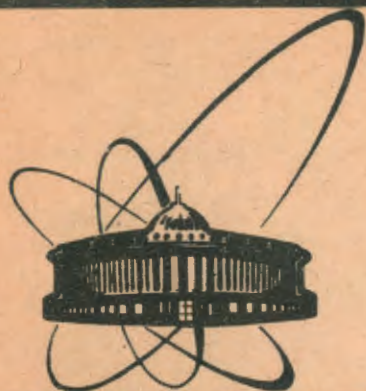


90-183



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

К-142

Д13-90-183

В.Г.Калинников, К.Я.Громов, М.Яницки,
Ю.В.Юшкевич, В.П.Афанасьев, В.Г.Егоров,
М.Яхим, В.А.Быстров, Н.Ю.Котовский,
С.В.Евтисов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЯДЕР, УДАЛЕННЫХ ОТ ПОЛОСЫ
 β -СТАБИЛЬНОСТИ - ЯСНАПП-2
(ISOL-facility YASNAPP-2)

1990

1. ВВЕДЕНИЕ

Исследования свойств ядер, удаленных от полосы β -стабильности, были начаты в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований еще в 1958 г. В 1958-1967 гг. был выполнен цикл исследований нейтронодефицитных нуклидов, преимущественно редкоземельных элементов^{/1/}. Нейтронодефицитные нуклиды получали в реакции глубокого расщепления при облучении разных мишеней на внутреннем пучке протонов ($E_p=660$ МэВ, I_p до 3 мкА) синхроциклотрона ОИЯИ. Продукты реакций химически выделялись и разделялись по элементам ("мокрая химия"). Спектры ядерных излучений изучались в офф-лайн режиме. Основные результаты были получены на магнитных β - и α -спектрометрах. Было показано, что эта методика является эффективным и универсальным способом получения нуклидов с большим недостатком нейтронов. Мы полагаем, что указанные работы стимулировали использование реакции глубокого расщепления для получения и исследования удаленных от β -стабильности ядер, в частности, на созданной в ЦЕРНе установке ISOLDE. В работах 1958-1967 гг. идентифицировано более 100 новых изотопов с $T_{1/2} \geq 20$ мин, получено много новой информации о структуре возбужденных состояний нейтронодефицитных ядер.

Основные этапы последующего развития спектроскопии удаленных от полосы стабильности ядер в ЛЯП ОИЯИ можно определить так:

- Создание офф-лайн масс-сепаратора (1969 г.) для разделения больших количеств радиоактивных нуклидов^{/2/}. Разработка трубчатого ионного источника с поверхностной ионизацией, высокоэффективного для редкоземельных, щелочных и некоторых других элементов^{/3/}.

- Продолжение спектроскопических исследований нуклидов Rn, At, Tl, редкоземельных и других элементов (1969-1975 гг.) в офф-лайн режиме.

- Создание (1970 г.) semi-on-line установки с сепаратором изотопов - ЯСНАПП-1^{/4/}*, состоящей из мишени, облучаемой выведенным пучком протонов с $E_p = 660$ МэВ, пневмочты для доставки облученной мишени к сепаратору и масс-сепаратору. Нуклиды

* ЯСНАПП - аббревиатура: ядерная спектроскопия на пучке протонов.

с $T_{1/2} \approx 1$ мин изучались на этой установке в 1970-1979 гг.^{15/}. В начале 70-х годов мы приступили к разработке истинной он-лайн ISOL-системы - ЯСНАПП-2, которую планировали установить на выведенном пучке протонов после реконструкции синхроциклотрона ОИЯИ. В ходе реконструкции интенсивность выведенного протонного пучка ($\sim 0,1$ мкА) планировалось увеличить многократно. Реконструкция должна была быть проведена в первой половине 70-х годов.

- Участие в разработке и исследованиях на ISOL-комплексе ИРИС в ЛИЯФ (Гатчина) (1975-1985 гг.)^{16/}.

В связи с тем, что работы по реконструкции синхроциклотрона ОИЯИ были начаты только в 1979 г. и завершены в 1984-1985 гг., создание экспериментального комплекса ЯСНАПП-2 было осуществлено только в 1987-1988 гг.

Настоящее сообщение посвящено описанию экспериментального комплекса для исследования ядер, удаленных от полосы β -стабильности, - ЯСНАПП-2.

Необходимо отметить, что в работах по созданию экспериментального комплекса ЯСНАПП-2 и программы исследований на нем участвовали ученые и специалисты из ряда институтов стран-участниц ОИЯИ (смотрите список на второй странице обложки).

2. ISOL-КОМПЛЕКС ЯСНАПП-2

Для экспериментального комплекса ЯСНАПП-2 построено специальное трехэтажное здание. Главный зал, где размещено основное оборудование, имеет общую площадь ≈ 500 м². В мишенную комнату здания подводится выведенный пучок протонов от фазотрона ОИЯИ^{17/}. Энергия протонов 660 МэВ, интенсивность 2,0 мкА, в перспективе ожидается некоторое увеличение интенсивности выведенного пучка протонов.

2.1. Трассировка пучка протонов

Пучок протонов из ускорителя направляется в здание ЯСНАПП и попадает на мишень масс-сепаратора, которая расположена в специальном помещении, отделенном от экспериментального зала защитной стеной из тяжелого бетона (рис.1). Пучок трассируется в вакуумном тракте на расстояние 55 метров с помощью 27 фокусирующих и отклоняющих электромагнитных элементов (рис.2), которые обеспечивают проведение пучка с интенсивностью до 2,0 мкА. При этом коэффициент проводки пучка составляет величину 0,87. Сечение протонного пучка в месте расположения мишени $0,5 \pm 1$ см²^{18/}. После прохождения мишени протоны поглощаются

