовательно, вместе с ростом объема экспериментальных данных необходима немедленная коррекция базирующихся на их основе схем возбужденных состояний.

В результате возникают два класса задач: первый – планирование эксперимента с учетом известных данных о распаде того или иного нуклида; второй – проведение

измерений с применением современной аппаратуры и анализ комплекса данных, полученных как в настоящем эксперименте, так и во всех предыдущих.

Ясно, что при такой постановке задач информационная система ядерных данных имеет определяющее значение и как источник информации, и как форма представления данных для реализации многократных и различных процедур по определению структуры возбужденных состояний ядер.



Для реализации подобного подхода с 1978 года в Научно-экспериментальном отделе ядерной спектроскопии и радиохимии (НЭОЯСиРХ) и Научно-исследовательском отделе автоматизации физического эксперимента (НАОАФЭ) Лаборатории ядерных проблем ведется работа по созданию трехуровневой системы регистрации, обработки и анализа спектрометрической информации, получаемой по программе ЯСНАПП.

Первая очередь трехуровневой системы регистрации, обработки и анализа спектрометрической информации введена в действие к концу 1980 года, причем в объеме большем, чем было запланировано. «Первая очередь» здесь означает, что созданы лишь контуры будущей системы и проверены заложенные в основу организации принципы. Вместе с тем мы встретились и с целым рядом проблем, которых не предвидели на этапе планирования.

Отметим их кратко. Во-первых, любая система хороша, если она имеет широкое применение. В нашем случае сказать этого, к сожалению, пока нельзя. И главная причина здесь – некоторый консерватизм физиков, связанный со сложившимися приемами работы.

Во-вторых, опыт ввода в работу различных приемов экспрессной обработки данных указал и на ошибки организаторов – сегодня невозможно изменить психологию экспериментатора «скачком», необходим плавный переход по пути автоматизации процесса осмысления данных с помощью знакомых физикам приемов.

В-третьих, нельзя не отметить, что даже на таком малом временном отрезке взгляды на организацию современного эксперимента сильно изменились. Эра мини-ЭВМ прошла, и сегодня главным инструментом стали уже микроЭВМ. Это удобно (собственная аппаратура), надежно (меньше по объему электроники) и доступно (покупаются только необходимые периферийные устройства ЭВМ). Если не учитывать эту тенденцию, вряд ли можно рассчитывать успеть за сегодняшним темпом интеллектуального эксперимента.



В. Б. Бруданин



В. М. Горожанкин

Создание трехуровневой системы регистрации, обработки и анализа спектрометрической информации является большим успехом двух тесно сотрудничающих отделов Лаборатории ядерных проблем – НЭОЯСиРХ и НИОАФЭ. Большое внимание этой работе уделяла и уделяет дирекция Лаборатории ядерных проблем. Заинтересованность проявили многие научные институты и вузы стран-участниц ОИЯИ, в особенности физический факультет Софийского университета, предоставивший по протоколу о сотрудничестве мини-ЭВМ ИЗОТ-0310, а также большой коллектив сотрудников Московского инженерно-физического института, разработавший автоматизированную информационную систему по ядерным данным.

Общий же успех обеспечила прекрасная работа Х. Эберля, М. Ноака, В. Бруданина, П. Петева, И. Чурина, Н. Журавлева, В. Сидорова, Ф. Шварценберга, А. Гопина, А. Маринова, Г. Булла, Ф. Булла, Р. Милановой, Л. Выловой, С. Ивановой, З. Кальтвассер, М. Туравецку и других. Хочется пожелать этому интернациональному коллективу и дальнейшей эффективной работы, что обеспечит ускоренное введение в строй второй очереди системы.

Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ

1982 г. Научно-технические прикладные работы. Вторая премия

*В. Б. Бруданин, Ц. Вылов, Н. И. Журавлев, С. В. Медведь, П. Петев, В. Т. Сидоров,
А. Н. Синаев, Т. М. Телевинова, В. Г. Чумин, И. Н. Чурин*

«ТРЕХУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ, ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ»

Создана трехуровневая система регистрации, обработки и анализа спектрометрической информации, получаемой при исследовании излучений радионуклидов.

Основой нижнего уровня системы являются спектрометры различных типов, применяемые для измерения энергетического, временного и пространственного распределения излучений и корреляции между ними. Широко используются одномерные энергетические спектрометры, в которых информация с полупроводниковых детекторов поступает в многоканальные амплитудные анализаторы как промышленные, так и созданные в Лаборатории ядерных проблем в стандарте КАМАК. Более сложные спектрометры работают под управлением микроЭВМ в стандарте КАМАК, например спектрометр $\gamma\gamma$ -совпадений на основе двух ППД или электростатический спектрометр, предназначенный для прецизионного анализа спектров в области 0,5–50 кэВ.



Нижний уровень трехуровневой системы регистрации, обработки и анализа спектрометрической информации

Основой среднего уровня является ЭВМ ЕС-1010, с помощью которой осуществляется сбор информации от установок нижнего уровня и предварительная ее обработка с целью управления экспериментом. Для этой цели разработана связь ЕС-1010 с управляющим крейтом КАМАК на основе контроллера КК004. Управляющий крейт связан с исполнительными крейтами и непосредственно со спектрометрами, в состав которых входит микроЭВМ. Прием массивов накопленных данных из многоканальных анализаторов осуществляется с помощью специальных интерфейсов. Для расширения возможностей ЕС-1010 в управляющем крейте размещены интерфейсы графических внешних устройств, а также интерфейсы алфавитно-цифровых дисплеев, размещенных у спектрометров нижнего уровня для управления ЭВМ.



Средний уровень трехуровневой системы регистрации, обработки и анализа спектрометрической информации

Основой верхнего уровня системы является базовая ЭВМ лаборатории ЕС-1040, к которой подключен графопостроитель ЕС-7054 и видеотерминал, состоящий из малой ЭВМ КРС-4201 и графического дисплея ГД-71. Прием информации со среднего уровня и выдача результатов обработки производятся через малую ЭВМ КРС-4200, играющую роль буферного процессора. Эта ЭВМ связана с ЭВМ ЕС-1040 через селекторный канал с высшим приоритетом и с универсальным контроллером КК004 распределительного крейта КАМАК. На среднем уровне системы размещен терминал от ЕС-1040, с помощью которого можно управлять прохождением заданий в ЕС-1040.



Верхний уровень трехуровневой системы регистрации, обработки и анализа спектрометрической информации

Для обеспечения работы трехуровневой системы создано необходимое программирование на ЭВМ всех уровней. В него входят:

а) программы, расширяющие дисковые операционные системы ЭВМ ЕС-1010 специальными секциями для работы с аппаратурой КАМАК;

- б) программы сбора цифровых данных от спектрометров нижнего уровня и их записи на магнитные носители;
- в) программы поиска аппаратурных спектров по их идентификатору, а также программы систематизации расположения спектров на НМЛ (в соответствии с элементами идентификатора);
- г) программы визуального представления спектров на дисплеях различных типов и их разметки для последующей обработки на ЭВМ среднего и верхнего уровней;
- д) программы предварительной (экспрессной) обработки спектральных линий, которые позволяют следить за ходом эксперимента и эффективно им управлять;
- е) программы прецизионной обработки и анализа спектров.

Создана автоматизированная информационная система для ядерно-спектроскопического эксперимента. В силу разнообразия данных и использования неоднородной вычислительной среды, в системе используются распределенные банки данных.

Информационную основу нижнего уровня системы составляют базы данных одномерных и многомерных аппаратурных спектров, полученных в различных экспериментах.

В соответствии с задачами, решаемыми на среднем уровне системы, в базах данных уровня хранятся следующие данные: нормали энергий и интенсивностей дискретных излучений; нормали КВК, КВК на различных оболочках атома как функции энергий; функции для анализа непрерывных бета-спектров и т. д. Кроме того, имеется доступ к базе аппаратурных спектров нижнего уровня и к банку данных радионуклидов верхнего уровня для соответствующего анализа результатов эксперимента.

Информационную основу верхнего уровня составляет совокупность ядерно-спектроскопических характеристик: основных и возбужденных состояний; альфа-, бета- и гамма-переходов; электромагнитных переходов и т. д. Банк данных верхнего уровня системы обеспечивает хранение информации, быстрый и удобный доступ к ней, допускает простое расширение номенклатуры данных при неизменном способе доступа к ним и без изменения функционирующих программных комплексов. Информационной базой верхнего уровня являются данные по структуре атомного ядра и схемам распада ядер, представленные в международном обменном файле ENSDF. В настоящее время общий объем файла превышает 200000 записей (~ 17 Мбайт) о характеристиках 2000 нуклидов.





1986 г. Научно-методические и научно-технические работы. Вторая премия

Ш. Бриансон, Р. Вален, Ц. Вылов, А. Х. Инояттов, Б. Легран,

А. Минкова, В. Н. Покровский, В. Г. Чумин

«НОВЫЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ БЕТА-СПЕКТРОМЕТР И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ПРЕЦИЗИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ»

Считают, что наиболее чувствительным методом измерения массы антинейтрино является исследование формы бета-спектра трития в области граничной энергии ($\sim 18,6$ кэВ). Именно этим методом в 1980 г. группа ИТЭФ впервые получила указание на отличие массы антинейтрино от нуля.

Однако решение вопроса о наличии массы антинейтрино в значительной степени связано с точностью определения приборной формы линии (ПФЛ) для тритиевого источника. Поскольку прямое решение этой задачи исключено, то прибегают к использованию различных калибровочных источников и оригинальных методов восстановления истинной (тритиевой) ПФЛ. Следовательно, вопрос о массе антинейтрино в значительной степени сводится к исследованию возможности реализации таких контролируемых условий эксперимента, при которых можно было бы проанализировать вклады побочных эффектов, приводящих к генерации массы антинейтрино. Созданию нового типа спектрометра с рекордным энергетическим разрешением и исследованию с его помощью некоторых калибровочных источников, применяемых в тритиевых экспериментах, и посвящен настоящий цикл работ.

Спектрометр предназначен для изучения энергетического распределения электронов в области от 0,5 до 50 кэВ. Здесь впервые для задач ядерной физики объединены два типа анализаторов: интегральный (сферический) с тормозящим полем и дифференциальный с двойным цилиндрическим зеркалом. Такой подход позволил исключить релятивистские эффекты, характерные для спектрометров с одним анализатором. Развертка спектра производится по замедляющему напряжению на сферическом анализаторе, измерение энергии замедленных электронов проводится с помощью двойного цилиндрического зеркала при постоянном напряжении анализа. Проведенный расчет траекторий электронов позволил выбрать соответствующие оптимальные параметры прибора.

Спектрометр сделан из немагнитной нержавеющей стали. Он защищен специальными магнитными экранами из мю-металла, доводящими остаточное магнитное поле до величины меньше 1 мГс. Вакуумная система обеспечивает безмасляный вакуум $7 \cdot 10^{-7}$ Торр, который достигается в течение 15–20 мин. Детектирование электронов осуществляется с помощью канального электронного умножителя (КЭУ) типа Bendix SEM 4503, для которого проведены детальные исследования эффективности регистрации

электронов и найден соответствующий оптимальный режим работы. Система управления спектрометра полностью автоматизирована на основе блоков и микроЭВМ в стандарте КАМАК.

Разработанный пакет программ обеспечивает:

- а) управление режимами работы;
- б) управление замедляющим напряжением при стабилизации на уровне $\sim 10^{-5}$;
- в) формирование и регистрацию импульсов от КЭУ;
- г) визуализацию и предварительную обработку данных;
- д) связь с базовой ЭВМ для последующей обработки данных.

Исследование электронно-оптических характеристик спектрометра было проведено с помощью ^{169}Yb . Полученное разрешение составляет $\Delta E \sim 5$ эВ, не зависит от энергии регистрируемых электронов и является рекордным в данной области энергий.

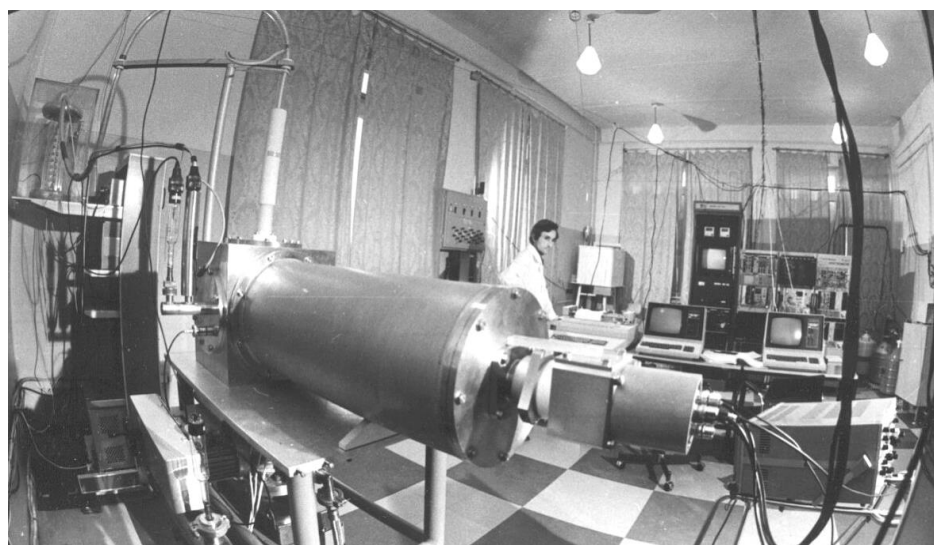
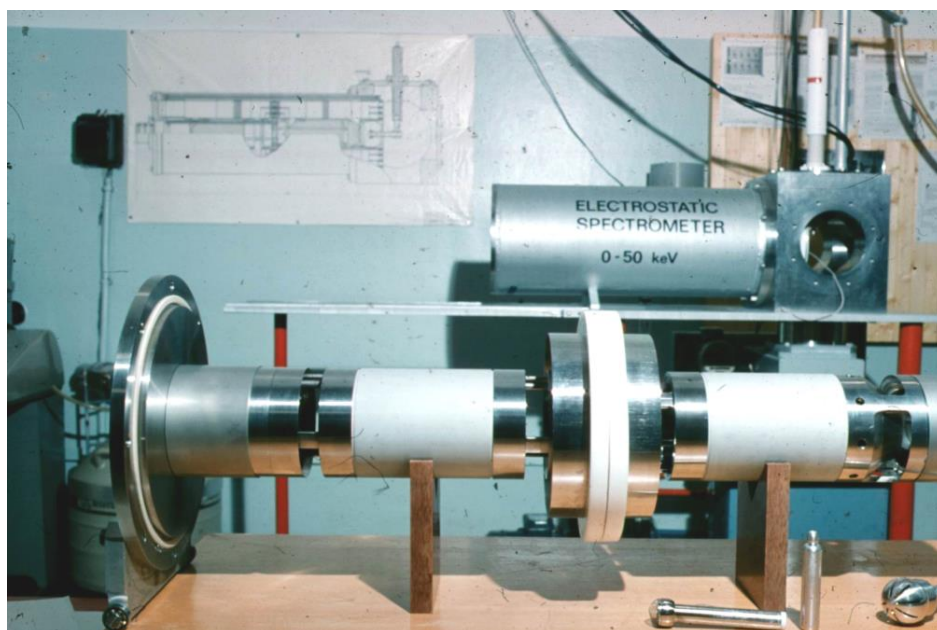
Это позволило впервые в данной области энергии наблюдать эффект дискретных потерь, связанных с т. н. "плазменными колебаниями". Оценка абсолютной эффективности дала значение 0,2% от 4π .

С помощью спектрометра впервые проведены прямые измерения естественных ширин атомных уровней Γ из распада ^{169}Yb , используемого в качестве калибровочного источника в экспериментах по измерению массы антинейтрино. Проведенный вычислительный эксперимент показал, что неучет естественной ширины линии M_1 20,7(^{169}Yb) при разрешении спектрометра $\Delta E \sim 45$ эВ (условия группы ИТЭФ) приводит к генерации массы антинейтрино около 20 эВ при истинном ее нулевом значении. На необходимость учитывать естественную ширину линии M_1 20,7 кэВ мы указали В. А. Любимову еще осенью 1981 г. на сессии Научного совета АН СССР по физике нейтрино. Если же учесть и вклад некоторых других процессов ("встряска", плазменные колебания и т. д.), то эта переоценка становится еще выше.

В последнее время появились предложения о применении спектров оже-электронов для построения ПФЛ в тритиевых экспериментах. Однако известно, что теоретическая интерпретация этих спектров (энергии оже-групп и их интенсивности) в настоящее время неудовлетворительна. В рамках этих исследований был измерен спектр К-серии оже-переходов в железе ($Z=26$) из распада ^{57}Co . Из анализа результатов измерений относительных интенсивностей KLM-переходов впервые сделан вывод о неприменимости расчетов, выполненных в рамках jj -связи, для описания интенсивностей этих переходов в области $Z \approx 25$. Кроме того, было показано, что наложение КММ-группы (также впервые экспериментально наблюдаемой для ^{57}Co) на низкоэнергетический склон линии K14,4 приводит к значительным трудностям при точном определении ПФЛ в тритиевых экспериментах.

Работы по поиску калибровочных источников для экспериментов по измерению массы антинейтрино из формы бета-спектра трития будут продолжены.





П. М. Гопыч
АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЛИНЕЙЧАТЫХ СПЕКТРОВ
ЭЧАЯ. 1993. Т.24, вып.6. С.1596–1659

Дан обзор методов и проблем автоматической (без участия человека) обработки на ЭВМ линейчатых спектров излучения на примере задач ядерной спектроскопии. Обсуждаются оптимизация и стандартизация этих методов, их связь с проблемами психологии человека и искусственного интеллекта.

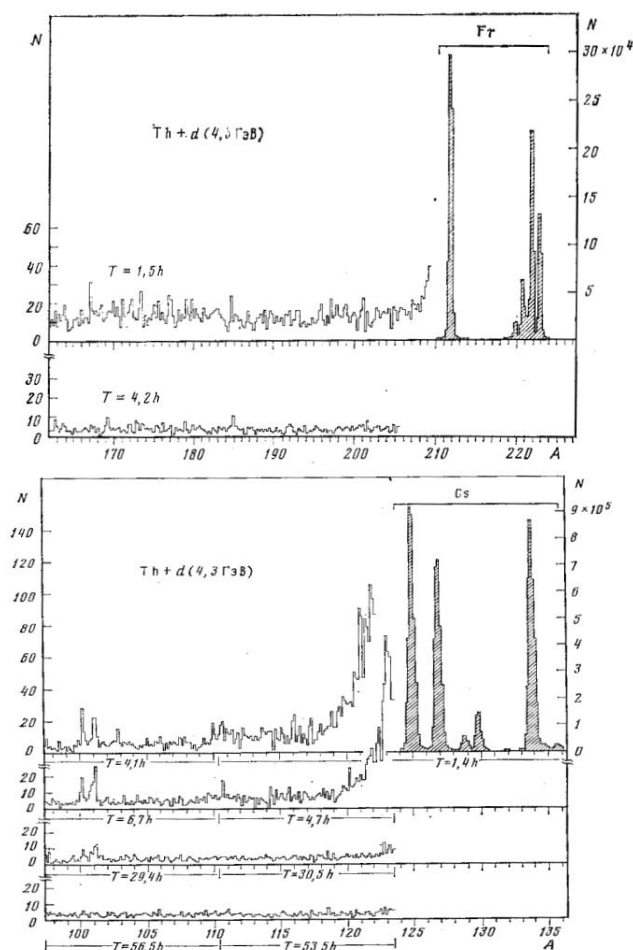
1982–1986. Тема «Эксперименты по поиску суперплотных ядер (проект СУПП)»

(В. А. Карнаухов)



Описывается экспериментальный поиск β -активных суперплотных ядер Cs и Fr среди продуктов взаимодействия ^2H (4,3 ГэВ) и ^3He (11-15 ГэВ) с Th. Использовался метод селективной масс-спектроскопии со сканированием распределения β -активности на коллекторе. Согласно теории π -конденсации Мигдала ожидается, что дорожка β -стабильности суперплотных ядер смещена в сторону N–Z. Поэтому в качестве сигнала аномальности было выбрано появление относительно долгоживущих β -активных изотопов в области значительного нейтронного дефицита.

Получены следующие верхние границы сечений образования аномальных изотопов в единицах полного сечения взаимодействия (в предположении $T_{1/2}=5$ ч): для Cs в интервале $112 < A < 119$ — $5 \cdot 10^{-9}$ в случае дейтронного пучка и $2 \cdot 10^{-6}$ в интервале $100 < A < 122$ для пучка ^3He ; для Fr — $1,6 \cdot 10^{-8}$ в интервале $163 < A < 206$ (дейтроны) и $2 \cdot 10^{-6}$ для $172 < A < 210$ для пучка ^3He .



Распределение активности на сборнике масс-спектрометра при селективном выделении Fr и Cs. Время измерения в каждом канале 30 мин; T — временная задержка между концом облучения и измерением. Шкала справа относится к заштрихованной части спектра

1982–1986. Тема «Создание установки для исследования распада короткоживущих ориентированных ядер (СПИН-3)»

(М. Фингер)

1987–1995. Тема «Исследование спиновых эффектов при распаде ориентированных ядер (СПИН-3)»

(М. Фингер, В. М. Цупко-Ситников)

На установке СПИН имеются возможности для исследования углового распределения гамма-излучения ориентированных ядер и его температурной зависимости, детектирования ядерного магнитного резонанса при помощи ядерного излучения, детектирования поляризации гамма-излучения поляризованных ядер. Существующая методика позволяет с помощью масс-сепаратора и термической обработки в течение 1–2 ч приготовить радиоактивные образцы для исследований на установке СПИН. Криогенная часть установки, созданная на базе ³He–⁴He-рефрижератора, обеспечивает охлаждение образцов до температуры 12 мК в течение 2–3 ч и позволяет заменять их на любой стадии

работы. Внешнее поляризующее поле до 20 кГс создается парой сверхпроводящих катушек Гельмгольца. Для регистрации гамма-излучения ориентированных радиоактивных ядер создан измерительный модуль, включающий полупроводниковые детекторы, спектрометрическую электронику и многоканальные анализаторы, работающие на линии с ЭВМ. Для обработки экспериментальных данных и физического анализа результатов имеется система программ для ЭВМ БЭСМ-6, CDC-6500 и ICL-4/72.

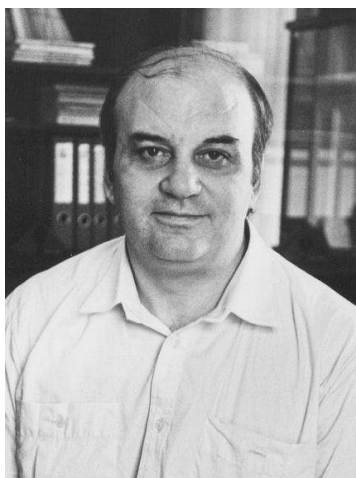
Использование Ge(Li)-детекторов высокого разрешения и необходимость измерения лишь одномерных спектров позволяют проводить исследования на установке СПИН с источниками относительно малой активности (0,1–10 мкКи), что открывает возможности изучения ядер, получаемых в малых количествах.



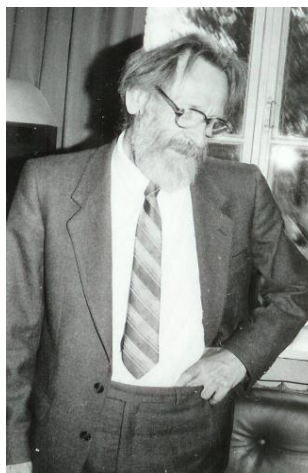
1986–1990. Тема «Исследование свойств нейтрино в процессах радиоактивного распада (проект “Нейтрино”»)»

(Ц. Вылов, Б. С. Неганов)

- Определение чувствительности экспериментов по измерению массы (анти)нейтрино (В. М. Горожанкин);
- поиск $2\beta 0\nu$ -распада с помощью телескопа из ППД (В. Б. Бруданин);
- разработка калориметрического метода регистрации редких событий (Б. С. Неганов);
- разработка технологии изготовления ППД для задач прецизионной ядерной спектроскопии (В. Г. Сандуковский).



Ц. Вылов



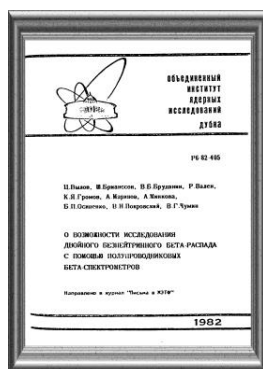
Б. С. Неганов

Работа по исследованию свойств нейтрино в процессах радиоактивного распада была начата еще в 1980 году в рамках темы прецизионной спектрометрии излучений с помощью ППД. Однако формально тема была утверждена в 1986 году как проект «Нейтрино», в рамках которого должен был разрабатываться и калориметрический метод регистрации редких событий.

Руководителями темы были утверждены Ц. Вылов и Б. С. Неганов. Так как реализация проекта проводилась в разных отделах, финансирование было разделено.

Работа по исследованию свойств нейтрино в НЭОЯСиРХ началась в связи с решением о создании электростатического бета-спектрометра для исследования формы низкоэнергетических бета-спектров, в частности трития. Далее, успехи в разработке методики прецизионной спектрометрии с помощью ППД привели к вопросу об измерении спиральности нейтрино из распада ^{152}mEu . Уникальные же результаты при измерении спектров ЭВК и альфа-частиц с помощью HPGe-детекторов привели к идее о постановке эксперимента по поиску двойного безнейтринного бета-распада с помощью ППД. Кстати, в обзоре 1983 года впервые речь шла о многодетекторном спектрометре на базе ППД, а также о применении обогащенного ^{76}Ge для изготовления детектора.

1 июня 1982 года



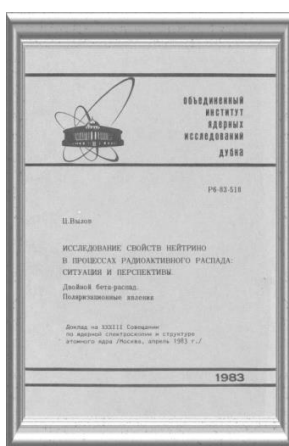
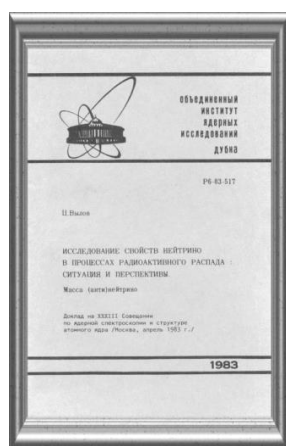
Рассмотрена возможность реализации эксперимента по поиску двойного безнейтринного ($2\beta 0\nu$) бета-распада с помощью полупроводниковых бета-спектрометров. Главными достоинствами такого подхода являются высокое энергетическое разрешение ($\approx 0,5\%$), низкий фон и возможность исследования различных нуклидов. На примере спектрометра из 16 пар детекторов ($25 \text{ см}^2 \times 0,4 \text{ см}$) из HPGe проанализированы возможности эксперимента по поиску $2\beta 0\nu$ -распада ^{48}Ca . Указаны пути увеличения чувствительности метода.

29 декабря 1982 года



Для исследования спектров электронов внутренней конверсии (ЭВК) и непрерывных бета-спектров в области энергий 0,5–50 кэВ создан электростатический спектрометр, состоящий из сферического замедлителя и двойного цилиндрического зеркала. Детектирование бета-частиц осуществляется с помощью канального электронного умножителя. Спектрометр полностью автоматизирован на основе блоков и микроЭВМ в стандарте КАМАК. Напряжение замедления стабилизируется с точностью 10^{-5} . Измерен спектр ЭВК при распаде ^{169}Yb . Для электронов с энергией 10,6 кэВ ($L_{120,7}$) получено энергетическое разрешение $\Delta E \approx 8,1$ эВ, причем в экспериментальное значение ΔE входит и естественная ширина линии, которая равна 5 эВ. Полученное аппаратурное энергетическое разрешение составляет $\Delta E/E \approx 0,06\%$ (то есть $\Delta P/P \approx 0,03\%$).

29 августа 1983 года



1. МАССА (АНТИ)НЕЙТРИНО

1.1. Главные выводы теории

1.1.1. β -распад

1.1.2. Электронный захват

1.2. Радиоактивные источники

1.3. Экспериментальная ситуация

1.3.1. Определение массы антинейтрино на основе измерения бета-спектра трития

1.3.2. Определение массы нейтрино на основе измерения спектра β^+ -излучения ^{22}Na

1.3.3. Определение массы нейтрино при изучении электронного захвата

1.4. Планирование новых экспериментов

1.4.1. Проекты

1.4.2. Сравнительные характеристики проектов

1.5. Проблемы

1.5.1. Масса антинейтрино

1.5.2. Масса нейтрино

1.5.3. Оценка массы антинейтрино по энергетическому балансу продуктов распада трития

2. ДВОЙНОЙ БЕТА-РАСПАД

2.1. Главные выводы теории

2.1.1. Энергетические соотношения при 2β -распаде

2.1.2. Вероятность двойного бета-распада

2.1.3. О возможном вкладе правых токов

2.1.4. Угловая корреляция электронов

2.1.5. Выводы

2.2. Источники двойного бета-распада

- 2.3. Экспериментальная ситуация
 - 2.3.1. Косвенные эксперименты
 - 2.3.2. Логические эксперименты
 - 2.3.3. Прямые эксперименты
 - 2.3.4. Анализ экспериментальных данных
- 2.4. Планирование новых экспериментов
- 2.5. Проблемы
- 3. ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ С УЧАСТИЕМ НЕЙТРИНО
 - 3.1. Спиральность нейтрино
 - 3.2. Электрон-нейтринные корреляции

**XXXIII Совещание по ядерной спектроскопии
и структуре атомного ядра**
Москва, МГУ, апрель 1983 года



7 марта 1984 года



Постановка нового эксперимента по определению спиральности нейтрино из распада ^{152m}Eu по степени циркулярной поляризации γ -квантов 963,4 кэВ (H_γ) была вызвана тем, что полученная нами теоретическая оценка H_γ , учитывающая тепловое движение в источнике и рассеивателе, захват электронов не только с К-, но и с L-, М-, N-оболочек и

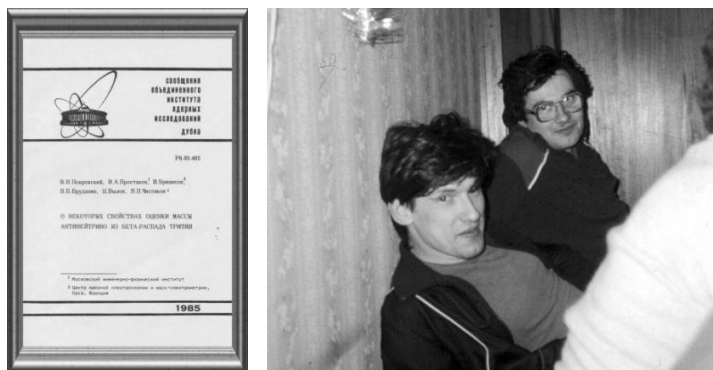
т. д., оказалась равной $-0,93$, что заметно отличается от результатов ранее выполненных экспериментов. Новое измерение величины N_γ с помощью Ge(Li)-детектора объемом 100 см^3 дало значение $-0,87 \pm 0,10$, которое согласуется с теоретической оценкой и с предположением о полной левой продольной поляризации нейтрино.

30 июля 1984 года



Проведена оценка чувствительности эксперимента по поиску 2β -распада с помощью телескопов из 32 HPGe-детекторов. Экспериментально исследован процесс прохождения электронов через слои тонкой фольги и проведено сравнение полученных результатов с теоретическими расчетами. Показано, что в рамках принятых допущений при использовании телескопа из 32 HPGe-детекторов и пленочных источников толщиной 25 мг/см^2 $\lim T_{1/2}(0\nu - {}^{48}\text{Ca}) \approx 9 \cdot 10^{21}$ лет и $\lim T_{1/2}(0\nu - {}^{76}\text{Ge}) \approx 2,8 \cdot 10^{23}$ лет.

30 мая 1985 года



С целью изучения свойств оценки массы антинейтрино из бета-распада трития проведен вычислительный эксперимент. Рассмотрен идеальный случай, когда известны все параметры (соотношение эффект/фон, функции отклика, атомные эффекты и т. д.), кроме массы антинейтрино m_ν и граничной кинетической энергии бета-спектра T_0 . Математическая модель обработки основана на методе максимального правдоподобия. Полученные оценки m_ν и T_0 оказываются сильно коррелированными. Как показано вычислениями теоретической ковариационной матрицы, высокая степень корреляции сохраняется и при других возможных параметризациях спектра (m_ν и $E_0 = T_0 + m_\nu$ либо E_0 и T_0). Исследовано также смещение оценок m_ν , T_0 при использовании на стадии обработки неправильного значения разрешения спектрометра.

5 ноября 1985 года

11 марта 1986 года



В обзорной работе Ц. Вылова, К. Я. Громова, В. Н. Покровского приведены результаты по исследованию свойств нейтрино в процессах радиоактивного распада.

Обсуждаются вопросы учета естественной ширины атомных уровней при построении приборной формы линии с помощью электронов внутренней конверсии в тритиевых экспериментах.

Изложены результаты исследований по поиску ультранизкоэнергетической ветви К-захвата на уровень 1187,1 кэВ (Gd) при распаде ^{158}Tb .

Предложен эксперимент по поиску $2\beta 0\nu$ -распада с помощью телескопа из HPGe-детекторов.

Описан новый эксперимент по измерению спиральности нейтрино из распада ^{152}Eu с помощью Ge(Li)-детектора.

28 июля 1988 года

**Письмо директора ЛЯП Ц. Вылова академику С. Т. Беляеву
(в связи с разработкой программы исследований по ядерной физике в СССР)**

В настоящее время в физике нейтрино существует несколько проблем, решение которых возможно с применением методов прецизионной ядерной спектроскопии, а именно:

- а) измерение массы антинейтрино из формы бета-спектра трития;
- б) измерение массы нейтрино из процессов электронного захвата;
- в) поиск тяжелого ($< 2 \text{ МэВ}$) нейтрино из формы бета-спектра радионуклидов с большим значением Q_β ;
- г) поиск двойного безнейтринного бета-распада.

Важность и актуальность этих проблем демонстрируется тем, что за период 1980–1985 гг. появились 5 результатов различных экспериментов, свидетельствующих о наличии ненулевой массы у (анти)нейтрино. Однако более детальный анализ показал сомнительность, а то и ошибочность этих результатов. Это не удивительно, если учесть, что точность опытов находится на пределе возможностей современной экспериментальной техники. Ввиду малости эффектов, обусловленных конечностью массы (анти)нейтрино, едва ли не решающее значение приобретает учет различных физических факторов, которые могут привести к "генерации" массы.

Добавим, что чувствительность планируемых и проводимых экспериментов, возможно, окажется ниже уровня обнаружения искомых эффектов. Тогда необходимо будет рассмотреть перспективность исследования различных корреляционных явлений с участием нейтрино, например электрон-нейтринные корреляции, поляризацию электронов, угловое распределение излучений ориентированных ядер и т. д. Следует, однако, помнить,

что такие эксперименты являются не только более трудными, но и значительно более дорогими.

Масса антинейтрино

Считают, что наиболее чувствительным методом измерения массы антинейтрино является исследование формы бета-спектра трития. Практически все опубликованные в настоящее время результаты дают лишь верхнюю оценку массы антинейтрино. Лучшая из них принадлежит цюрихской группе — $m_{\nu}c^2 < 18$ эВ (надежность этих оценок дискуссионна). И лишь одна группа (ИТЭФ) настаивает на наблюдении ненулевой массы — $m_{\nu}c^2 > 17$ эВ. При этом независимо от обнаружения многих систематических ошибок в экспериментах ИТЭФ (учет естественной ширины калибровочной электронной линии, форма низкоэнергетического хвоста ПФЛ, энергетическая калибровка, вклад атомных эффектов), лучшее подгоночное значение 30 эВ практически не изменялось.

Ситуация с тритиевыми экспериментами в настоящее время очень сложна. Более 10 групп в мире реализуют сложные и дорогие проекты, нацеленные на поиск $m_{\nu}c^2 > 1$ эВ.

К сожалению, среди авторских коллективов отсутствуют имена профессиональных спектроскопистов, которые хорошо знают трудности измерения даже дискретных электронных спектров в области 10–20 кэВ, отсюда и необоснованный оптимизм. При этом необходимо обратить внимание на тот факт, что ведущая лаборатория мира в области прецизионной низкоэнергетической электронной спектроскопии (Чок-Ривер) достаточно бесшумно свернула работы по объявленному проекту. Нет измерений и у главного идеолога тритиевого эксперимента К. Е. Бергквиста.

И все же — есть ли перспективы? Для этого необходимо провести огромную методическую работу в области прецизионной низкоэнергетической электронной спектроскопии и исследовать все эффекты, приводящие к генерации массы антинейтрино. Если такие условия будут найдены, а они со своей стороны потребуют жестких и конкретных требований к источнику и экспериментальной установке, то лишь тогда возможно будет приступить к реализации проекта. Моя личная оценка продолжительности такого поискового этапа составляет около 5 лет.

Масса нейтрино

Большой интерес к проблеме нейтрино стимулировало появление большого числа работ, направленных на получение оценки массы нейтрино из процессов электронного захвата. Для решения возникших при этом задач был использован ряд нетривиальных экспериментальных методик, а также усовершенствована теория внутреннего тормозного излучения в рентгеновской области энергий. В результате удалось примерно на порядок снизить верхнюю границу, доведя до уровня нескольких сотен эВ, но не удалось добиться точности, сопоставимой с точностью определения верхней границы $m_{\nu}c^2$ из бета-распада трития, составляющей 20–40 эВ. При этом вряд ли можно ожидать прогресса в исследовании спектра внутреннего тормозного излучения ^{163}Ho (наиболее благоприятного с точки зрения $m_{\nu}c^2$ случая), так как обнаружены большие трудности в интерпретации спектра из-за наличия интерференционных эффектов. Некоторые надежды можно возложить лишь на поиски ветвей низкоэнергетического захвата, при которых могут образоваться нейтрино с достаточно малыми энергиями (напр., ^{174}Lu , ^{241}Cm и т. д.). Подобные работы требуют развития методики прецизионной Хγ-спектроскопии с помощью ППД.

Поиск тяжелого нейтрино

Вопрос о том, является ли испускаемое в слабых взаимодействиях (анти)нейтрино собственным состоянием массы или линейной суперпозицией (анти)нейтрино с определенными массами, представляет значительный интерес. Единственный результат, свидетельствующий о существовании массы 17,1 кэВ и вероятностью смешивания 3%,

получен Симпсоном в 1985 г. из анализа формы бета-спектра трития. Позже он подтвердил свой результат из бета-спектра ^{35}S . Результаты всех других групп (их уже 7) по исследованию распада ^{35}S и ^{63}Ni противоречат выводам Симпсона. Однако главное опровержение — анализ бета-спектра трития, внедренного в ППД, — все еще не опубликовано. Нет сомнений в необходимости проведения столь сложного измерения.

Необходимо добавить, что существуют и значительные возможности по расширению энергетического диапазона тяжелого нейтрино с помощью ППД с использованием как телескопических систем детекторов в режиме совпадений, так и методики разделения спектра частиц по форме импульса. Такие эксперименты в ОИЯИ планируются.

