

С 341.2

А-828

Арльт, Р. и др.

БЗ-6-7256.



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

БЗ-6-7256

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19 73

БЗ-6-7256

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Отдел ядерной спектроскопии и радиохимии

**Р.Арльт, Г.Байер, В.С.Бутцев, К.М.Громов, Б.И.Замолодчиков,
Н.Г.Зайцева, В.Г.Калинников, В.В.Кузнецов, А.Потемпа, В.И.Райко,
В.С.Роганов, А.Н.Синаев, Х.Тыррофф, М.Фингер, В.А.Халкин,
В.М.Цупко-Ситников, В.Г.Чумин**

с.р. 3720

ПРОГРАММА ЯСНА П

(итоги работ и перспективы)

РУКОПИСЬ ПОДАНА
В ИСХОДНОМ ВИДЕ
11
1973

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

- г.Дубна, 1972 г. -

О Г Л А В Л Е Н И Е

	стр.
1. Введение. Программа ЯСНАПШ	3
2. Итоги работ по программе за 1967-72 г.г.	9
2.1. Научно-методические работы	9
2.2. Результаты исследований короткоживущих изотопов по программе ЯСНАПШ-I	24
3. Задачи второго этапа программы ЯСНАПШ	26
4. Технические вопросы второго этапа. программы ЯСНАПШ	30
4.1. Установка "Ф"	
4.2. Установка ЯСНАПШ-2	33
4.3. Спектрометрическое оборудование	38
5. Заключение	41

I. Введение. Программа ЯСНАПП.

В последние годы большой интерес проявляется к исследованиям свойств атомных ядер, удаленных от полосы бета-стабильности. Задачи, методы и результаты таких исследований обсуждались в последнее время неоднократно (например, материалы конференций в Лизекиле и в Лейзене /1,2/). Важность этих исследований часто иллюстрируют тем фактом, что, согласно оценкам, в природе может существовать около 5000 различных ядер, стабильных по отношению к мгновенному испусканию нуклонов (см.рис.1). Обнаружено экспериментально и, в той или иной мере изучено только немногим более 1500 из них. Как правило, эти ядра расположены у полосы бета-стабильности и обладают относительно большими периодами полураспада. Ясно, что задача построения теории ядерного вещества, как и ряд других актуальных научных проблем, требуют исследования всего многообразия ядер, которые могут существовать в природе. Исследования изотопов, удаленных от полосы бета-стабильности, широко проводятся в ряде научных центров мира (см.табл.1).

Для получения изотопов, удаленных от линии бета-стабильности, сейчас используются три основных метода: реакции деления на нейтронах, реакции с многозарядными ионами и реакции с заряженными частицами, ускоренными до энергии в несколько сот Мэв.

Реакции с протонами с энергией 660-680 Мэв использовались в Лаборатории ядерных проблем для получения и исследования изотопов с большим недостатком нейтронов с 1955 г. Было показано, что большая энергия и рекордно высокая интенсивность пучка протонов на синхротронном ОИЯИ создают уникальные возможности для изучения структуры ядер с большим дефицитом нейтронов. В исследованиях, проведенных с 1955 по 1969 г.г. в Лаборатории ядерных проблем и в ряде институтов

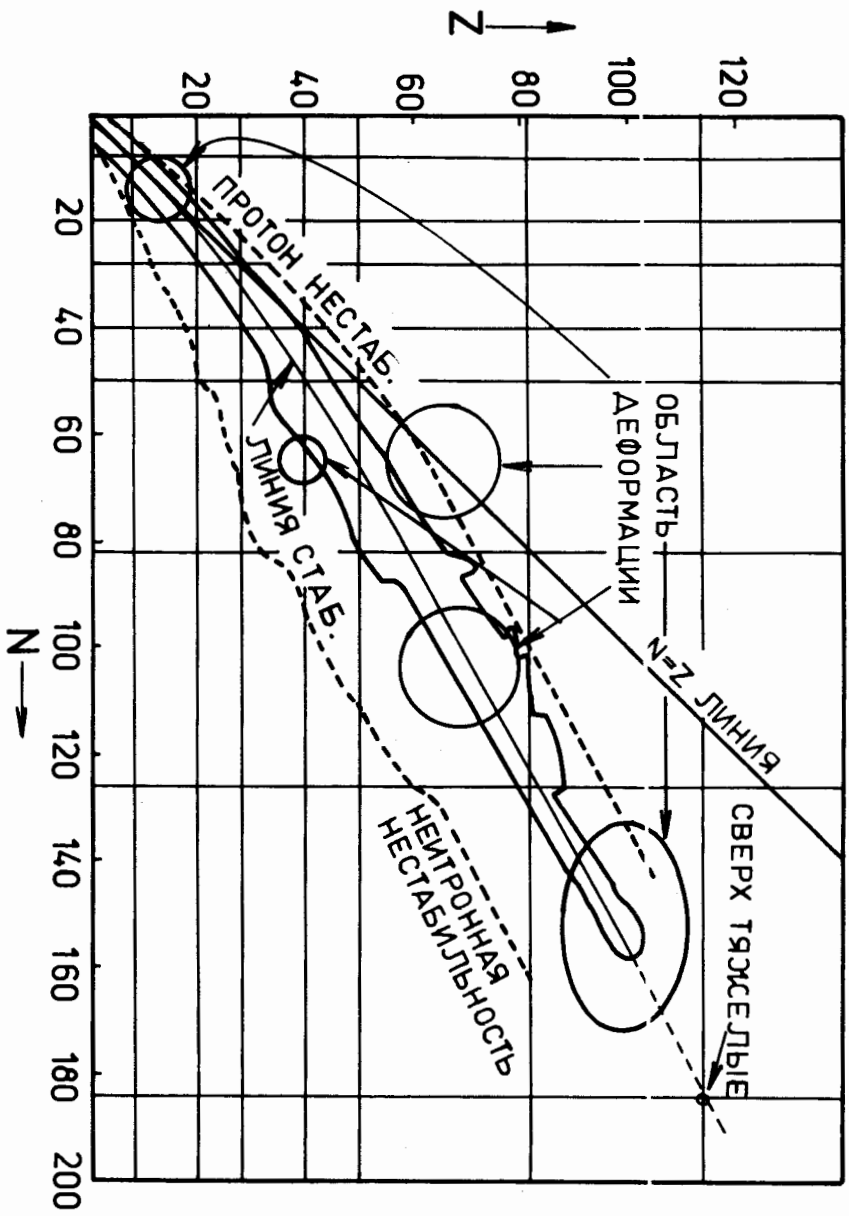


Рис. 1 Нейтрон-протоновая диаграмма стабильных ядер.