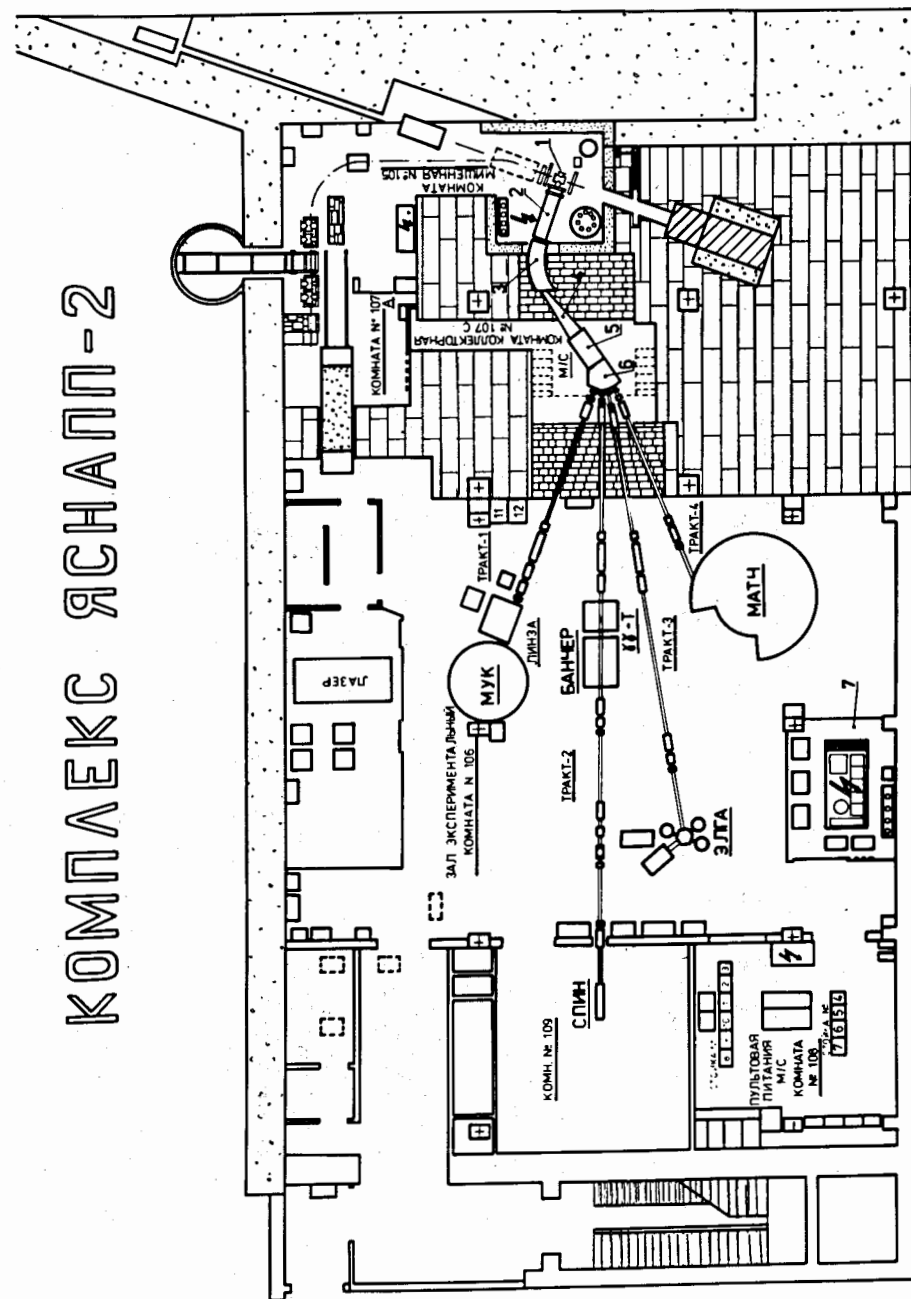


Рис.1. Схема размещения основных узлов комплекса ЯСНАПП-2.

а) Узел мишень-ионный источник

С целью получения максимального быстродействия масс-сепаратора была выбрана конструкция, в которой мишень и ионный источник совмещены в одном объеме^{13/}. В качестве мишени в первых экспериментах использовался корпус самого ионизатора, изготовленный из вольфрама (рис.3). Ионизатор представляет собой полую ампулу (наружный диаметр 5 мм, стенки толщиной ≈ 1 мм, масса ~ 6 г), нагрев которой происходит в результате электронной бомбардировки ее поверхности. Благодаря малым размерам ампулы температура ее достигает более 3000 К. Ампула облучается протонным пучком, сфокусированным оконечным дублетом линз 15K50. Образовавшиеся в результате реакции глубокого расщепления продукты диффундируют в полость ампулы и при соударении с внутренней ее стенкой ионизируются. Ионы вытягиваются через отверстие ($\phi 0,3 \pm 0,4$ мм) в конце ампулы. Планируется использование ионных источников и других типов: источника типа "горячая полость"^{10/}, представляющего собой блок из четырех одинаковых ионизаторов-мишеней, плазменного источника с полым катодом^{11/} и других.

Для замены ионных источников создана электромеханическая система "Робот" (рис.4), которая имеет дистанционное управление в пультовой комнате. "Робот" производит захват источника ионов и перемещает его на расстояние 12 м в специальный бокс для хранения. Для визуального контроля за этими операциями в мишенной комнате помещена дистанционно управляемая телекамера.

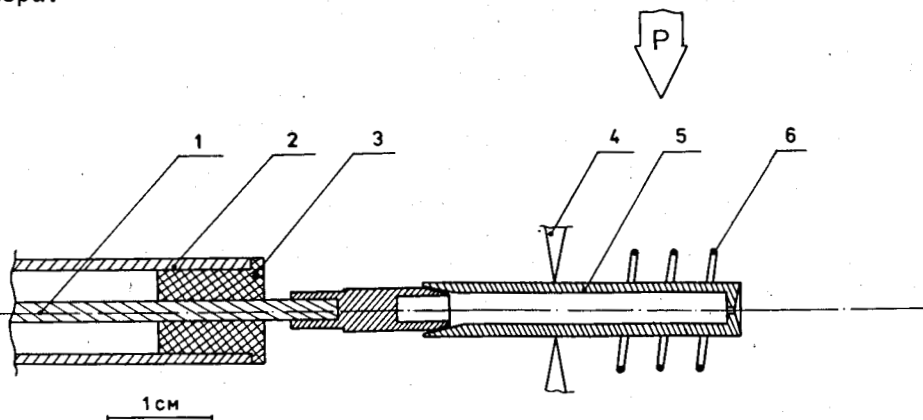


Рис.3. Ионный источник масс-сепаратора: 1 - анод; 2 - шток; 3 - изолятор; 4 - держатель ампулы; 5 - ампула; 6 - катод,