Двойной бета-распад

Интерес к исследованию двойного безнейтринного бета-распада связан с поиском возможного несохранения лептонного заряда и существования правых токов, а также выяснением природы и массы (анти)нейтрино. Обнаружение двойного двухнейтринного бета-распада интересно, но не имеет принципиального физического значения. Правда, измерение вероятности $2\beta 2\nu$ -распада является лучшим тестом точности расчета матричных элементов, которые играют принципиальную роль в интерпретации данных по двойному безнейтринному бета-распаду.

Особенности двойного бета-распада таковы, что для наблюдения столь редкого процесса необходим очень тонкий источник и прибор с пространственной регистрацией, который позволяет измерять энергетический и суммарно-энергетический спектры электронов. При этом для разделения каналов 0ν и 2ν необходимо высокое энергетическое разрешение (лучше 1%) и измерение углового распределения электронов. Отсюда ограничение на толщину источника, а значит, и требования на линейные размеры источника и детектора для наблюдения столь редкого процесса ($\lambda \approx 10^{-29} \text{ с}^{-1}$). Тогда уже вступает в силу роль естественного и космического фона. Следовательно, успех решения задачи будет зависеть от оптимального выбора соотношения эффект/фон.

Очевидно, что на данном этапе важнейшим является вопрос прямого наблюдения процесса двойного бета-распада (ДБР). Отказ от детального исследования элементарного процесса позволяет несколько упростить условия эксперимента, а именно:

- а) необходимо высокое энергетическое разрешение при высокой эффективности;
- б) необходимо грубое наблюдение пространственной картины, так как механизмы $2\beta 2\nu$ -распада допускают два крайних случая: вылет электронов в одну сторону ($1 - \cos\theta$) и вылет электронов в разные стороны ($1 + \cos\theta$);
- в) система должна обладать возможностью подавления различных источников фона: работа в подземных условиях, выбор особо чистых конструктивных материалов, координатная регистрация, разделение сигналов от различных излучений и т. д.

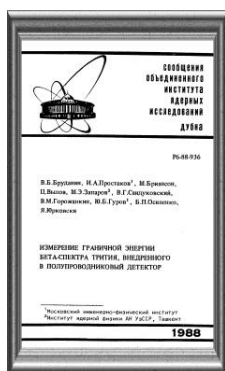
Нетрудно понять, что наиболее жесткое условие (а) требует применения полупроводниковых детекторов — единственного на сегодняшний день прибора, который имеет высокие разрешение и эффективность. Исходя из этих условий, нами предложен эксперимент по поиску ДБР с помощью телескопа из HPGe-детекторов. Аналогичные проекты (но пока на основе Si(Li)-детекторов) уже предложены и реализуются в других лабораториях мира. Можно ожидать, что развитие перспективных экспериментов по поиску $2\beta 0\nu$ -распада будет идти по пути совершенствования этого подхода, например введением координатной регистрации.

В заключение я хотел бы добавить следующее. В СССР уделяется значительное внимание проблеме исследования свойств нейтрино. К сожалению, экспериментальный уровень докладываемых на международных конференциях результатов очень низок. Мне кажется, что если удастся сконцентрировать усилия различных, конкурирующих между собой внутри СССР групп, на основе известных преимуществ перед другими странами (наличие доступного ^{76}Ge , успехи в регистрации бета-частиц с помощью HPGe-детекторов,

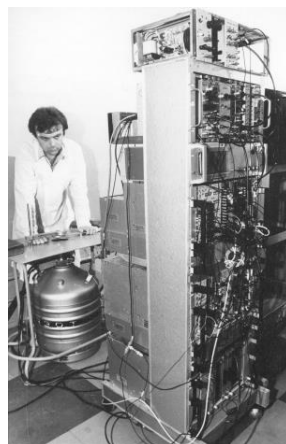
уровень методики низкоэнергетической электронной спектроскопии, наличие низкофоновых лабораторий с методикой отбора чистых материалов и т. д.), а также привлечения сотрудников и ресурсов стран-участниц ОИЯИ, можно было бы получить достаточно быстро и на высоком научном уровне результаты по физике нейтрино.

Первым шагом в консолидации сил могла бы стать организация международного семинара в рамках ОИЯИ, в котором определяющее участие смог бы принять коллектив традиционного уже московского семинара.

30 декабря 1988 года



Произведены измерения бета-спектра трития, внедренного в Si(Li)-детектор с целью определения граничной энергии спектра E_0 (и) или разности масс ${}^3\text{H}-{}^3\text{He}$ (ΔM), отличающейся в такой постановке эксперимента от E_0 на величину энергии отдачи ядра (~ 3 эВ). Впервые для градуировки спектрометра использованы гамма-кванты с энергиями 14,4 кэВ (${}^{57}\text{Co}$), 19,4 кэВ (${}^{171}\text{Lu}$) и 31,7 кэВ (${}^{182}\text{Ta}$) (ранее в аналогичных экспериментах с этой целью применялись К α -лучи, Cu, Mo, Ag и др.), что позволило более корректно определить параметры приборной формы линии и провести энергетическую калибровку. С учетом всех возможных систематических погрешностей получено $E_0 = (18576 \pm 5)$ эВ, что согласуется с данными других "калориметрических" экспериментов. Различие ΔM в результатах экспериментов, выполненных на магнитных и электростатических спектрометрах, по-прежнему сохраняется и имеет пока невыясненную природу, по-видимому, систематического характера.



В. Б. Бруданов

Письмо заместителя директора ЛЯП К. Я. Громова
Ученому секретарю Научного совета АН СССР по физике атомного ядра
О. Д. Далькарову

НАИБОЛЕЕ ИНТЕРЕСНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЗА 1987-1988 ГГ

1. Получено наиболее точное экспериментальное значение массы покоя электрона (позитрона) методом выделения узкой компоненты пика аннигиляционного излучения с помощью полупроводникового детектора [1]:

$$m_e c^2 = 511003 \pm 5 \text{ эВ.}$$

Выполненные в ЛЯП в 1988 году прецизионные измерения энергии рентгеновского излучения $K_\alpha(U) = 98,4316(8)$ позволили устранить расхожимость полученного значения с результатами работы Мюррея [2]. Таким образом, значение массы покоя электрона, полученное методом электронно-позитронной аннигиляции (ЭПА), в настоящее время равно

$$m_e c^2 = 511002 \pm 4 \text{ эВ,}$$

что хорошо согласуется с результатами оценки фундаментальных физических констант [3]. Дальнейшее развитие этого метода может позволить получить модельно-независимое значение постоянной тонкой структуры α .

1. А. И. Иванов, Ц. Вылов и др. Краткие сообщения ОИЯИ, 1987, № 6, с.26.
2. G. Murray et al. Nucl. Phys. 45 (1963) 177–196.
3. Фундаментальные физические константы. ГСССД1-76. Издательство стандартов, 1976.

2. О расходимости значений энергии связи дейтрона, измеренных с помощью кристалл-дифракционного гамма-спектрометра (КДГС) и полупроводниковых детекторов (ППД).

В последние 2–3 года выявилось расхождение результатов этих двух групп измерений на

$$(19 \pm 4) \text{ эВ} = (E_d(\text{КДГС}) - E_d(\text{ППД})).$$

В измерениях энергии связи дейтрона на ППД, выполненных в ЛЯП ОИЯИ, получено значение, хорошо согласующееся как с нашими более ранними измерениями, так и с измерениями других групп. Дополнительно измерены энергии гамма-лучей в реакции захвата нейтронов ^{35}Cl , близкие к энергии захватных γ -квантов протона.

Сравнение с результатами аналогичных измерений энергии γ -квантов в реакциях $^1\text{H}(n, \gamma)$ [1] и $^{35}\text{Cl}(n, \gamma)$ [2], выполненных на КДГС, показало хорошее согласие полученных нами значений энергий гамма-лучей для реакции $^{35}\text{Cl}(n, \gamma)$, в то время как отмечавшееся выше расхождение для реакции $^1\text{H}(n, \gamma)$ сохраняется:

ППД	1951,144(6)	2224,570(7)
КДГС	1951,14046(137)	2224,5890(22).

Это свидетельствует о наличии систематической ошибки в измерении энергии связи дейтрона с помощью КДГС в работе [1]. Устранение этой ошибки могло бы приблизительно в 5 раз улучшить точность определения массы нейтрона.

Работа опубликована: А. И. Иванов, Ц. Вылов и др. Краткие сообщения ОИЯИ, 1988, № 3.

1. Greene G. L. et al. Phys. Rev. Lett. 1986, v.56, p. 819.
2. Kessler E. G. et al. Phys. Rev., 1985, v.32C, p.374.

3. Измерение граничной энергии бета-спектра трития с помощью кремниевого полупроводникового детектора.

При определении полной энергии, выделяющейся при бета-распаде трития ΔM (разности масс ${}^3\text{H}$ - ${}^3\text{He}$), можно выделить по способу измерения три группы результатов:

а) измерения граничной энергии бета-спектра трития, внедренного в ППД

$$\Delta M = 18571(7) \text{ эВ};$$

б) измерения граничной энергии бета-спектра трития с помощью магнитных или электростатических спектрометров

$$\Delta M = 18605,4(35) \text{ эВ};$$

в) прямые измерения разности масс ${}^3\text{H}$ - ${}^3\text{He}$ масс-дублетным методом либо методом ионно-циклотронного резонанса

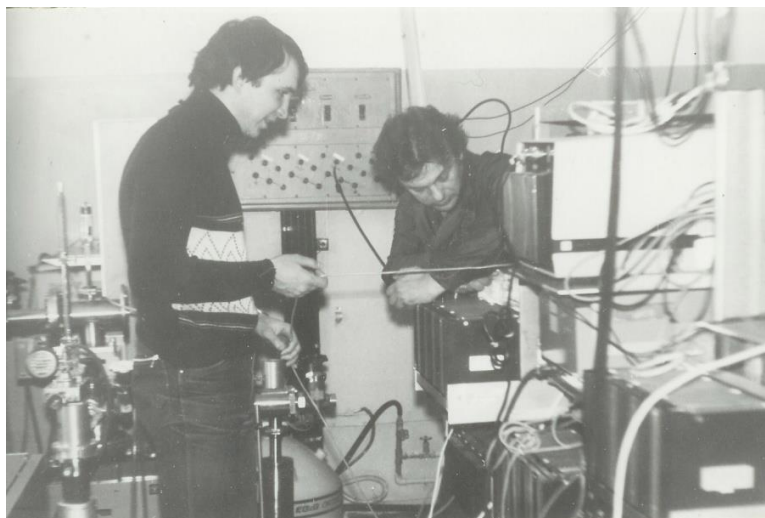
$$\Delta M = 18596,7(36) \text{ эВ}.$$

Очевидно, что имеется значимое расхождение между этими результатами.

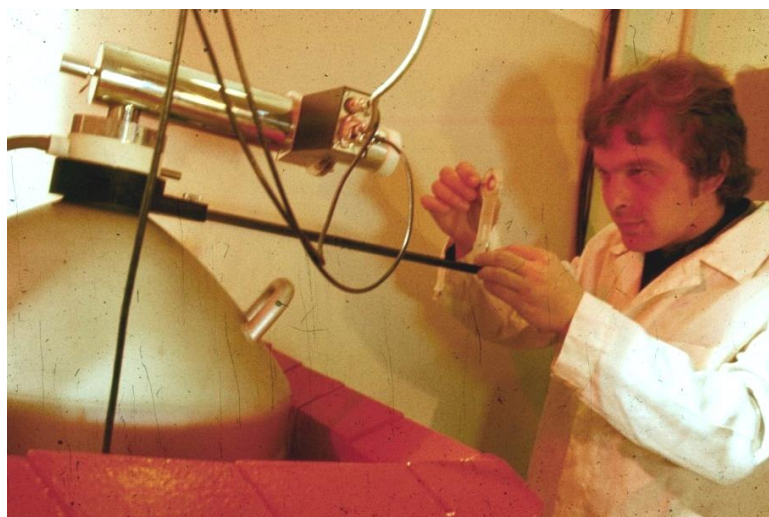
Ввиду важности значения граничной энергии бета-спектра трития E_0 при измерении массы антинейтрино (коэффициент корреляции между величинами E_0 и $m_\nu c^2$ близок к единице) в ЛЯП ОИЯИ повторно измерено E_0 в более совершенных методических условиях. Результаты ранних измерений (1-я группа) на ППД подтверждены:

$$E_0 = 18576(5) \text{ эВ},$$

$$\Delta M = 18579(5) \text{ эВ}.$$



В. Пичиц и В. Б. Бруданин



В. Б. Бруданин

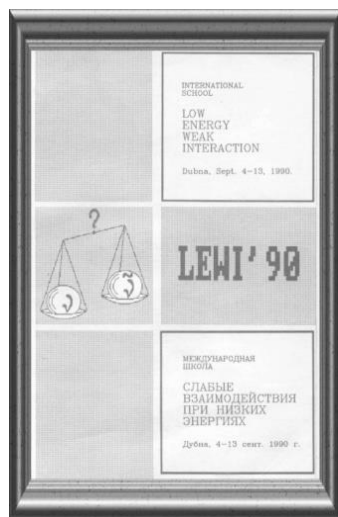


Объединенный институт традиционно поддерживает связи с научными центрами стран-неучастниц ОИЯИ. На снимке: Усман Манга Адаму (Нигер), А. А. Солнышкин, Чхоту Лал Катхаб (Индия), Махмуд Абдилилах Махмуд (Ирак) в НЭОЯСиРХ ЛЯП



**Международная школа
«ФИЗИКА СЛАБЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ПРИ НИЗКИХ
ЭНЕРГИЯХ»**

Дубна, 4–13 сентября 1990 года



Председатель оргкомитета школы профессор Ц. Вылов, профессор М. Морита (Университет в Осаке, Япония) и профессор Г. Клампдор (Институт Макса Планка, Гейдельберг, Германия) обмениваются впечатлениями после доклада





1986–1990. Тема «Изучение свойств ядер, далеких от полосы бета-стабильности (ЯСНАПП)»

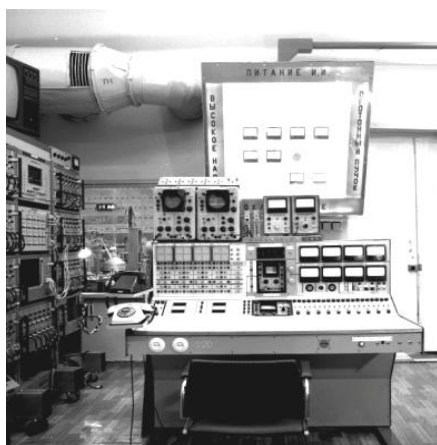
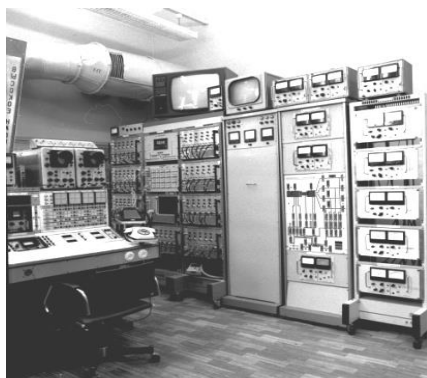
(К. Я. Громов, В. Г. Калинин, В. А. Халкин)

- Освоение экспериментальных установок комплекса ЯСНАПП-2.
- Получение экспериментальной информации о свойствах ядер и о структуре поверхности масс ядер, о механизме ядерных реакций с множественной эмиссией фрагментов.
- Обнаружение новых радионуклидов.
- Изучение химических свойств астата и других элементов.
- Разработка методов получения радионуклидов.

1991–1995. Тема «Получение и исследование нейтронодефицитных изотопов, удаленных от линии бета-стабильности»

(К. Я. Громов, В. Г. Калинин)

- Получение экспериментальной информации о структуре ядер, удаленных от линии бета-стабильности.
- Развитие методов получения радиоактивных ядер и исследования их структуры.
- Освоение лазерных методов исследования атомного ядра.
- Разработка радиохимических методов получения редких радионуклидов для научных и прикладных целей.





Рабочее совещание по программе ЯСНАПП-2

Дубна, 20–22 февраля 1990 года.

Председатель оргкомитета: В. Г. Калинин

В. Г. Калинин

КОМПЛЕКС ЯСНАПП-2: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБНАДЕЖИВАЮТ

Дубна: Наука. Содружество. Прогресс. 1990. 4 апр. (№14)

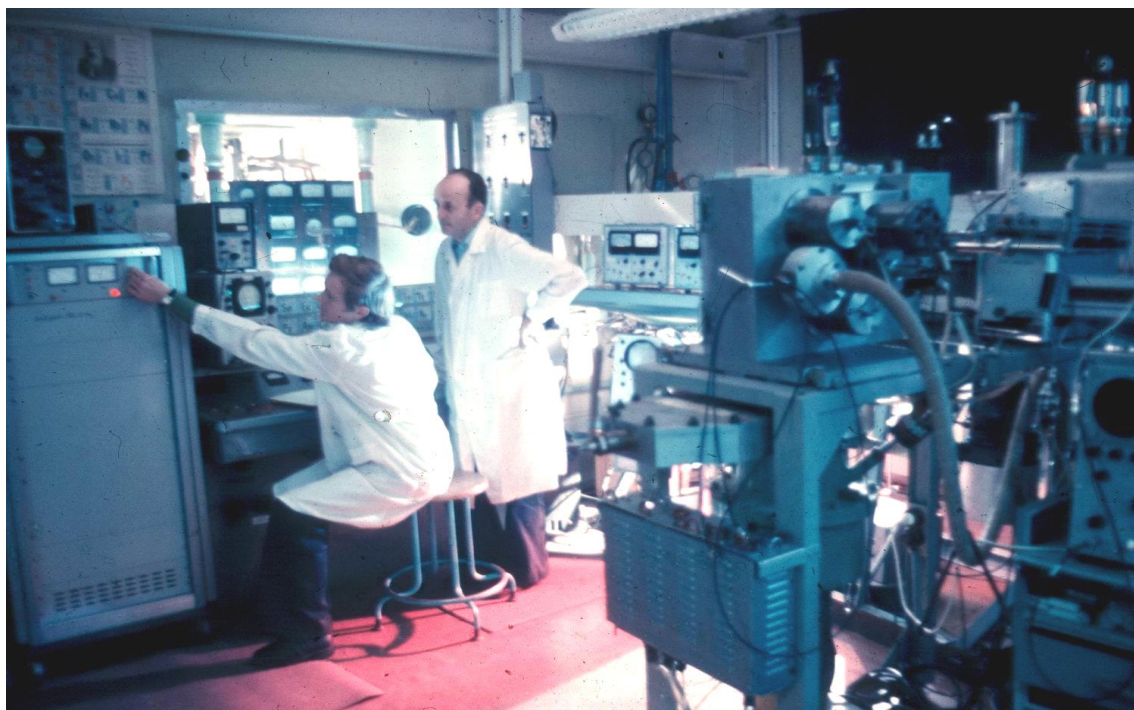
Недавно в Дубне прошло рабочее совещание по программе исследования ядер, удаленных от полосы стабильности, с помощью комплекса ЯСНАПП. В работе совещания приняли участие около 30 специалистов из различных институтов и университетов СССР, Болгарии, Венгрии, Польши, Чехословакии, а также около 50 сотрудников из лабораторий ядерных проблем, ядерных реакций, теоретической физики и нейтронной физики.

Совещания по программе исследований удаленных ядер (программа ЯСНАПП) проводятся регулярно, однако нынешнее имело важную особенность: со времени проведения в октябре 1987 года предыдущего совещания был осуществлен на пучке протонов фазотрона Лаборатории ядерных проблем методический (декабрь 1987 г.) и физический пуск (декабрь 1988 г.) комплекса ЯСНАПП-2. На комплексе начаты регулярные исследования короткоживущих ядер.

Создание сложного комплекса ЯСНАПП-2 велось в течение ряда лет. Были трудности и задержки со строительством специального здания для его размещения, с конструированием и изготовлением отдельных узлов. Об этом наша газета рассказывала читателям. Тем не менее усилиями сотрудников отдела ядерной спектроскопии и радиохимии, конструкторского отдела, цеха опытно-экспериментального производства и цеха тепловодоснабжения комплекс смонтирован, введен в эксплуатацию.

На реконструированном ускорителе Лаборатории ядерных проблем для транспортировки протонного пучка в здание ЯСНАПП создан специальный тракт. Усилиями сектора мед. пучка и электротехнологического отдела получены неплохие параметры пучка: коэффициент проводки 87 процентов, сечение пучка на мишени около 0,5 кв. см, ток протонов до 2 мкА, что в 10–15 раз выше, чем на установке ЯСНАПП-1 до

реконструкции ускорителя. Пучок с такими параметрами обеспечивает функционирование комплекса ЯСНАПП-2.



Пульт управления масс-сепаратора

О состоянии дел на комплексе доложил на совещании Ю. В. Юшкевич, который обратил особое внимание на вопросы проводки протонного пучка, работы мишенного узла и масс-сепаратора, качества ионных пучков. Первые физические результаты, полученные в недавних экспериментах на комплексе, были приведены в сообщениях А. В. Потемпы, М. Левандовского, В. И. Стегайлова, В. Н. Абросимова, П. Тлусты. Для проведения физических исследований в составе комплекса введены в действие спектрометрическая установка на базе полупроводниковых детекторов ЭЛГА, многодетекторная корреляционная установка МУК, установка для измерения времен жизни ядерных состояний на основе магнитно-линзового бета-спектрометра МЛС. С помощью указанных установок в 1989 году выполнены оригинальные исследования радиоактивного распада нескольких редкоземельных нуклидов с периодом полураспада от секунды до минут. В ближайшее время планируется запустить для работы в онлайн-режиме магнитный анализатор тяжелых частиц МАТЧ, лазерную спектрометрическую установку, а в 1991 году — установку СПИН-2 для исследования ориентированных низкой температурой короткоживущих ядер. Это существенно поднимет конкурентоспособность исследований, проводимых на комплексе ЯСНАПП-2.

Вопросам использования методов лазерной спектроскопии для изучения свойств короткоживущих нуклидов были посвящены сообщения И. Н. Изосимова (ЛГУ), А. А. Солнышкина (ЛЯП), В. Н. Федосеева (Троицк), сотрудников ЛЯР Г. В. Мышинского, Ч. Градечны, С. Г. Земляного. Некоторые теоретические аспекты планируемых по такой методике корреляционных экспериментов обсуждены в докладе Н. В. Самсоненко (Университет дружбы народов).

Об экспериментальных возможностях и результатах, полученных в сотрудничающих с нами институтах, сообщили И. Н. Вишневский (Киев), П. М. Гопыч (Харьков), В. И. Тихонов (ЛИЯФ), а также Г. А. Сокол (ФИАН), доклад которого был

посвящен исследованию слабых распадов и свойств лямбда-гиперъядер на тормозном пучке электронного ускорителя в Пахре.

Современному состоянию теоретических исследований структуры деформированных и переходных ядер были посвящены доклады В. Г. Соловьева (ЛТФ) и М. Михайловой (НРБ).

О месте созданного в Лаборатории ядерных проблем экспериментального комплекса среди других «ИЗОЛЬ-систем» и программе работ на нем сообщил К. Я. Громов (ЛЯП). Возможности постановки ряда прикладных исследований были освещены В. А. Халкиным. Проект дальнейшего развития комплекса в пятилетке 1991–95 гг. доложен автором этой статьи.

На рабочем совещании состоялась общая дискуссия о перспективах и конкурентоспособности программы исследований, реализуемой на комплексе ЯСНАПП-2, о конкретных планах на ближайшее время.

Перед проведением совещания в еженедельнике «Дубна» было опубликовано заключение комиссии экспертов Ученого совета относительно создания и развития базовых установок Института. Точка зрения комиссии на установку «Ф» была подвергнута острой критике. В дискуссии выступили ведущие специалисты: Г. Лизурей, В. Г. Соловьев, И. Адам, Д. Еленков, П. М. Гопыч, В. А. Морозов, Ф. Таркани, Ю. С. Лютостанский, Н. В. Самсоненко, К. Я. Громов, А. В. Потемпа. Участники совещания с удовлетворением отметили начало успешной работы комплекса ЯСНАПП-2.

В частности, Г. Лизурей сказал: «Первые результаты экспериментов, полученные на комплексе ЯСНАПП, указывают на то, что он может успешно и эффективно работать в течение следующей пятилетки, так как оснащен полномасштабным подбором спектрометрических установок для решения актуальных ядерно-физических вопросов фундаментального характера».

И. Адам отметил, что возможности установки «Ф» — хорошие и ими надо дорожить. В частности, внешний пучок для комплекса ЯСНАПП в 20 раз интенсивнее, чем на установке ИРИС (Гатчина), и близок пучку на ИЗОЛЬДЕ. Много сделано и по масс-сепаратору. По физическим установкам планы скромные, их надо хорошо финансировать. Ознакомившись с комплексом, Ф. Таркани сказал: «Все сделано очень культурно. Полученные первые результаты позволяют утверждать, что надо дальше работать и сотрудничать. От судьбы установки «Ф» зависит и дальнейшая активная работа на комплексе ЯСНАПП. Нужно дать минимум 5 лет, чтобы получить на нем запланированные результаты и оправдать сделанные ранее и будущие инвестиции».

Ю. С. Лютостанский и Н. В. Самсоненко высказали замечания по программе исследований нуклидов на комплексе ЯСНАПП: помимо широко представленных в ней сейчас вопросов ядерной структуры следовало бы поставить эксперименты, имея в виду астрофизические аспекты и некоторые объединяющие модели (суперсимметрия).

В выступлениях К. Я. Громова, В. П. Желепова и Ц. Д. Вылова большое внимание было уделено будущему ядерной физики как одному из основных направлений в ОИЯИ.

Что касается вывода из эксплуатации фазотрона ОИЯИ, то рабочее совещание поддержало решения НКС по физике низких и средних энергий о необходимости обеспечить его эксплуатацию в течение следующей пятилетки. Нелогично и поспешно принимать решение о закрытии базовых установок, не имея ничего взамен. Очевидно, что принимать решения о строительстве больших базовых установок можно только после обсуждения их проектов, реальной оценки необходимых затрат и сроков их создания, а также программы исследований на них. Логично приурочить вывод из эксплуатации старых, но достаточно перспективных базовых установок ко времени пуска новых.



РЕШЕНИЕ РАБОЧЕГО СОВЕЩАНИЯ ПО ПРОГРАММЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯДЕР, УДАЛЕННЫХ ОТ ПОЛОСЫ СТАБИЛЬНОСТИ, С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСА ЯСНАПП

Дубна, 20–22 февраля 1990 г.

1. Совещание с удовлетворением отмечает, что со времени проведения предыдущего (в октябре 1987 г.) рабочего совещания в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ на пучке протонов фазотрона осуществлен методический (декабрь 1987 г.) и физический пуск (декабрь 1988 г.) комплекса ЯСНАПП-2. На комплексе начаты регулярные исследования короткоживущих ядер.

2. Специально для комплекса ЯСНАПП-2 создан тракт XII выведенного протонного пучка. Параметры пучка (коэффициент проводки 85%; ток до 2 мкА — в 10–15 раз выше, чем до реконструкции ускорителя на установке ЯСНАПП-1; сечение пучка на мишени 0,5–1,0 см²) полностью обеспечивают условия функционирования комплекса ЯСНАПП-2.

3. Успешно функционирует совмещенный ионный источник с поверхностной ионизацией. Достигнуты выходы радионуклидов, приближенные по своей величине ($\approx 10^6$ с⁻¹) к выходам на установке ИЗОЛЬДЕ. Имеются возможности дальнейшего увеличения выходов.

4. Сроки создания комплекса ЯСНАПП оказались сильно затянутыми из-за задержки строительства здания, просчетов в проектировании и конструировании отдельных узлов. По-прежнему не решена проблема стабильной проводки протонного пучка до комплекса ЯСНАПП. В экспериментах используется всего лишь один тип ионного источника, что существенно ограничивает круг исследуемых нуклидов.

5. Для выполнения конкурентоспособных исследований в составе комплекса ЯСНАПП-2 имеются уникальные физические установки МАТЧ, МЛС, МУК. В ближайшее время будет осуществлен запуск и других современных установок (лазерная установка, СПИН-2). Совещание отмечает необходимость развития методик, рекомендует широко использовать созданную в отделе методику прецизионной γ - и β -спектроскопии.

6. В связи с публикацией рекомендаций комиссии экспертов Ученого совета ОИЯИ по плану развития ОИЯИ в следующем пятилетии Рабочее совещание считает необходимым отметить, что выводы комиссии, по нашему мнению, страдают нелогичностью и поспешностью.

Нелогично и поспешно принимать решение о закрытии базовых установок ОИЯИ, не имея ничего взамен. По предлагаемым новым ускорителям в настоящее время нет ни проектов, ни заданий на проектирование, ни программы исследований на них. Очевидно, что принимать решение о строительстве больших базовых установок можно только после обсуждения их проектов, реальной оценки необходимых затрат. Логично приурочить вывод из эксплуатации старых, но достаточно перспективных базовых установок ко времени пуска новых.



Что касается вывода из эксплуатации фазотрона ОИЯИ, то Рабочее совещание поддерживает решение НКС по физике низких и средних энергий о необходимости обеспечить эксплуатацию фазотрона ОИЯИ в течение пятилетия 1991–95 гг.

7. Совещание обращает внимание руководства НЭОЯСиРХ и дирекции Лаборатории ядерных проблем на необходимость в самое ближайшее время определить наиболее перспективные исследования на комплексе ЯСНАПП и сконцентрировать усилия сотрудников, а также ресурсы на получение уже в 1990 году важных физических результатов.

Председатель оргкомитета совещания
22 февраля 1990 года

В. Г. Калинин

Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ

1990 г. Научно-методические и научно-технические работы. Вторая премия

В. Г. Калинин, М. Яницки, Ю. В. Юшкевич, М. Яхим, В. А. Быстров, В. П. Афанасьев,

Н. Ю. Котовский, С. В. Евтисов, И. В. Мирохин, С. А. Густов

**«ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЯДЕР,
УДАЛЕННЫХ ОТ ПОЛОСЫ БЕТА-СТАБИЛЬНОСТИ, — ЯСНАПП-2»**

На фазотроне Лаборатории ядерных проблем создан экспериментальный комплекс для получения и исследования ядер, удаленных от полосы бета-стабильности, — ISOL-установка ЯСНАПП-2. Комплекс включает в себя протонный тракт, съемный быстродействующий мишенный узел, электромагнитный масс-сепаратор, систему разводки и транспортировки ионных пучков на различные спектрометрические установки. Для комплекса построено специальное трехэтажное здание. Основное оборудование комплекса расположено на первом этаже в специальных помещениях и в главном зале ($S = 280 \text{ м}^2$). Главный зал отделен от мишенной комнаты, выложенной защитой из тяжелого бетона, толщина которой достигает 6 м. Защита снижает в главном зале фон от нейтронов до уровня $\sim 0,2$ миллирентген/час при токе протонного пучка на мишени 1 мкА.

Транспортировка протонов на установку ЯСНАПП-2 осуществляется по каналу XII фазотрона. Пучок трассируется в вакуумном тракте на расстояние 55 м с помощью 27 фокусирующих и отклоняющих электромагнитных элементов. Настройка элементов XII канала основывалась на расчетах, выполненных с помощью ЭВМ, причем в качестве начальных условий использовались реальные фазовые и энергетические параметры пучка, измеренные после запуска фазотрона. Показано хорошее соответствие расчетных и экспериментальных данных. Для реализованного режима работы канала получены следующие характеристики: площадь изображения пучка в районе расположения мишени 0,5–1,0 см² (на уровне 2d); коэффициент проводки 87%; максимально допустимая интенсивность выведенного пучка протонов при полученном уровне потерь достигает 2 мкА.

Основным элементом комплекса является электромагнитный масс-сепаратор скандинавского типа, специально модифицированный для онлайн-экспериментов. Модифицированный масс-сепаратор вместе с разработанными мишенными устройствами позволяет получать короткоживущие нуклиды широкого круга химических элементов. С целью получения максимального быстрого действия сепаратора выбрана конструкция, в которой мишень и ионный источник совмещены в одном объеме. В настоящее время используются ионные источники с поверхностной ионизацией. Подготовлен к эксплуатации плазменный источник с полым катодом. В качестве мишени в первых экспериментах использовались корпуса самого ионизатора, изготовленные из вольфрама или тантала. Для замены ионных источников создана дистанционно управляемая электромеханическая система «Робот».



Т. А. Морозова, В. Г. Калинин

Обзоры научных исследований, опубликованные в журнале ЭЧАЯ

Н. А. Бонч-Осмоловская, В. А. Морозов, М. А. Долгополов, И. В. Копытин
**МАГНИТНЫЕ ДИПОЛЬНЫЕ I-ЗАПРЕЩЕННЫЕ ПЕРЕХОДЫ В
НЕЧЕТНЫХ ЯДРАХ**

ЭЧАЯ. 1987. Т.18, вып.4. С.156–177

Дан обзор современного состояния проблемы I-запрещенных магнитных дипольных переходов в атомных ядрах. Проведена систематика имеющихся экспериментальных

данных в трех областях массовых чисел (27–49, 105–151, 193–211) и обсуждены теоретические подходы к решению данной проблемы. Предложен метод расчета приведенных вероятностей l -запрещенных $M1$ -переходов в рамках теории конечных ферми-систем.



Н. А. Бонч-Осмоловская

В. М. Вахтель, Н. А. Головков, К. Я. Громов, Р. Б. Иванов, С. Г. Кадменский,
С. Д. Кургалин, М. А. Михайлова, А. В. Токмаков, В. И. Фурман, В. Г. Чумин
**СТРУКТУРНЫЕ ЭФФЕКТЫ И СИСТЕМАТИКИ АЛЬФА-ПЕРЕХОДОВ
ДЛЯ ЯДЕР С $52 \leq Z \leq 90$**

ЭЧАЯ. 1987. Т.18, вып.4. С.739–776

На основе не R-матричного подхода к теории α -распада проведен систематический анализ существующих экспериментальных данных по вероятностям α -переходов. С использованием оболочечной модели дано последовательное объяснение влияния ядерной структуры на абсолютные и относительные вероятности α -распада. Сделан ряд теоретических предсказаний, стимулирующих новые эксперименты.



В. М. Горожанкин, В. М. Вахтель

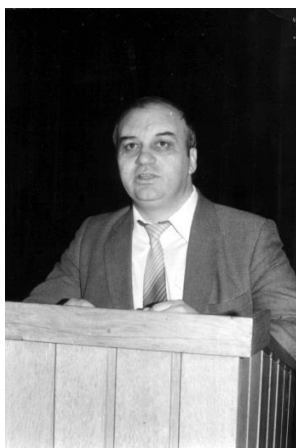
IX Семинар **по точным измерениям в ядерной спектроскопии** Дубна, 5–7 мая 1992 года Секция ядерной спектроскопии Научного совета ядерной физики АН СССР ОИЯИ Институт физики (Вильнюс)



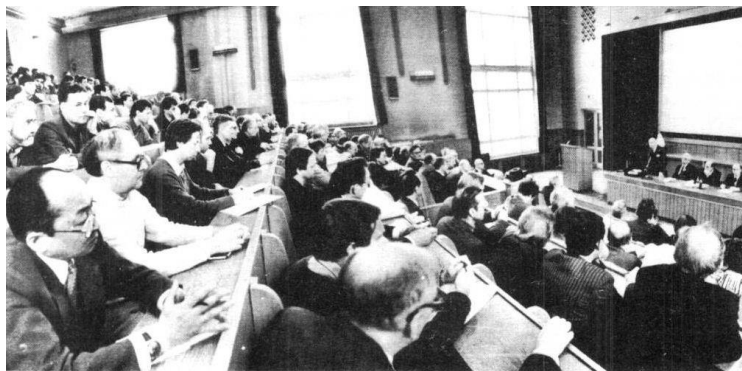
Международное совещание **по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра** Дубна, 20–23 апреля 1993 года

43-е Международное совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра проходило в Дубне с 20 по 23 апреля. Программа совещания охватывала проблемы физики атомного ядра, а также вопросы физики низких и промежуточных энергий, имеющие отношение к структуре атомных ядер: экспериментальные исследования схем бета-распада атомных ядер, исследование экзотических ядер, гигантских резонансов, теоретический анализ разнообразных процессов в атомных ядрах. Традиционно на совещании обсуждались вопросы приложения методов ядерной физики в смежных областях науки и техники.





Выступает И. С. Шапиро. Открытие конференции



Речь вице-директора ОИЯИ Ц. Д. Вылова на открытии совещания

Уважаемые коллеги! Ученые и дирекция ОИЯИ рады приветствовать вас, участников очередного, ежегодного Международного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра.

Это совещание ведет свою историю с 1951 года. В первые годы на совещания собирались ученые ядерных институтов Советского Союза. С 1964 года появилась возможность приглашать иностранных участников и, по существу, оно стало международным. Регулярный обмен самой новой информацией и получение из первых уст сведений о новых достижениях в западных научных центрах существенно влияли на развитие физики атомного ядра в Советском Союзе. В этом плане трудно переоценить значение ежегодного международного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра.

Программа совещания охватывает практически все проблемы физики низких и промежуточных энергий, имеющие отношение к структуре атомных ядер. Здесь и экспериментальные исследования схем радиоактивного распада атомных ядер, исследования экзотических ядер, исследования гигантских резонансов, теория ядра и теоретический анализ разнообразных процессов в атомных ядрах. Традиционно обсуждаются вопросы приложений методов ядерной физики в смежных областях науки и техники. Именно благодаря такому широкому охвату проблем ядерной физики поддерживался и поддерживается интерес к совещанию, расширяются взаимные связи различных направлений, что позволяет перенять интересные физические идеи и методики друг у друга. Думаю, что это и есть одна из главных причин выживаемости и перспективности совещания.

Дорогие коллеги! В последние годы мы являемся свидетелями великих политических и экономических изменений в мире. Сложилась новая ситуация в

планировании и финансировании научных исследований как в республиках бывшего Советского Союза, так и в других странах-участницах ОИЯИ. Сегодня, как никогда раньше, важна эффективная связь между учеными этих стран, развитие новых форм научного сотрудничества, широкое вхождение в международное сообщество ученых-ядерщиков. Только исключительно высокий, в истинном смысле мировой уровень научных исследований может спасти самый большой и квалифицированный коллектив ученых, сформированный в странах-участницах ОИЯИ. Дирекция ОИЯИ уверена, что 43-е Международное совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра внесет большой вклад в укрепление международного сотрудничества. Именно поэтому на данный период и запланировано проведение сессии Научно-координационного совета по физике низких и промежуточных энергий ОИЯИ. Заседания НКС пройдут с 22 по 24 апреля в Доме международных совещаний.

Уважаемые коллеги! Дирекция ОИЯИ поздравляет участников 43-го ежегодного Международного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра с открытием совещания! Желаю вам успешной работы и плодотворных научных контактов!