Таблица I

Работавшие ISOL - системы

I. Системы, использующие реакции деления на нейтронах

Система	Место нахождения	Работает с	Длина линии	Время		Особенности	Примечание
				4	переноса		
I	2	3			5	6	У
ТРИСТАН	Эймская лаборатория США	ноябрь 1966 г.	1,5 м		1 сек	Возможность одновременного вывода 5 ионных пучков	Реактор
АРНЕТ	Гренобль Франция	июнь 1968 г.	1 м 5 м		5 сек ?		Генератор нейтронов E = 14 Мэв Реактор
СОЛИС	Сорек Израиль	март 1968 г.	30 см		0,3 сек		Реактор
ОСИРИС	Студсвик Швеция	июнь 1968 г.	-		0,5 сек		Реактор
МАКЭ	Буэнос Айрес Аргентина	март 1969 г.	50 см		1 сек		Генератор нейтронов E = 14 Мэв
II. Системы, использующие реакции с многозарядными ионами и реакции с заряженными частицами							
ЭИСНАПТИ	ЛДР, Олимпиада Дубна	июнь 1967 г.	-		5 мсек	Имеется второй каскад отклонения ионных пучков	Связан с ускорителем тяжелых ионов У-300
ИЗОЛЬДЕ	ЦЕРН, Женева, Швейцария	октябрь 1967 г.	80 см		Зависит от мишени доля сек		Синхроциклотрон 600 Мэв

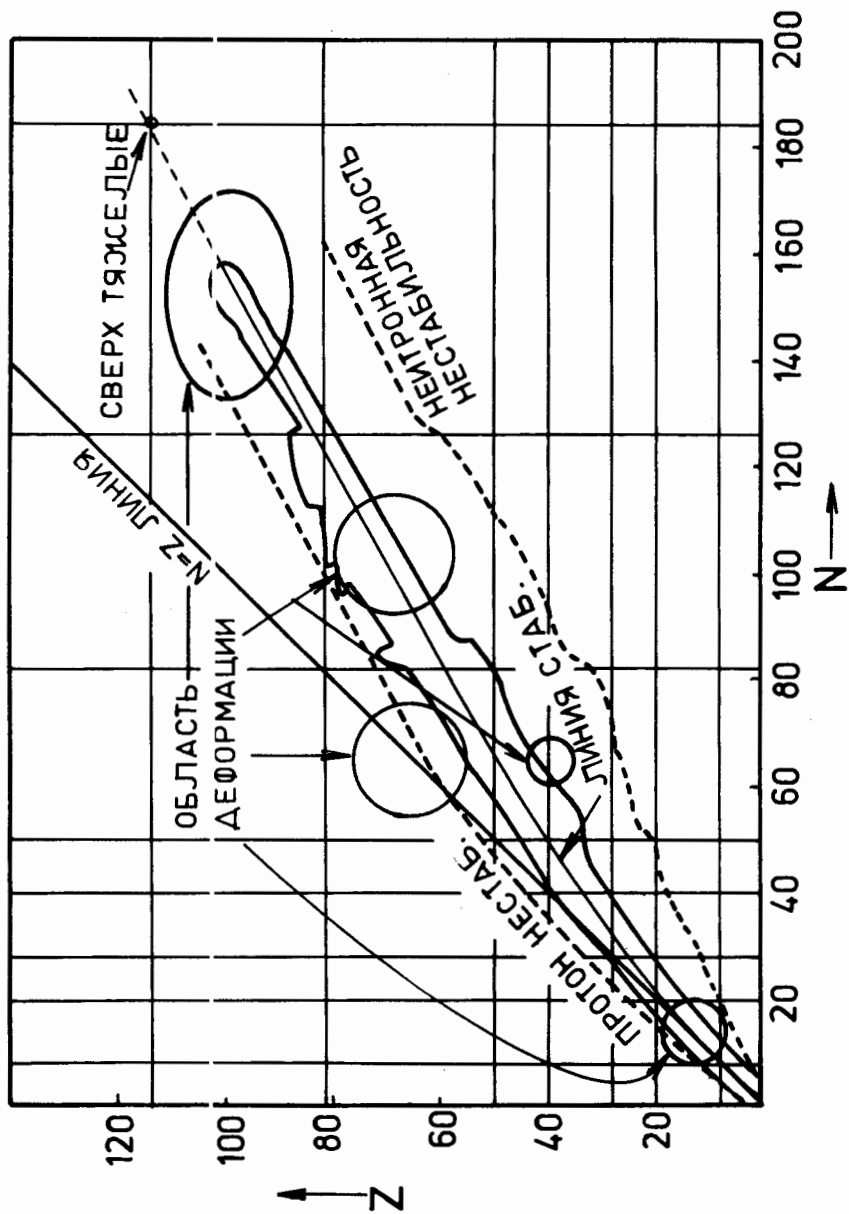


Рис.1 Нейтрон-протоновая диаграмма атомных ядер.

Таблица I

Работавшие ISOL - системы

I. Системы, использующие реакции деления на нейтронах

Система	Место нахождения	Работает с	Длина линии	Время переноса	Особенности	Примечание
ТРИСТАН	Эмская лаборатория США	ноябрь 1966 г.	1,5 м	1 сек	Возможность одновременного вывода 5 ионных пучков	Реактор
АРЖЕЛ	Гренобль Франция	июнь 1968 г.	1 м 5 м	5 сек ?		Генератор нейтронов E = 14 Мэв Реактор
СОЛИС	Сорек Израиль	март 1968 г.	30 см	0,3 сек		Реактор
ОСИРИС	Стуасвик Швеция	июнь 1968 г.	-	0,5 сек		Реактор
МАЛО	Буэнос Айрес Аргентина	март 1969 г.	50 см	1 сек		Генератор нейтронов E = 14 Мэв
II. Системы, использующие реакции с многозарядными ионами и реакции с заряженными частицами						
ЭМСНАУТИ	МДР, ОИЯИ Дубна	июнь 1967 г.	-	5 мсек	Имеется второй каскад отклонения ионных пучков	Связан с ускорителем тяжелых ионов У-300
ИЗОЛЬДЕ	ЦЕРН, Женеве, Вейцария	октябрь 1967 г.	80 см	Зависит от мишени доли сек		Синхроциклотрон 600 Мэв

продолжение таблицы I

I	2	3	4	5	6	7
ПОЛАРИС	Принстон США	июнь 1969 г.	I м	зависит от мощности		Переносится из 3 Гэв синхротри- отрона на строя- щийся циклотрон
ПИНГИС	Стокгольм Швеция	июнь 1969 г.	-			Циклотрон в на- стоящее время в стадии реконст- рукции
ЯСНАПП-I	ЛЯП, ОЛЯИ Дуна	октябрь 1969 г.	Пневмопоч- та 80 м	5 сек		660 Мэв синхротриаклотрон
	Амстердам Нидерланды		Пневмопоч- та			
ЮНИСОР	Ок-Ридж США	июль 1972 г.				Ускоритель тяже- лых ионов
ЮРИС	Ленинград	1971 г.	Пневмо- почта 50 м	5 сек		Синхротриаклотрон 1000 Мэв