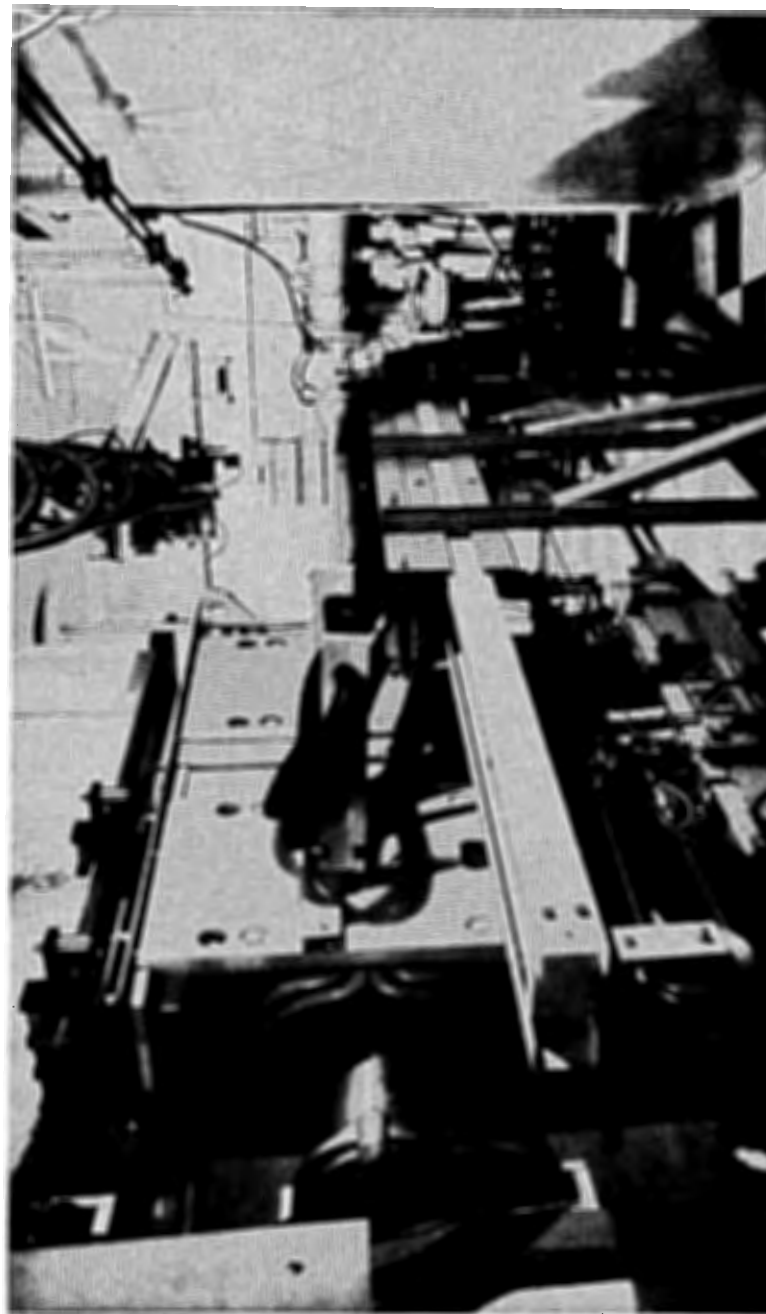


Рис.4. Мишенная комната. Слева на переднем плане линза 15K50 на подвижной платформе, вверху - захватное устройство для снятия ионного источника и его транспортировки по монорельсу.

б) Формирование ионного пучка

Ионы, выходящие из ампулы-ионизатора через выходное отверстие, формируются полем вытягивающего электрода в пучок с расходимостью $2 \cdot 10^{-2}$ рад. Проходя через фокусирующую линзу, состоящую из трех цилиндрических электродов диаметром 100 мм, пучок ионов преобразуется в параллельный с энергией 40 кэВ. Перед входом в анализирующий магнит установлена система электродов для отклонения ионного пучка в вертикальном направлении. Принципиальная схема системы формирования ионного пучка показана на рис.5. В табл.2 приводятся характеристики ее блоков питания.

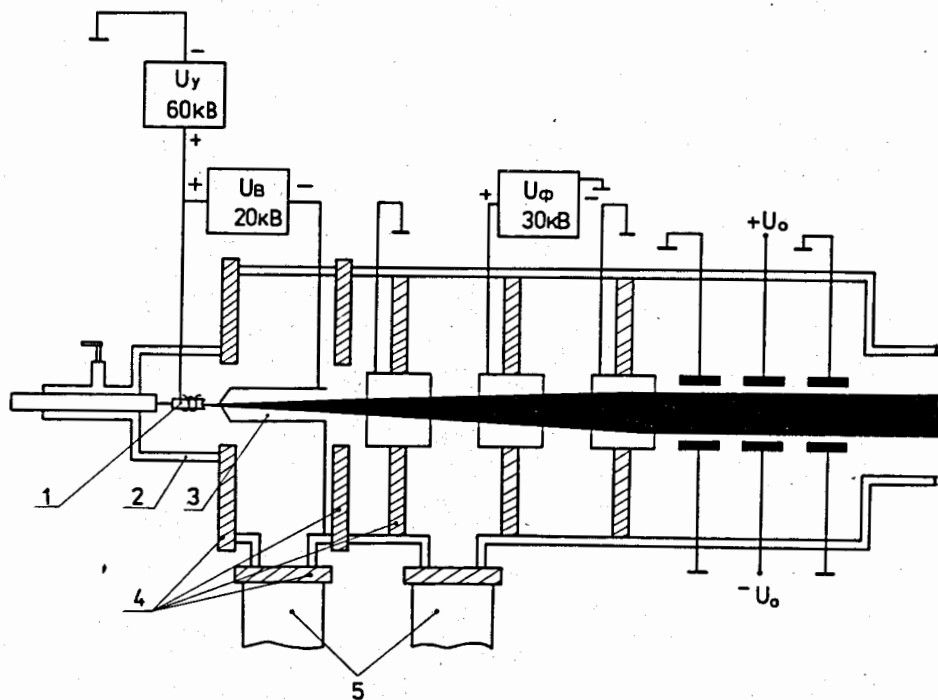


Рис.5. Схема ионной оптики масс-сепаратора: 1 - ионизатор; 2 - вакуумная камера ионного источника; 3 - подвижный вытягивающий электрод; 4 - изоляторы; 5 - турбомолекулярные насосы.

в) Магнитный анализатор и коллекторная камера

Параллельный моноэнергетический пучок ионов попадает в анализирующий магнит с углом отклонения средней траектории 55° , где происходит сепарация пучка по массам, а также его фокуси-

Таблица 2

Сведения о блоках питания системы формирования ионного пучка

№ пп	Наименование блока, тип	Диапазон выходного напряжения	Максимальный ток нагрузки	Стабильность, %
1.	Блок ускоряющего напряжения, HEINZINGER HNC 60000-5	0÷60 кВ	5 мА	±0,01
2.	Блок фокусирующего напряжения, HEINZINGER HNC 30000-5	0÷30 кВ	5 мА	±0,01
3.	Блок вытягивающего напряжения, ВС-20-10	0÷20 кВ	10 мА	±1
4.	Блок отклоняющего напряжения POLON 1904	0÷2,5 кВ	1,5 мА	±0,1

ровка в вертикальной и горизонтальной плоскости. Размеры поперечного сечения пучка ионов в фокальной плоскости коллекторной камеры - 1 мм по вертикали и 2 мм по горизонтали. Радиус кривизны центральной траектории в магнитном поле ($R = 1500$ мм) обеспечивает расстояние между соседними массами в плоскости, перпендикулярной пучку, равное $D = R/A$ (мм). Для массы $A = 100$ дисперсия $D \approx 15$ мм. Интервал масс, одновременно выводимых на фокальную плоскость, составляет $\pm 15\%$ от значения массы, выводимой в центр.