**V Международное совещание
по ядерно-спектроскопическим исследованиям
сверхтонких взаимодействий
Дубна, 22–24 сентября 1993 года**

О. И. Кочетов

ПЯТОЕ, МЕЖДУНАРОДНОЕ

Дубна: Наука. Содружество. Прогресс. 1993. 22 сент. (№37)

22—24 сентября на базе ОИЯИ состоится V Международное совещание по ядерно-спектроскопическим исследованиям сверхтонких взаимодействий. Тематика совещания затрагивает как вопросы физики ядра, так и фундаментальные и прикладные проблемы атомной физики, физики конденсированных сред и другие.

Работы в этих областях ведутся во многих научных центрах всего мира и бывшего СССР. В частности, интенсивно такие работы ведутся в ряде лабораторий ОИЯИ и НИИЯФ МГУ. В этих центрах представлены все основные ядерные методики исследований сверхтонких взаимодействий: возмущенные угловые корреляции, ориентирование ядер, μ SR-спектроскопия, лазерная спектроскопия, мессбауэровская спектроскопия. Поэтому неудивительно, что эти институты являются ведущими организаторами совещания, получившего теперь статус международного.

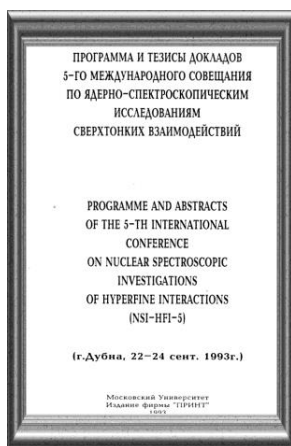
Оргкомитет совещания, которое проводится каждые два года, возглавляет один из авторитетнейших ученых в области ядерной спектроскопии, мессбауэровской спектроскопии и физики сверхтонких взаимодействий заслуженный деятель науки России, профессор В. С. Шпинель.

Несмотря на известные трудности, переживаемые сейчас наукой в нашей стране, выразили желание принять активное участие в работе совещания с обзорными и конкретными докладами более 100 ученых России от Санкт-Петербурга до Владивостока, а также из ряда стран СНГ, Литвы, Германии, Австралии.

Тематика совещания охватывает широкий круг вопросов. Основное внимание будет уделено проблемам связи параметров сверхтонких взаимодействий ядер с атомными электронами — магнитного дипольного и электрического квадрупольного моментов с характеристиками электронной структуры вещества, в частности сложных магнетиков, высокотемпературных сверхпроводников и др. Важное место займет обсуждение новых

методических разработок и фундаментальных проблем физики сверхтонких взаимодействий, в которых тесно переплетаются проблемы физики элементарных частиц, ядра, атомов и молекул, твердого тела.

Оргкомитет совещания выражает уверенность, что его успешное проведение будет способствовать развитию этой интереснейшей «междисциплинарной» области физики и укреплению международного сотрудничества физиков.



Приветственное слово вице-директора ОИЯИ Ц. Д. Вылова

Уважаемые коллеги! От имени дирекции ОИЯИ я рад приветствовать участников пятого Международного совещания по ядерно-спектроскопическим исследованиям сверхтонких взаимодействий. Считаю важным, что совещание впервые состоится в Дубне, в международном научном центре, имеющем давние традиции проведения исследований в этой области. В это трудное для ученых России время мы надеемся поддержать и расширить добрые взаимоотношения и плодотворные контакты, которыми сопровождалась все предыдущие встречи.

Около 100 лет прошло со времени открытия сверхтонкой структуры спектральных линий атомов. С 1920 года, после интерпретации В. Паули сверхтонкой структуры, это был основной источник данных о спинах и электромагнитных моментах основных состояний ядер. Необходимость получения таких данных для возбужденных состояний ядер инициировала разработку ядерных методик, сначала возмущенных угловых корреляций и распределений γ -квантов, ориентирования ядер при низких температурах μ SR- и лазерной спектроскопии. Известна огромная роль открытия эффекта Мессбауэра.

Особенно большую роль для физики ядра сыграло открытие Самойлова и Скларевского гигантских магнитных полей — сверхтонких полей — на ядрах немагнитных атомов и ферромагнетиках в опытах по наблюдению анизотропии γ -излучения ориентированных ядер. Это открытие и последовавшее за ним открытие так называемых переходных магнитных полей дало инструмент для определения магнитных моментов ядер весьма короткоживущих состояний (10^{-8} – 10^{-12} с).

С другой стороны, прогресс в онлайн-исследованиях короткоживущих радиоактивных ядер совместно с прогрессом лазерной техники способствовал возрождению на новом уровне оптической спектроскопии сверхтонкой структуры для определения их спинов, магнитных дипольных и электрических квадрупольных моментов, зарядовых распределений.

Тематика совещания охватывает широкий круг вопросов. Основное внимание будет уделено проблемам связи параметров сверхтонких взаимодействий ядер с атомными электронами — магнитного дипольного и электрического квадрупольного моментов с

характеристиками электронной структуры вещества, в частности сложных магнетиков, высокотемпературных сверхпроводников и др. Важное место займет обсуждение новых методических разработок и фундаментальных проблем физики сверхтонких взаимодействий, в которых тесно переплетаются проблемы физики элементарных частиц, ядра, атомов и молекул, твердого тела.

Мы рады видеть прибывших к нам ученых России, стран СНГ, Литвы, Германии, Австралии и выражаем уверенность, что успешное проведение совещания будет способствовать развитию этой интереснейшей "междисциплинарной" области физики и укреплению международного сотрудничества физиков.

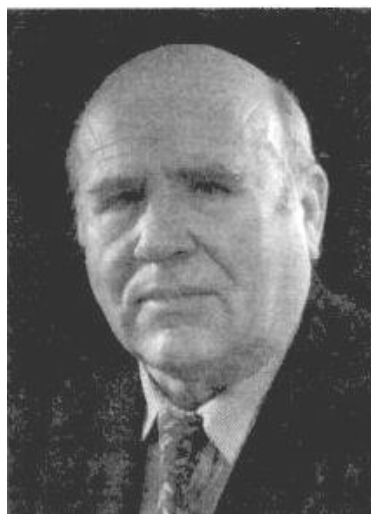


В КОНТЕКСТЕ

В середине 1994 года снова возник вопрос об организации ежегодного совещания по ядерной спектроскопии. Напомним, что в 1993 г. проблемы уже проявлялись и дирекция ОИЯИ приняла непростое решение о проведении совещания в Дубне.

*Уже тогда было ясно, что проводить мероприятие по старой тематике и с организационными приемами 50-летней давности уже трудно, да и бесперспективно. Поэтому, после некоторого обсуждения с коллегами, мы озвучили давно очевидную идею об организации **национальной конференции по ядерной физике**. Естественно, с международным статусом (членами ОИЯИ являются 18 стран-участниц), да и традиционно представители ведущих стран мира активно участвуют в таких мероприятиях.*

Закрутилась оживленная, но безрезультатная дискуссия, и решили оставить по-старому: Петербургский университет взял на себя хлопоты организатора. А ведь тогда ОИЯИ мог помочь в переводе этого мероприятия в разряд истинно международных и определить актуальную тематику ядерной физики в России. Более того, ОИЯИ был готов это делать в течение трех лет, пока новая организация приживется. Конечно, при этом часть институтских мероприятий проводились бы под этим флагом – оттуда и ресурсы. Нужно признать, что спектроскописты в очередной раз продемонстрировали свой консерватизм и никакие новые тенденции в физике не смогли отклонить их от традиционного пути.



Из истории ЯСНАПП (1991–1995)





Обзоры научных исследований, опубликованные в журнале ЭЧАЯ

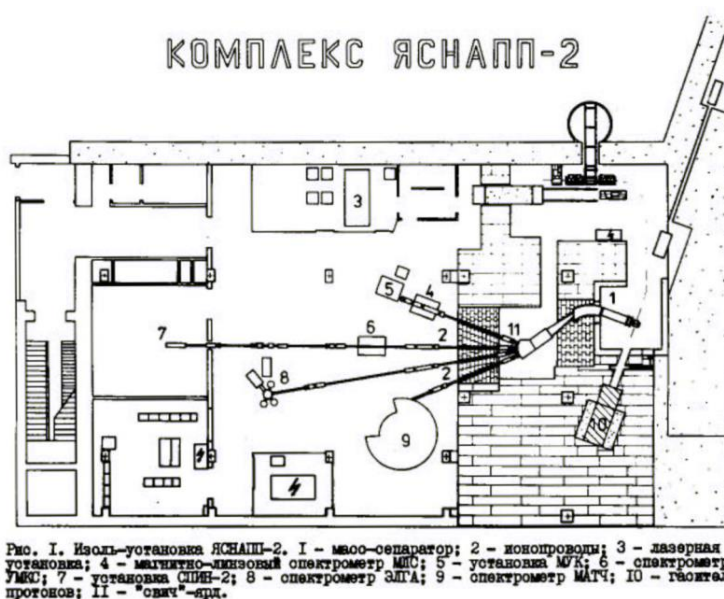
В. А. Морозов

ВЛИЯНИЕ ЗАМЫКАНИЯ ОБОЛОЧЕК НА СВОЙСТВА ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ЯДЕР

ЭЧАЯ. 1991. Т.22, вып.4. С.765–800

В обзоре проведена систематика экспериментальных данных, свидетельствующих о замыканиях оболочек и подоболочек в ядрах. Перечислены различные методы анализа, позволяющие проводить подобную идентификацию. В работе впервые применен метод дифференцирования энергетической поверхности возбужденных состояний ядер определенной природы, который позволил обнаружить замыкание оболочек, подоболочек и квазиоболочек в ядрах сферической, переходной и деформированной областей. Обнаружено, что магнитные переходы типа М1, М2, М4 могут служить своеобразным зондом, также позволяющим идентифицировать замыкание оболочек в ядрах.

Установлено, что в этом случае отношения приведенных вероятностей протонных и нейтронных переходов при нечетном $N = Z$ близки к одночастичному пределу.



В. А. Морозов, Н. В. Морозова
**ОДНОКРИСТАЛЛЬНАЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННАЯ ВРЕМЕННАЯ
 СПЕКТРОМЕТРИЯ**
 ЭЧАЯ. 2001. Т.32, вып.2. С.377-430

В обзоре подведены итоги развития методики однокристалльной временной спектрометрии для исследования короткоживущих изомерных и основных состояний радиоактивных атомов в нано- и микросекундном диапазоне. Отличительная особенность этой методики заключается в использовании 4π-геометрии измерений, что обеспечивает высокую эффективность регистрации задержанных совпадений. В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ впервые реализован режим многомерных задержанных совпадений на одном детекторе. Трехмерный режим E1-T-E2 позволяет помимо временного спектра

регистрировать энергетические спектры, которые соответствуют переходам, заряжающим и разряжающим изомерные состояния.

Дальнейшее развитие этой методики привело к созданию двухдетекторного четырехмерного спектрометра тройных совпадений, что продемонстрировало возможность эффективного применения автокорреляционного однокристалльного временного спектрометра для поиска изомерных состояний ядер при включении его в конфигурацию спектрометра "crystal ball". При этом для исследования ядер, имеющих изомерные состояния, отпадает необходимость применения низкоэффективного лазерного ионного источника в масс-сепараторе, что особенно важно при исследовании короткоживущих ядер в онлайн-экспериментах. Диапазон времен жизни, доступных для изучения однодетекторными спектрометрами задержанных совпадений, простирается от 4 нс до 100 с.

Создан набор калибровочных источников задержанных совпадений, перекрывающий временной диапазон от 4 нс до 4 мкс и энергетический диапазон, начинающийся с 10 кэВ. Так как низкоэнергетические переходы перекрываются с энергетическим спектром послепульсов ФЭУ, то было проведено изучение амплитудно-временных характеристик послепульсов для некоторых типов фотоумножителей.



В. А. Морозов



Н. В. Морозова

Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ

1992 г. Научно-технические прикладные работы. Первая премия

Ю. Ц. Оганесян, С. Н. Дмитриев, Г. В. Букланов, Г. Я. Стародуб, А. Ф. Новгородов,
Ю. В. Юшкевич, Ю. П. Харитонов, С. В. Шишкин, Л. И. Саламатин, Н. В. Пронин

«ПОЛУЧЕНИЕ РАДИОХИМИЧЕСКИ И ИЗОТОПНО УЛЬТРАЧИСТОГО ПЛУТОНИЯ-237 ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЕГО МЕТАБОЛИЗМА В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА»



Ю. В. Юшкевич и А. Ф. Новгородов

1992 г. Поощрительная премия

*Н. Г. Зайцева, Э. Рураж, М. Вобецки, Ким Хын Хван, К. Новак,
Т. Тэтгал, В. А. Халкин, Л. М. Попиненкова*

**«ФУНКЦИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ВЫХОД ^{97}Ru , ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ В РЕАКЦИИ
 $^{99}\text{Tc}(p, 3n)^{97}\text{Ru}$, В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИИ ПРОТОНОВ 20–100 МэВ»**



В. А. Халкин



Н. Г. Зайцева

*1991–1995. Тема «Исследование ядерной мультифрагментации в
ядро-ядерных взаимодействиях при промежуточных и высоких
энергиях (ФАЗА)»*

(В. А. Карнаухов)

В. А. Карнаухов

ФАЗА 4π-УСТАНОВКА НА ПУЧКЕ СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ

Новости ОИЯИ. 1994. №1. С.11–12



Виктор Александрович Карнаухов

Установка ФАЗА создана сотрудниками ЛЯП в содружестве с ИАЭ им. И. В. Курчатова (группа проф. Г. Б. Янькова) и учеными из Института ядерной физики Технического университета в Дармштадте (ФРГ) (группа проф. Х. Ойшлера). Цель коллаборации ФАЗА — изучение ядерной мультифрагментации. Это новый и

малоизученный процесс. Заключается он в том, что под действием бомбардирующих частиц с большой энергией ядро нагревается до высокой температуры, расширяется и разваливается на множество фрагментов промежуточной массы. Этот развал происходит взрывообразно. Такой процесс внешне похож на последовательное испарение фрагментов, но принципиально отличается от него по природе. Множественная эмиссия фрагментов в реакциях при больших энергиях — уже известный экспериментальный факт. Однако еще нужно доказать, что это — истинная мультифрагментация, когда фрагменты испускаются практически одновременно.

Сейчас в мире исключительно высок интерес к исследованию процесса мультифрагментации, много экспериментаторов и теоретиков увлечено этой проблемой. Это в немалой степени связано с тем, что по многим теоретическим моделям ядерная мультифрагментация имеет прямое отношение к новым фазовым переходам в ядерном веществе (отсюда и название проекта). Один, носящий название "крекинг", заключается в расслоении ядерного вещества на куски с последующим развалом на фрагменты, другой отвечает переходу из жидкой фазы в газовую. Таким образом, исследование ядерной мультифрагментации обещает привести к получению качественно новой информации о ядерном веществе.

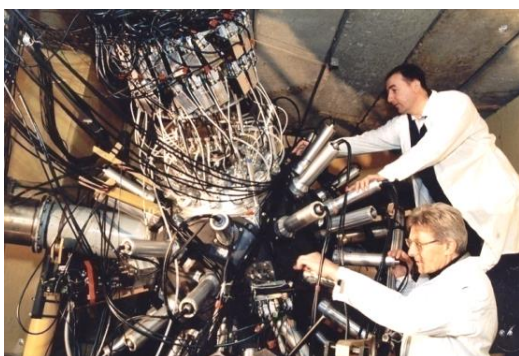
Установка ФАЗА состоит из детектора множественности фрагментов (64 сцинтилляционных счетчика с пленочными кристаллами CsI(Tl)) и пяти телескопов фрагментов (триггер). Предусмотрено два варианта триггеров:

А.) Времяпролетный спектрометр, позволяющий определять скорость и массу триггерного фрагмента. Стартовый импульс в спектрометре задается лавинным счетчиком, стоп-сигнал вырабатывается полупроводниковым детектором.

Б.) Спектрометр типа $\Delta E_1 \times \Delta E_2 \times \Delta E$ (пропорциональный счетчик x ионизационная камера x ППД). Этот спектрометр обеспечивает идентификацию триггерного фрагмента по Z с измерением энергии. Телесный угол установки близок к 4π ср. Установка позволяет получить энергетические, зарядовые спектры фрагментов, угловые распределения и корреляции, распределения фрагментов по относительным скоростям, дифференциальные и полные множественности фрагментов. Авторы надеются, что такой набор экспериментальных данных обеспечит исчерпывающее понимание механизма множественной эмиссии фрагментов.

Среди специалистов нет единого мнения о том, какие пучки лучше всего подходят для этой задачи. Участники коллаборации ФАЗА полагают, что релятивистские пучки гелия с энергией более 2 ГэВ/нуклон соответствуют оптимальному выбору. ОИЯИ — единственное место в мире, где есть такие пучки. Синхрофазотрон ОИЯИ позволяет получать гелий с энергией до 3,65 ГэВ/нуклон с достаточно высокой интенсивностью.

С 25 февраля по 4 марта был проведен первый сеанс с использованием установки ФАЗА на пучке ^4He с максимальной энергией. В качестве триггера установки применялись времяпролетные спектрометры, изготовленные в Дармштадте. Целью сеанса была полномасштабная проверка установки в рабочих условиях. Сеанс прошел вполне успешно. Зарегистрировано около 200 тыс. событий. В настоящее время полученная информация обрабатывается. Ведется подготовка к следующему сеансу.



1993 г. Научные работы. Поощрительная премия

*С. П. Авдеев, В. А. Карнаухов, В. Карч, В. Д. Кузнецов, Л. А. Петров, О. В. Бочкарев,
Е. А. Кузьмин, Л. В. Чулков, Г. Б. Яньков*

**«ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИФРАГМЕНТАЦИИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР ^4He С Au С ПОМОЩЬЮ 4 π -УСТАНОВКИ ФАЗА»**

Создана 4 π -установка ФАЗА для изучения множественной эмиссии фрагментов промежуточной массы (IMF , $2 < Z < 20$) в соударениях легких релятивистских ионов с тяжелыми мишенями (Au). Она состоит из 5 телескопов-спектрометров (триггеры системы) и детектора множественности фрагментов, включающего 64 сцинтилляционных счетчика с тонкими слоями ($\sim 30 \text{ мг/см}^2$) поликристаллического Cs(Tl) . Электронная система установки позволяла производить запись в режиме “event by event”. Установка размещена на выведенном пучке синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ.

Получены первые результаты по изучению процесса мультифрагментации при взаимодействии ^4He (14,6 ГэВ) с золотом.

Впервые измерено распределение фрагментов по множественности.

Показано, что распределение фрагментов по массе зависит от множественности испущенных частиц (M): при малой множественности (периферические соударения) в распределении четко виден «делительный» пик; с увеличением M (что отвечает росту энергии возбуждения спектатора мишени) этот пик исчезает, остается только быстро спадающее распределение продуктов фрагментации, которое хорошо описывается законом $Y(\text{IMF}) \approx A_{\text{IMF}}^{-1}$. Таким образом, мультифрагментация является основным каналом распада горячих ядер.

Изучена $\text{IMF}-\text{IMF}$ корреляция по относительной скорости V_{Rel} для совпадающих фрагментов, разлетающихся в противоположных направлениях. Полученное значение $\langle V_{\text{Rel}} \rangle$ отвечает тому, что процесс мультифрагментации происходит после расширения горячего ядра в несколько раз за счет теплового давления.



В. А. Карнаухов

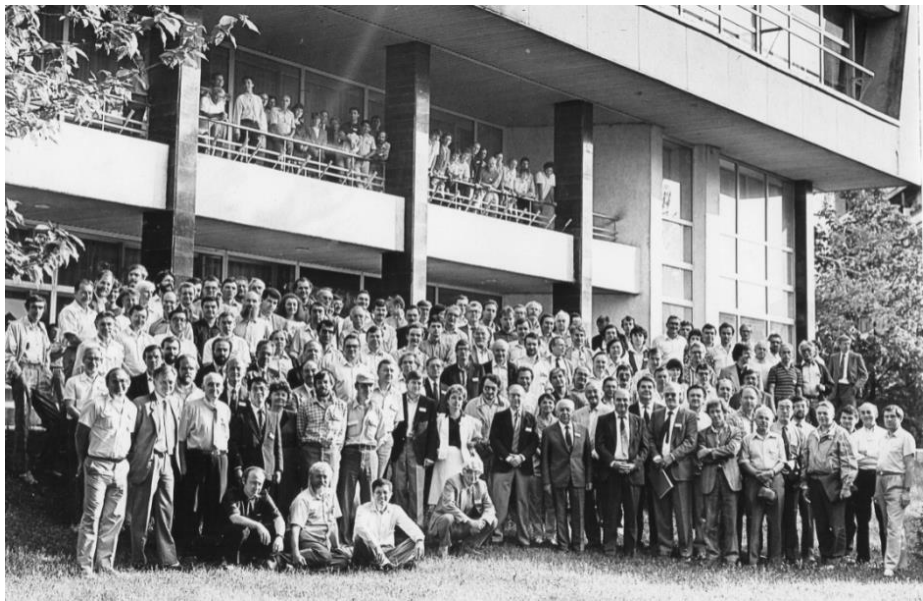
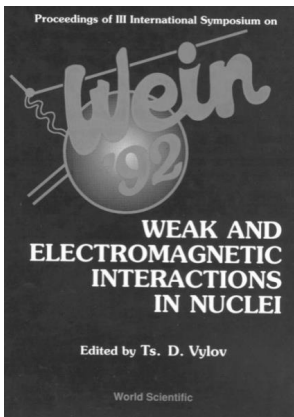
1992–2000. Тема «Исследование слабых и электромагнитных взаимодействий при низких энергиях»

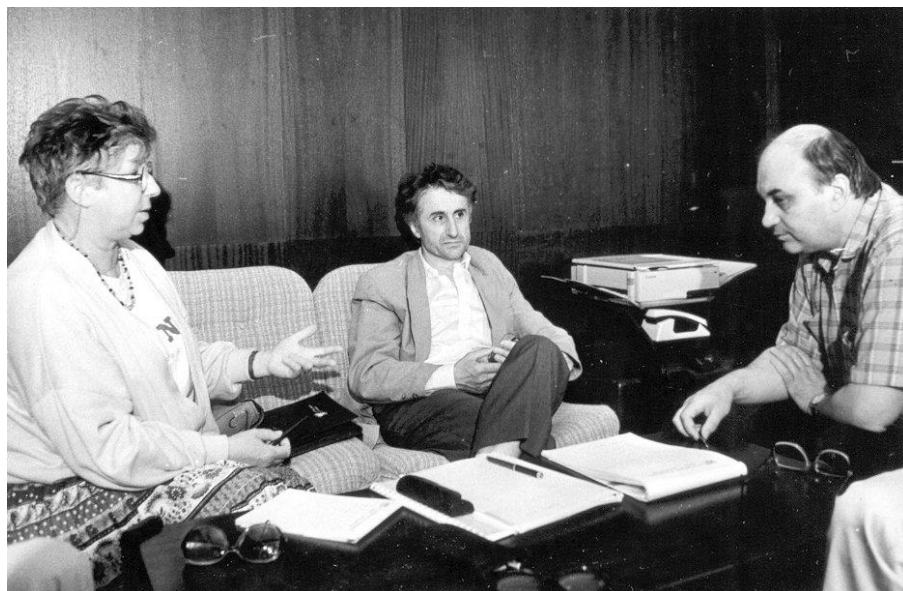
(В. Б. Бруданин)

- Исследование слабых и электромагнитных взаимодействий при низких энергиях.
- Исследование 2β -распада.
- Спектроскопия ядер, удаленных от полосы бета-стабильности.
- Развитие новых методов регистрации заряженных и нейтральных частиц.

WEIN-92
III Международный симпозиум
по слабым и электромагнитным взаимодействиям
Дубна, 16–22 июня 1992 года

Симпозиум был поддержан Международным союзом чистой и прикладной физики (ИЮПАП), а также рядом ведущих институтов России: Курчатовским институтом, ИТЭФ, ФИАН, ИЗМИРАН, ИЯИ РАН, ПИЯФ, НИИЯФ МГУ и МИФИ. Присутствовало более 200 исследователей, среди которых более 60 специалистов из США, Франции, Германии, Японии, Италии, Канады.





Широкое международное сотрудничество осуществляет ЛЯП в работах по исследованию свойств нейтрино (проект «Нейтрино-2»).
На снимке: директор ЛЯП профессор Ц. Вылов обсуждает планы совместных работ с французскими учеными Ш. Бриансон (Центр ядерной спектроскопии и масс-спектрометрии, Орсе) и С. Жулианом (директор подземной лаборатории LSM в Модане



Состав коллаборации NEMO-1 (1991)

D. Dassie, Ph. Hubert, M. C. P. Isaac, C. Izac, F. Leccia and P. Mennrath

Centre d'Études Nucléaires, IN2P3-CNRS et Université de Bordeaux, 33170 Gradignan, France

C. Longuemare

Laboratoire de Physique Corpusculaire, IN2P3-CNRS et Université de Caen, 14032 Caen, France

D. Blum, J. Busto, J. E. Campagne, S. Jullian, D. Lalanne, F. Laplanche, F. Natchez and G. Szklarz

Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, IN2P3-CNRS et Université de Paris-Sud, 91405 Orsay, France

T. Lamhamdi, I. Linck and F. Scheibling

Centre de Recherches Nucléaires, IN2P3-CNRS et Université Louis Pasteur, 67037 Strasbourg, France

Состав коллаборации NEMO-2 (1992)

R. Arnold, E. Caurier, J. L. Guyonnet, I. Linck, and F. Scheibling

Centre de Recherches Nucléaires, IN2P3-CNRS et Université Louis Pasteur, 67037 Strasbourg, France

C. Augier, D. Blum, J. E. Campagne, S. Jullian, D. Lalanne, F. Laplanche, and G. Szklarz

Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, IN2P3-CNRS et Université de Paris-Sud, 91405 Orsay, France

A. S. Barabash, V. N. Kornoukhov, Yu. B. Lepikhin, V. I. Umatov, and I. A. Vanushin

Institute of Theoretical and Experimental Physics, 117259 Moscow, Russia

V. Brudanin, V. Egorov, O. Kochetov, V. Kovalenko, A. Nozdrin, and Ts. Vylov

Joint Institute for Nuclear Research, 141980 Dubna, Russia

D. Dassié, R. Eschbach, F. Hubert, Ph. Hubert, F. Leccia, P. Mennrath, F. Piquemal, and A. Vareille

Centre d'Études Nucléaires, IN2P3-CNRS et Université de Bordeaux, 33170 Gradignan, France

C. Longuemare and F. Mauger

Laboratoire de Physique Corpusculaire, IN2P3-CNRS et Université de Caen, 14032 Caen, France

H. W. Nicholson and C. S. Sutton

Mount Holyoke College, South Hadley, MA 01075, USA

V. I. Tretyak, Yu. Vassilyev, and V. Zerkov

Institute for Nuclear Research of the Ukrainian Academy of Sciences, 252028 Kiev, Ukraine

Состав коллаборации NEMO-3 (1995)

D. Dassié, R. Eschbach, F. Hubert, Ph. Hubert, M. C. Isaac, C. Izac, F. Leccia, P. Mennrath, and A. Vareille

Centre d'Études Nucléaires, IN2P3-CNRS et Université de Bordeaux, 33170 Gradignan, France

C. Longuemare and F. Mauger

Laboratoire de Physique Corpusculaire, IN2P3-CNRS et Université de Caen, 14032 Caen, France

F. Danevich, V. Kouts, V. I. Tretyak, Yu. Vassilyev, and Yu. Zdesenko

Institute for Nuclear Research of the Ukrainian Academy of Sciences, Kiev, Ukraine

A. S. Barabash, V. N. Kornoukhov, Yu. B. Lepikhin, V. I. Umatov, and I. A. Vanushin

Institute for Theoretical and Engineering Physics, Moscow, Russia

C. Augier, D. Blum, J. E. Campagne, S. Jullian, D. Lalanne, F. Laplanche, F. Natchez, G. Pichenot, and G. Szklarz

Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, IN2P3-CNRS et Université de Paris-Sud, 91405 Orsay, France

R. Arnold, J. L. Guyonnet, T. Lamhamdi, I. Linck, F. Piquemal, and F. Scheibling

Centre de Recherches Nucléaires, IN2P3-CNRS et Université Louis Pasteur, 67037 Strasbourg, France

V. Brudanin, V. Egorov, O. Kochetov, A. Nozdrin, Ts. Vylov, and Sh. Zaporov

Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

H. W. Nicholson and C. S. Sutton

Mount Holyoke College, South Hadley, Massachusetts 01075

13 января 1993 года

Начало работ в коллаборации NEMO

Состоялась рабочая встреча по установкам NEMO-2 и NEMO-3. Принимали участие от Франции — С. Жулиан (S. Jullian), Д. Лаланн (D. Lalanne), Ж. Форже (J. Forget), Д. Дасси (D. Dassi); от ОИЯИ — Ц. Вылов, В. Б. Бруданин, В. Г. Егоров, А. Н. Ноздрин, Ш. Запаров.

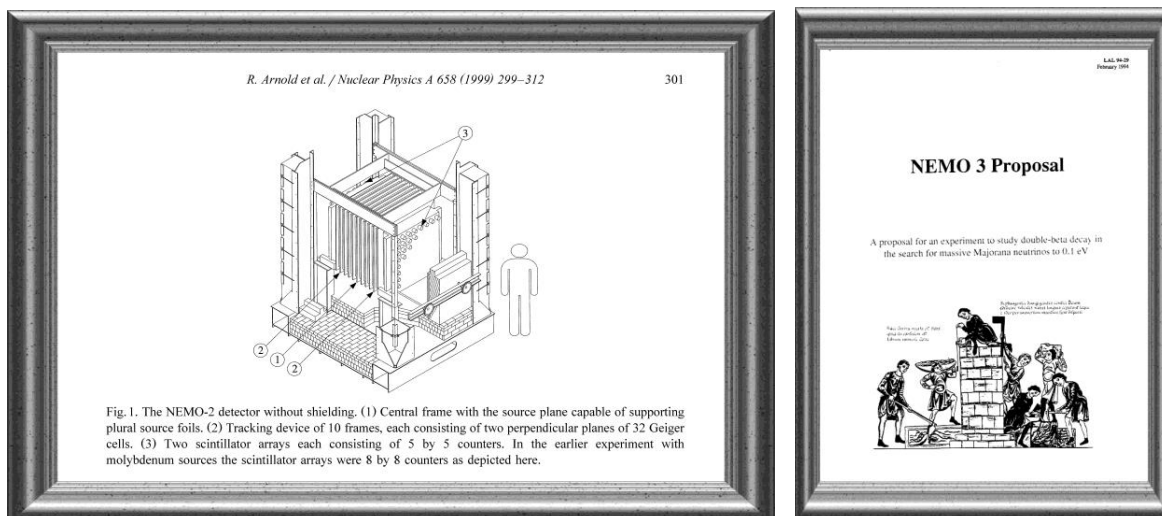
Во время визита французская делегация посетила ОП ОИЯИ, ОП ЛЯП, участок по производству пластических сцинтилляторов и лаборатории НЭОЯСиРХ. Состоялись беседы с М. А. Либерманом, А. А. Горяиновым (начальником и главным инженером ОП ОИЯИ), В. Г. Сазоновым (начальником ОП ЛЯП), Р. Гальпериной (руководителем группы производства пластических сцинтилляторов) и О. И. Кочетовым (ответственным за тестирование пластических сцинтилляторов).

Составлен план работ на 1993 год.



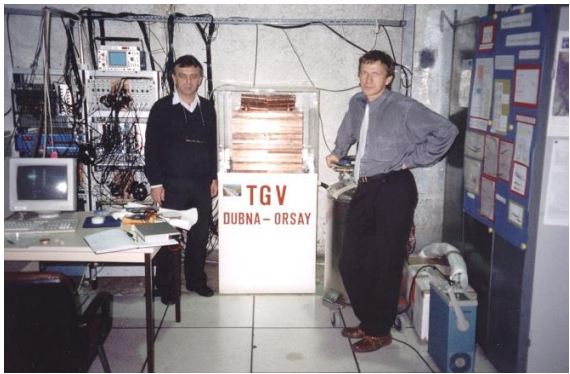
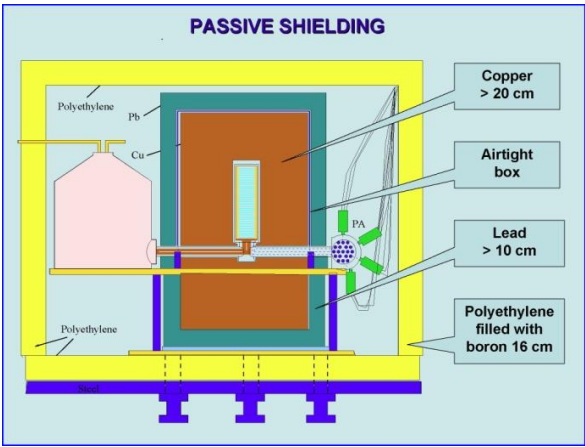
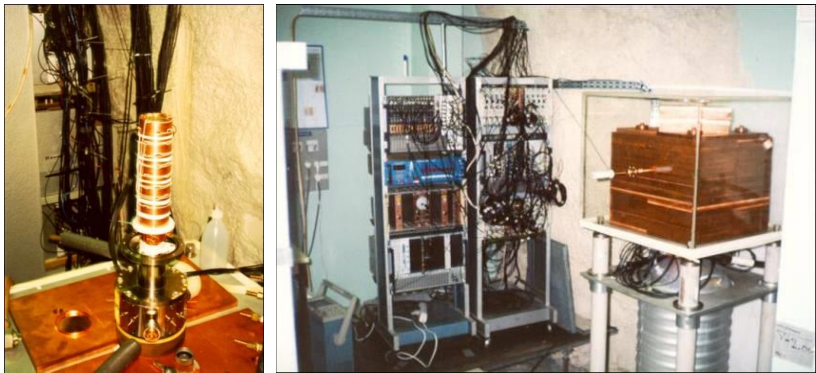
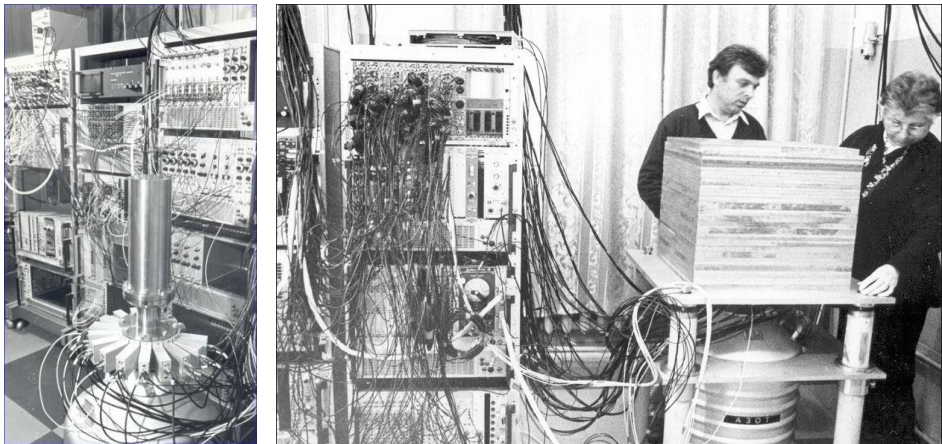
Февраль 1993 года

Проект NEMO-3 опубликован. Начата процедура утверждения



2 декабря 1994 года

Ученый совет *LSM* принял решение по эксперименту *TGV*



17 февраля 1995 года

Новая коллаборация ОИЯИ–ИАЭ (В. И. Лебедев)

- нейтронная защита NEMO;
- низкофоновые ФЭУ;
- очистка ^{100}Mo ;
- ^{48}Ca – использование и очистка.



Конференция WEIN-95

- 10 июня 1995 года – Открытие конференции
- 12 июня 1995 – Доклад И. Штекля
- 13 июня 1995 – Секция 2-бета, председатель Ц. Д. Вылов
- 15 июня 1995 – Заседание программного комитета по организации WEIN-98



**Договор с ИАЭ им. И. В. Курчатова от 22 марта 1996 года
о приобретении 3 кг ^{76}Ge .**

(А. В. Тихомиров)



**Международная конференция
«ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ
В ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ»**

Юрмала, 25–29 сентября 1996 года

Председатель международного программного комитета: Ц. Вылов



Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ

1996 г. В области научно-технических прикладных исследований. Первая премия
С. Н. Дмитриев, Г. В. Букланов, Г. Г. Гульбемян, Н. Г. Зайцева, О. Д. Маслов,
А. Ф. Новгородов, Г. Я. Стародуб, С. В. Шишкин, Т. В. Шишкина, Ю. В. Юшкевич
**«ПОЛУЧЕНИЕ УЛЬТРАЧИСТЫХ ИЗОТОПОВ ^{26}Al , ^{235}Np и ^{236}Pu И ИХ
ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ И РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ»**

Представляемый цикл работ посвящен разработке технологических методов получения ультрачистых радиоактивных изотопов ^{26}Al , ^{235}Np и ^{236}Pu и их производству для широкомасштабного применения в радиобиологических и радиоэкологических исследованиях.

Алюминий широко используется во всех сферах деятельности человека и окружает его постоянно, от чайных ложечек до строительных конструкций. Предполагается определенная связь повышенного содержания алюминия в организме человека с болезненными процессами, ведущими к нарушению мозговой деятельности (болезнь Альцгеймера). В связи с этим особую актуальность в последние годы получили исследования, связанные с созданием модели метаболизма алюминия в организме человека. Трудность заключается в анализе биообразцов, содержащих низкие уровни алюминия по сравнению с высоким уровнем фона этого металла. Постановка экспериментов *in vivo* была возможна только при использовании препаратов ^{26}Al в качестве трассера. А так как ^{26}Al имеет $T_{1/2}=7,16\cdot 10^5$ лет, то его внедрение в биообразцы производится с использованием ускорительной масс-спектрометрии, а для этого требуются микрограммовые количества вещества.

По данным МАГАТЭ на 01.01.94, в мире накоплено 260 т оружейного и 780 т энергетического плутония (в основном в виде облученного топлива). К 2000 г. на энергетических реакторах будет наработано более 1000 т плутония. Общее количество нептуния, полученного в результате испытаний ядерного оружия, оценивается в 2500 кг, кроме того, он поступает в окружающую среду в результате переработки ТВЭЛов. Реализация программы использования для реакторов на тепловых нейтронах смешанного $(\text{Pu-UO})_2$ топлива приведет к увеличению объемов переработки ТВЭЛов. Как следствие, существенно возрастает число людей, профессионально связанных с индустрией плутония и нептуния. "Реальная группа риска" неизмеримо больше за счет различного рода аварий на АЭС и радиохимических производствах, а также испытательных взрывов ядерного оружия.

Указанное выше предопределило развитие целого ряда научных направлений, связанных с изучением поведения Pu и Np в объектах "живой" и "неживой" природы.

Одним из актуальных направлений современной радиозэкологии является развитие ультрачувствительных методов анализа плутония в биологических объектах (продукты питания и жизнедеятельности человека) и природных образцах (почвы, воды и т.д.). Особый интерес представляет определение изотопных отношений $^{239}, ^{240}\text{Pu}$ к ^{238}Pu , указывающих на источник загрязнения исследуемых объектов (продукты ядерных взрывов, аварии на АЭС). Развитие этих работ предусматривает использование в качестве трассеров препаратов ^{236}Pu с изотопной чистотой (Бк/Бк): по ^{238}Pu – 10^{-3} - 10^{-4} и по ^{239}Pu – 10^{-6} - 10^{-7} .