стран-участниц ОИЯИ, открыто более 80 новых изотопов, получена обширная информация о структуре нейтронодефицитных ядер. Обзор этих исследований дан в работе К.Громова и Б.Джеллепова ^{/3/}. В работах 1955-65 г.г. использовалась классическая "оф-лайн" методика и изучались ядра с периодами полураспада примерно один час и более. Однако уже в конце пятидесятых годов стало ясно, что реакции с протонами с энергией 660 Мэв успешно могут быть использованы для получения короткоживущих изотопов с $T_{1/2}$ порядка минуты. Н.Зайцева, М.Кузнецова, Г.Музоль и др. предприняли в 1962-63 г.г. на выведенном пучке синхроциклотрона ЛЯП исследования короткоживущих изотопов циркония и иттрия. Было открыто несколько новых изотопов этих элементов с $T_{1/2} = 5-10$ мин ^{/4/}, однако провести изучение спектров излучения этих изотопов практически не удалось из-за плохой разрешающей способности применявшихся тогда сцинтилляционных спектрометров и отсутствия сепарации изотопов по массам. Новый этап в исследованиях короткоживущих, удаленных от полосы бета-стабильности изотопов начался в 1965-66 г.г., когда стали доступны полупроводниковые германий-литиевые гамма-спектрометры, обладающие высоким разрешением. В здании синхроциклотрона ЛЯП были созданы силами отделов ЯС и РХ и ОНПР ЛЯП аппаратура и оборудование, необходимые для исследований короткоживущих изотопов на выведенном пучке синхроциклотрона: пневмопочта, экспрессная радиохимическая лаборатория, спектрометрические тракты, анализаторы. Работами руководил Г.Музоль (спектроскопич) и Н.Г.Зайцева (радиохимия). Одновременно был поставлен вопрос о необходимости обеспечения этих исследований электромагнитным сепаратором для разделения радиоактивных изотопов по массам.

Проблема исследований свойств ядер, удаленных от полосы бета-стабильности, неоднократно обсуждалась на заседаниях Ученого Совета

по ядерной физике низких энергий и Комитета по ядерной физике ОИЯИ. В мае 1967 г. в Дубне состоялось совещание экспертов по этой проблеме ^{15/}. Совещание обсудило и одобрило предложенный отделом ЯС и РХ ЛЯП (К.Александр, Г.Музюль, К.Я.Громов) план развития исследований удаленных от полосы стабильности изотопов. Было признано необходимым приобрести в Дании и установить в здании синхроциклотрона не позднее середины 1969 г. масс-сепаратор типа "Изольде"; первоначально, до остановки синхроциклотрона ЛЯП на реконструкцию, подключить масс-сепаратор в режим "он-лайн" с пучком протонов (с помощью имевшейся пневмопочты) для исследований изотопов с $T_{1/2}$ больше одной минуты. Установку масс-сепаратора "он-лайн" с пучком протонов для исследований изотопов с $T_{1/2}$ порядка 0,1 сек и больше предполагалось осуществить после окончания реконструкции ускорителя в специально предусмотренном проекте здания. Окончание реконструкции планировалось в то время в 1972 году. Программа предусматривала концентрацию основных сил отдела ЯС и РХ ЛЯП на исследованиях короткоживущих, удаленных от полосы бета-стабильности изотопов. Исследования относительно долгоживущих изотопов ($T_{1/2}$ несколько часов и более) предлагалось ещё больше сместить в заинтересованные институты стран-участниц. Поставки изотопов для исследований в институтах стран-участниц продолжает обеспечивать ОЯС и РХ ЛЯП.

Пятая сессия Ученого Совета по физике низких энергий ОИЯИ (31 мая - 2 июня 1967 г.) одобрила решения совещания экспертов. Программа исследований удаленных от полосы бета-стабильности изотопов в ЛЯП ОИЯИ получила название - ЯСНАПП: Ядерная Спектроскопия НА Пучке Протонов.

Как сказано, выше программа осуществляется в два этапа; эти этапы будут именоваться ниже ЯСНАПП-1 и ЯСНАПП-2. Необходимо подчеркнуть преимущество двух этапов программы ЯСНАПП, как в смысле тематики

научных исследований, так и в смысле методических разработок. В обзоре Тальберта в (2) эксперименты по программе ЯСНАПП-I названы "не вполне точно "он-лайн" - экспериментами", поскольку к сепаратору с помощью пневмопочты транспортируется облученная мишень. В истинных "он-лайн" -системах образующиеся радиоактивные изотопы в виде ионов переносятся от мишени к сепаратору. Строго "он-лайн"-эксперимент будет осуществлен на этапе ЯСНАПП-2. В дальнейшем мы, как и в /5/, будем называть обе установки: ЯСНАПП-I и ЯСНАПП-2 "он-лайн" -установками. Мы понимаем, конечно, что различие между этими установками в периодах полураспада доступных изотопов: I мин и 0,1 сек; весьма существенно.

В настоящем материале освещены основные итоги работ по программе ЯСНАПП за 1967-72 г.г. и дается оценка перспектив их развития в последующие годы. Материал подготовлен к ХУП заседанию Комитета по ядерной физике ОИЯИ, которое состоится в ноябре 1972 г.

2. Итоги работ по программе ЯСНАПП за 1967-72 г.г.

2.1. Научно-методические разработки.

"Он-лайн" - эксперименты.

Для обеспечения исследований по программе ЯСНАПП-I в эти годы был создан и постоянно совершенствовался комплекс аппаратуры для изучения короткоживущих изотопов с $T_{1/2}$ больше одной минуты - установка ЯСНАПП-I. Установка ЯСНАПП-I состоит из следующих основных узлов:

1. Система для облучения мишеней на выведенном пучке протонов, позволяющая осуществить дистанционный поиск области протонного пучка с максимальной плотностью.

2. Пневмопочта для транспортировки мишеней к ускорителю и обратно в помещение масс-сепаратора.

3 Химическая лаборатория для экспрессной обработки облученных мишеней.

4. Электромагнитный масс-сепаратор.

5. Коллекторные системы для приема и извлечения разделенных на масс-сепараторе радиоактивных изотопов.

6. Аппаратура для спектрометрии и обработки результатов.

Оборудование, перечисленное в пунктах 1, 2, 3 и 6, было создано уже в 1965-67 г.г. в ходе подготовки к исследованиям по программе ИСНАИП, модернизировано к моменту запуска масс-сепаратора и постоянно совершенствовалось в последующие годы. Пневмопочта позволяет снять и доставить к масс-сепаратору облученную мишень за время 5 - 10 секунд. В экспрессной радиохимической лаборатории мы можем обрабатывать мишени активностью до 10 милликюри.

Основные узлы масс-сепаратора ^{16/}, в общих чертах аналогичного используемому по программе "Изольде" в ЦЕРН ^{17/}, закуплены в Дании в 1968-69 г.г. Электропитание для монооптической системы и ионного источника, вместе с блоками стабилизации и пультами контроля, были изготовлены в институте Атомной Энергии им. И.В. Курчатова и в электро-техническом отделе ЛЯП. Запуск масс-сепаратора во второй половине 1969 года. Основные его параметры следующие:

угол отклонения средней траектории	θ	= 55°
длина входного плеча	l'	= α
длина выходного плеча	l''	= 2,1 м
дисперсия (при разности масс 1%)	D	= 15 мм
оптимальный угол расходимости ионного пучка	θ	= 3°.