Питание магнита осуществляется блоком типа PSG ($I = 150$ А, $U = 50$ В) со стабильностью лучше 10^{-4} за несколько десятков часов работы. Магнитное поле контролируется термостатированным датчиком Холла, расположенным в полости магнита сепаратора; информация с датчика выводится на экран монитора.

В коллекторной камере расположена платформа, управляемая дистанционно, на которой установлены цилиндр Фарадея, измерительная игла и электромеханическое сканирующее устройство, позволяющее контролировать профиль ионного пучка. Платформа оснащена электрическим датчиком, который фиксирует ее положение. Для получения отпечатков стабильных изотопов и определения дисперсии в фокальной плоскости камеры располагается подвижной коллектор.

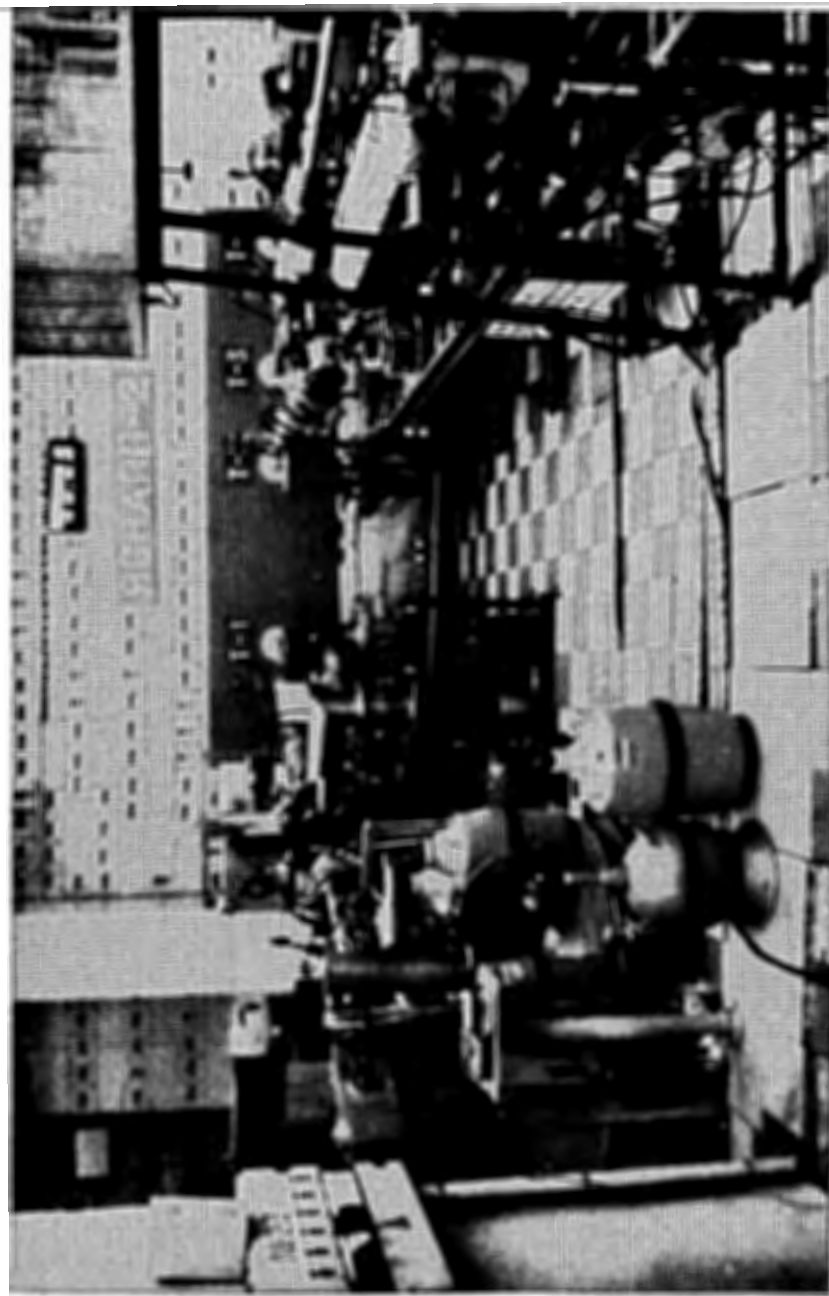


Рис.6. Вид на экспериментальный зал: T1, T2, T3, T4 - ионопроводы, на которых размещены спектрометрические установки.

г) Разводка ионных пучков

Разделенные по массам пучки ионов из коллекторной камеры попадают в камеру ионной разводки, где отклоняются и направляются в экспериментальный зал по ионопроводам (рис.6). В камере находятся четыре электростатических конденсатора, отклоняющих пучки на 13° , 26° , 36° и 56° соответственно. При фиксированном ускоряющем напряжении подбирается такое значение разности потенциалов на пластинах дефлектора, чтобы ионный пучок прошел через конденсатор. Передвижением отклоняющих пластин, имеющих дистанционную систему управления и контроля, и изменением величины магнитного поля можно подбирать значения массового числа A ионов, выводимых в зал к экспериментальным установкам.

После камеры разводки ионные пучки трассируются в ионопроводах, в начале которых стоят убираемые цилиндры Фарадея и электростатические конденсаторы для вертикальной регулировки ионных пучков. Для фокусировки используются триплеты электростатических квадрупольных линз. Питание каждой такой линзы осуществляется четырьмя стабилизированными источниками типа POLON 1904. В ряде экспериментов необходимо прерывать ионный пучок. Для этой цели на каждом ионопроводе установлен отклоняющий конденсатор с заглушкой, питаемый специальным блоком. Контроль за выводимой массой A и профилем ионного пучка проводится специальным устройством^{12'}. Коэффициент прохождения ионных пучков через всю систему зависит от типа ионного источника, качества фокусировки пучка и при вакууме, равном $3 \cdot 10^{-6}$ мм рт.ст., колеблется в пределах от 20 до 90%.

д) Вакуумная система

Для эффективной транспортировки ионов на расстояние порядка 10 м в ионопроводной системе масс-сепаратора должен быть вакуум не хуже 10^{-6} мм рт.ст. При внезапном ухудшении вакуума в какой-либо части установки этот отрезок должен быть тут же изолирован от остальной системы. Поэтому на входах и выходах ионопроводов и в районе ионного источника установлены автоматические шиберы с большим проходным окном. Все шиберы снабжены реверсивными электрическими двигателями и концевыми выключателями, электропитание на них, как и на все высоковакуумные насосы (типа ВМН-500), подается из пультовой комнаты. Контроль за состоянием шиберов и насосов, а также все управление вакуумной системы осуществляется со специальной панели. При ухудшении вакуума до некоторого порогового значения логическое устройство подает команду на закрытие соответствующих шиберов.