В свете вышеизложенного проведение исследований по созданию ультрачистых радионуклидов ^{26}Al , ^{236}Pu и ^{235}Np с изотопной чистотой, на три-четыре порядка величины превышающей ранее известные, представляется актуальным.

В результате исследований, проведенных в ЛЯР, разработаны технологические методы получения ультрачистых радиоактивных изотопов ^{26}Al , ^{236}Pu и ^{235}Np и их производство для широкомасштабного применения в радиобиологических и радиозэкологических исследованиях.

Впервые экспериментально решена проблема получения ультраизотопно чистых препаратов ^{26}Al . Получено 5 мкг ультрачистого ^{26}Al , что полностью обеспечило проведение широкомасштабных экспериментов по изучению метаболизма алюминия *in vivo*. Практическая значимость полученных при этом результатов выходит за рамки отдельного научного направления и существенно дополняет современные представления о накоплении Al в жизненно важных органах человека.

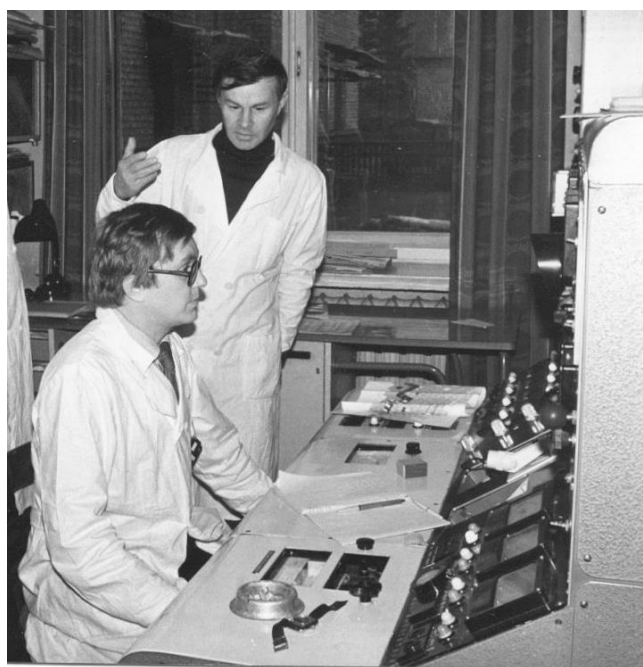
Показано, что способ получения ультрачистых изотопов (облучение высокообогащенного ^{235}U ^4He -ионами в заданном интервале энергий, радиохимическое выделение фракции плутония с последующим электромагнитным выделением массы 236) характеризуется высокой эффективностью и воспроизводимостью результатов.

Впервые экспериментально показано, что фотоядерная реакция $^{237}\text{Np}(\gamma, n)$ является оптимальной для получения радионуклида ^{236}Pu с изотопной чистотой по ^{238}Pu и ^{239}Pu соответственно 10^{-5} и $2 \cdot 10^{-9}$ Бк/Бк, что позволило существенно повысить их предел определения в природных и биологических объектах.

Полученные в работе изотопно чистые препараты ^{236}Pu и ^{235}Np нашли широкое применение в радиоэкологических исследованиях и, особенно, ^{26}Al при анализе биологических объектов.

Дальнейшее развитие работ по получению ^{236}Pu в фотоядерной реакции $^{237}\text{Np}(\gamma, n)$ на пучках компактных ускорителей электронов (повышение тока электронов, увеличение веса мишени) позволит на базе микротрона МТ-25 ЛЯР ОИЯИ довести выпуск изотопно чистых препаратов до 1 МБк/сутки. Внедрение в практику работ других действующих микротронов позволит полностью отказаться от традиционно используемых технологий, основанных на облучении ^{238}U протонами на дорогостоящих ускорительных установках.

В целом представляемый цикл работ является примером комплексного подхода к решению конкретных прикладных задач с использованием современных достижений ядерной физики и радиохимии.



Ю. В. Юшкевич и А. Ф. Новгородов

Встречи с представителями Курчатовского института

28 января 1997 года

Визит руководства ИМФ Курчатовского института в составе:

- а) чл.-корр. РАН Владимир Юрьевич Баранов (директор),
- б) д-р Геннадий Юрьевич Григорьев (заместитель директора),
- в) д-р Юрий Владимирович Гапонов.



25 апреля 1997 года

Встреча с дирекцией Курчатовского института.

Делегация ОИЯИ: Ц. Д. Вылов, Ю. Ц. Оганесян, В. Л. Аксенов, В. Б. Бруданин.

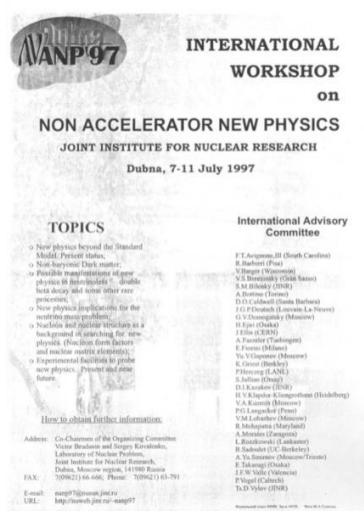
Делегация ИАЭ: В. Ю. Баранов, А. Ю. Румянцев, Г. Ю. Григорьев, В. П. Мартемьянов, Ю. В. Гапонов, Л. В. Инжечик, А. В. Тихомиров.



NANP-1997

Международное рабочее совещание «ФИЗИКА БЕЗ УСКОРИТЕЛЕЙ»

Дубна, 7-13 июля 1997 года



Первое международное совещание по проблемам новой физики в неускорительных экспериментах NANP-97 («Non-Accelerator New Physics») проходило в Дубне с 7 по 13 июля 1997 г.

Обсуждение современной ситуации и перспектив поиска новой физики за рамками Стандартной модели в неускорительных экспериментах было главной целью совещания. Взаимная дополняемость поиска новой физики на ускорителях и без них также обсуждалась на этом совещании. Различные расширения Стандартной модели, включая суперсимметрию и идеи Великого объединения, рассматривались оргкомитетом как центральный вопрос для обсуждения теоретиками и экспериментаторами.

В программу совещания были включены следующие вопросы: статус новой физики за рамками Стандартной модели; небарионная темная материя; возможные проявления новой физики в безнейтринном двойном β -распаде и других редких процессах; новая физика и проблема массы нейтрино; структура ядра и нуклона как фон для поиска новой физики; новые экспериментальные возможности для поиска новой физики.

Более 90 ученых приняло участие в работе совещания. Основные обзорные доклады были представлены ведущими специалистами. Среди них хорошо известные ученые: Ф. Т. Авиньен (США), В. С. Березинский (Италия), А. Дар (Израиль), Г. В. Домогацкий (Россия), Э. Фиорини (Италия), П. Герцег (США), С. Джулиан (Франция), Г. В. Клапдор-Клайнгротхаус (ФРГ), В. А. Кузьмин (Россия), Р. Мохпатра (США), Л. Рожковский (Англия), Х. Ф. В.Балле (Испания), Х. К. Вальтер (Швейцария) и др.

Местный оргкомитет возглавляли В. Б. Бруданин и С. Г. Коваленко.

Из годового отчета ОИЯИ за 1997 год (Дубна, 1998. С. 76–77)

Scientific Programme:

- New Physics beyond the Standard Model. Status;
- non-baryonic dark matter;
- possible manifestations of New Physics in neutrinoless double beta decay and some other rare processes;
- New Physics implications for the neutrino mass problem;

— nucleon and nuclear structure as a background in searching for New Physics (nucleon form factors and nuclear matrix elements);
 — experimental facilities to probe New Physics — present and near future.

International Advisory Committee:

F. T. Avignone, III (South Carolina)	R. Barbieri (Italy)
V. Barger (Wisconsin)	V. Barger (Wisconsin)
V. S. Berezinsky (Gran Sasso)	A. Bottino (Torino)
D. O. Caldwell (Santa Barbara)	J. G. P. Deutsch (Louvain-La-Neuve)
G. V. Domogatsky (Moscow)	H. Ejiri (Osaka)
J. Ellis (CERN)	A. Faessler (Tuebingen)
E. Fiorini (Milano)	Yu. V. Gaponov (Moscow)
K. Griest (Berkeley)	P. Herczeg (LANL)
S. Jullian (Orsay)	D. I. Kazakov (JINR)
H. V. Klapdor-Kleingrothaus (Heidelberg)	V. A. Kuzmin (Moscow)
P. G. Langacker (Penn)	V. M. Lobashev (Moscow)
R. Mohapatra (Maryland)	P. Monacelli (Gran Sasso)*
A. Morales (Zaragosa)	L. Roszkowski (Lancaster)
B. Sadoulet (UC-Berkeley)	A. Yu. Smirnov (Trieste/Moscow)
E. Takasugi (Osaka)	J. F. W. Valle (Valencia)
P. Vogel (Caltech)	Ts. D. Vylov (JINR)

Local Organizing Committee:

V. B. Brudanin (JINR) *Co-Chairman*
 V. A. Bednyakov (JINR)
 V. G. Egorov (JINR)
 T. V. Filipova (JINR)
 O. I. Kochetov (JINR)
 S. G. Kovalenko (JINR) *Co-Chairman*
 V. E. Kovalenko (JINR) *Scientific Secretary*
 Yu. A. Shitov (JINR)

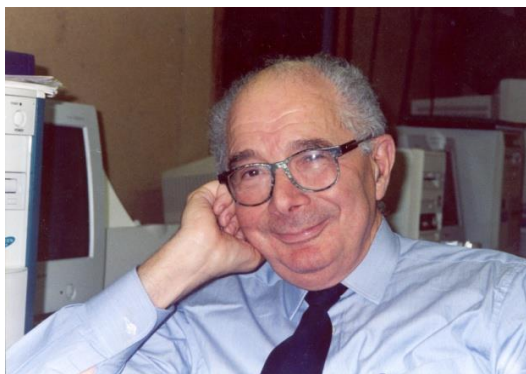
WEIN-98

Международная конференция

13 июня 1998 года

Участие в WEIN-98: В. Г. Егоров, В. Б. Бруданин, Ц. Вылов, Ш. Бриансон.





Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ

1998 г. В области экспериментальной физики. Первая премия

С. П. Авдеев, В. А. Карнаухов, Л. А. Петров, В. К. Родионов, В. Карч, М. Яницки,
Х. Ойшлер, О. В. Бочкарев, Е. А. Кузьмин, Л. В. Чулков

«ТЕПЛОВАЯ МУЛЬТИФРАГМЕНТАЦИЯ — НОВЫЙ ТИП РАСПАДА ГОРЯЧИХ ЯДЕР»

Цикл работ выполнен в 1994–1998 гг. на модернизированной 4π-установке ФАЗА, размещенной на пучке синхрофазотрона ОИЯИ. Исследовался процесс множественной эмиссии фрагментов промежуточной массы (IMF, $3 \leq Z \leq 20$), который происходит при энергиях возбуждения порядка полной энергии связи ядра. Интерес к этому процессу огромный. Можно назвать две причины этого. Во-первых, ожидалось, что это новый тип распада сильно возбужденного ядра. Во-вторых, согласно теоретическим моделям этот процесс связан с фазовым переходом «жидкость–газ» в ядерном веществе.

В мире действует около дюжины сложных 4π-установок на пучках тяжелых ионов, предназначенных для исследования мультифрагментации. Конкуренция огромная, но сотрудничеством ФАЗА развит подход, который обеспечивает получение оригинальной информации. Исследуется распад спектатора мишени в сильно асимметричных соударениях при релятивистских энергиях («легкий» пучок + тяжелая мишень). В этом случае все IMF возникают при распаде возбужденного спектатора мишени, т. е. источник один, в отличие от случая использования пучков очень тяжелых ионов, когда источником фрагментов может быть как мишень, так и бомбардирующая частица. Динамические эффекты, связанные со сжатием ядерного вещества и угловым моментом системы, не

существенны, и энергия возбуждения практически целиком тепловая. Картина процесса проще, и он может быть описан в терминах термодинамики.

Исследования проведены для соударений протонов (2,16, 3,6 и 8,1 ГэВ) и альфа-частиц (14,5 ГэВ) с ядрами золота. Основные выводы следующие:

1. Получены экспериментальные доказательства теплового (статистического) механизма мультифрагментации на пучках релятивистских легких бомбардирующих частиц.

2. Впервые экспериментально показано, что тепловая мультифрагментация – новый (многократный) тип распада горячих ядер в дополнение к трем ранее известным (радиационный распад, испарение частиц и деление). Это сделано на основании анализа угловой корреляции генетически связанных фрагментов, из которого получено среднее время эмиссии фрагментов $Z \leq 75$ фм/с = $2,3 \cdot 10^{-22}$ с. Столь короткое время эмиссии полностью исключает тривиальный механизм распада – последовательное и независимое испарение фрагментов.

3. Впервые экспериментально показано, что тепловая мультифрагментация происходит после предварительного расширения за счет теплового давления. Плотность в момент развала $\approx 1/3$ от нормальной ядерной плотности. Это следует из анализа распределения по относительной скорости совпадающих фрагментов при больших корреляционных углах и энергетических спектров фрагментов. В терминах термодинамики это означает, что перед развалом ядро оказывается в спиновальной области, для которой характерна фазовая неустойчивость системы. За счет флуктуаций плотности однородная ядерная жидкость переходит в смесь жидкой (ядерные фрагменты) и газовой (нуклоны) фаз. Температура системы при этом существенно меньше критической T_c для фазового перехода жидкость–газ. В аналитической работе показано, что $T_c > 10$ МэВ, и дано корректное объяснение плато в зависимости температуры от энергии возбуждения, которое в литературе интерпретировалось как указание на то, что критическая температура аномально низка (5–6 МэВ).

4. В работах цикла развит новый вариант комбинированного подхода для описания фраг-

ментации на релятивистских пучках. Внутрядерный каскад, обычно используемый для расчета быстрой стадии взаимодействия, дополнен учетом сброса энергии и массы в процессе теплового расширения ядра. Это позволяет более достоверно рассчитать характеристики (Z , A , энергию возбуждения) фрагментирующего ядра, распад которого описывается статистической моделью. В результате достигнуто хорошее описание множественности, зарядовых и энергетических распределений фрагментов.

5. Детальное изучение зависимости формы энергетических спектров фрагментов от их множественности позволило авторам показать, что горячие фрагменты сбрасывают энергию возбуждения (вторичное испарение) в процессе ускорения в кулоновском поле системы. Это важное уточнение картины процесса должно быть введено в московско-копенгагенский вариант статистической модели мультифрагментации.

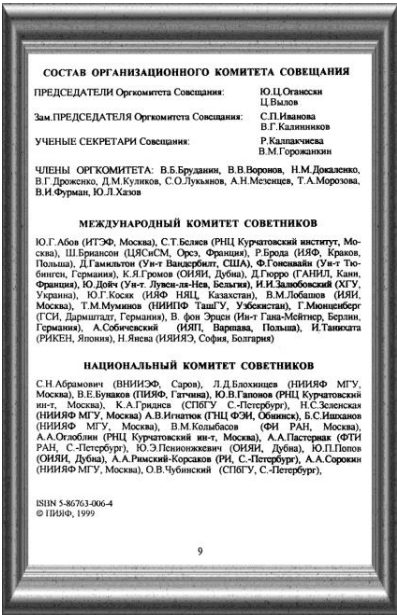
6. В работе впервые систематически проанализированы сходства и различия тепловой и динамической (на тяжелых ионах) мультифрагментации. Ценность этого анализа в том, что такое сравнение позволяет понять, как динамические эффекты в случае тяжелоионных соударений влияют на процесс мультифрагментации. Показано, что они проявляются в распределениях по множественности и заряду фрагментов и в их энергетических спектрах, что затрудняет извлечение термодинамических характеристик горячего ядра.

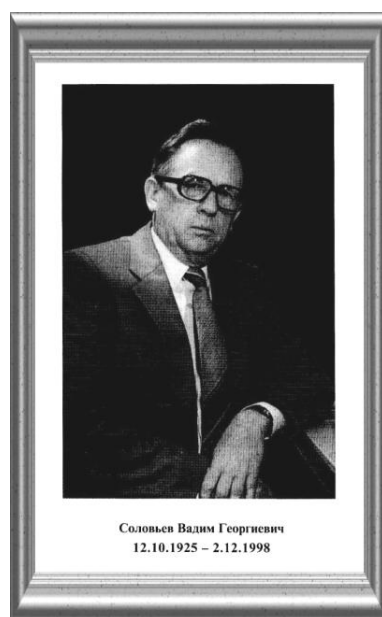
Работы этого цикла выполнены на мировом уровне и были представлены на многих международных конференциях.



В. А. Карнаухов и Х. Ойшлер

Международная конференция по ядерной физике «50 ЛЕТ ЯДЕРНЫМ ОБОЛОЧКАМ» Дубна, 21–24 апреля 1999 года





С 21 по 24 апреля в Дубне проходила Международная конференция по ядерной физике "50 лет ядерным оболочкам" (49-е совещание по ядерной спектроскопии и структуре ядра). Среди более чем двухсот участников конференции представители научных центров России, стран СНГ, Европы, США, Японии. Специальные квоты были выделены для молодых ученых – их, по оценкам оргкомитета, около 10 процентов. Организаторы конференции – РАН, Минатом РФ, ОИЯИ и Санкт-Петербургский ИЯФ им. Б. П. Константинова. В программу конференции традиционно включены доклады, посвященные ядерной спектроскопии и структуре ядра, различным аспектам ядерных оболочек в теории и эксперименте, современным взглядам на роль оболочек в понимании механизма ядерных процессов в наиболее актуальных областях физики ядра.



ЯДЕРНЫЕ ОБОЛОЧКИ — ВСЕГДА АКТУАЛЬНАЯ ТЕМА

Дубна: Наука. Содружество. Прогресс. 1999. 28 мая. №20(3459)

Материал подготовила Анна Алтынова

Как сообщалось, с 21 по 24 апреля в Дубне прошла Международная конференция по ядерной физике под названием "50 лет ядерным оболочкам". О том, что среди 200 участников форума были крупнейшие ученые и руководители многих ведущих физических центров всего мира, что здесь обсуждались актуальные вопросы современной ядерной физики и новые проекты, мы вкратце уже сообщали. Для более подробного рассказа газета предоставляет свои страницы самым участникам совещания.



Устойчивая, представительная и популярная

А. А. Оглоблин (РНЦ КИ, Москва): Эта конференция является традиционной российской (ранее – советской) и, насколько я могу судить, самой устойчивой из наших конференций по ядерной физике. Организованная в свое время Б. С. Дзелеповым как совещание по ядерной спектроскопии, она потом превратилась в национальную конференцию, и, хотя ее много критиковали, опыт показал, что этот форум — самый представительный и популярный все эти годы — и сегодня остается очень важным для физиков стран бывшего СССР. В этом году особенно хорошо представлены Казахстан и Украина, — и это первое, что нас радует. Второе обстоятельство, характерное для этого года, — придание конференции определенной тематической направленности. Связано это с 50-летием одного из важнейших открытий в области ядерной физики, когда Й. Йенсеном (J. H. D. Jensen) и М. Гёпперт-Майер была предложена оболочечная модель, за которую они получили Нобелевскую премию. С тех пор это открытие является основой современных знаний о строении ядра, потому естественно было посвятить конференцию этому научному юбилею.

Особенно приятно то, что наша конференция стала первой, на которой объявлено об одном из крупнейших, на мой взгляд, открытий последнего времени — синтезе 114-го элемента. Доклады руководителей экспериментов: Ю. Ц. Оганесяна, В. К. Утенкова, А. В. Еремина — очень убедительно продемонстрировали надежность результатов. У меня

нет сомнений, что все сделано правильно, аккуратно, и я хочу поздравить дубненских коллег с этим успехом. Это открытие будет иметь большое и далеко идущее значение, потому что впервые была получена достоверная информация о так называемом острове стабильности, к которому ученые всего мира шли многие десятилетия. Работы эти были инициированы Г. Н. Флеровым, и нынешний результат – лучший памятник ему от учеников и последователей. Хочу подчеркнуть одну особенность: предсказан был 114-й элемент на основе применения оболочечной модели, очень многое здесь было сделано советским теоретиком В. М. Струтинским, которого в ходе конференции тоже вспоминали не один раз. Очень хорошо, что это открытие сделано в России. Оно в очередной раз продемонстрировало: потенциал российских ученых очень велик. Для меня как представителя Курчатовского института это особенно приятно в том смысле, что Дубна "вышла" из нашего института, и мы рассматриваем дубненцев как братьев, наши научные (и не только) связи до сих пор очень тесные.

Теперь о наших работах. Одним из важных направлений в РНЦ КИ мы считаем сотрудничество с ЛЯР, и одна из работ, которую я здесь докладывал, сделана в коллаборации нашей с ОИЯИ. Со стороны ЛЯР важнейший вклад внесла С. П. Третьякова, которая фактически организовала методику исследования. Суть этой работы тесно связана с проблемой ядерных оболочек: она посвящена так называемой кластерной радиоактивности, обнаруженной лет 15 назад. Это явление занимает промежуточное место между альфа-распадом и спонтанным делением, когда из "материнского" ядра испускается фрагмент – легкое ядро. В изучении кластерной радиоактивности важно обнаружить как можно более тяжелый вылетающий фрагмент, и результат эксперимента, проведенного коллаборацией РНЦ КИ–ОИЯИ–Миланский университет, состоит в том, что нам удалось обнаружить самое тяжелое "материнское" ядро, которое испускает этот фрагмент: кюриев-242 распадается с выделением ядра кремния-34 (это достаточно тяжелое ядро, приближающееся к осколкам спонтанного деления). Нам удалось установить некоторые закономерности, описывающие это явление и проливающие свет на то, каким образом происходит распад тяжелых ядер.

Что касается экспериментов на ускорителях, мы в последние годы перенесли целый ряд работ за границу и создали эффективные коллаборации с Японией, Германией, Финляндией, причем они отличаются тем, что исследования здесь ведутся по нашим идеям (по сути — как ни цинично это звучит, — мы ставим эксперименты за чужой счет). Одна из этих эффективно работающих коллабораций — с РИКЕН (Токио): сегодня там есть уникальные возможности по получению радиоактивных пучков, мы изучаем экзотические ядра, имеющие очень большой избыток нейтронов. Один из наших докладов на конференции в Дубне посвящен результату, полученному несколько лет назад, когда мы обнаружили ядро гелия-10 с двумя протонами и восьмью нейтронами: такое соотношение наблюдается в нейтронных звездах, то есть здесь прослеживается связь ядерной физики с астрофизикой. А те работы, которые были сделаны в последние месяцы, связаны с исследованием структуры ядра гелия-7 (с двумя протонами и пятью нейтронами), и нам удалось получить новые неожиданные данные о его структуре. Получены очень предварительные данные о том, что, может быть, существуют уникальные нестабильные ядра водорода-7, в которых 1 протон удерживает 6 нейтронов. Указание на это получено, но будет еще проверяться. По этой тематике мы также предполагаем провести совместные эксперименты в Дубне, в ЛЯР. Это другой пример нашего сотрудничества с ОИЯИ. Я надеюсь, оно будет развиваться. По крайней мере, основу этого мы заложили.

Оболочечная модель претерпела изменения

Ю. Э. Пенионжkevич (ОИЯИ, Дубна): Влияние оболочечных эффектов на свойства ядер оказалось настолько существенным, что в последние годы практически все характеристики ядерной материи описываются с использованием оболочечных моделей.

Между тем простые представления об оболочках как проявлении магических чисел претерпели существенные изменения. В области трансфермиевых ядер были обнаружены так называемые деформированные оболочки, которые оказали стабилизирующие эффекты на стабильность ядер в районе $Z=110$. Совсем недавно в области легких ядер было обнаружено, что ядра с магическим числом нейтронов ($N=20$), которые по всем общепринятым моделям должны быть сферическими, оказались сильно деформированными (например, $Mg-32$), но при этом деформация так же, как и в области тяжелых ядер, существенно повышает их стабильность. В связи с этим нами совместно с научными центрами ГАНИЛ (Франция) и РИКЕН (Япония) были проведены эксперименты по синтезу новых ядер за границами нуклонной стабильности, предсказываемой с учетом обычных оболочечных моделей. Таким образом, были обнаружены новые супернейтроноизбыточные изотопы фтора, неона, магния и алюминия. Выяснилось, что характеристики этих ядер существенно отличаются от того, что предсказывалось обычными оболочечными моделями, в частности спин и четность энергетических уровней.

Так, была обнаружена между нейтронными оболочками $N=20$ и $N=28$ новая "область инверсии" ядер. Об этих наглядных результатах совместных исследований было доложено на конференции в докладе доктора Д. Гиймо-Мюллер из Орсе (Франция) и в моем сообщении. На этом примере видна колоссальная роль оболочек в изменении свойств ядерной материи, и знание их особенностей позволяет делать экстраполяции в совсем экзотические области ядер (например, ядра лития-14, бериллия-16, кислорода-28 и др.), что имеет важное значение не только для ядерной физики, но и для астрофизики. Эксперименты по изучению необычных свойств супернейтроноизбыточных ядер легких элементов мы предполагаем продолжить в Дубне, а также в ГАНИЛ и РИКЕН. Во время конференции мы договорились о проведении большого сеанса на ускорителе ГАНИЛ с использованием уникального пучка дорогостоящего изотопа серы-36, а также частей крупных европейских установок "Шато де Кристалл" и "Еврогамм".



В Дубну приезжаю часто

Д. Воген (Университет Бергена, Норвегия): Как координатор теоретической коллаборации "Россия–Нордик–Бритиш" и координатор гранта ИНТАС, полученного нашим университетом и Лабораторией ядерных реакций ОИЯИ, я часто бываю в Дубне. На этой конференции в моем докладе представлены полученные недавно совместно с

коллегами из Дубны результаты в разработке теории ядерных гало. В связи с открытием 114-го элемента используемые здесь модели претерпели определенные изменения. В ЛЯР проводятся фундаментальные эксперименты в этой области, что позволяет проверить наши теоретические предположения, — потому уже много лет наше сотрудничество с Дубной остается таким тесным.

Что бывает при взрывах сверхновых звезд

С. Г. Кадменский (Воронежский государственный университет): Сейчас мы работаем над очень интересной тематикой, которая в определенном смысле пересекается с тематикой 114-го: мы изучаем свойства ядер по мере их удаления от области стабильности. Когда ядра сильно нейтронодефицитны (их, разумеется, в природе не существует), они протонно-радиоактивны. Эксперименты с такими ядрами сегодня проводятся в лабораториях всего мира. Синтезировать очень короткоживущее сильно нейтронодефицитное ядро и наблюдать его распад — это довольно сложные эксперименты: сейчас обнаружено 35 таких ядер. Существующая теория позволяет, используя экспериментальные данные, получить информацию о структуре ядер, очень далеко находящихся от границ стабильности. Это очень интересные работы, и они подтверждают, что наши теории, созданные для области стабильности ядер, прекрасно работают и при переходе в такие области существования ядер, которые раньше были недоступны. Согласно теории такие ядра рождаются при взрывах сверхновых звезд. Это граница существования элементов в природе "по ту сторону стабильности".

Новое — это хорошо забытое старое

Ф. Ф. Карпешин (ИЯФ СПбГУ): Наши исследования связаны с развитием очень традиционного направления в ядерной физике — конверсионными процессами. Нам удалось найти что-то новое в этом, можно сказать, древнем процессе применительно к современным экспериментам с практически полностью "ободранными" ядрами, которые проводятся сейчас на ускорителях во Франции, Германии, Португалии, — с учеными этих стран мы сейчас очень тесно сотрудничаем. Надо отметить, что достижения нашей научной группы являются в определенной степени продуктом "петербургской школы" в области ядерной конверсии, начиная еще с Л. А. Слива, поразившего в 50-х годах своими результатами весь научный мир, и включая наработки последних десятилетий, сделанные по программам ЛГУ и ИИЯФ. В какой-то степени наши нынешние коллаборации, гранты, поездки — результат "везения", встреч и контактов с коллегами на международных конференциях. Видимо, умение работать, выживать в любых условиях — это сугубо российская участь...

Приглашает "Мартышкинский" университет

Е. П. Григорьев (СПбГУ): Не так давно естественно-научные факультеты нашего университета были территориально перенесены в Петергоф. Если добираться электричкой, то удобнее выходить на предыдущей станции, которая носит название Мартышкино. Конечно, в студенческой и отчасти преподавательской среде тут же появилось новое название — "Мартышкинский университет". В зависимости от ситуации — в этом шутка, или эпатаж, или сарказм — даже и я порой не удерживаюсь от того, чтобы поименовать себя "профессором Мартышкинского университета". Я — участник, наверное, трех четвертей этих конференций, надеюсь дожить до 50-й, юбилейной, которая состоится через год (дожить — в прямом смысле, без тени иронии: в последние годы сообщество моих сверстников сильно поредело). Тем более следующая конференция будет проводиться в Петергофе. Председатель оргкомитета — заведующий кафедрой ядерной физики нашего

университета К. А. Гриднев предполагает назначить ее на июнь и часть заседаний провести в верхнем или нижнем парке Петродворца...

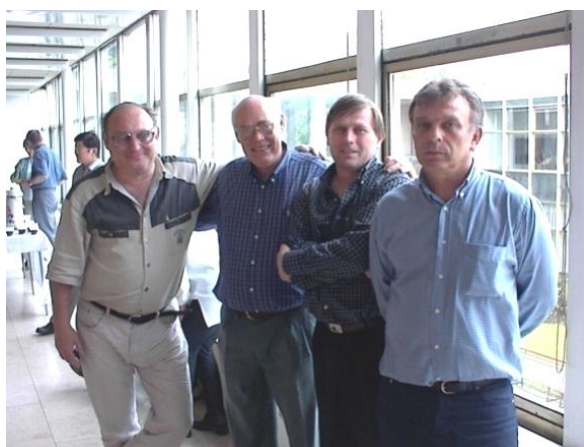


За рамками программы

Обычно здесь — в кулуарах — происходят не менее интересные дискуссии, далеко выходящие за рамки научной программы. Одна из таких дискуссий, как мне показалось, просто не может быть не упомянута. Началом ее послужило высказанное во время одного из выступлений предложение Д. Герро, директора французской лаборатории ГАНИЛ: чтобы усыпить бдительность "зеленых", весьма активно протестующих против всего, что обозначается понятием "ядерный", использовать вместо этого дискредитировавшего себя слова другие, более безобидные. Например, "изучение строения вещества", "исследования материалов", "фундаментальные исследования материи" и т. п. Во время заседания, по понятным причинам, разговор на эту тему не мог быть развернут. Но в перерыве прозвучало небезосновательное, видимо, предположение о том, что нефтяные магнаты субсидируют движение "зеленых" против широкого внедрения ядерных технологий именно с целью продлить свою "энергетическую монополию". В то время как отходы тепловых электростанций или химических производств зачастую гораздо опаснее тех, что дают АЭС.

Еще за рамками программы стояла невиданная для апреля жара, все залы и холлы ДМС отличались духотой, стремление "на воздух" было в перерывах доминирующим — и тут бы так кстати оказались самые примитивные скамьи на площадке перед входом. Но их там, как все мы знаем, нет — так что народ устраивался для внелекционных дискуссий и бесед как мог. А нам лишь остается надеяться, что "малые формы" (ну, то есть скамейки) вскоре дополнят архитектурный ансамбль ДМС.

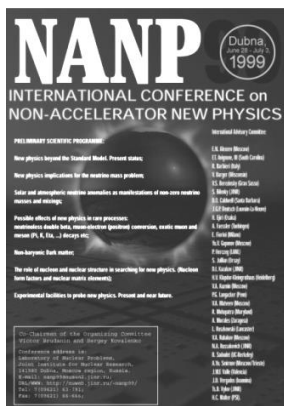
**Рабочее совещание
NEMO-3**
Прага, 17–19 июня 1999 года



NANP-1999

НА ПУТИ К ПЛАНКОВСКИМ МАСШТАБАМ

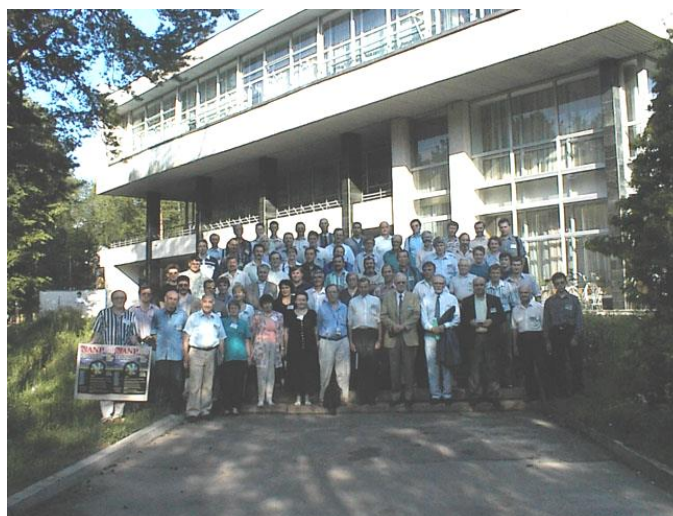
Дубна, 20 июня –3 июля 1999 года



Рабочее совещание

NANPino-2000

Дубна, 19–22 июля 2000 года



В соответствии с планом международного сотрудничества ОИЯИ усилиями Лаборатории ядерных проблем (в лице местного оргкомитета: С. Г. Коваленко, В. А. Беднякова, В. Б. Бруданина, А. А. Смольникова, В. Э. Коваленко, Е. А. Якушева) с 19 по 22 июля в Дубне проводилось международное рабочее совещание «Non-accelerator new physics in neutrino observations» (NANPino), или «Неускорительная новая физика в нейтринных наблюдаемых».

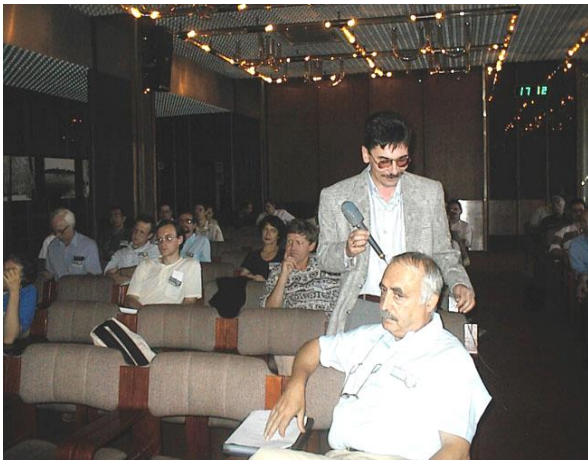
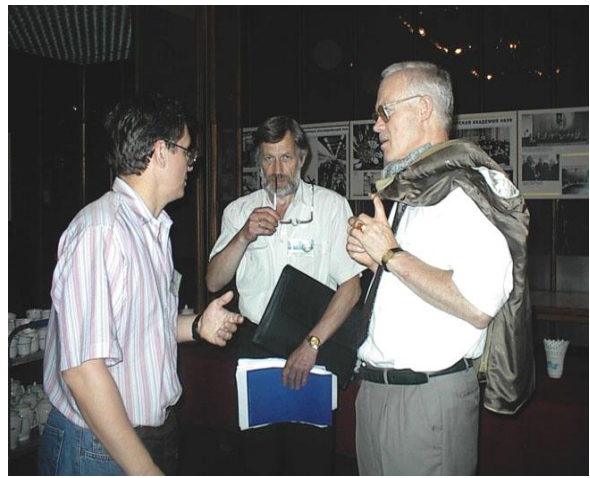
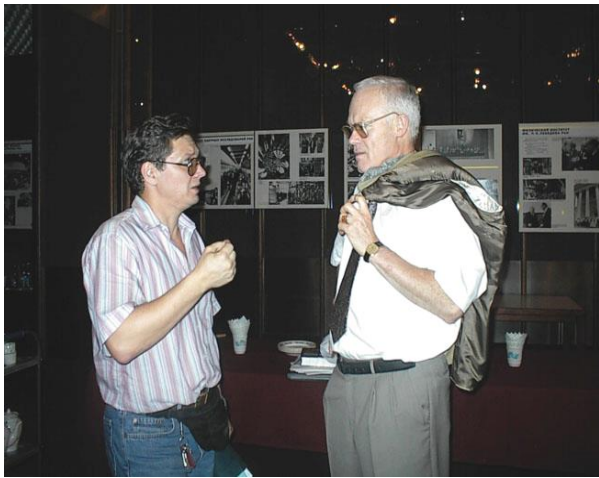
Рабочее совещание проводилось при поддержке ОИЯИ, ИЯИ РАН и ЮНЕСКО.

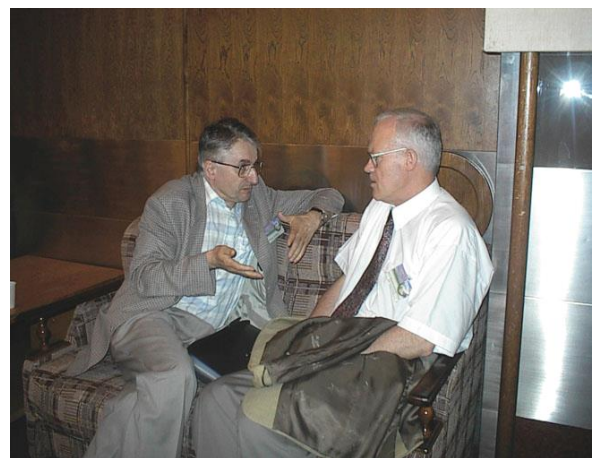
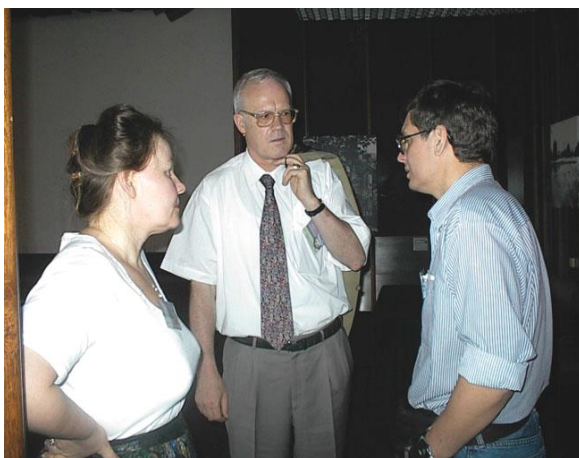
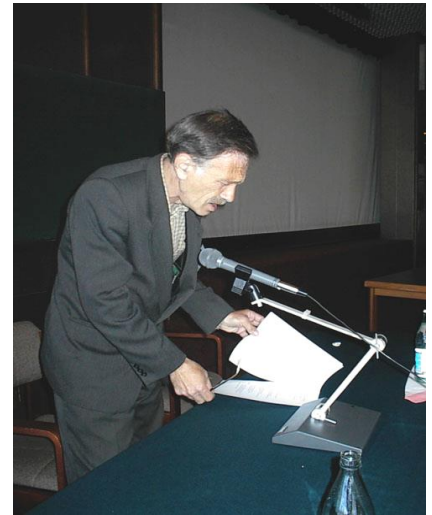
Цель конференции — обсудить (в России) современное состояние нейтринной физики с учетом недавних экспериментов, свидетельствующих о наличии у нейтрино как ненулевых масс, так и необычайно сильного смешивания различных нейтринных ароматов. Ситуация в данной области кардинально изменилась за прошедший год и продолжает быстро развиваться в направлении теоретического осмысления этих результатов и их всесторонней проверки. Среди основных тем конференции — проблема массы и смешивания нейтрино, нейтринные осцилляции, солнечные и атмосферные нейтрино, безнейтринный двойной бета-распад и другие редкие процессы, небарионная темная материя во Вселенной.