В 1969-70 г.г. были созданы две системы для сбора разделенных на сепараторе радиоактивных изотопов и переноса их к измерительной аппаратуре. Простейшая из них (время переноса около полминуты) была

изготовлена в ИЯИ в Сверке (ПНР). Другая, ленточная система (время переноса изотопов 4-5 сек) спроектирована и изготовлена в КБ и ЭММ ЛЯП /8/.

Общая схема установки ЯСНАПП-I представлена на рис.2. Мишень облучается на выведенном протонном пучке $(0,1 - 0,2 \mu\text{A})$ синхротронного лотрона Объединенного института и с помощью пневматической почты, доставляется в радиохимическую лабораторию и к масс-сепаратору. Расстояние от места облучения до химической лаборатории 70 метров. Время доставки - 5-10 сек. В большинстве случаев дальше проводится химическое выделение изучаемого элемента, разделение изотопов и спектрометрические исследования. Возможны и отклонения от этого основного варианта эксперимента. Так химическое выделение иногда проводится непосредственно во время облучения мишени ("он-лайн" -химия); выполнялись эксперименты с загрузкой облученной мишени в ионный источник без химии; проводились химические разделения после сепарации изотопов.

Одновременно с созданием оборудования для установки ЯСНАПП-I, проводились новые научно-методические разработки для программы ЯСНАПП. По тематике эти работы можно разделить на три главных направления: радиохимия, электромагнитная сепарация изотопов и спектрометрия и система обработки данных.

А) Радиохимия

При разработке радиохимических методов выделения радиоактивных изотопов для программы ЯСНАПП мы исходили из требований, определяемых физическими задачами, а именно, необходимо было обеспечить быстрое получение препарата с максимальной активностью и чистотой, особенно от соседних элементов; в химической форме, пригодной для последующего разделения изотопов в масс-сепараторе /9,10/.

ЯСНАПП-1

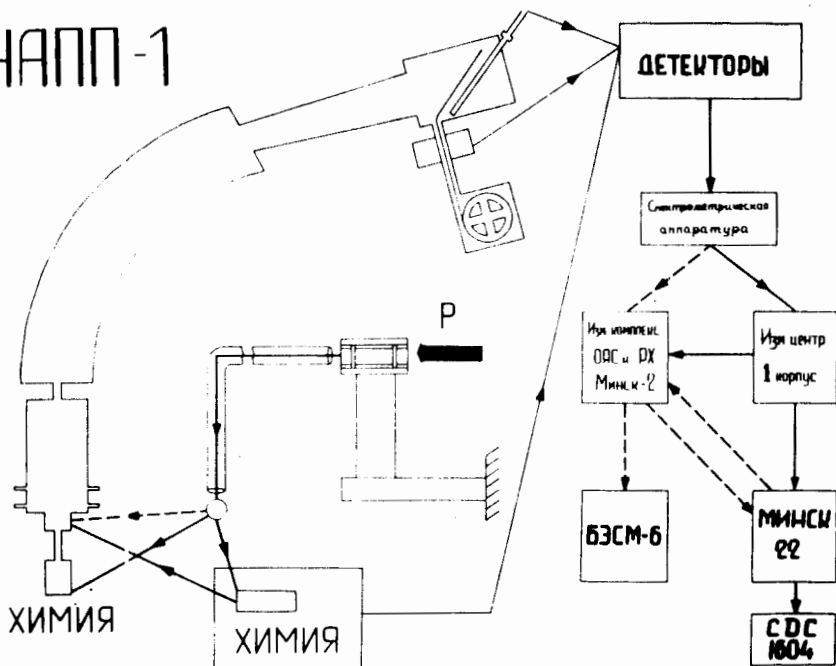


Рис.2 Схема установки ЯСНАПП-1.

Работа коллектива химиков ОЯС и РХ проводилась по двум направлениям: модифицировались и совершенствовались разработанные нами ранее методы /11/ и создавались новые методы. В таблице 2 представлена сводка экспрессных методов выделения радиоактивных изотопов, разработанных и $\bar{\mu}$ используемых в программе ЯСНАПП.

Следует отметить, что для проведения первой работы на установке ЯСНАПП-I по исследованию короткоживущих нейтронодефицитных моноизотопов таллия был разработан и использован новый газотермохроматографический метод (ГТХ) /12,13/, а затем этот метод был разработан для быстрого выделения и других изотопов (см.табл.2). Отличительная особенность этого метода заключается в том, что химический процесс отделения радиоактивных изотопов от вещества мишени и их очистка происходят сразу в процессе облучения (он-лайн"), что позволяет изучать изотопы с периодом полураспада $T_{1/2} \geq 1$ мин. На рис.3 представлена схема специально созданной химической аппаратуры для экспериментов такого типа.

Как показали проведенные исследования, большую роль играет мишень: ее химический состав, агрегатное состояние и другие физико-химические характеристики. Сам метод ГТХ основан на выносе образующихся летучих соединений газом-носителем (в ряде случаев это газ-реагент) из зоны нагрева в трубку с заданным температурным градиентом (чаще всего отрицательным), на стенках которой по мере прохождения газового потока происходит сорбция летучих соединений в определенных температурных зонах.

В разработанных нами методах ГТХ выделения радиоактивных изотопов использовалась летучесть фторидов (Tl), хлоридов (Mo, Hf), оксихлоридов (Zr, Nb), оксидов (Zr, Rn, Os, Se) самих элементов (Hg). Применение метода ГТХ в программе ЯСНАПП позволило открыть ряд новых

Таблица 2

Методы выделения радиоактивных изотопов и их использование в программе ЯСНАПИ

Метод	№ пп	Изотопы	Реакция получения	Имьень	Условия выделения	Время выделения	Масс-спектрометр	Изучались изотопы
	2		4	5	6	7	8	9
Усовершенствованные "мокрые" методы	1	Р	$Se(p, \alpha, n) \beta_{\alpha}$	SeO_2 (суспензия)	Инообмен на хроматография	20 мин	+	4 мин $\leq T_{1/2} \leq 30$ мин
	2	РЗЗ	Реакция глубокого расщепления	Комплекс РЗЗ с ДПА Т 205-суспензия	-	20 мин	+	4 мин $\leq T_{1/2} \leq 30$ мин от Р- до ТЬ от Ду до Lu
Газовая термочроматография	3	Se	$Br(p, \alpha, n) Se$	Li Br Na Br	Из расплава на соли при $t = 600-800^\circ C$, газ-носитель O_2	6 мин	+	Se-(69), 70, 73
	4	Zr Nb Mo Tc Ru	Реакция глубокого расщепления	Ag Cl	Из расплава соли при $t = 625-850^\circ C$, газ-носитель $Cl_2 + O_2$ (7:1) $HCl + O_2$ (1:1)	3 мин	+	Nb-88, 88 м Mo \rightarrow Nb Zr -92 ($T_{1/2} = 2,5$ мин)
	5	Hf	$Lu(p, \alpha, n) Hf$	Lu Cl ₃	Из расплава соли при $t = 910^\circ C$	≥ 3 мин	-	
	6	Re Os Ir Hg	Реакция глубокого расщепления	As мет.	Из расплава при $t = 1160^\circ C$, газ-носитель O_2 (воздух, He)	≥ 3 мин	-	Ir -178, 180, 181 (0,5 мин $\leq T_{1/2} \leq 2$ ≤ 5 мин)

продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	7	TI	Pb (p, 2xл) TI	Pb F ₂	Из порошка при t = 1160 °C; газ-носитель N ₂	≥ 3 мин	+	TC-188-194 T _{1/2} = 1,54 мин ± 1/2 30 мин
Эманирование	8	Kr	Sr (p, 3xл) Kr	SrO	Из порошка при t = 400 °C; р = 10 ⁻² мм Hg	≥ 2 мин	+	Kr - 74, 75
Реакции в конечном источнике	9	Rb Sr	Реакции расщепления	Zr (Nb) мет.	Химическое разделение изобар после масс-спектрографии		+	Rb-77 (T _{1/2} = 3,9 мин) Rb-78
	10	Pb	Реакции глубокого расщепления	Ta, W мет.	" "		+	От Lu до Lu T _{1/2} ≥ 5 мин
	11	Pb	" "	Ta мет.	Ионнообменная хроматография		+	От Lu до Lu T _{1/2} ≥ 30 мин
	12	Rn At Fr	" "	Th мет.	"Жесткая химия"		+	T _{1/2} ≥ 6 мин

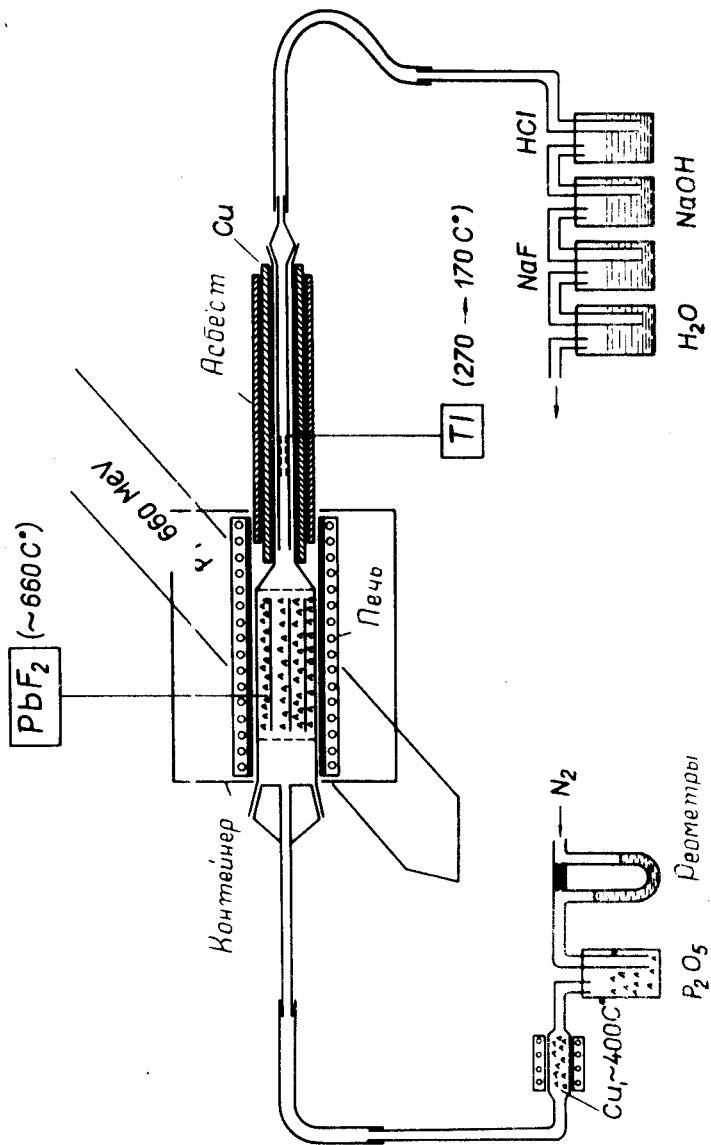


Рис.3 Установка для возгонки летучих продуктов из вещества мишени в процессе облучения.

короткоживущих изотопов (Tl-188, 189, 190, 191, Rn-92, Po-178, 180, 181). В некоторых опытах использовались приемы, позволяющие исключить химическое выделение элемента, для чего облученная мишень помещалась непосредственно после облучения в ионный источник масс-сепаратора, где за счет высокой температуры происходило испарение соответствующих элементов (Rb, Sr, P39).

Практическому использованию разработанных методик предшествовала в каждом случае большая исследовательская работа, результаты которой могут послужить основой дальнейших методических разработок. Например, нами обнаружено, что из расплава облученного золота происходит количественное испарение ультрамикрочастиц осмия и рения в токе инертного газа. Этот факт в принципе может быть использован в дальнейших работах по созданию метода гелиевой струи (ИСНАПП-2).

В ОИС и РХ (сектор радиохимии) продолжают работы по исследованию ряда новых химических систем с целью их дальнейшего использования в программе ИСНАПП.

Б) Электромагнитная сепарация изотопов

Качество разделения изотопов и получаемое их количество в большой степени зависит от правильного выбора параметров ионно-оптической системы масс-сепаратора и от конструкции используемого ионного источника. В этом направлении и велись основные разработки в секторе масс-сепараторов ОИС и РХ ЛЯП. Исследование ионного источника магнетронного типа, вместе с оптимизацией параметров ионно-оптической системы, позволило разработать конструкцию источника для разделения изотопов газов и твердых элементов с температурой испарения до 1000°C /15/. При разрешающей способности ~ 1000 этот источник обеспечивал эффективность для ксенона $\sim 7\%$ и для радиоактивного таллия $\sim 12\%$.

Для разделения изотопов редкоземельных элементов был разработан трубчатый ионный источник с поверхностной ионизацией /16/. Параметры

этого ионного источника не имеет себе равных в мировой практике. Он обеспечивает эффективность получения моноизотопных препаратов радиоактивных изотопов около 100% при потенциале ионизации атома разделяемого элемента $V_i = 5$ эв. С ростом значения V_i эффективность падает и составляет 1% при $V_i = 7$ эв. Таким образом с помощью этого ионного источника можно производить разделения изотопов около 50 элементов. С рекордной эффективностью производились разделения изотопов редкоземельных элементов: неодим - 80%, диспрозий - 65%, тулий - 30% и др. (см.рис.4). На этом источнике получены также высокие эффективности разделения изотопов элементов актинидной группы /17/: актиний - 80%, кюриум - 70%, плутоний - 50%, калифорний - 40%. Одной из очень важных для "он-лайн" экспериментов характеристик нового ионного источника является его быстродействие. В наших экспериментах время от загрузки образца в ионный источник до полного собирания изотопов на коллекторе не превышало 3-4 мин (см.рис.4). Дальнейшее усовершенствование этого источника позволит использовать его также как универсальный плазменный источник с полым катодом и с поверхностной ионизацией /18/. Это открывает новые возможности для исследований изотопов тугоплавких элементов, таких как цирконий, ниобий, гафний и др.