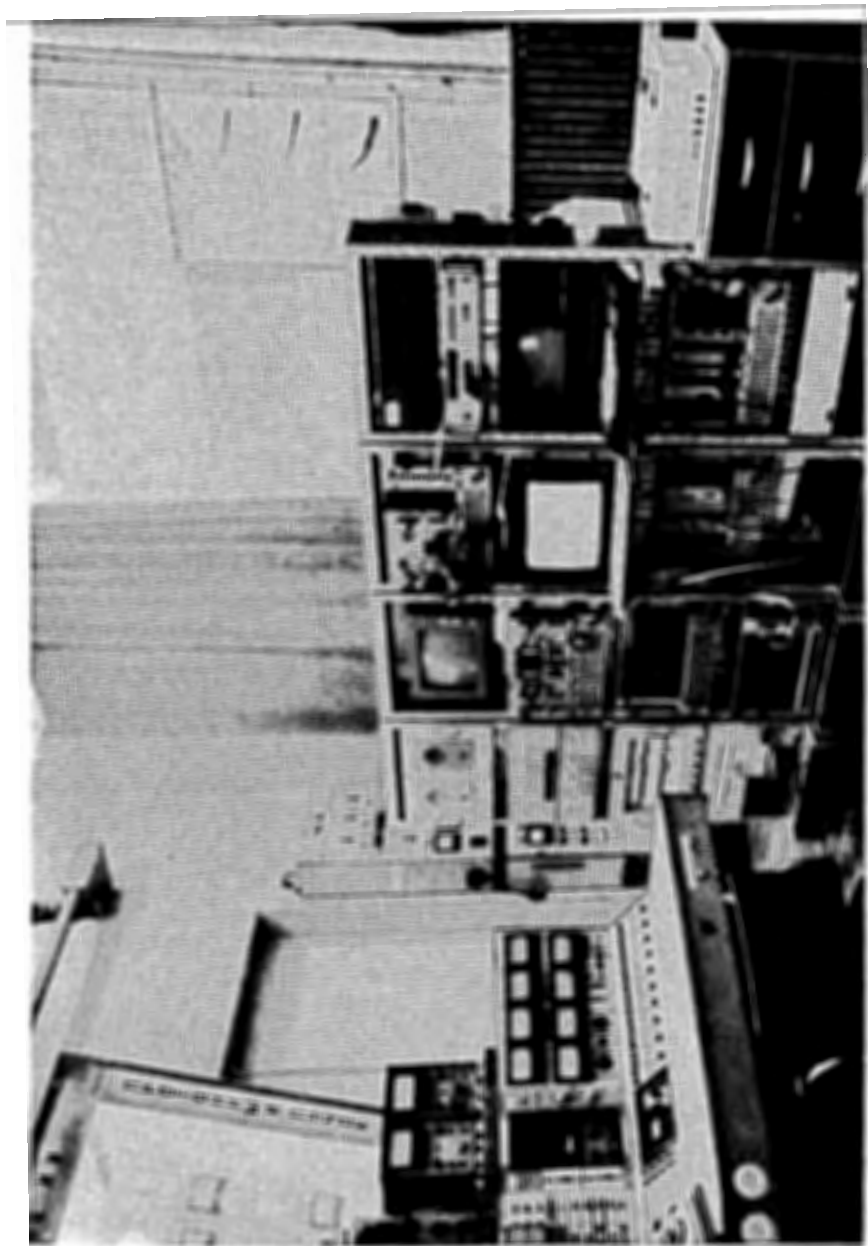


Рис.7. Пультовая комната масс-сепаратора.

е) Управление и контроль за работой систем масс-сепаратора

Управление всеми системами, а также измерение параметров протонного пучка и узлов масс-сепаратора, осуществляется из пультовой комнаты (рис.7), где расположены все необходимые блоки питания, измерения и блокировок отдельных точек комплекса.

Контроль за работой основных параметров масс-сепаратора осуществляется с помощью ПК "Правец-16", связанного через контроллер ККО09 с крейтом КАМАК. Управляющая программа, написанная на языке Turbo-Pascal, позволяет измерять ускоряющее напряжение, магнитное поле, положения четырех дефлекторов, а затем на основании полученных значений определять массовое число изобар, выводимых в каждый ионопровод. Кроме того, программа позволяет осуществлять полную (либо частичную) калибровку массметра, запись ее на диск, составление и запись протокола эксперимента, распечатку ранее записанных протоколов, измерение положения и профиля протонного пучка, измерение 64 напряжений, питающих фокусирующие линзы, контроль различных блокировочных сигналов.

3. СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Для исследования спектров излучений, сопровождающих радиоактивный распад короткоживущих нуклидов, предназначено несколько спектрометрических установок, некоторые из которых уже используются для проведения экспериментов.

3.1. Установка ЭЛГА^{/13/}

Установка предназначена для измерения спектров γ - и рентгеновского излучений, электронов внутренней конверсии, позитронов, α -частиц, а также спектров $\gamma\gamma$ - и $e\gamma$ -совпадений. Измерительная камера установки размещена непосредственно на ионопроводе. В этой камере можно разместить до трех различных детекторов, в том числе детектор для регистрации бета-излучения и электронов внутренней конверсии с использованием магнитного фильтра (мини-"апельсин")^{/14/}.

Ионы исследуемого радионуклида накапливаются на алюминизированной полиэфирной ленте-носителе непосредственно в измерительной камере. До измерительной камеры расположен коллиматор, который обеспечивает точное попадание ионного пучка на ленту-носитель и предотвращает загрязнение измерительной камеры и детекторов. Устройство отклонения ионного пучка позволяет прерывать пучок. Лентопро-

тяжный механизм обеспечивает удаление активности из измерительной камеры и ее транспортировку ко второму измерительному порту. На месте второго порта можно разместить полупроводниковые детекторы для более точных временных исследований. Этот порт обеспечивает почти 2π -геометрию для каждого из детекторов.

Управление экспериментом осуществляется с помощью ПЭВМ типа IBM PC/XT по магистрали КАМАК через контроллер КК009 и интерфейс БК-ЭЛГА. По заданной программе производится прерывание протонного и ионного пучков и управление работой спектрометрической установки.

Конструкция измерительной камеры позволяет реализовать требуемый алгоритм эксперимента, который представляет собой циклическую последовательность следующих операций: накопление активности, прерывание пучка, выдержка для распада очень короткоживущих изотопов, измерение, удаление активности из измерительной камеры или ее транспортировку ко второму порту. Эксперимент по такому алгоритму позволяет исследовать нуклиды с периодами полураспада вплоть до 0,1 с.