Это третья конференция в серии конференций по «неускорительной новой физике», проходящих один раз в два года. Она собрала более 100 участников. Предыдущие конференции получили широкий резонанс в мире. Они собирают многих известных российских и зарубежных ученых, работающих в области космологии, физики элементарных частиц и ядра, теоретиков и экспериментаторов. Данное направление уже прочно заняло подобающее место в потоке самых престижных конференций, проводимых в Дубне ежегодно. На этих конференциях обсуждаются современные направления физики частиц, связанные в первую очередь с выходом за рамки Стандартной модели электрослабых взаимодействий в области так называемой неускорительной физики, включающей поиск редких распадов, темной материи и т. д.

Серия конференций NANP в известном смысле наследует зародившуюся было в 1990 г. традицию проведения в Дубне совещаний по так называемой современной низкоэнергетической физике, первым из которых была школа «LEWI» («Low-energy weak interactions», 1990) и затем «WEIN-92» («Weak and electromagnetic interactions in nuclei»). Главным предметом обсуждения на этих конференциях были более или менее традиционные направления физики: слабые и электромагнитные, а также ядерные взаимодействия при низких энергиях в основном в рамках Стандартной модели. Вопросы физики за ее рамками затрагивались тогда лишь незначительно. За прошедшее время ситуация изменилась очень сильно как в самой физике, так и вокруг нее (по крайней мере, в стране пребывания ОИЯИ).







Члены ПКК по ядерной физике. 22 ноября 2000 года

2000 г. В области экспериментальной физики. Первая премия

*В. М. Быстрицкий, В. М. Гребенюк, В. А. Столупин, Ф. М. Пеньков, С. С. Паржицкий,
В. М. Быстрицкий, Г. А. Месяц, Н. А. Ратахин, Я. Возняк, М. Филипович*

«ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ МЕЖДУ ЛЕГКИМИ ЯДРАМИ В ОБЛАСТИ УЛЬТРАНИЗКИХ ЭНЕРГИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЙНЕРНОЙ ПЛАЗМЫ»

Представленный цикл работ по проекту LESI посвящен изучению реакций между легкими ядрами в области ультранизких энергий ($\sim$ кэВ) – исследованию зависимостей астрофизических S -факторов и эффективных сечений dd , pd , $d^{3,4}\text{He}$, $d^{6,7}\text{Li}$ -реакций от энергии столкновения частиц во входном канале.

Интерес к изучению сильных взаимодействий в указанной области энергий обусловлен не только возможностью проверки фундаментальных симметрий (зарядовой, изотопической инвариантности), но и необходимостью разрешения ряда проблем, существующих в астрофизике. Кроме того, появляется реальная возможность получения информации о вкладе во взаимодействие обменных мезонных токов, о величине эффекта экранировки ядер, о характере нуклон-нуклонного потенциала, а также о масштабе эффекта Оппенгеймера-Филлипса.

Экспериментальное исследование ядерных реакций (dd , pd , $d^{3,4}\text{He}$, $d^{6,7}\text{Li}$) в области ультранизких энергий столкновения ($\sim$ кэВ) с использованием классических ускорителей весьма проблематично, т. к. интенсивность пучков заряженных частиц и сечения изучаемых процессов крайне малы ($\sigma \approx 10^{-35} - 10^{-43} \text{ см}^2$).

Для получения необходимой информации о характеристиках данных реакций в указанной выше области энергий нами был предложен новый подход к решению данной проблемы, заключающийся в использовании высокоинтенсивных радиально конвергируемых ионных потоков, генерируемых в течение имплозии лайнерной плазмы. При этом интенсивность потока ускоренных ионов достигает $10^{20} - 10^{21}$ частиц в импульсе.

Работы по проекту LESI проводятся в коллаборации ОИЯИ–ИЭФ РАН (Екатеринбург)–ИСЭ СО РАН (Томск)–UCI (Ирвайн, США)–ФФЯТ (Краков, Польша)–ИЯФ (Краков, Польша)–LLNL (США).

Основные результаты исследований, полученные в период с 1996 г. по 2000 г.:

1. Предложен новый метод исследования сильных взаимодействий между легкими ядрами в области ультранизких энергий столкновения ($\sim$ кэВ), базирующийся на использовании лайнерной плазмы в схеме “прямого” и “инверсного” Z-пинча.

2. Впервые измерены значения астрофизического S -фактора для dd -реакции при энергиях столкновения дейтронов 1,8, 2,06 и 2,27 кэВ.

3. Впервые экспериментально определены верхние граничные значения эффективных сечений dd -реакции при энергиях столкновения дейтронов 0,05–2,3 кэВ.

4. Впервые измерены основные характеристики дейтериевого лайнера, разогнанного в схеме “инверсного” Z-пинча до скоростей $7,2 \cdot 10^7$ см/с.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение предложенной нами методики исследования сильных взаимодействий в области ультранизких энергий столкновения с использованием лайнерной плазмы является перспективным направлением, позволяющим осуществить изучение ядерных реакций между легкими ядрами в области энергий, недоступной при использовании классических ускорителей.

2001–2005. Тема «Исследование фундаментальных взаимодействий в ядрах при низких энергиях»

(В. Б. Бруданин)

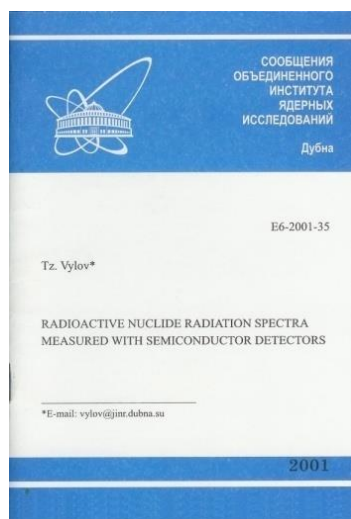
- Исследование фундаментальных взаимодействий в ядрах при низких энергиях.
- Исследование феноменологии суперсимметрии в проблеме массы нейтрино, в редких распадах и космологии.
- Исследование 2β -распада.
- Спектроскопия ядер, удаленных от полосы бета-стабильности.
- Развитие новых методов регистрации заряженных и нейтральных частиц.

20 марта 2001 года

Tz. Vylov, G.-J. Beyer, S. Batsev, V. B. Brudanin, V. M. Gorozhankin, Zh. Zhelev, A. I. Ivanov, R. B. Ivanov, A. H. Inojatov, V. G. Kalinnikov, M. Ya. Kuznetsova, N. A. Lebedev, M. A. Mikhailova, M. Milanov, A. I. Muminov, A. F. Novgorodov, Yu. V. Norshev, Sh. Omanov, B. P. Osipenko, E. K. Stepanov, N. I. Rukhadze, K. Thieme, V. G. Chumin, A. F. Shchus, Yu. V. Yushkevich

RADIOACTIVE NUCLIDE RADIATION SPECTRA MEASURED WITH SEMICONDUCTOR DETECTORS

Сообщение ОИЯИ Е6-2001-35. Дубна, 2001



Сообщение ОИЯИ



Ц. Вылов, М. Г. Кекелидзе (ОИЯИ) и Н. Курсь (Сакле)

В период с 1970 по 1985 год в ОИЯИ проводилась работа по измерению, обработке и анализу спектров излучений радионуклидов, измеренных с помощью полупроводниковых детекторов (ППД). Результаты исследования 261 радионуклида (750 аппаратурных спектров) опубликованы в двух частях Атласа и в монографии.

— Ц. Вылов, Г. Ю. Байер, В. М. Горожанкин, Ж. Желев, А. И. Иванов, Р. Б. Иванов, В. Г. Калинин, М. Я. Кузнецова, Н. А. Лебедев, М. А. Михайлова, А. И. Муминов, А. Ф. Новгородов, Ю. В. Норсеев, Ш. Оманов, Б. П. Осипенко, Э. К. Степанов, К. Тиме, В. Г. Чумин, А. Ф. Щусь, Ю. В. Юшкевич. Спектры излучений радиоактивных нуклидов, измеренные с помощью полупроводниковых детекторов. ZFK-399, Dresden, 1980;

— Ts. Vylov, G.-J. Beyer, S. Batsev, V. B. Brudanin, V. M. Gorozhankin, A. I. Ivanov, A. H. Inojatov, V. G. Kalinnikov, N. A. Lebedev, M. Milanov, A. F. Novgorodov, B. P. Osipenko, N. I. Rukhadze, K. Thieme, V. G. Chumin. Spectra of radioactive nuclides radiation measured with semiconductor detectors (Part II). ZFK-505, Dresden, 1983.

— Ц. Вылов, В. М. Горожанкин, Ж. Желев, А. И. Иванов, Р. Б. Иванов, В. Г. Калинин, М. Я. Кузнецова, Н. А. Лебедев, М. А. Михайлова, А. И. Муминов, А. Ф. Новгородов, Ю. В. Норсеев, Ш. Оманов, Б. П. Осипенко, Э. К. Степанов, В. Г. Чумин, А. Ф. Щусь, Ю. В. Юшкевич. Спектры излучений радиоактивных нуклидов. Ташкент: ФАН, 1980.

Настоящая работа является электронной версией Атласа, в которую дополнительно включены 150 аппаратурных спектров для 25 радионуклидов.

Приведены 900 аппаратурных спектров альфа-, бета- и гамма-излучений для 286 радионуклидов, измеренных с помощью полупроводниковых детекторов.

Отметим, что Атлас аппаратурных спектров излучений радионуклидов был создан более 25 лет назад в рамках программы ЯСНАПП (ядерная спектроскопия на пучке протонов). Бесспорно, с точки зрения современной техники он мог бы быть издан в более практичной форме и презентабельнее, с сохранением всей цифровой информации. К сожалению, такой программы, как ЯСНАПП, уже не существует, а значит, отсутствует возможность применения дорогих протонных пучков и соответствующих радиохимических и масс-сепараторных методик разделения изотопов. Поэтому многие спектры являются уникальными, и вряд ли когда-нибудь будет возможность измерить их в таких же условиях.

Электронная версия Атласа сделана с большой помощью М. Г. Кекелидзе.



Ц. Вылов и М. Г. Кекелидзе



В. М. Горожанкин и М. Г. Кекелидзе

Справка по проекту МЦИРИ

Исследовательская пилотная установка МЦИРИ для получения стабильных изотопов методом ионно-циклотронного резонансного нагрева в плазме

Проект МЦИРИ

А. Р. Бабичев, Д. А. Долголенко, А. И. Карчевский, В. С. Лазько, Ю. А. Муромкин,
В. Г. Пашковский, Е. П. Потанин
(РНЦ «Курчатовский институт», Институт молекулярной физики (Москва)),
О. П. Анашкин, В. Е. Кейлин, И. А. Ковалев
(РНЦ «Курчатовский институт», Институт сверхпроводимости
и физики твердого тела (Москва)),
Ю. Г. Аленицкий, В. Б. Бруданин, В. М. Горожанкин, В. Г. Егоров, В. В. Калининченко,
В. И. Пряничников, А. А. Смольников
(Объединенный институт ядерных исследований,
Лаборатория ядерных проблем (Дубна))
Руководитель проекта — А. И. Карчевский
Зам. руководителя проекта — В. Б. Бруданин

Стабильные изотопы в настоящее время находят широкое применение в качестве исходных материалов для задач фундаментальной физики, для решения проблем безопасности и повышения производительности атомной энергетики, для создания радиоактивных препаратов в медицине и радиохимии.

Ряд крупных международных коллабораций по фундаментальной ядерной и нейтринной физике планируют начало экспериментов с использованием изотопов Са-48, Ge-76, Мо-100, Хе-136, Nd-150 в количестве сотен кг. Потребности ядерной физики в таких изотопах, как Gd-157, Er-167, Yb-168, могут в ближайшие годы достичь сотен кг в год, а потребности в Pd-102, используемом для получения медицинских препаратов, уже сейчас составляют десятки г/год.

Наиболее широкий ассортимент стабильных изотопов можно получить сейчас в основном на электромагнитных сепараторах и с помощью газовых центробежных машин. Электромагнитные сепараторы хотя и универсальны, но имеют очень низкую производительность и требуют чрезвычайно высоких энергетических затрат. Что касается производства стабильных изотопов с помощью гибкой высокопроизводительной центробежной технологии, то оно возможно лишь для тех элементов (их всего около 20), которые имеют газообразные соединения при комнатной температуре.

Поэтому существующие промышленные методы не могут удовлетворить возрастающие потребности в стабильных изотопах, а получение некоторых изотопов в требуемых (порядка кг и более) количествах просто невозможно (кальций (Ca), палладий (Pd), гадолиний (Gd), таллий (Tl), неодим (Nd) и др.).

В настоящее время активно исследуются и разрабатываются два новых перспективных подхода к решению проблемы разделения изотопов: лазерный метод разделения в парах металлов (ALVIS) и изотопически селективный ионно-циклотронный резонансный (ИЦР) нагрев ионов в плазме. Оба метода активно разрабатывались в применении к крупномасштабной технологии разделения изотопов урана. Но вряд ли они смогут конкурировать с экономичной и высокотехнологичной промышленностью газовых центробежных каскадов. Однако по отношению к другим стабильным изотопам, масштабы производства которых не столь велики, как масштабы урановой промышленности, указанные технологии имеют существенные преимущества, если сравнивать их с промышленным электромагнитным методом.

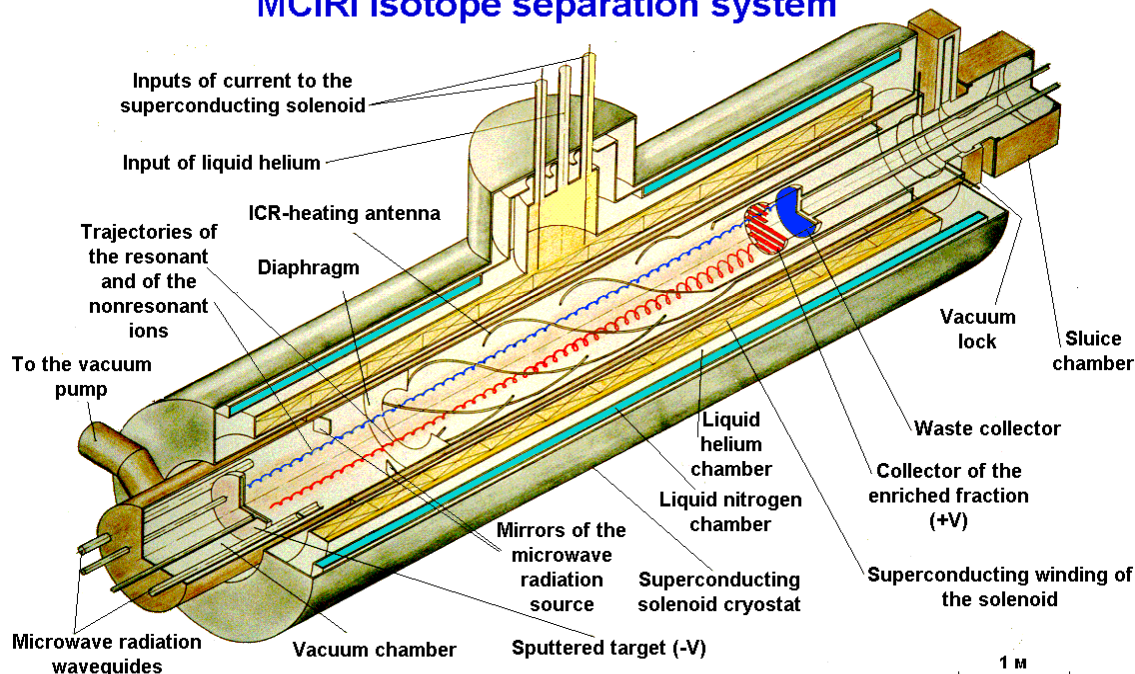
Что касается плазменного ИЦР-метода, то при создании крупной экспериментальной ИЦР-установки и, что особенно следует иметь в виду, при внедрении ИЦР-метода в промышленность необходимо будет использовать уже разработанные и освоенные промышленностью (в том числе и российской) новейшие технологии (сверхпроводящие магнитные системы, генераторы СВЧ- и ВЧ-излучения, вакуумную технологию).

Использование электронейтральных потоков плазмы разделяемого элемента позволяет в сотни и больше раз превзойти массовые потоки, которые достижимы в электромагнитных сепараторах. В ИЦР-устройстве коэффициент разделения изотопов в одной ступени остается достаточно большим и исчисляется десятками (20–40). Экономические оценки показывают, что ИЦР-процесс может снизить стоимость продукции в десятки раз по отношению к стоимости изотопов, получаемых на электромагнитных сепараторах.

Установка МЦИРИ (магнитный циклотронный ионный резонанс изотопов) предназначена для исследовательского разделения стабильных изотопов путем изотопически селективного ИЦР-нагрева ионов целевого изотопа в плазменном потоке. Проект пилотной исследовательской установки МЦИРИ разработан при поддержке Европейского сообщества в рамках МНТЦ (проект 0830-99, <http://www.istc.ru>).

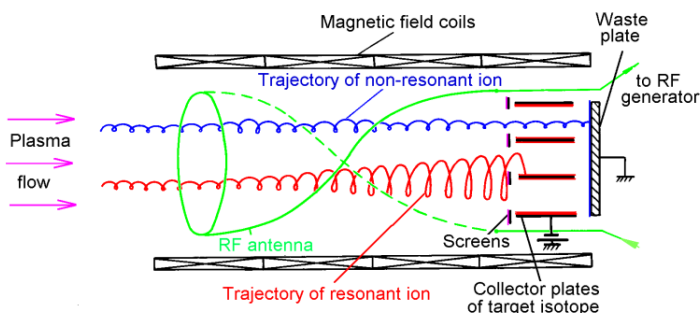
На 14-й сессии Программно-консультативного комитета ОИЯИ по ядерной физике (ПКК) (23–24 апреля 2001 года) был рассмотрен совместный проект МЦИРИ (ОИЯИ и ИМФ Российского научного центра «Курчатовский институт») по получению редких стабильных изотопов методом ионно-циклотронного резонансного нагрева в плазме. ПКК отмечает насущную потребность в больших количествах разделенных редких изотопов для фундаментальных исследований, например по физике нейтрино. ПКК поддерживает этот проект и рекомендует дирекции ОИЯИ рассмотреть условия реализации этого проекта в ОИЯИ.

MCIRI isotope separation system



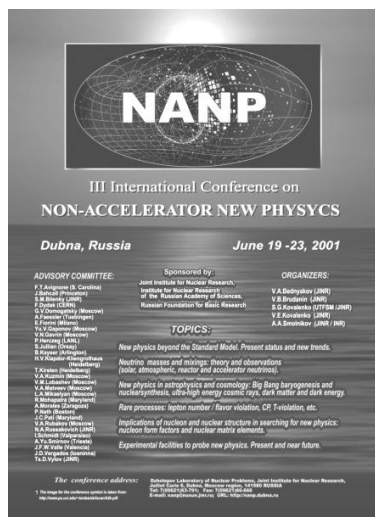


А. И. Карчевский



NANP-2001

Международная конференция «НОВАЯ ФИЗИКА В НЕУСКОРИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ» Дубна, 19–23 июня 2001 года



19–23 июня в Дубне проходила 3-я Международная конференция «Новая физика в неускорительных экспериментах» (NANP'01).

Цель конференции — обсуждение современного состояния исследований в области так называемой новой физики, ожидаемой за пределами Стандартной модели (СМ) электрослабых взаимодействий. Основное внимание участников было уделено возможным проявлениям новой физики в неускорительных экспериментах. Круг связанных с этим теоретических проблем охватывает различные расширения СМ, включающие суперсимметрию и великое объединение фундаментальных взаимодействий, а также космологические аспекты физики элементарных частиц.

Среди основных тем совещания — проблема массы и смешивания нейтрино, нейтринные осцилляции, солнечные и атмосферные нейтрино, безнейтринный двойной бета-распад и другие редкие процессы, небарионная темная материя во Вселенной.

Научная программа конференции содержала как теоретические аспекты новой физики, так и проблемы ее экспериментального наблюдения, обсуждались соответствующие стратегии поиска, экспериментальные методики действующих и планируемых экспериментов, современные подходы к учету ядерной и адронной структуры в редких процессах и связанные с этим вопросы выделения эффектов новой физики.



Е. Молчанов

НЕЙТРИННЫЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ:

ИДЕЯ ПОДТВЕРЖДЕНА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО

Дубна: Наука. Содружество. Прогресс. 2001. 6 июля. №28 (3566)

Излишне говорить, что далеко не всякая теоретическая идея находит свое экспериментальное подтверждение. Скорее, наоборот. Если же идея затрагивает самые основы наших физических представлений, то ее экспериментальное подтверждение становится настоящей сенсацией, которая способна взбудоражить не только научную общественность, но и гораздо большую часть цивилизованного человечества, связывающего свое будущее с научно-техническим прогрессом. Так случилось с нейтринными осцилляциями – идеей, выдвинутой Бруно Понтекорво более 40 лет назад и недавно подтвержденной экспериментально. Скептики могут говорить, что экспериментальная статистика еще недостаточна, что есть некоторые неопределенности в обработке данных, но наблюдающиеся в детекторах частиц события столь явственно свидетельствуют об осцилляциях нейтрино, что подобные сомнения уже не могут поколебать убежденность большинства физиков в том, что экспериментальное открытие этого явления является уже свершившимся фактом.

Об этих и других важных событиях, происшедших в физике элементарных частиц за последнее время, шла речь на недавно завершившейся в Дубне Третьей Международной конференции по неускорительной новой физике (NANP-2001), организованной Лабораторией ядерных проблем ОИЯИ в сотрудничестве с ИЯИ РАН. Именно в Лаборатории ядерных проблем работал академик Бруно Понтекорво, и именно здесь он впервые предложил идею нейтринных осцилляций. Лаборатория ядерных проблем и по сей день является одним из общепризнанных научных центров, где нейтринная проблематика и связанные с ней проблемы слабых взаимодействий изучаются как экспериментально, так и теоретически.

Оргкомитет NANP-2001 — а это Виктор Бруданин, Вадим Бедняков, Сергей Коваленко, Анатолий Смольников и Вера Коваленко (ученый секретарь) — сделали немало для успеха конференции, но, по признанию самих организаторов, успех конференции определили ее участники и представленные ими интереснейшие и даже сенсационные доклады...

Доклад канадского ученого доктора Жака Ферайна (Jacques Farine) из ванкуверского Университета Виктории о последних результатах, полученных в нейтринной обсерватории в Садбери (SNO), стал подлинной научной сенсацией. Это было одно из первых официальных сообщений об открытии, сделанном в SNO. А незадолго до того по просочившимся в прессу предварительным данным об этом открытии сенсация прошумела

в западных массмедиа – в центре внимания прессы и научного мира снова оказались таинственные нейтрино и их осцилляции...





Из годового отчета ОИЯИ за 2001 год (Дубна, 2002. С. 82)

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

На ISOL-комплексе ЯСНАПП с помощью современных спектрометров с полупроводниковыми детекторами в онлайн-режиме исследовался радиоактивный распад ряда короткоживущих нуклидов в переходной области (от $^{146}\text{Gd}_{82}$ к сильнодеформированным с $N > 90$). Измерены силовые функции β -распада нечетных изотопов $^{147,149,151}\text{Tb}$. Всесторонне изучена структура ядра $^{156}\text{Ho}_{89}$, у которого наблюдались пять изомерных состояний (с $T_{1/2} > 10$ с). В офлайн-режиме изучен распад нейтронодефицитных изотопов Ho с $A = 156, 158, 160$, а также ^{152}Tb . Методами $\alpha\gamma$ - и $\gamma\gamma$ -совпадений построены схемы ядерных уровней, возбуждаемых при α -распаде Fr и β -распаде Bi и ^{209}Pb . Обнаружены новые, слабые ветви α -распада ^{211}Po и ^{221}Fr .

На спектрометре ESA-50 обнаружен по электронам конверсии низкоэнергетический переход 10,6 кэВ, весьма существенный в схеме распада ^{225}Ac .

Проведены прецизионные исследования спектров низкоэнергетических электронов из распада ^{57}Co , ^{73}As , ^{111}In , ^{155}Eu , ^{172}Lu , ^{241}Am , ^{241}Pu и ^{225}Ac .

Подтверждено сильное влияние релятивистских эффектов на формирование интенсивности KL_1L_2 ($^1\text{P}_0$)-перехода Оже. Впервые обнаружено влияние подложки радиоактивного источника на энергию конверсионных и оже-электронов. В исследовании

β -спектра ^{241}Pu на двух электростатических спектрометрах ESA-12 и ESA-50 получен верхний предел 0,40 % (95 % С.Л.) на примесь нейтрино с массой от 14 до 17 кэВ/с².

Определены скорости трансмутации радиоактивных мишеней (^{129}I , ^{237}Np , ^{239}Pu , ^{241}Am) пучком вторичных нейтронов, образующихся при облучении на синхрофазотроне ОИЯИ металлических мишеней Pb и U протонами с энергией 1,5, 3,7 и 7,4 ГэВ. Активационным методом определено пространственное распределение потока нейтронов.

Исследована структура ядер вблизи дважды магического ^{208}Pb . Обнаружена новая, слабая ($8 \cdot 10^{-6}$ на распад) ветвь α -распада ^{211}Po .

Завершены исследования $\alpha\gamma$ -совпадений при распаде ^{225}Ac . Ряд переходов, приписываемых ранее распаду Ac, не подтверждается. Обнаружен γ -переход 10,6 кэВ, который требовался для выполнения баланса интенсивностей.



Члены ПКК по ядерной физике думают о ЯСНАПП-2

Исследование двойного бета-распада в эксперименте NEMO-3

Лаборатория LSM, Модан, Франция, 12 июля 2002 года

В 2002 г. в подземной лаборатории LSM (Модан, Франция) закончены монтаж и настройка спектрометра NEMO-3, предназначенного для исследования 2β -распада изотопов ^{100}Mo (7,2 кг), ^{82}Se (1 кг), ^{116}Cd (0,6 кг), ^{130}Te (1,3 кг), ^{150}Nd (48 г), ^{96}Zr (20 г), ^{48}Ca (10 г). На установке NEMO-3 за несколько лет измерений планируется достичь чувствительности по двойному безнейтринному 2β -распаду на ^{100}Mo $T_{1/2}(0\nu\beta\beta - ^{100}\text{Mo})$ на уровне $5 \cdot 10^{24}$ лет, что соответствует массе нейтрино 0,1–0,4 эВ.

После настройки сцинтилляционной и гейгеровской частей спектрометра, проведения ряда энергетических и временных калибровок был осуществлен физический пуск установки.

12 июля 2002 г. в подземной лаборатории LSM состоялась официальная презентация NEMO-3, на которую, кроме самих участников эксперимента, были приглашены ведущие ученые и официальные представители научных центров разных стран, в том числе и России. В официальную делегацию ОИЯИ входили В. Г. Кадышевский, Ц. Вылов, П. Н. Боголюбов, А. В. Белушкин.

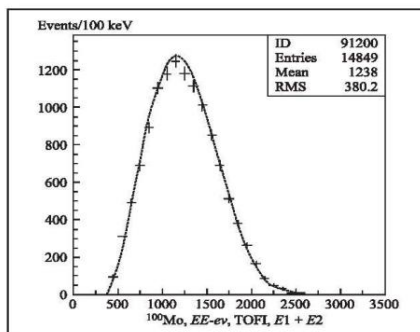
Осенью набор данных осуществлялся параллельно с доводкой спектрометра.

Предварительный анализ данных по ^{100}Mo за первые 700 ч работы дал следующие результаты:

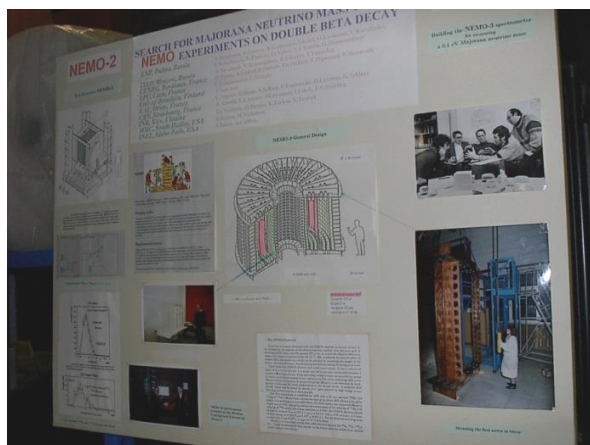
$$T_{1/2}(2\nu\beta\beta - ^{100}\text{Mo}) = 0,8 \pm 0,008 \text{ (стат.)} \pm 0,150 \text{ (сист.)} \cdot 10^{19} \text{ лет,}$$

$$T_{1/2}(0\nu\beta\beta - ^{100}\text{Mo}) > 1,2 \cdot 10^{23} \text{ лет (при уровне достоверности 90\%),}$$

$$T_{1/2}(0\nu\beta\beta\gamma - ^{100}\text{Mo}) > 6,4 \cdot 10^{21} \text{ лет (при уровне достоверности 90\%).}$$



Спектр $2\nu 2\beta$ -распада ^{100}Mo за 700 ч измерений в полностью смонтированной установке NEMO-3



Рабочие совещания NEMO-3



Аркашон, 30 января 1995 года



Прага, 27 сентября 1995 года



Страсбург, 17 марта 1997 года



Дубна, 17 сентября 1997 года



Олерон, 27 апреля 1998 года



Дубна, 14 октября 1998 года



Прага, 17 июня 1999 года



Оссуа, 15 декабря 2000 года



Оссуа, 10 декабря 2002 года



Дубна, 24 марта 2003 года



Аркашон, 21 октября 2003 года



Орсэ, 3 декабря 2003 года



Дубна, 8 июля 2004 года



Поиск β^- - и $\beta^-\beta^-$ -распада ^{48}Ca

А. Бакаляров, А. Балыш, А. Барабаш, Ш. Бриансон, В. Бруданин, В. Егоров, Ф. Юбер, Ф. Юбер, А. Ковалик, В. И. Лебедев, Н. Рухадзе, И. Штекл, В. Юматов, Ц. Вылов
Nucl. Phys. A700, 17 (2002)



Из годового отчета ОИЯИ за 2002 год (Дубна, 2003. С. 83–84)

Из радиационно-чистых конструкционных материалов создан низкофоновый спектрометр TGV-2 для изучения редких ядерных процессов — $0\nu\beta\beta$ - и $2\nu\beta\beta$ -распада ^{48}Ca и $2\nu 2K$ - и $0\nu 2K$ -захвата ^{106}Cd . Основу спектрометра составляют 32 планарных HPGe-детектора с общим чувствительным объемом около 400 см^3 (примерно 3 кг Ge), криогенная система, электронная система регистрации событий и система активной и пассивной защиты для подавления различных составляющих естественного радиационного фона.

Спектрометр смонтирован в подземной лаборатории LSM (Модан, Франция), расположенной на глубине 4800 м водного эквивалента. Измерения на низкофоновом 400

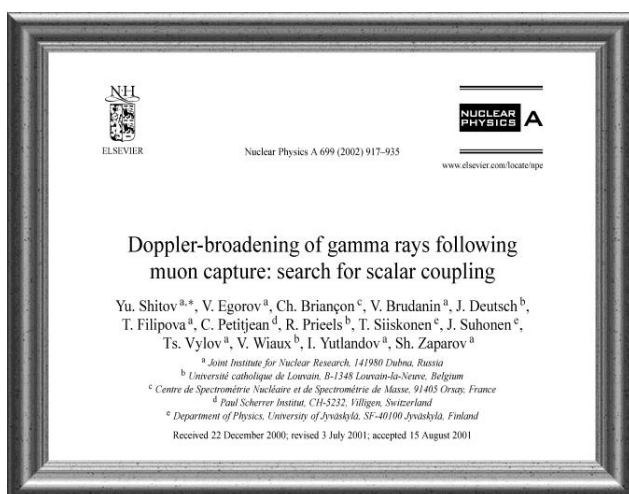
см³ HPGe-детекторе проводились с образцом из 24,6 г обогащенного ⁴⁸CaF₂ (около 10 г ⁴⁸Ca) в течение 1590 ч. По результатам этих измерений получены новые ограничения на простой β⁻-распад ⁴⁸Ca → ⁴⁸Sc и двойной β⁻-распад ⁴⁸Ca на возбужденные состояния дочернего ядра ⁴⁸Ti. Для β⁻-распада на основное состояние 6⁺, возбужденные состояния 5⁺ и 4⁺ ⁴⁸Sc получены соответственно пределы 1,6·10²⁰, 2,5·10²⁰ и 1,9·10²⁰ лет при уровне достоверности 90%. Для 2νββ-распада в ⁴⁸Ti на первый 2⁺, второй 2⁺ и первый 0⁺ возбужденные состояния верхние пределы составляют соответственно 1,8·10²⁰, 1,5·10²⁰ и 1,5·10²⁰ лет при уровне достоверности 90%.



Н. И. Рухадзе, В. Г. Егоров, А. В. Саламатин

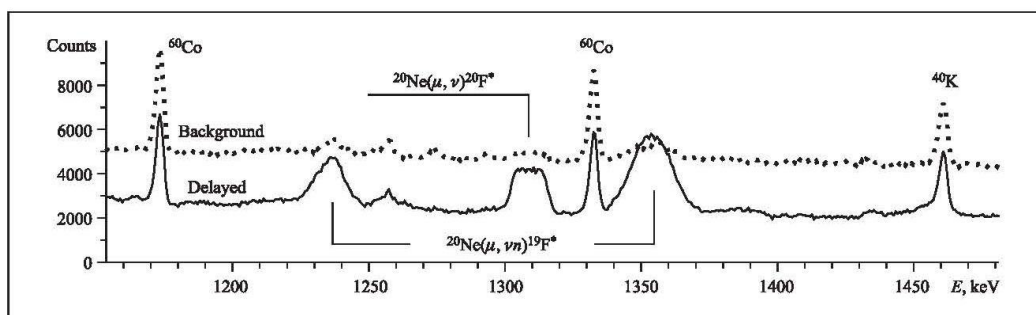
ДОПЛЕРОВСКОЕ УШИРЕНИЕ ГАММА-ЛИНИЙ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ МЮОННЫЙ ЗАХВАТ: ПОИСК СКАЛЯРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

*В. Егоров, Ш. Бриансон, В. Бруданин, Ж. Дойч, Т. Филипова,
Я. Говертц, К. Петитжан, Р. Приэльс, Ю. Шитов, Т. Сиисконен, Й. Сухонен,
Ц. Вылов, В. Вью, И. Ютландов, Ш. Запаров*
Nucl. Phys. A699, 2002, p.917–935



В 2002 г. в рамках программы AnCог на мюонном пучке ускорителя PSI (Виллиген, Швейцария) был закончен эксперимент по исследованию угловой нейтринной корреляции в захвате мюонов ядром ^{16}O .

Необходимость работы именно на этом пучке была вызвана особенностями исследуемого ядра, требовалась экстремально низкая плотность мишени, чтобы исключить мешающий фактор торможения ядер отдачи. Поскольку полученный результат явно противоречит Стандартной модели электрослабого взаимодействия, демонстрируя наличие скалярного вклада, решено было повторить эксперимент на другой мишени. Было проведено измерение спектров γ -излучения, сопровождающего μ -захват в неоне при атмосферном давлении.



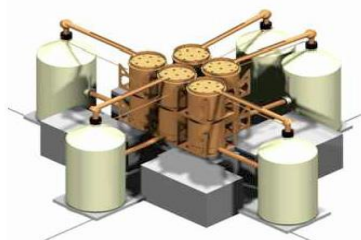
Ясно видны линии трех типов: узкие фоновые (не меняющие свою интенсивность со временем), доплеровски уширенные треугольные, соответствующие μ -захвату с вылетом нейтрона, и прямоугольная линия, соответствующая изучаемому процессу. Из анализа формы таких линий получена информация о формфакторах скалярного и псевдоскалярного взаимодействия.

Параллельно с исследованием доплеровской формы γ -линий при μ -захвате на ^{16}O и ^{20}Ne были проведены тестовые измерения с мишенями B, C, Mg, Si, Se, Ar и Ca.

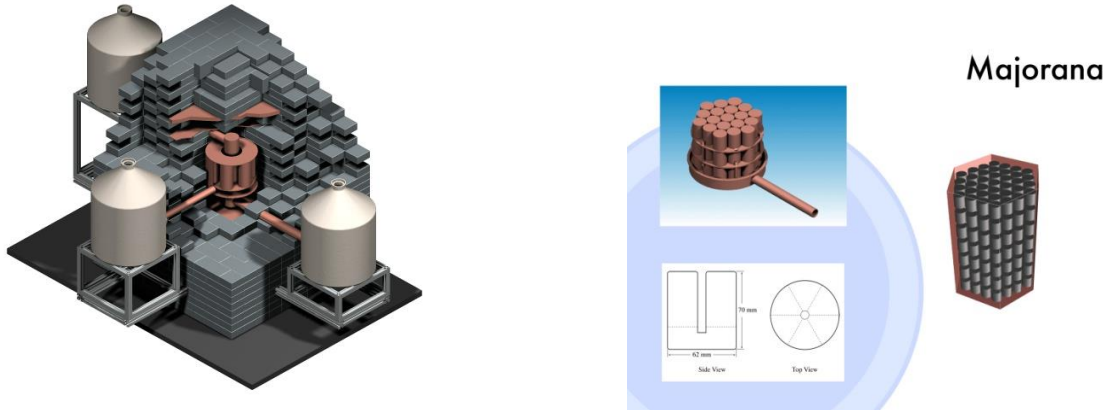
11 января 2002 года

Проект MAJORANA
THE MAJORANA ^{76}Ge DOUBLE-BETA DECAY PROJECT
ArXiv: hep-ex/0201021

C. E. Aalseth, D. Anderson, F. T. Avignone III, A. Barabash, T. W. Bowyer, R. L. Brodzinski, V. Brudanin, J. I. Collar, P. J. Doe, S. Egorov, S. R. Elliott, H. A. Farach, R. Gaitskell, D. Jordan, O. Kochetov, S. Konovalov, R. Kouzes, H. S. Miley, W. K. Pitts, J. H. Reeves, R. G. H. Robertson, V. Sandukovsky, E. Smith, V. Stekhanov, R. C. Thompson, W. Tornow, V. Umatov, R. A. Warner, J. Webb, J. Wilkerson, A. Young



The Majorana experiment is a next-generation ^{76}Ge double-beta decay search. It will employ 500 kg of Ge, isotopically enriched to 86% in ^{76}Ge , in the form of 200 detectors in a close-packed array for high granularity. Each crystal will be electronically segmented, with each region fitted with pulse-shape analysis electronics. A half-life sensitivity is predicted of $4.2 \cdot 10^{27}$ y or $\langle m_\nu \rangle < 0.02\text{--}0.07$ eV, depending on the nuclear matrix elements used to interpret the data.