Таким образом, использование полуавтоматической системы для облучения мишеней, "он-лайн" химия, автоматическая загрузка фракции в ионный источник и разработанные ионные источники позволяют нам в настоящее время изучать ядра с периодами полураспада около 1 мин. Высокая температура (более 2500°C) в универсальном ионном источнике позволяет помещать в него облученные тугоплавкие мишени и извлекать из них образовавшиеся радиоактивные ядра путем термодиффузии /19/. Этот метод позволит изучать по программе ЯСНАПП-1 ядра с $T_{1/2}$ меньше минуты и может оказаться особенно полезным для установки ЯСНАПП-2.

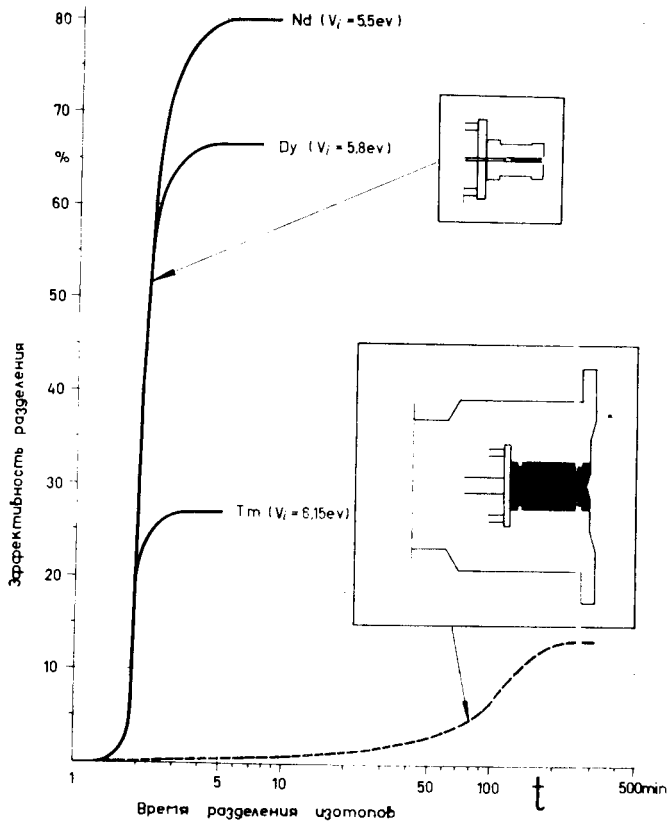


Рис.4 Выход редкоземельных элементов в зависимости от времени масс-сепарации.
 Сплошные линии - с использованием трубочатого ионного источника.
 Пунктирная кривая - с использованием стандартного источника / 7 /.

В) Спектрометрия.

Для исследования излучений короткоживущих ядер была разработана специфическая измерительная аппаратура и методы обработки данных на ЭВМ.

Как следует из свойств ядер, доступных в настоящее время для исследований на установке ЯСНАПП-I, основными источниками информации являются α и гамма-излучения и конверсионные электроны. Необходимо измерять спектры (энергии и интенсивности) излучения, а также временные корреляции между разными видами излучения. Соответственно определяются требования к спектрометрической аппаратуре и методике обработки результатов. Необходимо использовать:

- 1) детекторы излучения с высоким разрешением и эффективностью, связанные с многоканальными анализирующими приборами;
- 2) многомерный анализ;
- 3) экспрессную обработку результатов в ходе эксперимента для контроля за ходом эксперимента с помощью промежуточных данных;
- 4) систему программ для окончательной обработки результатов на базовых ЭВМ ОИЯИ с целью получения возможно более точных данных о характеристиках излучения, возникающего при распаде короткоживущих ядер.

В соответствии с первым требованием основными приборами для регистрации бета- и гамма-излучения стали полупроводниковые детекторы (ППД). Использовались ППД, изготовленные в Институте ядерной физики ЧСАН и в группе Б.П.Осипенко в ЛЯП /20/. Параметры использованных детекторов отвечали современному уровню.

В отделе новых научных разработок ЛЯП были разработаны спектрометрические электронные блоки для проведения прецизионных измерений с ППД: предусилители /21/, главный усилитель /22/, кодирующее устройство со схемой стабилизации /22/, система для временных измерений

с ППД /23/. Применение концепции униполярных спектрометрических импульсов позволило повысить скорость счета в экспериментах с ^{60}Co (Li)-детекторами до нескольких десятков тысяч в секунду без существенного ухудшения разрешения (ухудшение разрешения не более чем 10% при скоростях счета до 40000 имп/сек). Разработка системы для получения "быстрых" временных сигналов от "медленных" ППД путем компенсации фронта и изменения времени нарастания импульсов дало возможность получить хорошее временное разрешение при работе с ППД в широком динамическом диапазоне и при высоких нагрузках /23/. Многомерный анализ (16 окон \times 256 каналов, 8 \times 512 и 4 \times 1024) осуществляется с помощью анализатора АИ-4096 и системы дигитальных окон /24/. Для экспрессной обработки существует связь измерительного центра ЛЯД с ЭВМ "Минск-2" и "Минск-22".

Система программ для обработки данных состоит из двух частей. Экспрессная обработка /25/ позволяет во время эксперимента за несколько десятков секунд определить энергии и интенсивности гамма-лучей и конверсионных электронов или граничную энергию позитронного спектра. Точность получаемых при этом данных невелика, но достаточна для управления ходом эксперимента.

Окончательная обработка спектров производится на ЭВМ СДС 1604А /26/. Использование ППД с высокой разрешающей способностью и применение модифицированной в ОЯС и РХ программы "Гамма" позволяет определить энергии гамма-лучей короткоживущих изотопов с точностью в несколько десятков электроновольт (см. например - /27/).

Таблица 3

Основные свойства спектрометрической аппаратуры на установке ЯСНАПП-1. Программы для обработки спектров на ЭВМ

1. Гамма-спектрометры

$Ge (Li)$ -детекторы; объем от 1,8 до 50 см³; разрешение 1,5 - 3,0 кэв при 100 кэв, 3,0 - 4,0 кэв при 1300 кэв. $Si (Li)$ -детектор \varnothing 6 мм, \varnothing 3 мм, разрешение 500 эв при 20 кэв /31/.

2. Бета-спектрометры

$Si (Li)$ -детекторы

Размеры	разрешение	Используются
\varnothing 12 мм, $d \sim 1-3$ мм	2,3 кэв при 100 кэв	конверс. электроны
\varnothing 6 мм, $d \sim 3$ мм	$\sim 0,5$ кэв при 20 кэв	- " -
(10x10x15) мм ³	~ 7 кэв при 1000 кэв	позитроны (G, β^+)

3. Установка для измерения гамма-гамма-совпадений и времен жизни

Комбинируются ППД (чувств. объем 27 см³) и сцинтилляторы.