3.2. Спектрометр $e\text{-}\gamma$ -совпадений на базе МПС^{/15/}

Данная установка создана на основе светосильного магнитно-линзового бета-спектрометра с треугольной формой магнитного поля^{/16/}. Такое поле обеспечивает высокую изохронность траекторий электронов, что позволяет использовать спектрометр в измерениях времен жизни ядерных уровней в наносекундном диапазоне. Для питания магнитно-линзового спектрометра используется управляемый стабилизатор тока^{/17/}, долговременная стабильность которого не хуже 0,01% за 24 часа.

В бета-спектрометре излучение регистрируется пластическим сцинтиллятором NE 104. Для подавления позитронного фона используются винтовые диафрагмы. В зависимости от акцептанса входных диафрагм в спектрометре реализуются разные режимы светосилы и разрешения ($R = 1,0 \pm 2,5\%$, $T = 3,0 \pm 5,0\%$). В гамма-спектрометре применяются как пластический сцинтиллятор, так и кристаллы NaJ(Tl) и BaF_2 с фотоумножителем XP2020Q. Измерения $e\text{-}\gamma$ -совпадений проводятся в режиме быстрых совпадений. При этом используется электроника фирмы ORTEC, включающая быстрые усилители FFA 579, быстрые дискриминаторы CFD 584 и время-амплитудный преобразователь TRHC467.

Установка размещена на первом ионопроводе (рис.1) и включает в себя спектрометр совпадений МПС, автономную вакуумную систему, блок питания бета-спектрометра, блоки аналоговой и цифровой электроники, лентопротяжный механизм ЛПМ и блок управления ЛПМ.

При использовании в γ -спектрометре пластического сцинтиллятора на установке МПС получено временное разрешение $2\tau=410$ пс при крутизне склона кривой мгновенных совпадений $T_{1/2}=50$ пс ($E_\gamma = 900$ кэВ, $E_\beta = 250$ кэВ - ^{60}Co). Изучены временные свойства ППД и сцинтилляционных детекторов, в частности, исследовано влияние времени сбора заряда на временное разрешение ППД^{/18/}. Показано, что путем стробирования фронтов импульсов от коаксиальных ППД можно в 2-3 раза улучшить временное разрешение спектрометра.

3.3. Многодетекторная корреляционная установка МУК^{/19/}

Установка МУК предназначена для изучения пространственных и временных корреляций γ -излучения короткоживущих нуклидов. Увеличение числа детекторов позволило существенно увеличить эффективность регистрации γ -излучения и на этой основе создать высокоэффективный спектрометр совпадений.

Установка состоит из семи Ge(Li) -детекторов, расположенных в одной плоскости по окружности, в центр которой с ионопровода доставляется радиоактивный источник. Помимо того в состав установки входят блок свинцовой защиты с коллиматорами, устройство для транспортировки радиоактивности, блоки электронной аппаратуры, обеспечивающие обработку аналоговых и цифровых сигналов, а также запись цифровой информации на магнитную ленту.

Применяемые в установке Ge(Li) -детекторы - истинно коаксиальные, объемом 40-49 см³. Энергетическое разрешение каждого из детекторов составляет 2,2±3,0 кэВ, а абсолютная эффективность - $4 \cdot 10^{-4}$ по отношению к γ -квантам 1333 кэВ ^{60}Co . Коаксиальная конфигурация детекторов обуславливает их хорошие временные свойства. Каждый детектор помещен в удлиненный Г-образный криостат с целью обеспечения оптимальных геометрических условий.

Режим накопления экспериментальной информации на магнитофоне ИЗОТ-5003 осуществляется при помощи микро-ЭВМ КМО86. Форма записи стандартная, позволяет проводить дальнейшую обработку информации на больших ЭВМ. Накопление идет поочередно в два буферных накопителя длиной 1024 16-разрядных слов каждый, затем через оперативную память микро-ЭВМ производится сброс содержимого на магнитную ленту. При этом во время заполнения одного буферного накопителя осуществляется чтение и запись информации с другого накопителя на магнитную ленту. Программа набора позволяет проводить очистку поступающих данных от сбоев и осуществлять формирование любого из 21 интегрального спектра совпадений (по числу анализируемых пар).

3.4. Магнитный анализатор тяжелых частиц (МАТЧ)¹²¹

Для анализа тяжелых частиц (p , α и др.), испускаемых при радиоактивном распаде короткоживущих ядер, предназначен прибор, создаваемый на базе большого прецизионного альфа-спектрографа. Магнитное поле прибора обладает свойствами двойной фокусировки пучка частиц на угол $\pi/2$. Радиус равновесной орбиты 1,5 м. Напряженность поля до 3000 Э.

Электромагнит прибора с вакуумной камерой (общий вес 85 т) установлен на специальном фундаменте. Для питания электромагнита используется стабилизированный источник тока (коэффициент стабилизации 10^{-4}). Сконструировано специальное устройство, которое принимает ионный пучок тракта IV при включенном электромагните.

В фокальной плоскости прибора установлен детектор заряженных частиц, который представляет собой две координатно-чувствительные пропорциональные камеры, размещенные в одном объеме друг за другом. Размер входного окна камеры 500x10 мм. Съём информации по одной координате производится с распределенной линии задержки ($\sim 1,1$ мкс). Витки линии задержки одновременно выполняют роль одной из катодных поверхностей. Для альфа-частиц получено разрешение ≈ 6 мм. Пропорциональный режим камер дает возможность идентифицировать сорт частиц. Включение камер на совпадения позволяет снизить регистрацию фоновых событий.

3.5 Установка СПИН-3¹²²

Установка предназначена для исследования спиновых эффектов при распаде ориентированных ядер, удаленных от полосы стабильности. На этой установке планируется проводить эксперименты как в он-лайн, так и в офф-лайн режиме по изучению углового распределения излучений и ядерного магнитного резонанса ориентированных радиоактивных ядер. Для ориентации ядер в он-лайн режиме ионный пучок поступает непосредственно в рефрижератор растворения ${}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$. Рефрижератор вместе с высоковакуумными насосами размещен в специальном помещении, куда доводится ионный тракт II (рис.1).

Для низкотемпературной ориентации будут доступны ядра с $J > 1/2$ с периодом полураспада больше, чем время спин-решеточной релаксации в ферромагнитных матрицах (10 ± 100 с при температуре 10 мК). Криогенную систему предполагается дополнить ступенью адиабатического размагничивания, позволяющей получать температуры до 1 мК.

Установка СПИН-3 оснащается современной аппаратурой для регистрации и анализа ядерного излучения, измерения поляризации

γ -излучения, ядерного магнитного резонанса ориентированных ядер, многомерных корреляционных измерений.