Collaboration Members

Canada

- *Queen's University, Kingston, Ontario*

United States

- *Brown University, Department of Physics, Providence, RI*
- *Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA*
- *Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA*
- *Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM*
- *Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN*
- *Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA*
- *Triangle Universities Nuclear Laboratory, Durham, NC*
- *University of Chicago, Center for Cosmology, Enrico Fermi Institute, Chicago, IL*
- *University of South Carolina, Department of Physics and Astronomy, Columbia, SC*
- *University of Tennessee, Department of Physics and Astronomy, Knoxville, TN*
- *University of Washington, Department of Physics, Seattle, WA*

Japan

- *Osaka University, Research Center for Nuclear Physics, Osaka*

Russia

- *Institute for Theoretical and Experimental Physics, Moscow*
- *Joint Institute for Nuclear Research, Dubna*



Ф. Т. Авиньон III (F. T. Avignone III), С. Джулиан (S. Jouliaue). Дубна, 2003

Научные работы отдела, отмеченные премиями ОИЯИ

2002 г. Научно-технические прикладные работы. Поощрительная премия

В. Г. Калинин, Н. А. Лебедев, В. А. Морозов,

Н. В. Морозова, Ю. В. Норсеев, И. Н. Чурин

«РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ ОДНОКРИСТАЛЬНОЙ ВРЕМЕННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ ПОИСКА КОРОТКОЖИВУЩИХ ЯДЕРНЫХ СОСТОЯНИЙ»

Данный цикл работ представляет собой новое направление в методике физического эксперимента, целью которого является изучение структуры ядер в экстремальных состояниях: или короткоживущих ядер с большой разностью масс, или ядер, имеющих короткоживущие изомерные состояния. В основе метода лежит автокорреляционный принцип временного анализа генетически связанных излучений радиоактивного ядра и использование сцинтилляционного спектрометра с быстрым пластическим сцинтиллятором, обеспечивающим 4π -геометрию регистрируемого излучения. Применение быстрых пластических сцинтилляторов позволяет проводить

измерения короткоживущих ядерных состояний, начиная с нескольких наносекунд. Выполнение этих условий привело к созданию высокочувствительных спектрометров задержанных совпадений, позволяющих исследовать следовые количества радиоактивных ядер с короткоживущими состояниями.

В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ впервые были реализованы режимы многомерных задержанных совпадений на одном детекторе E-T, E1-T-E2. Трехмерный режим E1-T-E2 позволяет помимо временного спектра регистрировать энергетические спектры, которые соответствуют переходам, заряжающим и разряжающим изомерные состояния. Дальнейшее развитие этой методики привело к созданию двухдетекторного четырехмерного спектрометра тройных совпадений E1-E2-E3-T, что продемонстрировало возможность эффективного применения автокорреляционного однокристалльного временного спектрометра для поиска изомерных состояний при включении его в конфигурацию спектрометра "crystal ball". Фактически развита методика меченых ядер при наличии в них или изомерного возбужденного, или короткоживущего основного состояния, так как в спектрах совпадений вскрывается вся система каскадных γ -переходов, заряжающих или разряжающих изомерное или короткоживущее основное состояние ядра. Так как зарядка или разрядка изомерного состояния происходит, как правило, путем низкоэнергетических переходов с большим коэффициентом конверсии, то одновременно с γ -лучами происходит регистрация и рентгеновского излучения. Это позволяет по самому факту присутствия в γ -спектре совпадений рентгеновских лучей, характерных для ядра с определенным Z, определить элемент, в котором имеется изомерное состояние. Поэтому отпадает необходимость в использовании масс-сепаратора с лазерным ионным источником, обеспечивающим селективное выделение определенного элемента. Рассмотренный метод обеспечивает более высокую эффективность регистрации совпадений при распаде радиоактивных ядер, образующихся с малыми сечениями в ядерных реакциях на пучках заряженных или нейтральных частиц в онлайн-экспериментах.

Эффективность поиска наносекундных и микросекундных изомеров наглядно продемонстрирована на примере анализа длинных радиоактивных цепочек, начинающихся с ^{229}Th (12 радиоактивных ядер) и ^{232}Th (11 радиоактивных ядер). Произведен подбор долгоживущих эталонных источников, периоды полураспада короткоживущих состояний в которых перекрывают временной диапазон от 4 нс до 3,7 мкс (^{159}Gd , ^{241}Am , ^{229}Th , ^{232}Th). Чувствительность спектрометра видна на следующем примере: изучение β - α - γ совпадений при распаде ^{213}Bi (в радиоактивной цепочке ^{229}Th) позволило установить γ -переходы с интенсивностью, не превышающей 0,02% на распад. В измерениях использовался HPGe-детектор с эффективностью 10%. К несомненным достоинствам метода следует отнести возможность использования АЦП в режиме стробируемых линейных ворот, что обеспечивает 100%-ю эффективность регистрации низкоэнергетического γ -излучения в спектрах тройных совпадений. Высокая эффективность регистрации задержанных совпадений обеспечивает возможность проведения прецизионных измерений периодов полураспада изомерных состояний в нано- и микросекундном диапазоне за сравнительно короткое время от нескольких десятков минут до нескольких часов. При этом активность источника может составлять всего лишь несколько десятков беккерелей и не превышать фон лабораторного помещения.

Отработка методики автокорреляционного временного спектрометра привела к установлению факта существенного искажения спектров временных экспоненциальных распределений послеимпульсами ФЭУ, возникающими в диапазоне от десятков наносекунд до десятков микросекунд после прохождения основного сигнала. Поэтому была отработана методика подбора ФЭУ с малым уровнем послеимпульсов и найдено схемное решение фактически полного устранения регистрации послеимпульсов в спектрах совпадений. При этом порог регистрации излучения не превышал 10 кэВ.

Несомненным достоинством развитого методического направления является его простота, дешевизна и доступность серийно производимой аппаратуры, что может способствовать широкому использованию автокорреляционных временных спектрометров в физических исследованиях.

Результаты последовательного развития этой методики были представлены в виде докладов на различных конференциях и совещаниях:

- 1. XIII Int. School on Nuclear Physics, Neutron Physics and Nuclear Energy, Sept. 27–Oct. 3, 1999. Varna, Bulgaria.*
- 2. Physic of Isomers, June 18–21, 2000, St.-Peterburg.*
- 3. Шестая научная конференция молодых ученых и специалистов ОИЯИ. Дубна, 4–9 февраля 2002.*
- 4. Third Int. Balcan Workshop on Applied Physics. 26–28 June, 2002, Targoviste, Romania.*



В. А. Морозов

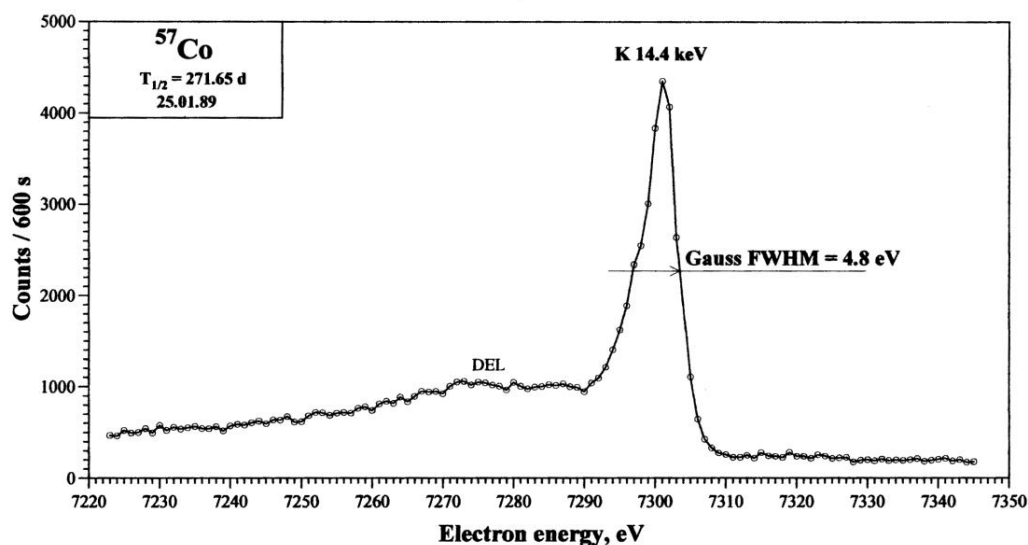
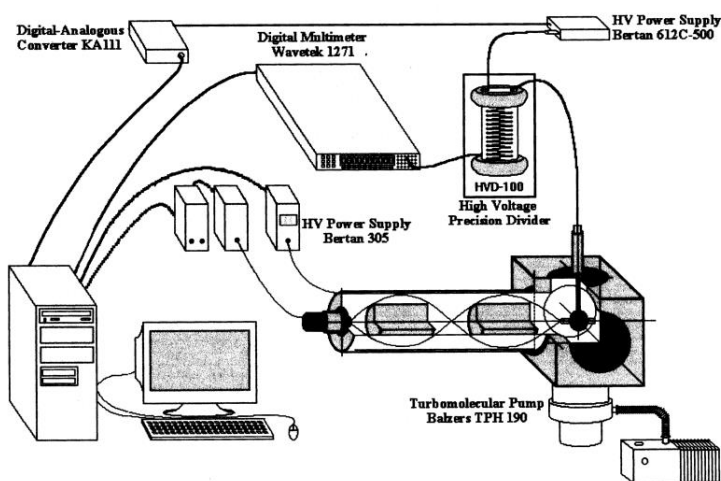
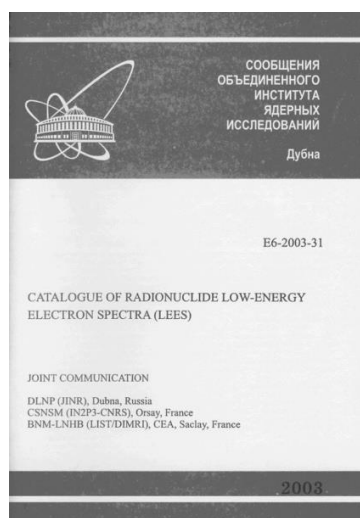
19 февраля 2003 года

CATALOGUE OF RADIONUCLIDE LOW-ENERGY ELECTRON SPECTRA (LEES)

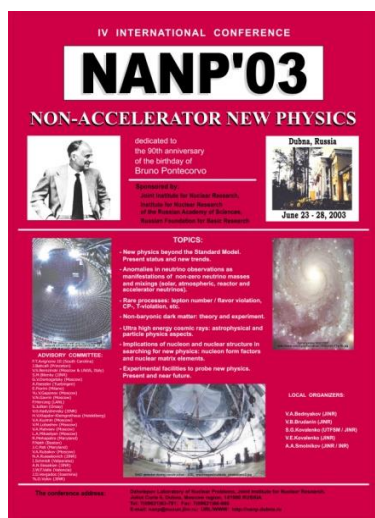
JINR, E6-2003-31. Дубна, 2003

Tz. Vylov, V. M. Gorozhankin, A. Kovalik, E. A. Yakushev, M. Mahmoud, A. F. Novgorodov,
N. A. Lebedev, D. Filosofov, Ch. Briancon, R. Walen, N. Coursol, A. Minkova, P. Petev,
O. Dragoun, V. Brabec, A. Inoyatov

Свыше 100 аппаратурных спектров низкоэнергетических электронов радионуклидов в области $Z=24-95$ собраны в представляемом атласе LEES. Эти спектры являются результатом систематических исследований оже- и конверсионных электронов в распаде радиоактивных ядер, проводимых с помощью электростатического спектрометра ESA-50 на протяжении более 20 лет.



**Международная конференция
NANP-2003
«НОВАЯ ФИЗИКА И НЕУСКОРИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ»
Дубна, 23–28 июня 2003 года**

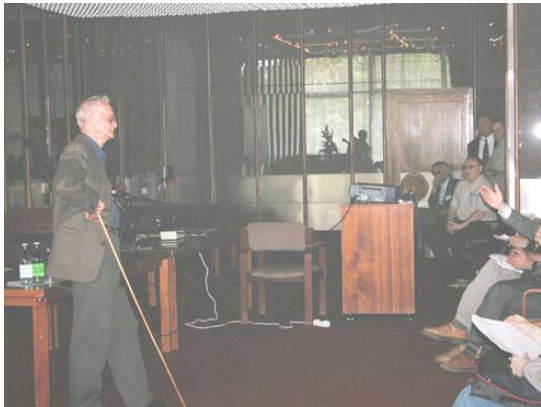


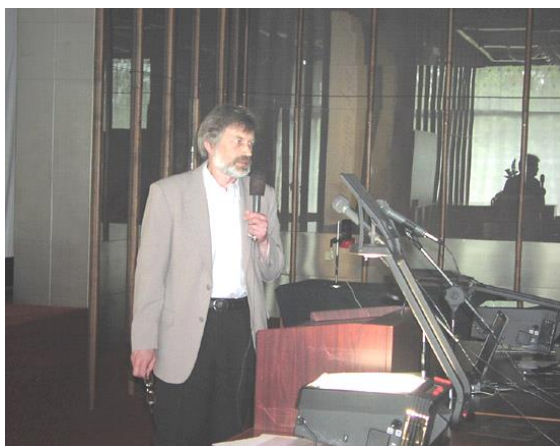
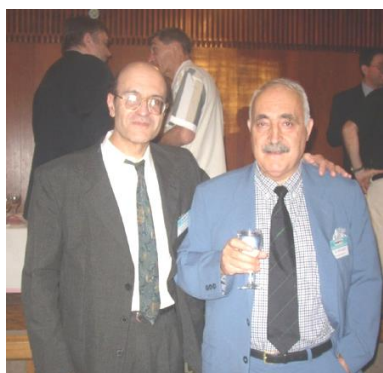
В. А. Бедняков, В. Б. Бруданин, А. А. Смольников
КОНФЕРЕНЦИЯ ПО НЕУСКОРИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКЕ В ДУБНЕ
Дубна: Наука. Содружество. Прогресс. 2003. 27 июня. №26; 25 июля. №29

23–28 июня в Дубне проходила IV международная конференция "Новая физика в неускорительных экспериментах (NANP'03)", которая была посвящена 90-летию со дня рождения академика Бруно Максимовича Понтекорво, выдающегося ученого нашего времени, заложившего основы современной физики нейтрино. Главная цель конференции NANP'03 состояла в совместном обсуждении как теоретиками, так и экспериментаторами современного состояния неускорительной физики и будущих проектов, направленных в первую очередь на поиск новых физических процессов, выходящих за рамки Стандартной модели электрослабых взаимодействий.

Научная программа конференции охватывала практически весь спектр исследований в области неускорительной физики как в шкале энергий (от сотых долей эВ при определении разности масс нейтрино до 10^{19} эВ при исследовании космических лучей сверхвысоких энергий), так и по методам исследований (в докладах были представлены наземные, подземные, подводные, подледные, зондовые и спутниковые эксперименты). Среди основных тем докладов можно назвать: обсуждение проблемы масс, смешивания и осцилляций различных типов нейтрино; безнейтринный двойной бета-распад; происхождение, состав и возможность регистрации темной материи во Вселенной; исследование других редких процессов; возможные источники и методы регистрации космических лучей сверхвысоких энергий и т. д.

В конференции приняло участие более 150 человек, из них около 50 зарубежных ученых. Все предыдущие конференции из серии NANP получили широкое мировое признание, что подтверждается большим количеством заявленных на данную конференцию докладов. Организаторами конференции NANP'03 были ОИЯИ и ИЯИ РАН. Данная конференция, как и предыдущие, частично финансировалась РФФИ. Она прошла при поддержке дирекции Института в лице В. Г. Кадышевского и Ц. Вылова.





20 октября 2003 года

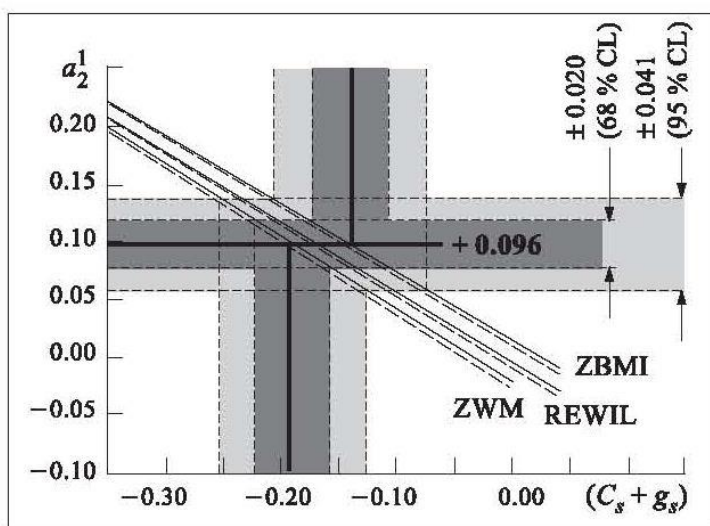
Рабочее совещание
NEMO-3



Работа коллаборации ApCor направлена на поиск скалярного взаимодействия в процессах рассеяния мюонов на ядрах. Здесь скалярная константа связи C_s может давать вклад в различные наблюдаемые величины в мюонном захвате, суммируясь с индуцированной константой скалярной связи ($C_s + g_s$). Исследовалась двухступенчатая реакция, в которой сначала осуществлялся запрещенный переход $0^+ \rightarrow 1^-$ в обычном мюонном захвате в ядре ^{16}O с нулевым спином, потом происходило испускание γ -кванта из возбужденного дочернего ядра отдачи. Так как время жизни 1^- уровня относительно велико (около 4 пс), необходимо использовать мишень с низкой плотностью (газ кислород под давлением в несколько бар), чтобы уменьшить эффект торможения ядер отдачи в материале мишени. В то же время процент мюонов, остановленных в газе, относительно других конструкционных материалов должен быть как можно больше. В связи с этим была создана мишень из специального газа, которая была установлена на μE4 -пучке в PSI. За три недели при атмосферном давлении с помощью HPGe-детектора был измерен спектр γ -квантов.

Используя метод, основанный на эффекте Доплера, можно исследовать корреляцию между моментами q и k соответственно нейтрино и γ -кванта. В этом случае форма γ -линии, уширенной за счет эффекта Доплера, определяется сверткой функции отклика детектора (откалиброванной с помощью ^{169}Yb источника) и корреляционной функции W , которая может быть найдена из $W = 1 + a_2^1 P_2(\cos \theta)$, где $P_2(\cos \theta)$ — полиномы Лежандра. Корреляционные коэффициенты a_2^1 зависят от относительных значений ядерных матричных элементов и константы связи слабого взаимодействия. В эксперименте было найдено значение $a_2^1 = 0,096 \pm 0,020$.

Для того чтобы из a_2^1 определить скалярную константу связи (рис. ниже), были рассчитаны ядерные матричные элементы для различных остаточных взаимодействий: ZBMI, REWIL и ZWM. Все они привели к различным значениям ($C_s + g_s$), отличным от нуля. Наилучший путь подтвердить или опровергнуть эти нетривиальные результаты — повторный эксперимент с другой мишенью. После нескольких тестов в качестве многообещающего кандидата был выбран неон при атмосферном давлении.

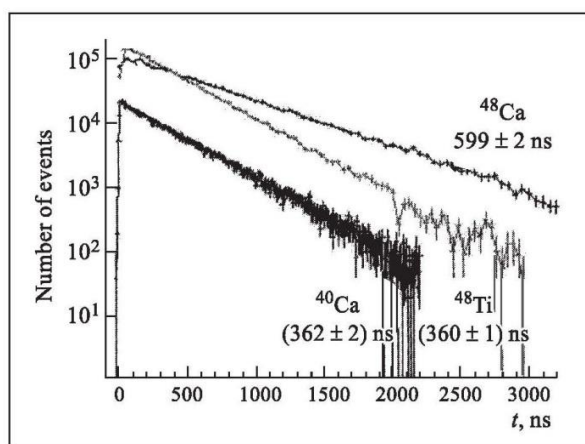


Определение $(C_s + g_s)$ на основе корреляционного коэффициента a_2^1

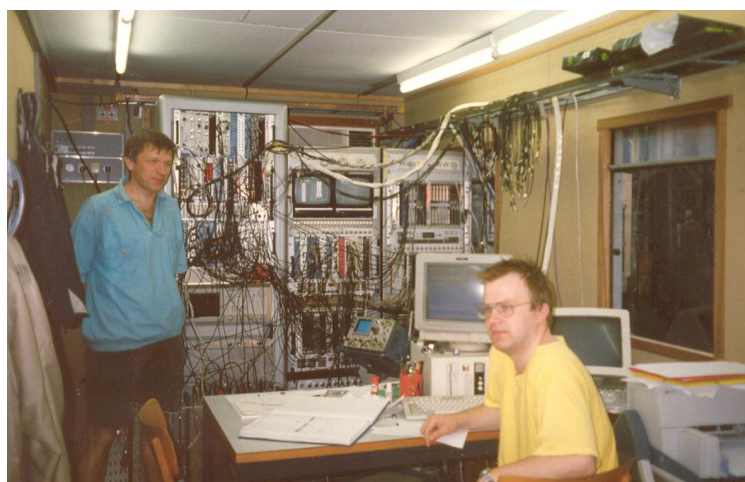
При захвате мюона ядрами ^{20}Ne было замечено несколько интересных процессов, среди них: первый запрещенный переход ($0^+ \rightarrow 1^-$), чувствительный к скалярному вкладу;

последующий (0^+-1^-) и два уникальных перехода (0^+-2^-), чувствительных к индуцированному псевдоскалярному взаимодействию; а также переходы в гигантские дипольные резонансы с последующей эмиссией γ -линией, которые расширены за счет эффекта Доплера из-за ядерной отдачи, вызванной испусканием нейтрино и нейтрона.

В 2003 г. коллаборация использовала обычный мюонный захват на возбужденные состояния в качестве пробного для ядерных волновых функций, которые определяют амплитуды многих виртуальных переходов двойного β -распада. Для того чтобы получить такую информацию для наиболее интересных β -распадных ядер, коллаборация предложила измерить скорость мюонного захвата на ряде обогащенных мишеней. На первом этапе на мюонной фабрике в PSI (Виллиген, Швейцария) медленными мюонами были облучены однограммовые мишени из ^{48}Ca , ^{48}Ti , ^{76}Se , ^{106}Cd , ^{116}Sn и ^{150}Sm . С хорошей точностью была получена полная скорость мюонного захвата. Далее измерения проводились с помощью мишеней из ^{48}Ca и ^{48}Ti , результаты сравнивались с результатами измерений для натурального металлического кальция (97 % ^{40}Ca).



Наибольшее внимание было уделено мишени из ^{48}Ti . Измерения проводились в течение недели, была получена достаточная статистика для выделения всех γ -линий спектра, их анализа и выделения скоростей частичного захвата с необходимой точностью (10-20%).



В. Г. Егоров и Ю. А. Шитов

9 июня в Дубне прошло совместное заседание Координационного научного совета РНЦ «Курчатовский институт» и ОИЯИ, посвященное обсуждению вопросов развития сотрудничества между двумя научными центрами.

От ОИЯИ в работе совещания приняли участие В. Г. Кадышевский, Ц. Вылов, сопредседатель координационного совета Г. Д. Ширков, В. М. Жабицкий, В. И. Фурман, А. В. Белушкин, М. Г. Иткис, В. В. Воронов, В. Н. Швецов, В. Б. Бруданин; от РНЦ «Курчатовский институт» — сопредседатель координационного совета В. Ю. Баранов, Н. В. Знаменский, А. А. Оглоблин, В. П. Мартемьянов, Ю. В. Гапонов, П. А. Алексеев, Ю. Л. Шитиков.

Открывая заседание, директор ОИЯИ академик В. Г. Кадышевский обратился с приветствием к участникам совещания и рассказал о своей встрече с президентом РНЦ КИ Е. П. Велиховым, в ходе которой были подтверждены первоочередные приоритеты в сотрудничестве — проект ИРЕН и исследования по физике конденсированного состояния веществ.

Г. Д. Ширков проинформировал собравшихся о встречах представителей двух центров в октябре 2003 г. и визите Е. П. Велихова в ОИЯИ в январе 2004 г.

В ходе заседания его участники представили основные направления деятельности подразделений РНЦ КИ и ОИЯИ, включая новые темы сотрудничества. Главное внимание было уделено проекту ИРЕН, в котором заинтересованы оба научных центра. Кроме того, состоялось обсуждение таких направлений совместной деятельности, как наработка изотопов для фундаментальных исследований, промышленности, медицины; физика конденсированных сред; исследования экзотических легких ядер; кластерная радиоактивность; ядро-ядерные взаимодействия на малых расстояниях; двойной бета-распад; физика редких процессов; исследования фундаментальных свойств нейтрона; нейтринная физика.

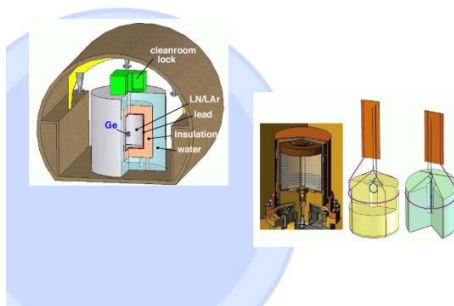
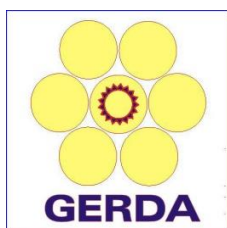


**Международный семинар
«30 ЛЕТ СОТРУДНИЧЕСТВА ОИЯИ–IN2P3»
Дубна, 30 сентября 2004 года**



Сентябрь 2004 года

Эксперимент GERDA
(GERmanium Detector Array)
MPI ^{76}Ge Proposal



A NEW ^{76}Ge DOUBLE BETA DECAY EXPERIMENT AT LNGS
arXiv:hep-ex/0404039

I. Abt, M. Altmann, A. Bakalyarov, I. Barabanov, C. Bauer, E. Bellotti, S. T. Belyaev, L. Bezrukov, V. Brudanin, C. Buettner, V. P. Bolotsky, A. Caldwell, C. Cattadori, H. Clement, A. DiVacri, J. Eberth, V. Egorov, G. Grigoriev, V. Gurentsov, K. Gusev, W. Hampel, G. Heusser, W. Hofmann, J. Jochum, M. Junker, J. Kiko, I. V. Kirpichnikov, A. Klimenko, K. T. Knoepfle, V. N. Kornoukhov, M. Laubenstein, V. Lebedev, X. Liu, I. Nemchenok, L. Pandola, V. Sandukovsky, S. Schoenert, S. Scholl, B. Schwingenheuer, H. Simgen, A. Smolnikov, A. Tikhomirov, A. A. Vasenko, S. Vasiliev, D. Weisshaar, E. Yanovich, J. Yurkowski, S. Zhukov, G. Zuzel

The GERDA experiment has been proposed in 2004 to be installed at LNGS and aims at the detection of the double-beta decay of ^{76}Ge , an isotope of germanium.

Germanium is a solid semiconductor of a very high purity (that is, the content of natural radioactive elements, like uranium, thorium, potassium, etc., is much lower than in other materials) widely used to build particle detectors of high sensitivity and precision. In search of the ^{76}Ge double beta decay, germanium detectors, also referred to as HPGe detectors (High Purity Germanium detectors), are the ideal choice as they act at the same time as a source and a detector for this decay.



Идет работа. 14 января 2007 года



Участники коллаборации, февраль 2004 года

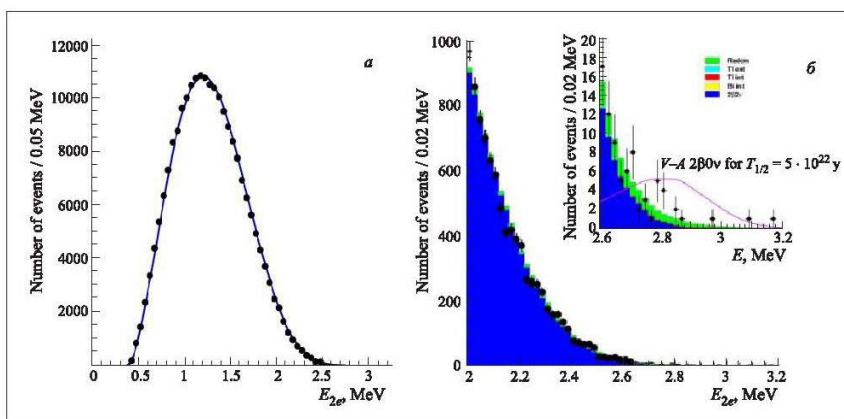


27 июня 2005 года, Дубна



11 июня 2007 года

В 2004 г. детектор NEMO-3 работал в регулярном режиме при стабильных условиях 75% времени. Было проведено всестороннее изучение фона. Полное время экспозиции составило 450 дней (февраль 2003 г. – ноябрь 2004 г.). Из анализа различных каналов данных NEMO-3 были оценены компоненты фона. Ожидаемое количество событий в диапазоне энергии 2,8–3,2 МэВ в $0\nu\beta\beta$ (^{100}Mo) для $2\nu\beta\beta$ -хвоста (е, е-канал) — 0,3 соб./кг/год и 0,1 соб./кг/год для примесей ^{208}Tl (е, γ - и е, $\gamma\gamma$ -каналы). Вклады от нейтронов и высокоэнергетических γ -лучей (е, е-события ниже 4 МэВ), а также от примесей ^{208}Tl (в основном внутри РМТ, е, γ -события) незначительны. Полученные данные находятся в соответствии с предыдущими измерениями HPGe.



Полный спектр (а) и хвостовая часть (б) спектра суммарной энергии двух электронов в ^{100}Mo после 9496 ч измерений (228640 событий наблюдалось по сравнению с ожидаемыми 5565 событиями фона). • — экспериментальные данные; линии и закрашенная область — данные моделирования

Обнаружено, что радон, который попадает внутрь детектора из воздуха лаборатории (≈ 15 мБк/м³), является основным компонентом фона при $0\nu\beta\beta$ -распаде. Уровень радона внутри трекового объема ≈ 20 –30 мБк/м³ вносит ~ 1 /кг/год событие типа $0\nu\beta\beta$ в диапазоне энергий 2,83,2 МэВ, что велико для чувствительности NEMO-3. По этой причине в 2003–2004 гг. была разработана, построена и установлена антирадонная фабрика. С 4 октября 2004 г. она подает очищенный воздух (125 м³/ч, $A(^{222}\text{Rn}) < 1$ мБк/м³) в антирадонный тент, которым накрыт детектор. Благодаря этой фабрике уровень радона был понижен в 25 раз (с 16 мБк/м³ в августе до 0,6 мБк/м³ в конце октября); если потребуется, уровень радона может быть еще понижен. Ожидается исключение влияния радона при следующих измерениях.

Выполнен анализ $2\nu\beta\beta$ -моды. Из-за огромной статистики тщательно изучены систематические ошибки для фона, трекинга и моделирования. Результаты, полученные для различных изотопов, приведены в таблице.

Изотоп	Масса, г	Время экспозиции, сут	Количество событий	Сигнал/фон	$T_{1/2}^{2\nu\beta\beta}$, год
^{82}Se	932	241,5	2385	3,3	$(10,3 \pm 0,2 \text{ (стат.)} \pm 1,0 \text{ (сист.)}) \cdot 10^{19}$
^{96}Zr	9,4	168,4	72	0,9	$(2,0 \pm 0,3 \text{ (стат.)} \pm 0,2 \text{ (сист.)}) \cdot 10^{19}$
^{100}Mo	6914	241,5	145245	45,8	$(7,72 \pm 0,02 \text{ (стат.)} \pm 0,54 \text{ (сист.)}) \cdot 10^{18}$
^{116}Cd	405	168,4	1371	7,5	$(2,8 \pm 0,1 \text{ (стат.)} \pm 0,3 \text{ (сист.)}) \cdot 10^{19}$
^{150}Nd	37	168,4	449	2,8	$(9,7 \pm 0,7 \text{ (стат.)} \pm 1,0 \text{ (сист.)}) \cdot 10^{18}$

После анализа набранных за 265 дней данных не было обнаружено следов двойного безнейтринного β -распада ни для ^{100}Mo , ни для ^{82}Se в следующих пределах:

$$T_{1/2}(0\nu\beta\beta - ^{100}\text{Mo}) > 3,5 \cdot 10^{23} \text{ лет} \Rightarrow (m_\nu) < 0,7-1,2 \text{ эВ},$$

$$T_{1/2}(0\nu\beta\beta - ^{82}\text{Se}) > 1,9 \cdot 10^{23} \text{ лет} \Rightarrow (m_\nu) < 1,3-3,2 \text{ эВ}.$$

NEMO-3 является лучшим экспериментом по поиску двойного β -распада с эмиссией майорона ($\beta\beta\chi$). Современный предел для $T_{1/2}(\beta\beta\chi - ^{100}\text{Mo}) > 1,5 \cdot 10^{22}$ лет (90 % CL), что соответствует $\chi < (5-8) \cdot 10^{-5}$ и является лучшим результатом в мире на данный момент. Идет анализ $2\nu\beta\beta$ -распада на возбужденные состояния ^{100}Mo и $2\nu\beta\beta$ -распада в ^{48}Ca .

В конце 2003 г. были начаты научно-исследовательские работы над модулями детектора следующего поколения SuperNEMO. Основная задача для SuperNEMO — достичь чувствительности 0,03 эВ $\langle m_\nu \rangle$ с $\beta\beta$ -источником массой 100 кг, что мало по сравнению с другими проектами, требующими тонн $\beta\beta$ -источника. Успешный опыт с NEMO-1/2/3 и практически нулевой фон при регистрации «золотого события» дает SuperNEMO серьезное преимущество в соревновании с другими подобными проектами (CUORE, MAJORANA, GERDA, EXO, MOON и т. д.).

Основными направлениями научно-исследовательских работ для SuperNEMO являются улучшение энергетического разрешения калориметра до 5–7% на 1 МэВ (против 15–17% для NEMO-3), выбор $\beta\beta$ -источника, его производство и очистка, дизайн модулей.

Группа из Дубны внесла существенный вклад в обеспечение работы детектора NEMO-3, калибровку, тест SuperNEMO и во все стадии анализа данных от поддержки и разработки программного обеспечения до получения окончательных результатов.

В 2005 г. NEMO-3 продолжит набор данных в отсутствие радона. Усилия группы будут сосредоточены на улучшении анализа данных с целью уменьшения систематических ошибок при расчетах фона, трекинге и моделировании. Будут продолжены перекрестные тесты и анализ данных разными группами, входящими в проект NEMO, для проверки полученных результатов. Параллельно с оптимизацией конструкции модуля и выбором лучшего сцинтиллятора для калориметра будет выполняться научно-исследовательская программа SuperNEMO.



О. И. Кочетов, Кс. Саразин (X. Sarazin), Ю. А. Шитов

2004 г. В области научно-технических прикладных работ. Поощрительная премия
*С. П. Авдеев, А. Будзановский, В. А. Карнаухов, В. Карч, В. К. Родионов, П. А. Рукояткин,
Х. Ойшлер, И. Сквирчинска*

**«ТЕПЛОВАЯ МУЛЬТИФРАГМЕНТАЦИЯ ГОРЯЧИХ ЯДЕР И ФАЗОВЫЕ
ПЕРЕХОДЫ "ЖИДКОСТЬ–ТУМАН" И "ЖИДКОСТЬ–ГАЗ"»**

Эксперименты проводились с помощью многодетекторной установки ФАЗА, размещенной на пучке релятивистских легких ионов (от протонов до углерода) нуклотрона ОИЯИ. В результате соударений таких частиц с мишенью образуются горячие ядра, энергия возбуждения которых (400–600 МэВ) сравнима с полной энергией связи ядра. Исследование свойств очень горячих ядер – одна из интереснейших задач современной ядерной физики, имеющая отношение к проблеме фазовых переходов в ядерном веществе.

В работах цикла сделан весьма существенный вклад в проблему фазовых переходов в горячих ядрах. Доказано, что тепловая мультифрагментация является фазовым переходом (I рода) «жидкость–туман», происходящим при $T = 4\text{--}6$ МэВ. Горячее ядро, расширяясь за счет теплового давления, попадает в область фазовой неустойчивости (спинодальная область). В результате флуктуаций плотности гомогенная ядерная система распадается на ансамбль, состоящий из капелек (фрагменты) и ядерного газа (нуклоны). Это «ядерный туман», и он разлетается под действием кулоновских сил и регистрируется как мультифрагментация. Фазовый переход «жидкость–туман» — специфически ядерный, характеристики которого обусловлены зарядом системы. В пользу такого сценария говорят три основных наблюдения, сделанные коллаборацией ФАЗА:

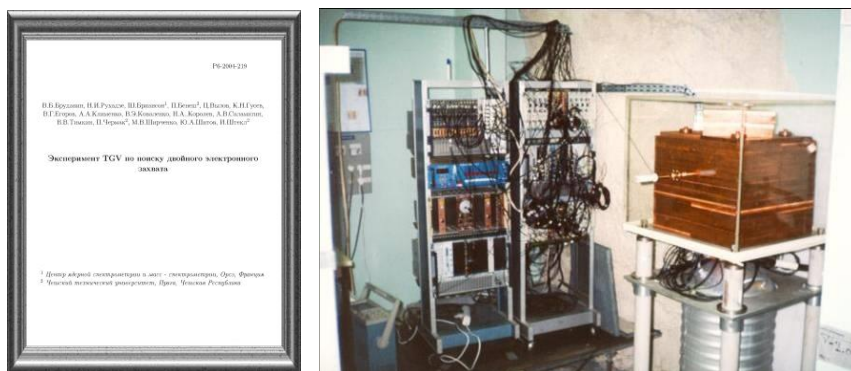
а) пониженная плотность системы в момент образования фрагментов: $r_t \approx 1/3 r_0$, где r_0 — нормальная ядерная плотность;

б) малое время жизни горячего ядра порядка характерного времени флуктуаций плотности (≈ 50 фм/с $\approx 10^{-22}$ с);

в) характеристическая температура процесса существенно меньше, чем критическая температура T_c для фазового перехода «жидкость–газ». Величина T_c определена авторами путём анализа зарядового распределения фрагментов, возникающих в соударениях $p(8,1 \text{ ГэВ}) + Au$: $T_c = (17 \pm 2) \text{ МэВ}$.

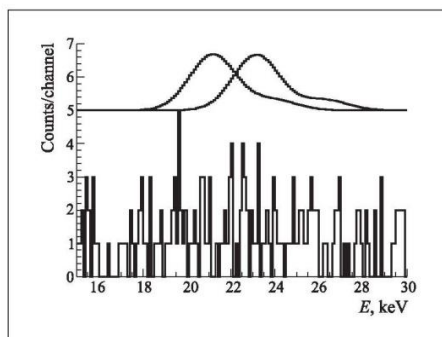


В. А. Карнаухов



Поиск двойного электронного захвата в распаде ^{106}Cd проводится в Моданской подземной лаборатории (4800 м в.э.) (Франция) с использованием высокоэффективного низкофоновое спектрометра TGV-2 (телескоп германиевый вертикальный).

Основу спектрометра составляют 32 планарных детектора из особо чистого Ge с чувствительным объемом $2040 \text{ мм}^2 \times 6 \text{ мм}$ каждый (около 3 кг Ge). Фольги из Cd толщиной $\sim 50 \text{ мкм}$ были помещены в криостате между входными окнами соседних детекторов. Набор основной статистики был начат в феврале 2005 г. с использованием $10 \text{ г } ^{106}\text{Cd}$ с обогащением 75 %. Эксперимент по поиску двойного электронного захвата в распаде ^{106}Cd продолжается и в настоящее время. В результате 6200 ч измерений в спектре двойных совпадений ^{106}Cd было обнаружено небольшое превышение фона в области энергий $\sim 21 \text{ кэВ}$.