Временное разрешение ~ 2 нсек для $E_{\gamma} > 1$ Мэв

~ 10 нсек для $E_{\gamma} \sim 100$ кэв

4. Программы для обработки спектров на ЭВМ

Название	Задачи программы	Используемая ЭВМ
ЭПОС-1	Экспрессная обработка гамма-спектров и спектров конверсионных электронов	Минск-2 Минск-22
КАТОК	Скончателная обработка гамма-спектров	Минск-2
ГАММА	Скончателная обработка гамма-спектров и спектров конверсионных электронов	СДС-1604А БЭСМ-6
КОНВЕРС	Точные определения E по спектрам конверсионных электронов	СДС 1604 А
БЕТА	Построение графика Ферми для бета-спектров	СДС 1604 А

"Оф-лайн" эксперименты

Как было указано во введении, классическая "оф-лайн" методика применялась в ЛЯП ОИЯИ для спектрометрических исследований с 1958 года. За это время был накоплен большой опыт, созданы современные радиохимическая и ядерноспектроскопическая лаборатории (см.^{13/}). Естественно, что при разработке программы исследований короткоживущих изотопов рассматривалась возможность использования имевшегося оборудования и спектрометров. Было признано целесообразным принять все меры к тому, чтобы использовать эти приборы и оборудование для исследований короткоживущих, или относительно короткоживущих, изотопов. Мы считаем также целесообразными разработку и создание некоторых приборов и устройств, которые в будущем имеют перспективу использования в "он-лайн" экспериментах.

В отделе ЯС и РХ ЛЯП в 1966-67 г.г. имелся ряд современных магнитных спектрометров альфа- и бета-излучения. Из-за недостатка площадей в здании синхроциклотрона ЛЯП мы не имели возможности рассматривать вопрос о включении этих приборов в установку ЯСНАПП-1. Были приняты меры к тому, чтобы используя эти приборы по-прежнему в "оф-лайн" режиме, изучать короткоживущие изотопы. Так, например, на большом магнитном альфа-спектрографе проведены исследования короткоживущих изотопов радона вплоть до радона-206 с $T_{1/2} = 6$ мин. На магнитных бета-спектрографах изучены спектры конверсионных электронов иттербия-165 с $T_{1/2} = 10$ мин и тулия-160 с $T_{1/2} = 9$ мин.

Для исследования короткоживущих изотопов применялись приборы измерительного комплекса отдела ЯС и РХ: полупроводниковые гамма-, рентген- и бета-спектрометры, установки гамма-гамма совпадений, угловых корреляций и др. ^{128,29,30/}.

В 1971 г. в Институте Ядерных Исследований ПАИ (г.Краков) был изготовлен и в 1972 г. запущен в отделе ЯС и РХ безжелезный торои-

дальный бета-спектрометр (типа "Апельсин") с уникальными характеристиками: разрешение - 1%, счетосила -20% или разрешение - 0,4%, светосила - 7%. Использование этого прибора в исследованиях по программе ЯСНАПП-1 в дальнейшем включение его в установку ЯСНАПП-2 создает большие дополнительные возможности.

Разработан и сооружен автоматический микрофотометр для автоматической обработки информации, получаемой на фотопластинках, экспонированных на бета-спектрографах. Ведется разработка автомата для просмотра фотопластинок с альфа-спектрографа с обеспечением обработки полученной информации с помощью ЭВМ.

2. 2. Результаты исследований свойств короткоживущих ядер по программе ЯСНАПП-1

Отчет о результатах научных исследований по программе ЯСНАПП-1 был сделан отделом ядерной спектроскопии и радиохимии ЛЯП ОИЯИ на XIУ сессии Ученого совета по физике низких энергий в мае 1972 г. Здесь мы ограничимся только очень краткой характеристикой результатов исследований по программе ЯСНАПП-1.

Как было указано выше, с помощью установки ЯСНАПП-1 мы имеем возможность в настоящее время изучать свойства ядер с периодами полураспада 1 минута и больше. Таким образом на установке ЯСНАПП-1 изучались ядра с большим недостатком нейтронов; например: восемь единиц для изотопов празеодима и шестнадцать единиц для изотопов таллия. Эти методические возможности определяют те проблемы, исследования которых можно проводить на установке ЯСНАПП-1. Мы считали среди них главными: изучение структуры высоколежащих возбужденных состояний ядер и систематическое исследование свойств более низких ядерных уровней в широком диапазоне A и Z .

Для изотопов, удаленных от полосы стабильности, характерна большая величина разности масс при бета-распаде. Энергия распада

ядер, доступных на установке ЯСНАПП-I, достигает величины 5-7 Мэв. Соответственно, при бета-распаде часто хорошо возбуждаются уровни с энергией до 4-5 Мэв. Определяя вероятности бета-распада на эти уровни, можно получить надежные сведения о структуре высоколежащих состояний.

Важной задачей остается исследование свойств сравнительно низких ядерных состояний. Знание структуры низких состояний позволяет более уверенно анализировать свойства высоких состояний. Систематическое, в широком диапазоне A и Z , исследование свойств низких уровней даст принципиально важные сведения о границах областей деформации, изомерах формы и др.

В 1967-72 г.г. исследования по программе ЯСНАПП-I проводились в следующих областях таблицы изотопов:

Нейтрондефицитные изотопы таллия изучали Т.Фенеш и сотрудники. Экспериментальные исследования этой группы ядер завершены в 1971 г. Предварительные результаты исследований были опубликованы в /2,12,13/. Открыты четыре новых изотопа таллия: 191, 190, 189, 188. Период полураспада таллия-189 равен 1,4 мин. Полученные экспериментальные данные о распаде изотопов таллия с массовыми числами от 197 до 188 позволяют проследить за поведением ядерных уровней вблизи магического числа протонов $Z = 82$. (Заряд ядра таллия $Z = 81$; стабильные изотопы таллия имеют $A = 203$ и $A = 205$). Анализ результатов этих исследований будет завершен в 1972 г.

Р.Арльт, Х.Тыррофф, В.Г.Калинников и др. закончили цикл исследований нейтрондефицитных изотопов неодима и празеодима /31,32,27/. Получена информация о свойствах ряда ядер с магическим числом нейтронов $N = 82$ и ядер переходной области с $N < 82$. Идентифицировано трехквасичастичное состояние в ядре ^{141}Pr ; изучен распад короткоживущих изотопов ^{145}Gd $T_{1/2} = 23$ мин и ^{144}Gd $T_{1/2} = 4,9$ мин /32,33,34,35,36,37,38/.

Начаты исследования свойств изотопов В, С и Хе с А 126, 127 (Р.Арльт, А.Ясински и др.) Есть основания считать, что здесь будут получены сведения, подтверждающие существование области ядер с отрицательной деформацией.

Продолжаются исследования деформированных ядер редкоземельной области. Изучались короткоживущие изотопы рения, лютеция, иттербия, тулия, эрбия, гольмия, диспрозия. Изучен распад таких далеких от полосы стабильности ядер, как ^{163}Yb - $T_{1/2} = 10$ мин, ^{158}Tm - $T_{1/2} = 4$ мин и др. Получен большой объем новой информации об одночастичных, двух- и трехчастичных коллективных вращательных, бета- и гамма-вибрационных уровнях в этих ядрах [39, 40, 41]. Обзор экспериментальных результатов исследований трехквартичных состояний опубликован в журнале "Физика элементарных частиц и атомного ядра" [42].

Проводятся исследования нейтронодефицитных изотопов франция, радона, астата и полония (М.Я.Кузнецова, В.Потемпа, В.Г.Чумин и др.).