3.6. Спектрометр совпадений УМКС

Установка из Университета им.М.Кюри-Склодовской (Люблин) предназначена для измерений времен жизни состояний и корреляций направлений γ -излучения. В спектрометре наряду с Ge(Li)-детекторами используются быстрые сцинтилляционные детекторы на основе BaF_2 и пластические сцинтилляторы. Система регистрации совпадений, управляемая ПЭВМ типа IBM XT, обеспечивает измерение $\gamma\gamma$ -угловых корреляций с применением пяти детекторов в режиме совпадений "каждый с каждым". На первом этапе будут использованы три сцинтилляционных и два Ge(Li)-детектора. Для измерений времен жизни ядерных состояний с двумя детекторами в режиме трехмерных совпадений предназначена специальная камера, обеспечивающая регистрацию как $\gamma\gamma$ -, так и $e\gamma$ -совпадений в геометрии, близкой к 2π , для каждого из детекторов. Временное разрешение установки при использовании BaF_2 -детекторов, размером $\phi 38 \times 25$ мм, составляет 175 пс при регистрации γ -лучей ${}^{60}\text{Co}$.

Спектрометр размещается на ионном тракте II (рис.1). Из-за применения ионоприемного устройства типа "монетоприемник" исследования нуклидов на спектрометре УМКС будут ограничены периодами полураспада $T_{1/2} \geq 1$ мин.

3.7. Лазерно-спектрометрическая установка

Установка размещена в специальном помещении на вибрационно-устойчивой чугунной плите весом 4 т и площадью $3 \times 1,5$ м. На плите установлены три комплекта импульсных перестраиваемых лазеров, включающих лазер накачки ИЛГИ-101 и лазер на красителе ЛЖИ-504. Мощность излучения лазера на красителе - 600 мВт, диапазон перестройки длины волны 530 ± 710 нм.

На установке планируется изучение корреляционных характеристик частиц и излучений, возникающих при β -распаде короткоживущих ядер, а также измерение сверхтонкой структуры и изотопических сдвигов оптических линий для отдельных радионуклидов. Для этих целей создается спектрометр с 4π -геометрией на основе волоконной оптики. Регистрация резонансно-рассеянных фотонов будет производиться с помощью ФЭУ, а ядерного излучения - полупроводниковыми детекторами.

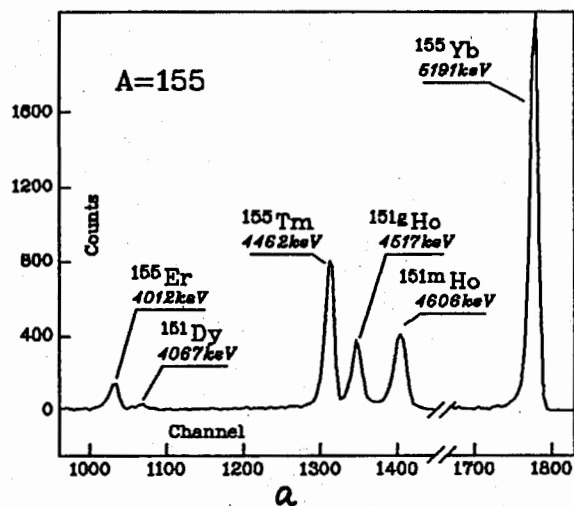
Роль лазерного излучения в планируемых исследованиях заключается в ориентировании спинов исследуемых ядер и возбуждении оптических переходов сверхтонкой структуры соответствующих

атомов, а также в испарении атомов с твердых поверхностей и в перспективе в селективном охлаждении атомных пучков короткоживущих нуклидов^{/23/}.

В настоящее время ведется запуск лазерного спектрометра для экспериментов по измерению сверхтонкой структуры ^{23}Na , поляризации ^{24}Mg в буферном газе Ar и асимметрии испускания β -частиц относительно спина этого изомера^{/24/}.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На экспериментальном комплексе ЯСНАПП-2 проведены первые эксперименты.



Так, на установке ЭЛГА изучались α -спектры массовой "цепочки" $A = 155$ и дочерних ядер^{/25/}. Один из полученных спектров представлен на рис.8. Видно, что уверенно наблюдается α -линия 5191 кэВ ^{155}Yb (1,7 с). В этих исследованиях показано, что наблюдавшаяся ранее α -линия 4462 кэВ ^{155}Tm двойная. Ее компоненты связаны с распадом изомерного состояния $1/2^+$ ^{155}Tm (47 ± 6) с и основного состояния $11/2^-$ ^{155}Tm (23 ± 3) с. Разность энергий компонент не более 5 кэВ; энергия изомерного состояния $1/2^+$ в ^{155}Tm (41 ± 6) кэВ.

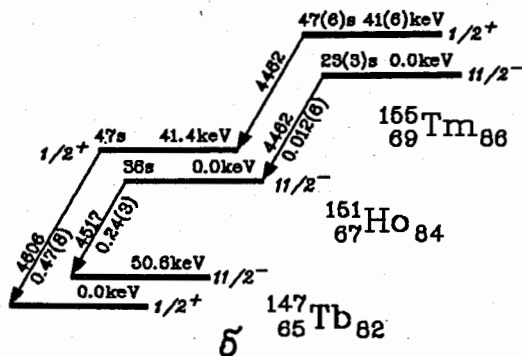


Рис.8. α -спектр изобар $A = 155$ и дочерних изотопов (а) и схема α -распада "цепочки" $^{155}\text{Tm} \rightarrow ^{151}\text{Ho} \rightarrow ^{147}\text{Tb}$ (б).