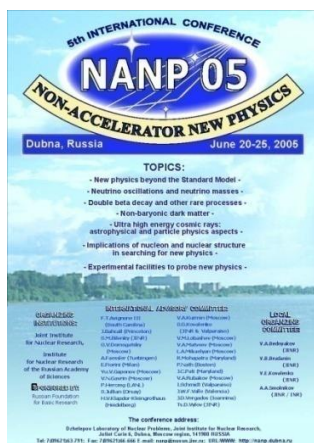
Спектр двойных совпадений ^{106}Cd , набранных за 6200 ч экспозиции

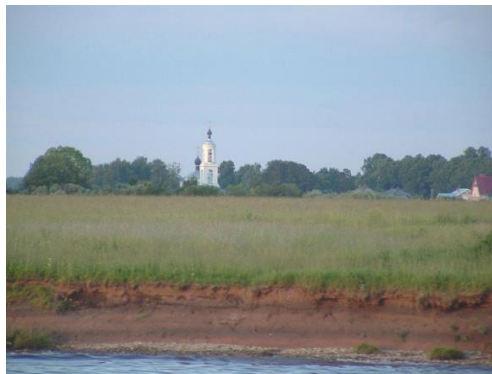
Это может указывать на существование процесса двойного электронного захвата в распаде ^{106}Cd . Для тщательного анализа этих событий необходима большая статистика и проведение высокоточных длительных измерений фона. Действительно, возникающий дополнительный фон в области энергий $\sim 23 \text{ кэВ}$, вызванный характерным рентгеновским излучением К-уровня Cd, уменьшает чувствительность измерений. Из результатов предварительной обработки экспериментальных данных получено новое ограничение на период полураспада для $2\nu\text{EC}/\text{EC}$ -моды распада ^{106}Cd на основное состояние дочернего ядра — $T_{1/2} > 6,6 \cdot 10^{19}$ лет (на 90%-м уровне достоверности). Настоящее значение более чем на порядок улучшает ограничения, полученные в других экспериментах. Новое ограничение близко к теоретическим предсказаниям для двойного электронного захвата ^{106}Cd . Были получены также и новые ограничения для других ветвей ^{106}Cd -распада — $2\nu\beta^+/\text{EC}$ -распада на основное состояние ^{106}Pd , $2\nu\text{EC}/\text{EC}$ и $2\nu\beta^+/\text{EC}$ -переходов на первое возбужденное состояние 2^+ , 512 кэВ ^{106}Pd .

Международная конференция NANP-2005 «НОВАЯ ФИЗИКА В НЕУСКОРИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ» Дубна, 20–25 июня 2005 года

С 20 по 25 июня в Дубне проходила V Международная конференция «Новая физика в неускорительных экспериментах» (NANP'05), ее главная цель состояла в обсуждении новых явлений за рамками Стандартной модели электрослабых взаимодействий. Среди основных и уже традиционных тем — проблемы масс, смешивания и осцилляций нейтрино, безнейтринный двойной бета-распад ядер, другие редкие процессы, темная материя во Вселенной, возможность ее регистрации и т. д. В этой конференции приняли участие более 150 человек. Все пять конференций из серии NANP были поддержаны РФФИ и получили широкое мировое признание.

На конференции было представлено около 100 докладов на 18 пленарных заседаниях. Основные темы докладов — новые данные по нейтринным осцилляциям (эксперименты с солнечными, атмосферными, реакторными и ускорительными нейтрино различных типов) и их теоретические интерпретации в свете иерархии масс нейтрино; безнейтринный двойной бета-распад; темная материя во Вселенной; поиск других редких явлений, таких как магнитный монополи и магнитный момент нейтрино; регистрация и происхождение космических лучей сверхвысоких энергий; сверхновые звезды, черные дыры и другие астрономические исследования.





19 мая 2005 года

Ю. Б. Гуров, С. Л. Катулина, В. Г. Сандуковский, Я. Юрковски
ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИЕ КРЕМНИЕВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ
ОИЯИ, Р13-2005-13. 2005, Дубна.

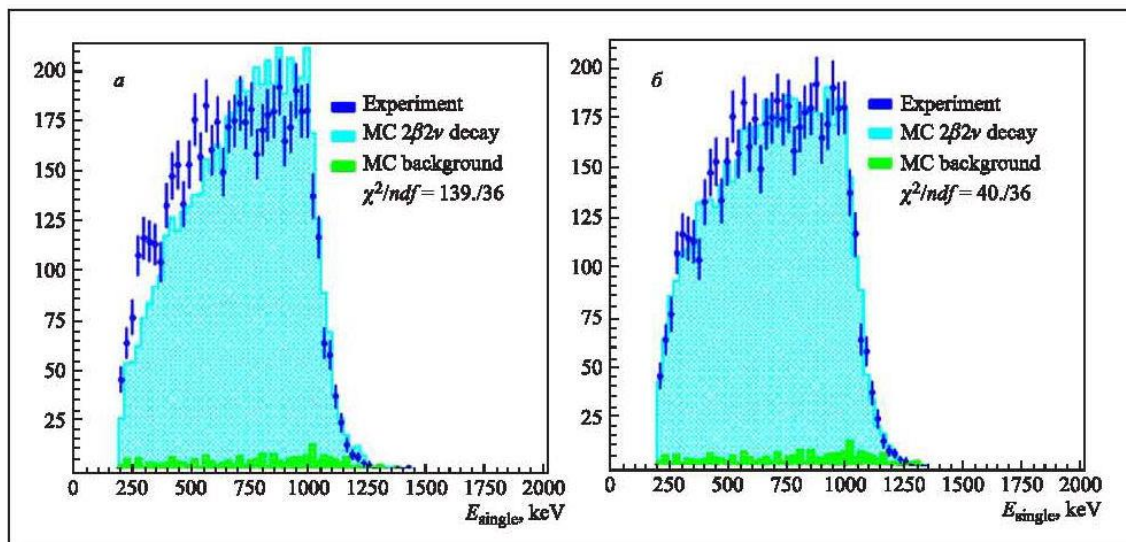


Разработаны и исследованы специальные кремниевые детекторы с большой чувствительной площадью ($> 8 \text{ см}^2$) для многослойных телескопических спектрометров. Приводятся результаты исследований их характеристик. Описан способ изготовления поверхностно-барьерных детекторов-идентификаторов, работающих в режиме полного обеднения с перенапряжением в два-три раза. Показана возможность создания литий-дрейфовых детекторов с тонкими входными окнами (10–20 мкм) со стороны диффузионного слоя. Разработанные методы изготовления детекторов позволили минимизировать «мертвые» области и сохранить при этом стабильность работы и высокие спектрометрические параметры в процессе длительных экспозиций на пучках заряженных частиц.

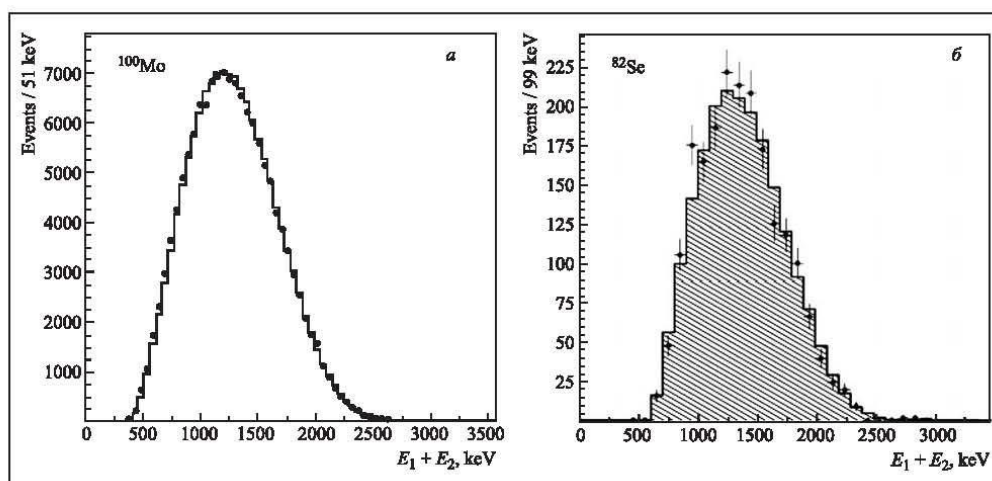


В. Г. Сандуковский

Детектор NEMO-3 работает в «безрадоновом» режиме при стабильных условиях с декабря 2005 г. Полное время экспозиции составило 800 сут для фазы-1 и 572 сут для фазы-2. Был проведен анализ $2\nu\beta\beta$ -моды двойного β -распада, была изучена возможность существования $2\nu\beta\beta$ -моды двойного β -распада с излучением майорона для изотопов ^{100}Mo и ^{82}Se .



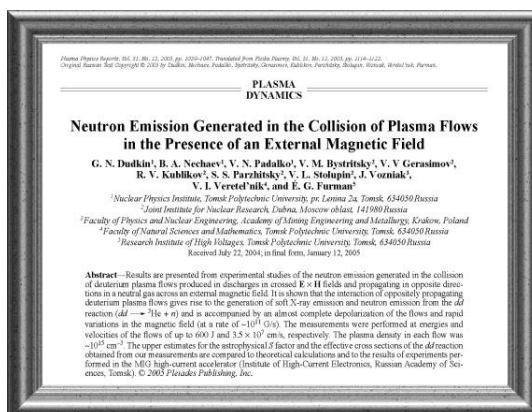
Спектр суммарной энергии отдельного электрона в $\beta\beta$ -распаде ^{100}Mo по сравнению с теоретически рассчитанными спектрами, полученными согласно моделям с доминирующими высшими состояниями (а) и с доминирующими единичными состояниями (б). Расчетный сигнал — светлая гистограмма, ожидаемый фон — темная гистограмма. С целью подавления фона были выбраны события с суммарной энергией двух электронов более 2 МэВ (экспозиция 4,57 кг · год)



Экспериментальный суммарный спектр двух электронов в $\beta\beta$ -распаде ^{100}Mo (а) и ^{82}Se (б), которые были использованы для поиска распада с излучением майорона

Были получены новые пределы для двойного $2\nu\beta\beta$ -распада с излучением майорона: для ^{100}Mo ($T_{1/2} > 2,7 \cdot 10^{22}$ лет) и для ^{82}Se ($T_{1/2} > 1,5 \cdot 10^{22}$ лет). Соответствующие константы связи майорон-нейтрино составляют $\langle g_{ee} \rangle < (0,4-1,8) \cdot 10^{-4}$ и $< (0,66-1,9) \cdot 10^{-4}$.

ИСПУСКАНИЕ НЕЙТРОНОВ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ В СТОЛКНОВЕНИЯХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ ВО ВНЕШНЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ



G. N. Dudkin, B. A. Nechaev, V. N. Padalko, V. M. Bystritsky, V. V. Gerasimov,
R. V. Kublikov, S. S. Parzhitsky, V. A. Stolupin, J. Vozniak, V. I. Veretel'nik
and É. G. Furman

NEUTRON EMISSION GENERATED IN THE COLLISION OF PLASMA FLOWS IN THE PRESENCE OF AN EXTERNAL MAGNETIC FIELD

Plasma Physics Reports, Vol. 31, No. 12, 2005, pp. 1039–1047. Translated from Fizika Plazmy, Vol. 31, No. 12, 2005, pp. 1114–1122.

Из годового отчета ОИЯИ за 2006 год (Дубна, 2007. С. 90–91)

Интерес коллаборации LESI к исследованию ядерных реакций между легкими ядрами (pd, dd, $d^3\text{He}$) в области энергий 2–12 кэВ обусловлен возможностью:

- проверки симметрий в сильных взаимодействиях;
- определения вклада во взаимодействие обменных токов;
- проверки Стандартной солнечной модели.

Исследование данных процессов в указанной области энергий проблематично, так как интенсивность пучков ускоренных частиц, производимых классическими ускорителями, недостаточна, сечения ядерных реакций крайне малы. Применение плазменных ускорителей с формированием лайнерной плазмы в конфигурации прямого и инверсного Z-пинча позволило получить количественную информацию об астрофизических S-факторах и эффективных сечениях dd-реакций. Однако измерение S-факторов и сечений pd-, dd- и $d^3\text{He}$ -реакций с высокой точностью при использовании плазмы в конфигурации Z-пинча весьма проблематично из-за отсутствия воспроизводимости экспериментальных условий от «выстрела» (акт срабатывания ускорителя) к «выстрелу», обусловленному спецификой работы такого класса ускорителей, что накладывает определенные ограничения на точность измерений. Это послужило стимулом для разработки альтернативных методов формирования интенсивных пучков заряженных частиц в области ультранизких энергий.

Для проведения дальнейших исследований специалистами коллаборации был разработан и создан импульсный источник ионов с замкнутым холловским током, позволяющий ускорять ионы плазмы H^+ , D^+ , $^3\text{He}^+$ в диапазоне энергий столкновения $E_{\text{coll}} = 2\text{--}12$ кэВ. Предварительные результаты подтверждают факт того, что разработанная методика с использованием холловского ускорителя может быть эффективной при исследовании ядерных реакций между легкими ядрами в области ультранизких энергий.

Рабочее совещание коллаборации NEMO-3 / SuperNEMO

Дубна, 10–13 декабря 2007 года

10–13 декабря 2007 г. в ДМС ОИЯИ проходило рабочее совещание международной коллаборации NEMO–SuperNEMO. Главной задачей эксперимента NEMO-3 является исследование процессов двойного бета-распада для изотопов ^{48}Ca , ^{82}Se , ^{96}Zr , ^{100}Mo , ^{116}Cd , ^{130}Te , ^{150}Nd .

Детектор NEMO установлен в подземной лаборатории LSM (Модан, Франция). С февраля 2003 г. идет полномасштабный набор данных. Планируемое время завершения эксперимента — 2010 г. Проект нового поколения SuperNEMO направлен главным образом на поиск безнейтринного двойного бета-распада ($0\nu\beta\beta$) ^{82}Se и/или ^{150}Nd , обнаружение которого позволит дать ответы на ряд фундаментальных вопросов современной физики нейтрино.

Серия экспериментов по исследованию двойного бета-распада NEMO-1, NEMO-2, NEMO-3, которая началась с небольшого французско-российского эксперимента, за 15 лет выросла в большую международную коллаборацию SuperNEMO, объединяющую более 80 ученых из Франции, России, Великобритании, США, Японии, Испании, Чехии, Финляндии, Словакии, Польши и Украины. Проводимый при активном участии ОИЯИ эксперимент NEMO-3, а также находящийся в стадии исследований и разработок новый детектор SuperNEMO входят в ряд ведущих проектов по исследованию безнейтринного двойного бета-распада.

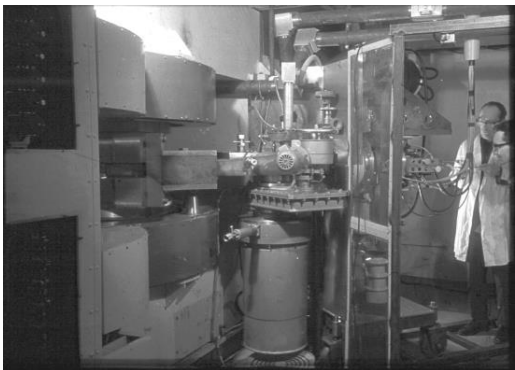
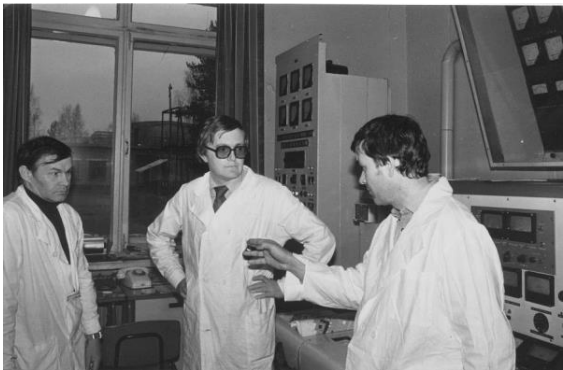
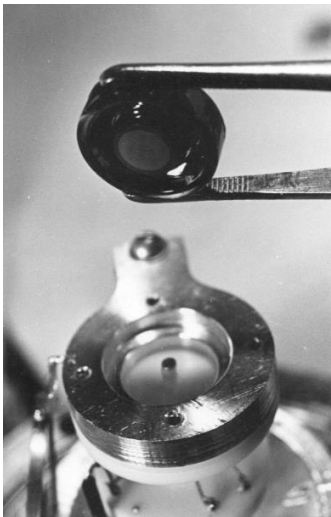
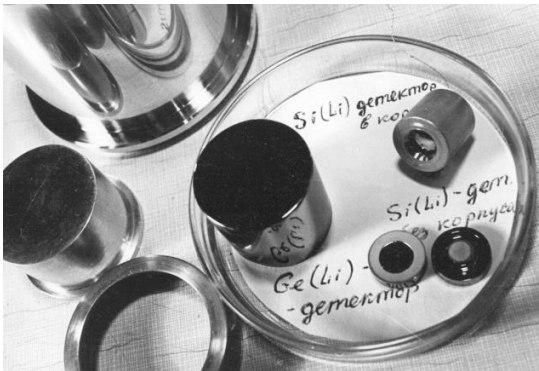
Рабочие совещания коллаборации NEMO ежегодно проводятся в ОИЯИ с 1994 г. На прошедшем совещании обсуждались предварительные экспериментальные результаты, полученные с помощью действующей установки NEMO-3, подготовленные на их основе публикации, анализ фоновых условий (ключевого вопроса в экспериментах такого рода).

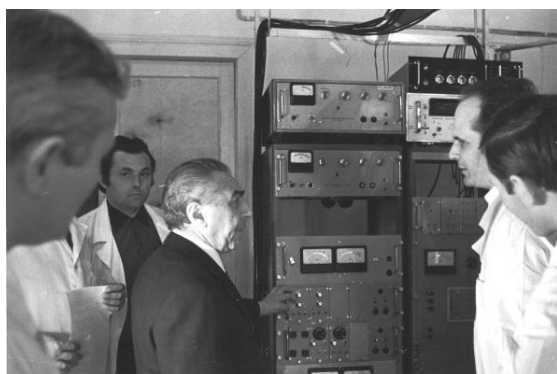
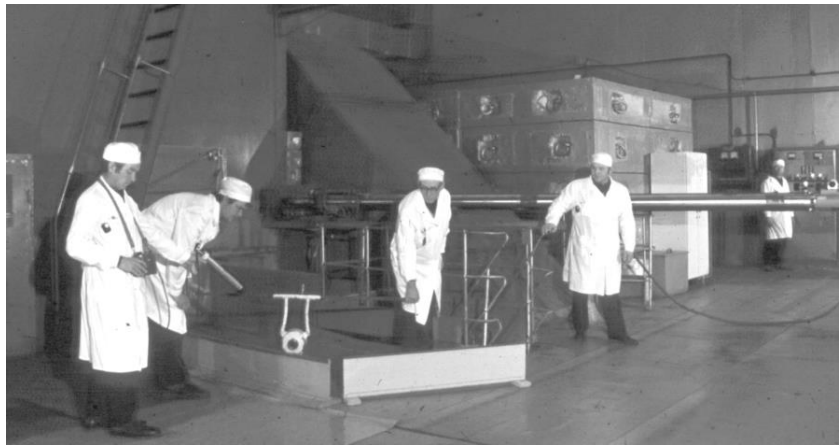
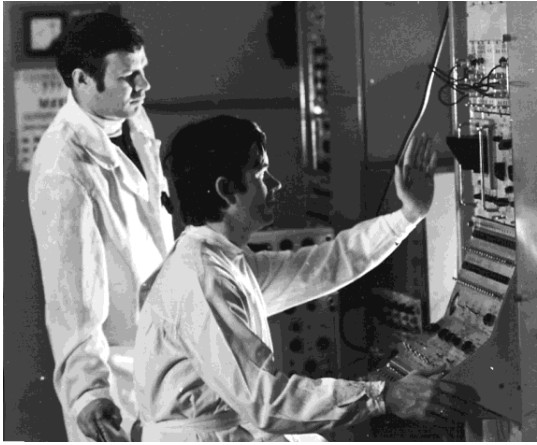
Накопленный опыт и полученные результаты мирового уровня в экспериментах NEMO-2,3 позволили коллаборации NEMO начать в 2006 г. разработку эксперимента нового поколения по поиску безнейтринного двойного бета-распада SuperNEMO, сравнимого по масштабам с другими ведущими международными проектами (GERDA, CUORE, MAJORANA, EXO и др.).

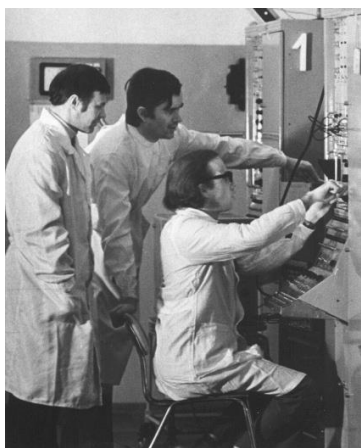


Коллаборация NEMO-3 / SuperNEMO, 13 декабря 2007 года

ФОТОАРХИВ



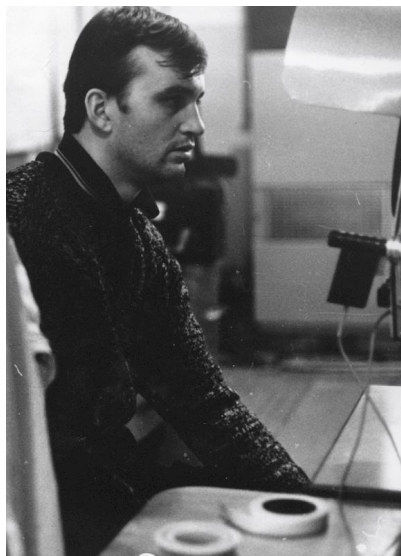




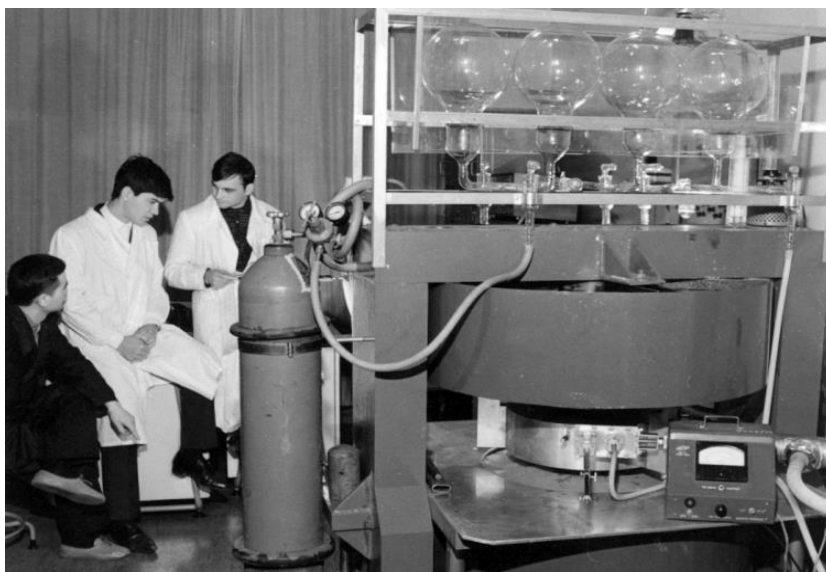


ВМЕСТО ПОСЛЕСЛОВИЯ

В. А. Бедняков. ЦВЕТАН ДИМИТРОВ ВЫЛОВ... В СУДЬБЕ ПЯТОГО ДИРЕКТОРА ЛЯП



Цветан Димитров Вылов родился 13 июля 1941 года в небольшом селе Лехчево Монтанской области Болгарии. С 1961 по 1966 год учился на физическом факультете Ленинградского университета, после окончания которого два года (1967–1968) работал в Институте ядерных исследований Болгарской академии наук в Софии. В это время он занимался исследованием угловых гамма-гамма-корреляций ядерных излучений.



Одна из первых фотографий Ц. Д. Вылова (крайний справа) в ЛЯП

Начиная с 1968 года вся научная деятельность и большая часть жизни Ц. Д. Вылова были неразрывно связаны с Объединенным институтом ядерных исследований, где в 1968 году он начал работать младшим научным сотрудником Лаборатории ядерных проблем и вплоть до 1973 года занимался разработкой идеи и созданием полупроводниковых

детекторов для измерения спектров ядерного излучения. На основе этих работ в 1973 году Цветан защитил кандидатскую диссертацию. Последующие семь лет он посвятил разработке техники и методики прецизионной спектроскопии излучения радионуклидов с помощью высокочувствительных полупроводниковых детекторов.



Комплекс спектрометров для прецизионного исследования спектров α -, β -, γ - и X -излучения на основе полупроводниковых детекторов



В сотрудничестве с CSNSM (Орсе) создан электростатический бета-спектрометр с рекордным энергетическим разрешением $\Delta E \simeq 4$ эВ в области 1–20 кэВ

Был создан оригинальный электростатический бета-спектрометр с рекордным энергетическим разрешением. Была достигнута точность по энергии гамма-лучей на уровне 1–10 эВ, относительной интенсивности этих лучей на уровне 1–3% и т. п. На этой основе были проведены исследования свойств более 180 ядерных состояний (радионуклидов), возбужденных при радиоактивном распаде ядер. Огромный цикл этих работ завершился защитой Выловым в 1980 году докторской диссертации.

Разработанные методы и спектрометры использовались для фундаментальных исследований свойств атомных ядер и процессов радиоактивного распада ядер. Результаты этих исследований опубликованы в виде атласа спектров излучений радиоактивных

нуклидов. Большинство полученных результатов занесены в реестр государственных стандартных справочных данных.



Атлас широко используется экспериментаторами, занимающимися изучением структуры ядра, и специалистами в области прикладной ядерной физики



А. Иноятлов, Ц. Вылов и В. Бруданин анализируют работу трехуровневой системы регистрации и обработки спектров излучений радионуклидов

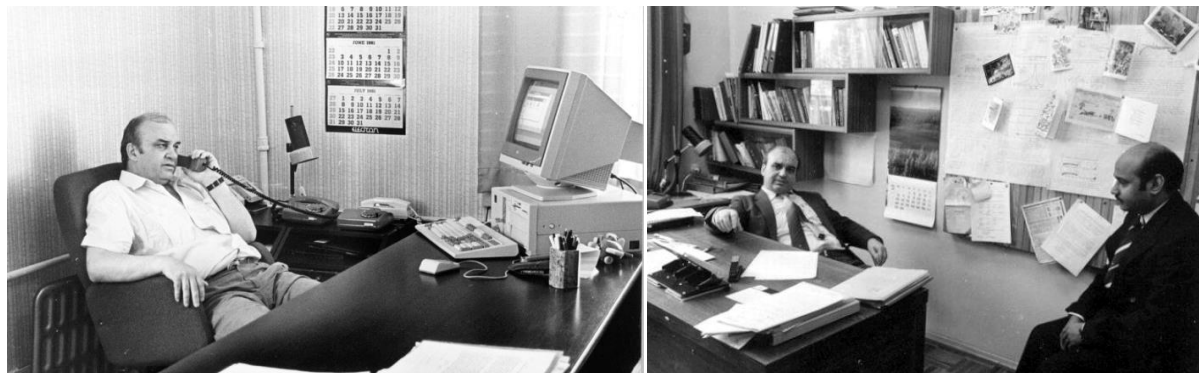
В 1987 году Ц. Д. Вылову было присвоено звание профессора.

В 1988 году был издан также и атлас спектров излучений радионуклидов медицинского назначения, измеренных с помощью полупроводниковых и сцинтилляционных детекторов. С этой целью была создана трехуровневая система регистрации, обработки и анализа спектрометрической информации.

С 1978 по 1984 год Ц. Д. Вылов возглавлял сектор в ЛЯП. С 1984 года он руководил самым большим в ЛЯП интернациональным коллективом — коллективом Отдела ядерной спектроскопии и радиохимии. Он уделял большое внимание расширению и укреплению сотрудничества с научными центрами и стран-участниц ОИЯИ, и других стран. Ц. Д. Вылов внес значительный вклад в подготовку квалифицированных кадров. Благодаря ему большое количество физиков-ядерщиков прошло научную школу ОИЯИ. Его

многочисленные ученики, защитившие кандидатские и докторские диссертации, успешно работают во многих научно-исследовательских центрах мира.

В 1978–1988 годах Ц. Д. Выловым выполнены наиболее точные измерения масс нейтрона, электрона и позитрона. Эти данные вошли в таблицы фундаментальных физических констант. Ц. Д. Вылов с сотрудниками впервые экспериментально показал необходимость учета естественной ширины калибровочных линий конверсионных электронов в экспериментах по определению массы антинейтрино из формы бета-спектра трития. Результаты работ Ц. Д. Вылова отмечены двумя первыми и одной второй премиями на конкурсах научных работ Объединенного института ядерных исследований.



*Ц. Вылов в своем кабинете “за рулем” «Правца» (слева);
беседует с Катхатом Чхоту Лалом (справа)*



Ц. Вылов с Л. И. Лapidусом (справа); на семинаре РХЛ, 1986 (слева)

В это же время (1980–1993 гг.) под его руководством были проведены работы по исследованию свойств нейтрино в процессах радиоактивного распада, на современном уровне экспериментальной техники выполнены эксперименты по измерению спиральности нейтрино, исследована роль естественной ширины и формы электронных линий в экспериментах по измерению массы антинейтрино.

Были начаты и успешно проводились эксперименты по поиску двойного безнейтринного бета-распада с помощью оригинального телескопа из полупроводниковых HPGe-детекторов и установки NEMO, уникальной особенностью которой была возможность измерения кинематики двух распадных электронов. Ц. Д. Вылов принимал участие в работах с реакторными антинейтрино и в работах по созданию установки нового поколения SuperNEMO для исследования двойного безнейтринного бета-распада с рекордной чувствительностью.



Ц. Д. Вылов среди “старой гвардии” ЛЯП в зале модифицированного фазотрона



Ц. Вылов и В. П. Дзелепов – 2-й и 1-й директора ЛЯП (слева); с В. Г. Кадышевским и А. Н. Сисакяном (справа)

Именно эти начатые Ц. Д. Выловым исследования позволяют утверждать, что он является основоположником нового направления исследований в ОИЯИ *неускорительная нейтринная физика и астрофизика* — одной из наиболее активно развивающихся областей современной физики атомного ядра и элементарных частиц.

Директором Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ Ц. Д. Вылов был избран в 1988 году. Он первым унаследовал должность директора ЛЯП (ставшую переходящей) от Венедикта Петровича Дзелепова в самом начале «эпохи перемен».

По существу, я (Вадим Бедняков) познакомился с Ц. Д. Выловым именно тогда, когда он уже работал директором ЛЯП. Я был тогда самым молодым сотрудником теоретического сектора Петра Степановича Исаева в одном большом научно-экспериментальном отделе ЛЯП, руководимом Степаном Агароновичем Бунятовым. Мы — сотрудники сектора Сергей Коваленко, Юра Иванов, я и в несколько меньшей степени Саша Осипов — занимались тогда теоретической поддержкой проводимого “бунятовским

отделом” в Протвино эксперимента под названием «Нейтринный детектор ИФВЭ–ОИЯИ». Иными словами, я был совершенно в другом отделе ЛЯП, заметно отличном и географически от “выловского отдела”.

Пожалуй, ключевым моментом для дальнейшей истории было то, что Ц. Д. Вылов назначил ученым секретарем ЛЯП коллегу по совместной работе Вячеслава Михайловича Горожанкина и взял в секретари Татьяну Александровну Осипову (жену Саши Осипова). Сегодня я уже не помню деталей, но, по логике вещей, именно Татьяна оказалась тем первым связующим звеном, с помощью которого как сам Вылов, так и Слава Горожанкин обратили свое конструктивное внимание на наш перспективный коллектив молодых теоретиков. В 1988 году все мы были уже кандидатами физико-математических наук, имели опыт научной работы и публичных выступлений, наш сектор был дружен и молод (все вместе ходили обедать и встречали не один Новый год и т. п.). Теперь, будучи сам директором ЛЯП, я прекрасно понимаю, как нормальному директору нужны квалифицированные, образованные, энергичные и надежные молодые сотрудники, такие, на которых можно положиться.

Общепризнанной заслугой Ц. Д. Вылова на посту директора ЛЯП является широкое внедрение во второй половине 80-х годов 20-го века в научно-исследовательскую среду как ЛЯП, так ОИЯИ в целом, первых персональных компьютеров — большой партии (штук 60–70) ПК «Правец-16» (болгарского клона IBM PC). Совпадение “болгарского происхождения” Цветана Вылова и этой партии “правцов” было совершенно не случайно.



Ц. Вылов и В. Горожанкин проводят измерения в РХЛ (1978)

Причиной всему было постоянное стремление Ц. Вылова к новому и порой необычному, многократно помноженное на его коммерческую жилку прирожденного предпринимателя.



Ц. Вылов с монитором «предправцовской эры» (слева); настоящий «Правец-16» (справа)



Внутренности «Правца-16» (слева); А. Рождественский и Ю. Иванов (справа)

Я не был непосредственным участником этого эпохального процесса, но на самой начальной стадии он проходил на моих глазах. В нем главную роль играли мои друзья и коллеги по отделу Бунятова — Юра Иванов и Саша Рождественский. У них уже был большой опыт творческой работы — в прямом смысле этого слова — по введению в строй и эксплуатации двух самых первых персональных компьютеров (IBM PC compatible), которые появились в отделе С. А. Бунятова в 1986 году.

Поскольку партия «правцов» была большая и прибыла в ОИЯИ из дружественной социалистической Болгарии (которая тогда все еще с трудом считалась настоящей границей), то практически сразу стало ясно, что нельзя просто так раздать «правцы» по народу: они либо не запускались, либо быстро выходили из строя. Оказалось, что прежде чем раздавать компьютеры, их нужно тривиально «дожать», т. е. убедиться, что все платы полностью вставлены в свои контактные разъемы, все соединительные кабели правильно подключены и правильно соединены и т. д. и т. п. Именно такой «предраздачной» наладкой и доводкой в специально отведенном для этого помещении на втором этаже лабораторного корпуса ЛЯП в то время и занимались Юра и Саша (напротив кабинета Джелепова, бывшая комната профбюро ЛЯП, аннулированного Выловым). Они фактически ставили на ноги «правцы» и обеспечивали их дальнейшую бесперебойную работу. По инициативе Вылова были также прочитаны Ю. П. Ивановым курсы лекций по «Введению в ПК (архитектура компьютера, операционная система DOS, пакеты программ и т. д.)». Сначала в РХЛ, а потом и во многих других отделах ЛЯП. Перефразируя известную фразу Ю. А. Будагова, можно сказать, что теоретики всегда полезны в экспериментальном хозяйстве.

Вот что по этому поводу вспоминает Юрий Павлович Иванов: «Помимо Перестройки, начатой в 1986 году, пошла и “компьютеризация всей страны”. Те, у кого были первые ПК, оказались на самом острие момента. Когда остальные группы в ЛЯП, да и ОИЯИ, только обзаводились компьютерами, мы уже умели на них работать. Оригинальные IBM PC были дорогаваты. И именно Вылов во многом поспособствовал приобретению большого количества “правцов”. Все пробные модели мы и тестировали как “эксперты” по ПК. Потом, помнится, мы пару лет просидели, что называется, на “складе компьютеров”, — уже в лабораторном корпусе, где впоследствии сделали “компьютерный класс”».

По поводу «эффективной эксплуатации» этого компьютерного класса можно вспомнить «воскресную школу компьютерной грамотности», инициатором которой в значительной степени был Цветан Вылов. Речь идет о проходе по выходным на территорию площадки ЛЯП групп школьников старших классов (в частности, учеников 4-й школы, где училась Татьяна Вылова) для обучения работе на персональных компьютерах. Наиболее удобно это было делать с помощью именно таких компьютерных классов, где сосредотачивалось большое количество ПК. Понятно, что большую часть времени школьники «осваивали» лишь компьютерные игры, но даже это в 80-х годах уже было достижением. До сих пор многие бывшие тогда школьники с благодарностью вспоминают те дни в «воскресной школе».

Пожалуй, предвестником моего тесного сотрудничества с Выловым следует считать первую международную школу «Слабые взаимодействия при низких энергиях» (LEWI-90), проведенную в Дубне под председательством Цветана Димитрича летом 1990 года. В моем теперешнем понимании это мероприятие под скромным названием «школа» официально объявило всему научному миру о том, что в Дубне (под предводительством Ц. Вылова) сформировалась команда, способная на проведение высокоточных спектроскопических исследований в области нейтринной физики.

Ученым секретарем этой школы был В. М. Горожанкин. Именно по его просьбе я занимался организацией экскурсии по Волге для участников школы. Требовался достаточно вместительный корабль, который, как оказалось после некоторого исследования, необходимо было заказывать в Кимрах. Я уже не помню, почему выбор Славы пал тогда именно на меня, но получилось вполне нормально: все участники были довольны приятной прогулкой по Волге, отдыхом и неформальным общением. Фактически после этой «проверки корабликом» отношения со Славой Горожанкиным переросли в более тесные и доверительные, я начал помогать ему в его учёно-секретарской работе. Сначала эпизодически, а потом, когда Слава стал болеть, я потихоньку замещал его. Кончилось это тем, что где-то в начале 1992 года Цветан Вылов убедил меня согласиться исполнять обязанности Ученого секретаря ЛЯП, освободив от этой работы В. М. Горожанкина. Как мне напомнила моя жена, учившая математике дочку Вылова, одним из решающих аргументов было обещание помочь мне с получением квартиры в Дубне для моей семьи из четырех человек. Справедливости ради надо сказать, что квартира у нас появилась, но не скоро и не благодаря прямому вмешательству Цветана Димитрича. Хотя формально обещание его было выполнено: в 1995 году у нас образовалась двухкомнатная квартира на улице Понтекорво.

На школе LEWI-90 в Дубне уже был профессор из Гейдельберга Ганс Фолкер Клапдор (впоследствии Клапдор-Кляйнгротхауз), однако время еще не пришло, и для нас с Сергеем Коваленко его присутствие осталось незамеченным. Через два года знакомство с ним на большом международном симпозиуме (WEIN-92) стало лично для меня судьбоносным.

Это был III Международный симпозиум по слабым и электромагнитным взаимодействиям (WEIN-92). Он был организован и проводился под руководством Ц. Д. Вылова (и Ю. В. Гапонова) в июне 1992 года в Дубне. Предыдущие два были в Гейдельберге (Германия) и Монреале (Канада). Следующий прошел в Осаке (Япония).

Симпозиум был поддержан Международным союзом теоретической и прикладной физики (IUPAP), а также рядом ведущих институтов России: Курчатовским институтом, ИТЭФ, ФИАН, ИЗМИРАН, ИЯИ РАН, ПИЯФ, НИИЯФ МГУ и МИФИ. Присутствовало более 200 исследователей, среди которых более 60 — специалисты из США, Франции, Германии, Японии, Италии, Канады. Этот симпозиум подтвердил высокий статус ОИЯИ как полностью сформировавшегося центра исследований в области нейтринной физики промежуточных и низких энергий.

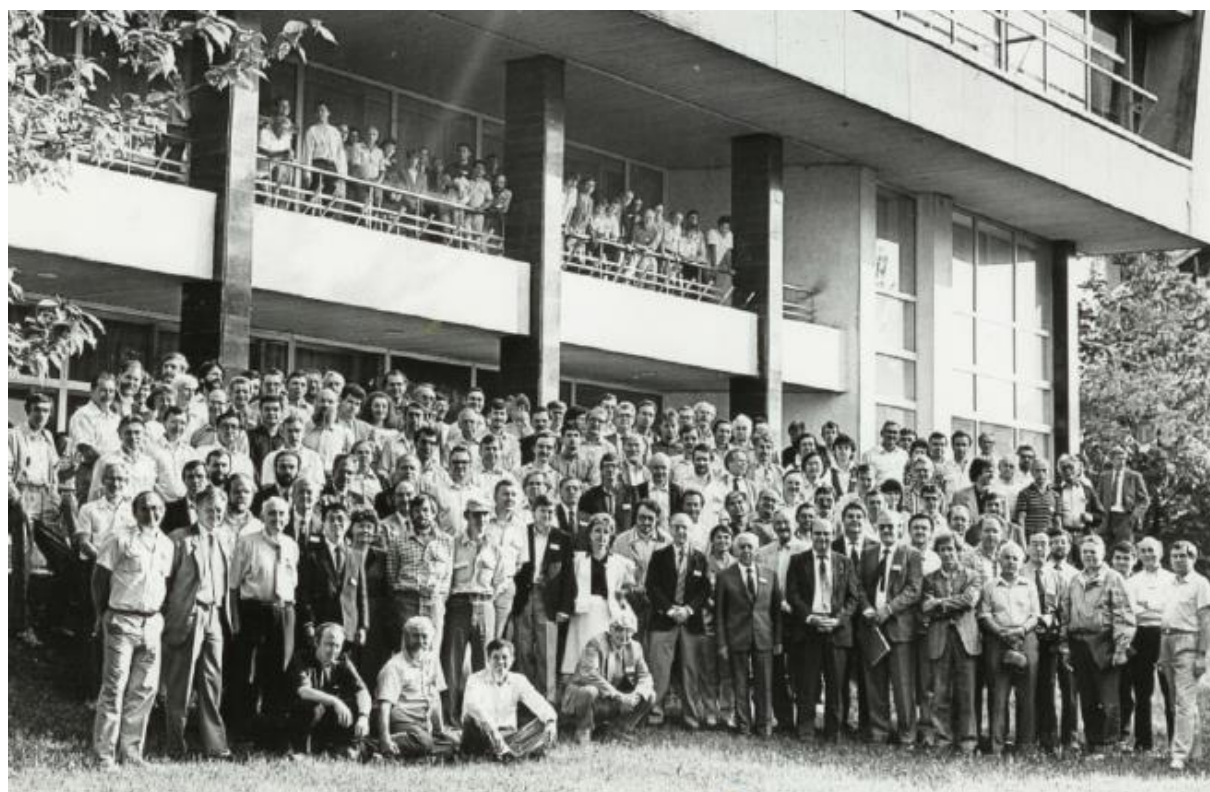


Председатель оргкомитета школы Ц. Вылов, профессор М. Морита (Япония) и профессор Г. Клапдор (Германия) у входа в ДМС (слева). Они же в коттедже Ц. Вылова во время школы LEWI-90 (справа)

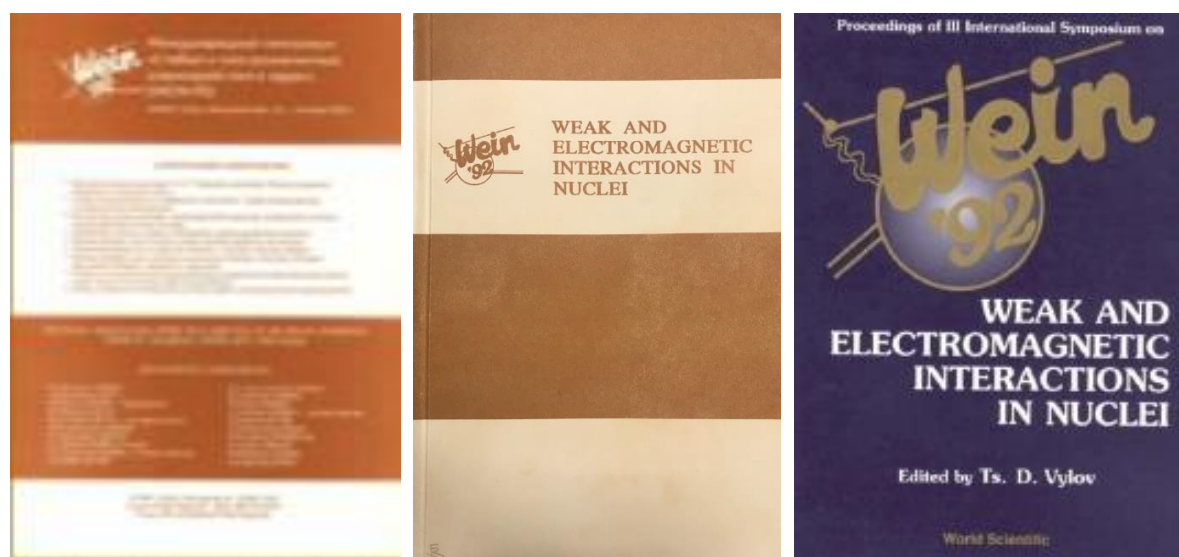
Ученым секретарем симпозиума изначально был назначен (Выловым и Гапоновым) Александр Андреевич Осипов — наш коллега по работе в теоретическом секторе экспериментального отдела С. А. Бунятова. Похоже, у Цветана Вылова при поддержке Юрия Владимировича Гапонова было чутье на хороших теоретиков. Они знали Сашину педантичность и аккуратность по работе над переводом на русский язык первой книги Клапдора «Слабые взаимодействия в физике ядра, частиц и астрофизике».

Однако судьба распорядилась иначе. Саша Осипов, успев только сделать красивую эмблему симпозиума, получил приглашение на интересную и высокооплачиваемую работу во Франции, куда он на длительное время и уехал. Вместо него в учено-секретарское научно-техническое обеспечение симпозиума включились Сергей Григорьевич Коваленко (научное), Вера Эдуардовна Коваленко и я (техническое).

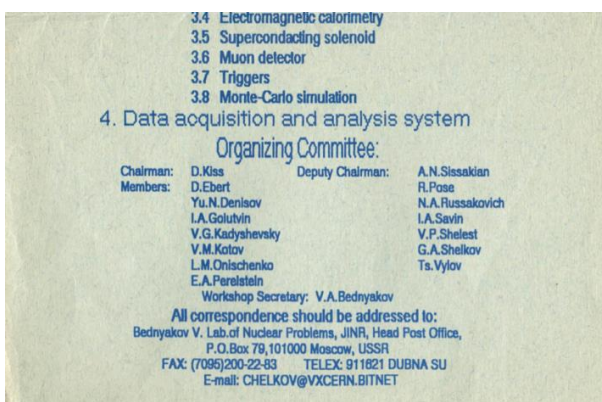
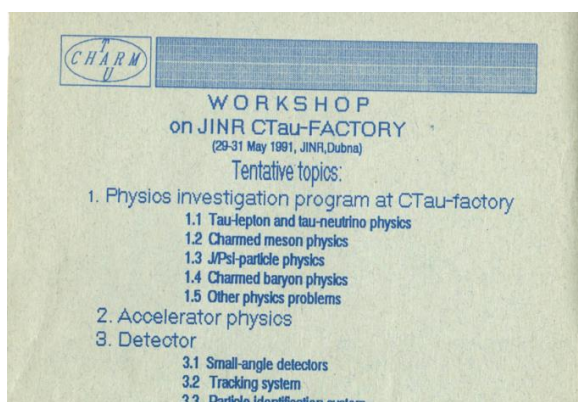
Здесь, оглядываясь назад, я могу позволить себе пофантазировать и сказать, что Вылов и Гапонов не просто так выбрали нас с Сергеем. Поскольку Г. Ф. Клапдор уже тогда был заметной фигурой в области нейтрино-ядерных исследований, то они вполне резонно могли решить, что через эту учено-секретарскую работу наиболее просто свести нас с Клапдором, имея в виду будущее взаимовыгодное сотрудничество. Теперь уж их не спросишь, но это решение оказалось очень мудрым. Наше знакомство с Г. Ф. Клапдором тогда быстро переросло в совместную работу по проблемам физики нейтрино и прямого поиска галактических частиц темной материи. В известном смысле мы переориентировались на задачи Клапдора, которые, как показала жизнь, были актуальными и перспективными. Эта работа проходила как в Дубне, так и в Гейдельберге (при финансовой поддержке профессора Клапдора), что в значительной мере помогло нам выжить и не бросить заниматься наукой в «тяжелое время перемен» конца 90-х и начала двухтысячных. Так сложилось, что я проработал с профессором Клапдор-Кляйнротхаузом довольно много времени (до 2006 года), и лично для меня этот человек остается примером беззаветного служения науке, честного и требовательного к себе и к своим сотрудникам. Я многому у него научился.



Поскольку к моменту организации симпозиума WEIN-92 я уже достаточно хорошо освоил LaTeX , то мне было поручено заниматься подготовкой издаваемого к симпозиуму сборника аннотаций докладов. Кроме этого, я собирал, редактировал и переводил в LaTeX (если это было надо) практически все тексты докладов, которые присылали участники для опубликования в материалах симпозиума в виде большой синей книги. Именно эта работа — хотя и была весьма трудоемкой и непростой — дала мне возможность общаться со многими замечательными участниками этого дубненского симпозиума.



Постер, сборник аннотаций докладов и книга трудов симпозиума WEIN-92



Моя первая попытка сделать постер рабочего совещания своими руками

Помню, как с Цветаном Димитричем мы отправляли большую толстую папку с материалами симпозиума в Сингапур, где в издательстве World Scientific нам обещали издать эти материалы. Нельзя забыть и ту искреннюю радость Вылова, когда тяжелые пачки с этими синими книгами прилетели из далекого Сингапура целыми и невредимыми к нам в Дубну.

Для полноты картины следует напомнить, что в 1991 году, будучи директором ЛЯП, Вылов весьма активно откликнулся на призыв (скорее всего дирекции ОИЯИ) заняться физической программой, а возможно, и последующим строительством ст-фабрики в Дубне. Было проведено большое рабочее совещание международного уровня, организацией которого вместе с Г. А. Шелковым также пришлось позаниматься мне.

Ц. Д. Вылов был директором ЛЯП всего один пятилетний срок, поскольку в 1992 году он был избран на должность вице-директора ОИЯИ. Он успешно работал в этой должности до 2005 года. За время своего вице-директорства Ц. Д. Вылов провел большую научно-организационную работу в ОИЯИ. В течение многих лет он был членом Комитета по структуре ядра ОИЯИ, представителем ЛЯП в Научно-координационном совете ОИЯИ по физике низких и промежуточных энергий, участвовал в работе КПП и Ученого совета ОИЯИ, непосредственно руководил работой Программно-консультативного комитета по ядерной физике и т. д. Вместе с Ю. В. Гапоновым он много сделал для установления рабочих контактов и эффективной совместной работы с учеными Курчатовского института. К сожалению, эти усилия не дали в то время заметного результата.



Члены ПКК по ядерной физике, которым руководил вице-директор Ц. Д. Вылов (2000–2002)

Похоже, какая-то незримая нить связывала Юрия Владимировича Гапонова и Цветана Димитрича Вылова: они очень много работали вместе, много сделали хорошего и важного для нашего Института, но самое печальное то, что ушли от нас эти два замечательных человека тоже почти вместе... в конце 2009 года.

После 2005 года у Цветана был свой кабинет на 3-м этаже его родного РХЛ. Не очень часто, правда, мне его удавалось там застать, тем не менее, когда это происходило, он встречал меня всегда доброй шуткой — обычно по поводу действительности текущего момента, — и мы говорили о науке. В частности, я помню, как он “пытал” меня по поводу галактических реликтовых нейтрино, возможные пути регистрации которых он пытался нащупать вместе в В. Б. Бруданиным и В. Г. Егоровым.

Всего однажды мне посчастливилось быть соавтором Ц. Д. Вылова. Вместе с С. Г. Коваленко и В. Б. Бруданиным мы написали статью о перспективах обнаружения суперсимметрии в процессе двойного бета-распада ядра. Ее опубликовали в 1997 году.

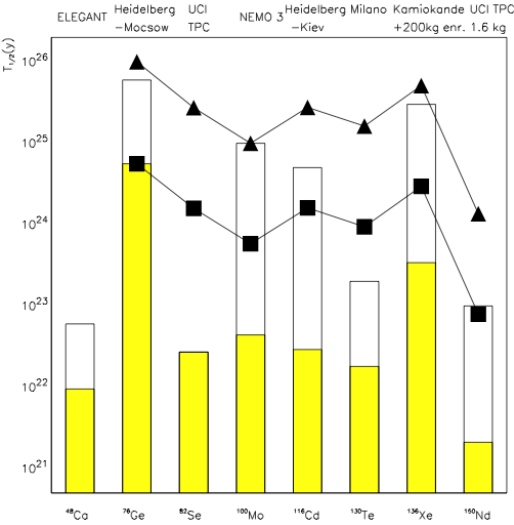
Modern Physics Letters A, Vol. 12, No. 4 (1997) 233–241
© World Scientific Publishing Company

ON PROSPECTS FOR EXPLORATION OF SUPERSYMMETRY IN DOUBLE BETA DECAY EXPERIMENTS

V. A. BEDNYAKOV, V. B. BRUDANIN, S. G. KOVALENKO and TS. D. VYLOV
Laboratory of Nuclear Problems, Joint Institute for Nuclear Research,
141980 Dubna, Moscow Region, Russia

Received 30 October 1996

We analyze constraints on the parameters of the R_p violating supersymmetry (R_p SUSY) which can be extracted from non-observation of the neutrinoless nuclear double beta decay ($0\nu\beta\beta$) at a given half-life lower bound. Our analysis covers a large class of phenomenologically viable R_p SUSY models. We introduce special characteristics: the SUSY sensitivity of a $\beta\beta$ -decaying isotope and the SUSY reach of a $0\nu\beta\beta$ -experiment. The former provides a physical criterion for a selection of the most promising isotopes for SUSY searches and the latter gives a measure of success for a $0\nu\beta\beta$ -experiment in exploring the R_p SUSY parameter space. On this basis we discuss prospects for exploration of supersymmetry in various $0\nu\beta\beta$ -experiments.



Начало нашей общей статьи (слева). Экспериментальная ситуация 1995 года (желтые полосы) и ожидания 2000 года (белые полосы) для времени жизни $T_{1/2}$. Нижняя линия (квадраты) соответствует параметру суперсимметрии для германия $\epsilon(^{76}\text{Ge})_{1995} = 5,3$, верхняя линия (треугольники) – параметру $\epsilon(^{100}\text{Mo}, \text{NEMO})_{2000} = 22,2$. Эксперименты, достигшие этих линий, дают ограничения на ζ такие же, как эксперимент Heidelberg–Moscow в 1995 году, или такие же, как эксперимент NEMO в 2000 году (справа)

Цветан Вылов очень любил хорошую компанию, он был радушным, внимательным и жизнерадостным хозяином. Мне всего пару раз удалось поучаствовать в такого рода посиделках. На меня произвела сильное впечатление уже не помню кем рассказанная история о том, как Вылов пошел на ближайший к его коттеджу базар за рыбой для готовки то ли ухи, то ли другого блюда, а вернулся бесконечно счастливый с отобранной силой или купленной за большие деньги у рыбака-продавца картонкой, на которой было крупными кривыми буквами написано всего два слова: «СВЕЖИЙ ВЫЛОВ».

Будучи уже вице-директором ОИЯИ, занятым важными общеинститутскими делами, Ц. Д. Вылов был главным инициатором и вдохновителем возобновления (после почти пятилетнего перерыва) конференционной активности ОИЯИ в области нейтрино-ядерной неускорительной физики.



Если мне не изменяет память, триггером этого процесса стала, можно сказать, мимолетная встреча, когда Сергей Коваленко и я, неспешно проезжая на машине летом 1996 года по каким-то своим делам мимо выловского коттеджа, увидели Цветана Вылова и Виктора Бруданина, так же неторопливо прогуливавшихся неподалеку. Разговор был короткий. «Хватит дурака валять, — сказал Вылов нам с Сергеем в открытое окно автомобиля. — Пора запускать постоянно действующую, нашу собственную конференцию по неускорительной нейтринной физике, и желательно, с прицелом на физику за рамками Стандартной модели». Виктор Борисович, помнится, многозначительно промолчал, но, когда мы с Сергеем дружно и быстро согласились (поскольку эту идею мы уже обсуждали), он радостно встал на нашу сторону.

Так примерно все и началось. В. Б. Бруданин и С. Г. Коваленко стали главными организаторами (сопредседателями) этого цикла из шести дубненских конференций по проблемам новой физики в неускорительных экспериментах. Первая, правда, называлась скромно — рабочее совещание «Новая физика в неускорительных экспериментах». Мне же, по старой WEIN-ской памяти, досталась роль главного редактора материалов этих конференций, которые, к общей радости, удалось систематически публиковать в журнале «Ядерная физика». Подготовка конференций, их проведение и участие в них имели для ОИЯИ очень большое значение. К нам в Дубну приезжали выдающиеся ученые — ведущие специалисты в области нейтрино, астрофизики, суперсимметрии, новой физики, теоретики и экспериментаторы, специалисты в методике эксперимента и т. п. Общение с ними и последующие контакты оказались очень полезными и плодотворными не столько для нас лично, сколько для правильного выбора стратегического направления наших исследований в ОИЯИ по физике нейтрино, новой физике и астрофизике.



В 2009 году все закончилось только этой эмблемой...

Подводя итог, можно сказать, что Цветан Димитров Вылов, желая того или нет, фактически указал тот путь, который привел меня в 2013 году на должность директора ЛЯП, пятого по счету после В. П. Желепова. Не мне судить, но у меня остается чувство уверенности в том, что пятый директор ЛЯП как минимум не уронил Дело, которое начал второй директор ЛЯП.

Январь 2023 года

Список сотрудников ОЯСиРХ (1955–2010)

1. Абдуразаков А.	Узбекистан	41. Бон Владимир	Чехословакия
2. Абросимов В. Н.	Россия	42. Бонова Вера	Чехословакия
3. Авдеев В. Н.	Россия	43. Бончев Георги	Болгария
4. Авдеев С. П.	Россия	44. Бонч-Осмоловская Н. А.	Россия
5. Авдеева Н. С.	Россия	45. Борискова Д. Л.	Россия
6. Аврамов Станислав	Болгария	46. Бородин Д. Е.	Россия
7. Аврамова Антоанета	Болгария	47. Борович Д.	Польша
8. Адам Индржих	Чехия	48. Босенко Д. В.	Россия
9. Адилбиш Мужаанн	Монголия	49. Бочварова Мария	Болгария
10. Акатов А. И.	Россия	50. Бретер Эрика	ГДР
11. Акимова А. М.	Россия	51. Бруданин В. Б.	Россия
12. Алексеев И. В.	Россия	52. Будзынски Мечислав	Польша
13. Аликов Б. А.	Россия	53. Будяшов Ю. Г.	Россия
14. Алтайский М. В.	Россия	54. Буздавин А. П.	Россия
15. Алтангэрэл Дугаржавын	Монголия	55. Буланов А. Н.	Россия
16. Аль-Рашедал Ясир	Ирак	56. Бурмаа Увгунхугийн	Монголия
17. Амгалангийна Р.	Монголия	57. Бутабаев Юнусжан	Узбекистан
18. Амов Благой	Болгария	58. Бутцев В. С.	Россия
19. Арльт Рольф-Дитер	ГДР	59. Бухова Божена	Чехословакия
20. Аугустиняк Эдвард	Польша	60. Быстрицкий В. М.	Россия
21. Афанасьев В. П.	Россия	61. Быстров В. А.	Россия
22. Бабух А. В.	Россия	62. Ваврышук Генрык	Польша
23. Бабин В. И.	Россия	63. Ваврышук Ян	Польша
24. Бадалов Х. Н.	Узбекистан	64. Ваганов Ю. А.	Россия
25. Байер Герд Юрген	ГДР	65. Валуев Ю. М.	Россия
26. Байер Рената	ГДР	66. Вандлик Татьяна	Венгрия
27. Балабекян Анаит	Армения	67. Вандлик Янош	Венгрия
28. Баландин М. Л.	Россия	68. Василев Димитр	Болгария
29. Бан Чу Се	КНДР	69. Васильев Р. В.	Россия
30. Бацев Симеон	Болгария	70. Васильев С. И.	Россия
31. Баяр Балдангийн	Монголия	71. Васильев С. К.	Россия
32. Бедаанек Иван	Чехия	72. Величков Атанас	Болгария
33. Бедроян Петер	Венгрия	73. Величкова Йорданка	Болгария
34. Беликов К. А.	Россия	74. Венос Драгослав	Чехия
35. Белолепников И. А.	Россия	75. Вибике Урсула	ГДР
36. Бельцаж Эугениуш	Польша	76. Вильгельмова Л.	Чехословакия
37. Бенеш Петр	Чехия	77. Винель Г. В.	ГДР
38. Биалковский Эдвард	Польша	78. Виноградова Н. В.	Россия
39. Билуши В.	Венгрия	79. Влахова Мария	Чехословакия
40. Богданова Мария	Болгария	80. Володько А. Г.	Россия

81. Вонс Богдан	Польша	121. Дашзэвэг Ашхуу	Монголия
82. Воробел Вит	Чехия	122. Демьянов А. В.	Россия
83. Воробьев Г. М.	Россия	123. Денисов С. Т.	Россия
84. Воронин А. Б.	Россия	124. Дептула Чеслав	Польша
85. Воронов С. Л.	Россия	125. Дешевых И. А.	Россия
86. Воцилка Иржи	Чехословакия	126. Джаббер Джамаль	Ирак
87. Вылов Цветан	Болгария	127. Диас Гарсиа Анжелика	Куба
88. Вылова Людмила	Болгария	128. Дитрих Свен	ГДР
89. Гаджоков Васил	Болгария	129. До Кии Тюнг	Вьетнам
90. Гальперина Р. С.	Россия	130. Довгун С. В.	Россия
91. Ганзорик Ж.	Монголия	131. Додохова З. Ф.	Россия
92. Гасиор Мариан	Польша	132. Дойчева Виктория	Болгария
93. Гвоздева Л. М.	Россия	133. Дорошенко Л. М.	Россия
94. Георгиев Орлин	Болгария	134. Дугинова Е. В.	Россия
95. Герасимов В. В.	Россия	135. Дудова Ирина	Чехословакия
96. Гилев В. И.	Россия	136. Дупак Ян	Чехословакия
97. Глинко П. В.	Россия	137. Евсеев В. С.	Россия
98. Говорова О. А.	Россия	138. Евтисов С. В.	Россия
99. Голиков В. М.	Россия	139. Егоров В. Г.	Россия
100. Головин Б. М.	Россия	140. Егошин И. Н.	Россия
101. Головков Н. А.	Россия	141. Ен Марик	Польша
102. Головков К. Н.	Россия	142. Еникова Милослава	Болгария
103. Голубев Н. П.	Россия	143. Ермаков В. В.	Россия
104. Гонс Зденек	Чехия	144. Ермолина Л. А.	Россия
105. Гонсова Ярослава	Чехия	145. Жабленски Николай	Болгария
106. Гонусек Милан	Чехия	146. Житников И. В.	Россия
107. Горбачев В. С.	Россия	147. Жукова В. Г.	Россия
108. Горожанкин В. М.	Россия	148. Зайдлер Зигфрид	ГДР
109. Гошев В. А.	Россия	149. Зайдлер Кристи	ГДР
110. Градец Иван	Чехословакия	150. Зайцева З. Г.	Россия
111. Громов К. Я.	Россия	151. Зайцева Н. Г.	Россия
112. Громова И. И.	Россия	152. Законова Д. Л.	Россия
113. Груздь Витольд	Польша	153. Запаров Шер	Узбекистан
114. Гуинь Тхи Ха	Вьетнам	154. Зелинский Анджей	Польша
115. Гумнерова Лиляна	Болгария	155. Зиберг Лидия	ГДР
116. Гуров Ю. Б.	Россия	156. Зиберт Ханс-Уве	ГДР
117. Гусакова М. В.	Россия	157. Зинатулина Д. Р.	Россия
118. Гусев К. Н.	Россия	158. Зорин Г. Н.	Россия
119. Далхасурен Б.	Монголия	159. Зорина В. А.	Россия
120. Дао Динь Кыонг	Вьетнам	160. Зрелов В. П.	Россия

161. Зубер Казимир	Польша	201. Кобозев В. Н.	Россия
162. Зубер Ядвига	Польша	202. Коваленко В. Э.	Россия
163. Зубкевич А. С.	Россия	203. Ковалик Алоиз	Чехия
164. Зузаан Пурэвийн	Монголия	204. Ковач Золтан	Венгрия
165. Игоренкова Д. П.	Россия	205. Кожокару Виорел	Румыния
166. Изосимов И. Н.	Россия	206. Козловский Тадеуш	Польша
167. Илиев Георги	Болгария	207. Колачковский Анджей	Польша
168. Иноятлов Анвар	Узбекистан	208. Колесников А. Г.	Россия
169. Иовчев Милен	Болгария	209. Коляпкин К. В.	Россия
170. Ион Ян	Чехословакия	210. Комаров И. И.	Россия
171. Ион Ревейка	Чехословакия	211. Кондрат Е. Т.	Россия
172. Ионеску Теодор	Румыния	212. Конищев К. В.	Россия
173. Ионович		213. Кондрашов М. Г.	Россия
174. Исламов Туравай	Узбекистан	214. Конишек Ян	Чехословакия
175. Истаткова Цанка	Болгария	215. Конова А. А.	Россия
176. Казаков В. А.	Россия	216. Коралова Соня	Болгария
177. Калинина Н. Н.	Россия	217. Корешцкий Ян	Польша
178. Калининков В. Г.	Россия	218. Коробейников В. А.	Россия
179. Калинова Боряна	Болгария	219. Королев Н. А.	Россия
180. Караиванов Д. В.	Болгария	220. Котовский Н. Ю.	Россия
181. Карнаухов В. А.	Россия	221. Кочетов О. И.	Россия
182. Картацев О. И.	Россия	222. Крайпе Аннакатрин	ГДР
183. Карч Вальдемар	Польша	223. Крацик Борживой	Чехословакия
184. Катовский Карел	Чехия	224. Крацикова Иржина	Чехословакия
185. Катулина С. Л.	Россия	225. Крацикова Татьяна	Чехословакия
186. Катхат Чхоту Лал	Индия	226. Крецу Троян	Румыния
187. Качалкин А. К.	Россия	227. Кривопустов М. И.	Россия
188. Кернер Карин	ГДР	228. Криштиакова Катерина	Чехословакия
189. Кестарова Ольга	Болгария	229. Крогульский Тадеуш	Польша
190. Ким Зи Хван	КНДР	230. Кроо Эрик	ГДР
191. Ким Сен Хан	КНДР	231. Крупа-Таньски Виктория	Польша
192. Ким Хен Гер	КНДР	232. Крупа Эдвард	Польша
193. Ким Хын Хван	КНДР	233. Кудрявцев В. П.	Россия
194. Киракосян Ваган	Армения	234. Кузнецов В. В.	Россия
195. Клапацкий П.	Польша	235. Кузнецов В. Д.	Россия
196. Клепова О. С.	Россия	236. Кузнецова М. Я.	Россия
197. Клименко А. А.	Россия	237. Кузьмин Е. С.	Россия
198. Клубань Н. А.	Россия	238. Куликов Е. В.	Россия
199. Кнотек Олдржих	Чехословакия	239. Куля Ирена	Польша
200. Кноткова Бажена	Чехословакия	240. Кумпф Лиана	

241. Кщачков А. В.		281. Милео Александр	
242. Лубашевский А. В.	Россия	282. Миньков С. И.	Россия
243. Лебедев Н. В.	Россия	283. Мирошниченко М. Г.	Россия
244. Лебедев Н. Н.	Россия	284. Михайлов Михаил	Болгария
245. Лебедева Е. В.	Россия	285. Михайлова Вера	Болгария
246. Лебедев Н. А.	Россия	286. Михайлова Т. И.	Россия
247. Левандовски Мирослав	Польша	287. Мишонова Валя	Болгария
248. Левенберг И. Ю.	Россия	288. Молнар Ференц	Венгрия
249. Ледница Татьяна	Чехословакия	289. Мончка Дарюш	Польша
250. Ли Дын Сен	КНДР	290. Моравска Екатерина	Болгария
251. Ли Ен Ир	КНДР	291. Морозов В. А.	Россия
252. Ли Зен Сик	КНДР	292. Морозова Н. В.	Россия
253. Лизурей Генрих	Польша	293. Морозова Т. А.	Россия
254. Ли Хыу Фу	КНДР	294. Мотека Лидиа	
255. Ли Чен Сон	КНДР	295. Музиоль Г.	ГДР
256. Лим Хен Тхяк	КНДР	296. Мурин А. Н.	Россия
257. Липтак Ян	Чехословакия	297. Мысиак Рышард	Польша
258. Липтакова Анна	Чехословакия	298. Мыслек Богумила	Польша
259. Лукьянов И. О.	Россия	299. Наседкин П. С.	Россия
260. Лушинский Рышард	Польша	300. Нгуен Гуинь Май	Вьетнам
261. Лэгцэг Алимак	Монголия	301. Нгуен Суан Чунг	Вьетнам
262. Лятушинский Анджей	Польша	302. Нгуен Тхань Хань	Вьетнам
263. Макарие Герге	Румыния	303. Немет Л.	Венгрия
264. Маликов Шавкат	Узбекистан	304. Немченко И. Б.	Россия
265. Маликова Наргиса	Узбекистан	305. Неннова С. В.	Болгария
266. Малински Петер	Чехословакия	306. Ненов Ненчо	Болгария
267. Мальцева Н. С.	Россия	307. Ненова Моника	Болгария
268. Мамедов Т. Н.	Россия	308. Нечева Христина	Болгария
269. Маринов Александр	Болгария	309. Никитюк Л. Н.	Россия
270. Маринов Мариан	Болгария	310. Ниязов Рустам	Узбекистан
271. Марков А. Т.	Россия	311. Новак Казимеж	Польша
272. Матэ Золтан	Венгрия	312. Новак Павел	Чехословакия
273. Матюшенюк И. В.	Россия	313. Новгородов А. Ф.	Россия
274. Махмуд Абдилилах	Ирак	314. Новикова В. И.	Россия
275. Махунка Имре	Чехословакия	315. Ноздрин И. С.	Россия
276. Махунка Имрене	Чехословакия	316. Норсеев Ю. В.	Россия
277. Медведев Д. В.	Россия	317. Озеров А. М.	Россия
278. Мехедов В. Н.	Россия	318. Орманджиев Славко	Болгария
279. Миколаевски Стефан	Польша	319. Ортлепп Ханс Георг	ГДР
280. Миланов Милко	Болгария	320. Осетрова Н. Я.	Россия

321. Осипенко Б. П.	Россия	361. Ржиковска Ирина	Чехословакия
322. Островский И. В.	Россия	362. Рихтер Рената	ГДР
323. Отгон Жавзангийн	Монголия	363. Роганов В. С.	Россия
324. Павлов В. Н.	Россия	364. Родионов В. К.	Россия
325. Панкратов А. Н.	Россия	365. Розов С. В.	Россия
326. Панько Н. А.	Россия	366. Розова И. Е.	Россия
327. Паржицкая Татьяна	Польша	367. Ронжин Д. А.	Россия
328. Пенгрин П. О.	Россия	368. Ружичка Ян	Чехословакия
329. Пей Ен Син	КНДР	369. Рупп Эржебет	Венгрия
330. Пелевинов В. В.	Россия	370. Русаков Р. Е.	Россия
331. Пенев Илия	Болгария	371. Рухадзе Н. И.	Грузия, Россия
332. Пенева Наталья	Болгария	372. Рыбаков В. Н.	Россия
333. Перевощиков Л. Л.	Россия	373. Сабанин Е. М.	Россия
334. Петев Петьо	Болгария	374. Савин В. Е.	Россия
335. Петржилка Иван	Чехословакия	375. Сажински Ян	Польша
336. Петров Л. А.	Россия	376. Саламатин А. В.	Россия
337. Петров Н. И.	Россия	377. Саматов Журобай	Узбекистан
338. Пиотровский Антон	Польша	378. Саматова Гулишод	Узбекистан
339. Плисковский Е. Н.	Россия	379. Сандуковский В. Г.	Россия
340. Плужников В. Д.	Россия	380. Сатаров В. И.	Россия
341. Покорны Петр	Чехословакия	381. Север Франтишек	Чехословакия
342. Покровский В. Н.	Россия	382. Северова Яна	Чехословакия
343. Поликанов С. М.	Россия	383. Седых И. М.	Россия
344. Полахова Яна	Чехословакия	384. Симоненко А. В.	Россия
345. Попов В. В.	Россия	385. Симонов Н. П.	Россия
346. Попов Георги	Болгария	386. Син Су Бок	КНДР
347. Потемпа Антон	Польша	387. Сквирчинска И.	Польша
348. Потемпа Мария	Польша	388. Склisлович Станислав	
349. Правецки Энрене	Венгрия	389. Словак Ярослав	Чехословакия
350. Пражак Франтишек	Чехословакия	390. Смирнова С. Л.	Россия
351. Приемышев А. Н.	Россия	391. Смольников А. А.	Россия
352. Пронских В. С.	Россия	392. Собецка Мирослава	Польша
353. Пудзынски Славомир	Польша	393. Соболев В. И.	Россия
354. Райко В. И.	Россия	394. Сова Марек	
355. Рак Ян	Чехия	395. Соловьев А. И.	Россия
356. Рашкова Невена	Болгария	396. Соукуп Мартин	Чехия
357. Ревенко А.В.	Россия	397. Спалик Ежи	
358. Реетц Беата	ГДР	398. Спиров Иван	Болгария
359. Реш Анка	ГДР	399. Срнка Душан	Чехословакия
360. Реш Франк	ГДР	400. Срнкова Яна	Чехословакия

401. Стаменова Райна	Болгария	441. Фуряев Т. А.	Россия
402. Станоев С.	Болгария	442. Фуя Вагнелия	Румыния
403. Станчев Станчо	Болгария	443. Фуя Христо	Румыния
404. Станчева Надежда	Болгария	444. Хабеникт Вернер	ГДР
405. Старжевская Халина		445. Хадим Антонин	
406. Стегайлов В. И.	Россия	446. Халкин В. А.	Россия
407. Столупин В. А.	Россия	447. Хан Ен Син	КНДР
408. Столупина Р. В.	Россия	448. Хан Хен Мо	КНДР
409. Сэрээтэр Жугдэрийн	Монголия	449. Хачатуров Б. А.	Россия
410. Сюч Золтан	Венгрия	450. Херманн Экхард	ГДР
411. Тарасова Л. М.	Россия	451. Херрманн Карл	ГДР
412. Таут Штеффан		452. Херрманн М.	ГДР
413. Теш Зигрун	ГДР	453. Хишигтин Нацаг	Монголия
414. Тимкин В. В.	Россия	454. Хишигтин Нацаг	Монголия
415. Тиссольт Эрика	ГДР	455. Хмелевски Збигнев	Польша
416. Тогтобаяр Л.	Монголия	456. Хуухэнхуу Г.	Монголия
417. Тончев Авайло	Болгария	457. Цупко-Ситников В. М.	Россия
418. Трон Лайош	Венгрия	458. Цэдэвиин Бужинлхан	Монголия
419. Трофимов В. Н.	Россия	459. Чайковска Иоланта	Чехословакия
420. Трофимов Т. В.	Россия	460. Чалоун Павел	Чехия
421. Тлусты Павел	Чехия	461. Чан Ким Хунг	Вьетнам
422. Тырофф Шоне	ГДР	462. Чан Тхань Минь	Вьетнам
423. Тыррофф Хорст	ГДР	463. Чан Тхонг	Вьетнам
424. Уклеikin В. В.	Россия	464. Чекалина В. М.	Россия
425. Усманов Пазлитдин	Узбекистан	465. Черны Ярослав	Чехословакия
426. Усманова Зульфия	Узбекистан	466. Чех Б.	Польша
427. Устинова Н. А.	Россия	467. Чигакова Мария	Болгария
428. Фадеева Е. Е.	Россия	468. Чихладзе Циала	Грузия
429. Фарисеева В. В.	Россия	469. Чон Сун Чин	КНДР
430. Федоров М. М.	Россия	470. Чултем Даржаагийн	Монголия
431. Фельдман Урзула	ГДР	471. Чумин В. Г.	Россия
432. Фенеш Тибор	Венгрия	472. Шайбонов Б. А.	Россия
433. Филипова Т. В.	Россия	473. Шамсутдинов Г. Ш.	Россия
434. Филипак Богдан	Польша	474. Швыряев О. М.	Россия
435. Философов Д. В.	Россия	475. Шевчик Е. А.	Россия
436. Фингер Мирослав	Чехия	476. Шимечек Павел	Чехословакия
437. Фоминых В. И.	Россия	477. Шимчак Мечислав	Чехословакия
438. Фоминых М. И.	Россия	478. Ширченко М. В.	Россия
439. Фромм Вольф-Дитрих	ГДР	479. Шитов Ю. А.	Россия
440. Фромм Урсула	ГДР	480. Шмидт Ульрике	ГДР

481. Штекл Иван	Чехия	494. Юрковска Янина	Польша
482. Штрайт Вацлав	Чехословакия	495. Юрковский Ян	Польша
483. Штрантова Ольга	Чехословакия	496. Ютландов И. А.	Россия
484. Штрусный Хенрих	ГДР	497. Юшкевич Ю. В.	Россия
485. Шулекова Гизела		498. Якушев Е. А.	Россия
486. Шульц Розмари	ГДР	499. Яниковский А.	Польша
487. Шуман Доротея	ГДР	500. Яницкий Мечислав	Польша
488. Шумилин Н. И.	Россия	501. Яровиков Р. С.	Россия
489. Экснерова Яна	Чехословакия	502. Ясинский А.	Польша
490. Элер Гейнц	ГДР	503. Яхим Милослав	Чехословакия
491. Эхн Ладислав	Чехословакия	504. Яхимова Мария	Чехословакия
492. Юлдашев Мехмон	Узбекистан	505. Яхимова Надежда	Чехословакия
493. Юрковска Татьяна	Польша		

**ОТДЕЛ ЯДЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ
И РАДИОХИМИИ
1958–2005**

Воспоминания, документы и фотографии

Автор-составитель Цветан Вылов

Сборник отпечатан методом прямого репродуцирования с файлов,
предоставленных в издательский отдел.

Подписано в печать 27.03.2024

Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Печать цифровая

Усл. печ. л. 37,67. Уч.-изд. л. 32,74. Тираж 130 экз. Заказ № 60842

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/