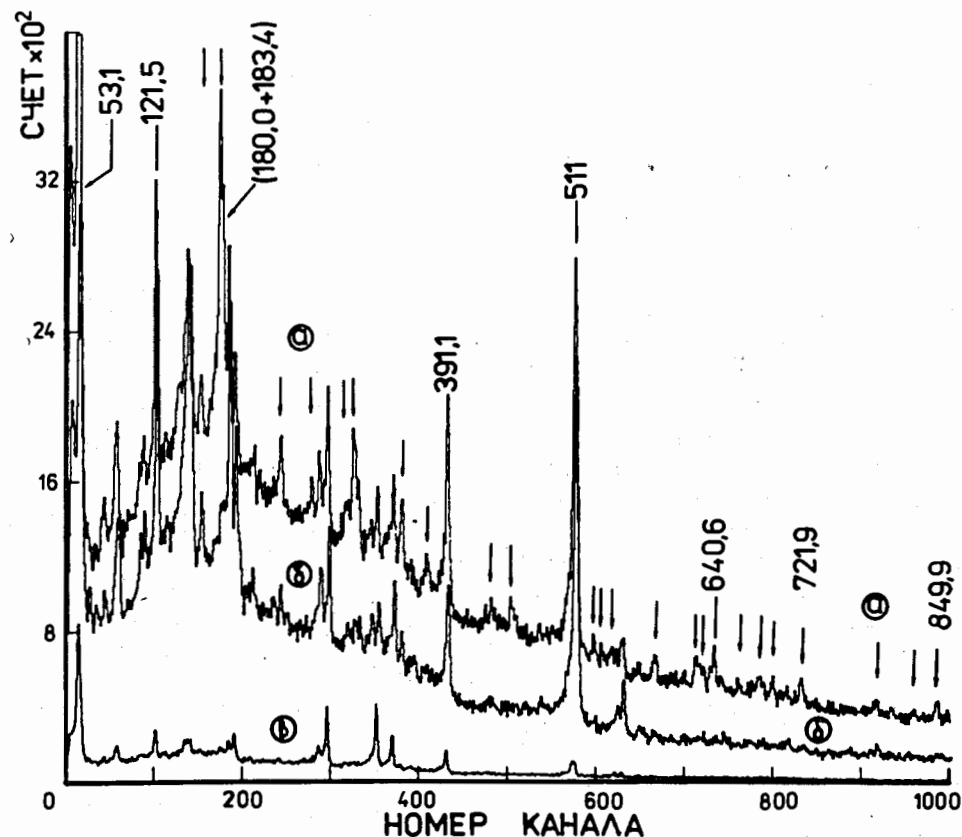


Рис.9. Спектр совпадений γ -лучей при распаде изобары $A = 157$ с γ -лучами 121,5 кэВ, измеренный в он-лайн режиме на установке МУК. Цикл накопления активности на ленте равен 15 минутам, время измерения - 15 минут. Спектр представляет сумму 40 последовательных измерений, проведенных в течение 20 часов. Знаком указаны фотопики, отнесенные к распаду $^{157}\text{Er} \rightarrow ^{157}\text{Ho}$ (а). Спектр совпадений с "окном" на комптоновском распределении "справа" от фотопика 121,5 кэВ (б). Спектр случайных совпадений (в).

Сравнение полученных α -спектров цепочки $A = 155$ с результатами наших исследований на комплексе ИРИС в ЛИЯФ АН СССР^{/6/} позволяет утверждать, что примеси соседних масс в исследованных источниках менее 1%. По нашим оценкам в этом эксперименте мы имели на сборнике до 100-150 атомов ^{155}Yb в секунду. Мы видим возможности существенного увеличения этого параметра.

На многодетекторной корреляционной установке МУК проведены исследования $\gamma\gamma$ -совпадений при распаде ядер массовой "цепочки" $A = 157$. Один из спектров совпадений представлен на рис.9. Результаты экспериментов обрабатываются.

На установке МПС в он-лайн режиме проведены методические исследования. В скором времени будут начаты исследования на установке МАТЧ и спектрометре Университета им.М.Юри-Склодовской.

В ближайшее время мы планируем проводить на экспериментальном ISOL-комплексе ЯСНАПП-2 исследования в области нейтронодефицитных нуклидов редкоземельных элементов. Разрабатываются программы исследований и в других областях карты изотопов.

Авторы глубоко благодарны всем участникам коллаборации ЯСНАПП-2 за помощь на разных этапах работ по созданию экспериментального комплекса ЯСНАПП-2 и по подготовке настоящего сообщения. Значительный вклад в создание комплекса внесли коллективы ЛЯП: конструкторский отдел, цех опытно-экспериментального производства, электротехнологический отдел, цех тепловодоснабжения.

Авторы признательны Л.М.Онищенко и персоналу фазотрона ОИЯИ за обеспечение работы ускорителя, О.В.Савченко и его коллегам за работы по проводке протонного пучка.

Мы благодарим В.П.Джелепова и Ц.Д.Вылова за поддержку работ по созданию комплекса ЯСНАПП-2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Громов К.Я., Джелепов Б.С. - Атомная энергия, 1969, 26, с.362.
2. Афанасьев В.П. и др. - ОИЯИ, 13-4763, Дубна, 1969.
3. Beyer G. et al. - Nucl. Inst. and Meth., 1971, 93/3, p.437.
4. Арльт Р. и др. - ОИЯИ, БЗ-6-7258, Дубна, 1973.
5. Арльт Р. и др. - ЭЧАЯ, 1974, т.5, вып.4, с.844.
Громов К.Я. и др. - ЭЧАЯ, 1975, 6, вып.4, с.971.
6. Афанасьев В.П. и др. - Препринт ЛЯПФ, № 532, Ленинград, 1979.
7. Василенко А.Т. и др. - ОИЯИ, Р9-86-620, Дубна, 1986.
8. Абазов В.М. и др. - ОИЯИ, 9-89-176, Дубна, 1989.
9. Музиоль Г., Райко В.И., Тыррофф Х. - ОИЯИ, Р6-4487, Дубна, 1969.
10. Афанасьев В.П. - ЭЧАЯ, 1988, т.19, вып.5, с.1197.
11. Latuszynski A. et al. - Nucl. Inst. and Meth., 1987, B26, p.240.
12. Евтисов С.В., Егоров В.Г., Яницки М. - ОИЯИ, 13-87-680, Дубна, 1987.

13. Арваи З. и др. - ОИЯИ, Р13-85-774, Дубна, 1985.
14. Гуяш Я. - ПТЭ, 1984, 3, с.53.
15. Абросимов В.Н. и др. - В сб.: Тезисы докладов совещания "Ядерная спектроскопия и форма атомных ядер". Л.: Наука, 1990, с.441.
16. Абросимов В.Н. и др. - ОИЯИ, Р6-86-675, Дубна, 1986.
17. Аликов Б.А. и др. - ОИЯИ, 13-9844, Дубна, 1976.
18. Зинов В.П. и др. - ОИЯИ, 13-84-542, Дубна, 1984.
19. Абросимов В.Н. и др. - ОИЯИ, Р6-86-320, Дубна, 1986.
20. Адам И. и др. - В кн.: "Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра", Л.: Наука, 1989, с.127.
21. Токмаков А.В. и др. - ОИЯИ, 13-86-488, Дубна, 1986.
22. Gromov K.Ya., Kalinnikov V.G., Tsupko-Sitnikov V.M. - In: Nuclei far from Stability, Fifth Intern. Conf., Canada, 1987; Amer. Inst. of Phys., N.Y., 1988, p.853.
23. Солнышкин А.А. - ОИЯИ, 13-89-117, Дубна, 1989.
24. Kathat C.L., Solnyshkin A.A., Ousmane M.A. - JINR, E6-89-411, Dubna, 1989.
25. Потемпа А.В. и др. - ОИЯИ, Р6-89-881, Дубна, 1989.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 марта 1990 года.