Выполнен большой цикл исследований (Б.Крацик, Чан Тхань Минь и др.) в области изотопов циркония и иттрия ($Z \sim 40$, $N \sim 50$). Здесь существенно пополнена информация о структуре состояний в области магических чисел нейтронов $N = 50$ и протонов $Z = 40$.

3. Задачи второго этапа программы ЯСНАПП

За последние несколько лет достигнут большой прогресс в развитии экспериментальных установок, необходимых для изучения ядер, удаленных от линии бета-стабильности. Изучение свойств таких ядер является в настоящее время одним из самых важных направлений исследований в области ядерной физики и ядерной химии. Эффективным и многообещающим средством для проведения таких экспериментов является использование масс-сепаратора в системе "он-лайн" (ISOL - системы) (табл.1). Опыт, накопленный за последние годы в нашей лаборатории (ЛЯП ОИЯИ), по использованию реакции глубокого расщепления под дей-

ствием протонов с энергией 660 Мэв, для получения радиоактивных изотопов, равно как и последние достижения группы Изольде (ЦЕРН) в этом направлении показали, что использование протонов высоких энергий позволяет получить большие количества радиоактивных ядер существенно удаленных от линии бета-стабильности. Использование такой методики позволяет в настоящее время изучать радиоактивные ядра с периодами полураспада до 1 секунды.

Установка ЯСНАПП-2 представляет собой масс-сепаратор, работающий непосредственно на выведенном пучке протонов реконструированного синхротриклотрона ЛЯП. Эта установка позволит получать большое количество новых, в основном нейтронодефицитных изотопов, которые будут доступны к исследованию стандартными методами рентгеновской, альфа-, бета- и гамма-спектроскопии, что, как можно надеяться, позволит в свою очередь понять свойства многих из них.

Имеется два основных довода для изучения ядер, удаленных от линии стабильности.

Первым из них является расширение имеющихся данных и проведение систематических исследований ядер в более широкой области Z и N .

Во-вторых, это изучение новых явлений, которые специфичны для ядер, удаленных от линии бета-стабильности. Изучая эти явления, можно получить новые сведения о структуре ядра.

Широкий диапазон возможных экспериментов по изучению ядер, удаленных от линии бета-стабильности представлен на Лизекильской (1966) и Лейпцигской (1970) конференциях, посвященных этому вопросу /1,2/.

Ниже перечислены некоторые физические проблемы, которые предлагается исследовать на втором этапе программы ЯСНАПП.

3.1. Изучение разностей масс-ядер

Одним из важных объектов исследования в области ядер, удаленных

от линии бета-стабильности, являются несомненно массы ядер и описание их поведения. С точки зрения эксперимента необходимы в настоящее время большие усилия для систематического изучения масс ядер, поскольку любая из полуэмпирических формул для масс должна быть основана на систематическом знании этих величин, а не только на отдельных значениях, которые имеются в настоящее время. Эти величины играют важную роль в теориях ядерного синтеза. Они могут быть использованы для предсказания свойств новых изотопов и элементов. Измерение величин Q при бета- или альфа-распаде дает нам непосредственную информацию о соответствующих разностях масс.

3.2. Изучение магических ядер и ядер, находящихся вдоль линии $N = Z$

С точки зрения модельных представлений важную роль играет изучение дважды магических ядер как в $^{16}_8\text{O}$, $^{40}_{20}\text{Ca}$ и $^{208}_{82}\text{Pb}$ и экспериментальное определение свойств одночастичных уровней, особенно для ядер вблизи двумагических. Низколежащие уровни этих ядер должны отвечать энергиям одночастичных нейтронных и протонных состояний. Представляет также интерес вопрос систематического изучения поведения магических чисел при достижении большого дефицита нейтронов (например $^{80}_{40}\text{Zr}_{40}$).

Изучение ядер с $N \approx Z$ представляет интерес в связи с явлением зарядовой независимости ядерных сил. Однако эти ядра, за исключением самых легких, находятся далеко от линии стабильности. В этой области имеем благоприятный случай наблюдения на эксперименте сверхразрешенных бета-переходов.

3.3. Изучение деформированных ядер

На рис. I, помимо областей дважды магических ядер, которые считаются сферическими, отмечены также области сильнодеформированных ядер. Помимо трех, хорошо известных областей сильнодеформированных ядер на рис. I отмечены две другие области возможных деформирован-

ных ядер. Область с $50 < Z < 82$ и $50 < N < 82$ и область с $28 < Z < 50$ и $50 < N < 82$. Действительно, характер низколежащих возбужденных уровней 56Br , 40Zr , 42Mo и 44Zr указывает на сильные коллективные черты. Установка ЯСНАПП дает хорошие возможности для исследований ядер в этих областях.

3.4. Изучение ядер переходного характера

В связи со сказанным выше следует, однако, иметь в виду, что представления о сферических и сильнодеформированных ядрах являются на самом деле асимптотическими пределами для описания большинства реальных ядер (рис.1). В этой связи важным является систематическое изучение свойств переходных ядер, исследуя которые можно проверить границы применимости имеющихся модельных представлений. Установка ЯСНАПП-2 дает хорошие возможности для проведения систематических исследований во многих из переходных областей.

3.5. Изучение изомерных состояний

Важным направлением исследований является также систематическое изучение свойств изомерных состояний и объяснение их природы. Интерес представляет поиск изомеров формы, K-запрещенных изомеров и др.

3.6. Изучение некоторых особенностей распада ядер, удаленных от линии бета-стабильности

Распад ядер, удаленных от линии бета-стабильности имеет некоторые особые черты, связанные в основном с возрастанием разности масс соседних изобар по мере увеличения разности N и Z . На границах устойчивости эта разность масс по имеющимся оценкам может достигать двух-трех десятков Мэв. При таких условиях β^+ -распад приводит к довольно высоколежащим возбужденным состояниям дочерних ядер. В такой

области энергий возбуждения, где плотность уровней велика, проявляются некоторые особенности возбуждения ядра, которые можно связать с концепцией составного ядра.

Например, изучая высокоэнергетический бета-распад, можно получить информацию о поведении силовой функции в зависимости от энергии и чисел N и Z , изучить влияние оболочечных эффектов, эффектов спаривания и др. на gross-структуру этой функции.

Второй особенностью распада ядер, достаточно удаленных от линии стабильности, является возможность испускания в процессе распада прямых или задержанных нуклонов или групп нуклонов. Изучение этих процессов может быть с успехом использовано для изучения свойств высоковозбужденных уровней в дочерних ядрах. В некоторых случаях возможно также получить информацию о спинах и четностях уровней составного ядра и некоторых других характеристиках процесса.

4. Технические вопросы второго этапа программы ЯСНАПП

4.1. Установка "Ф"

Второй этап программы ЯСНАПП связан с реконструкцией синхротронного фазотрона в сильноточный фазотрон с вариацией магнитного поля (установка "Ф"). Такая модернизация ускорителя Лаборатории ядерных проблем позволит увеличить интенсивность внутреннего протонного пучка до 50 мка, вместо имеющегося в настоящее время 2,3 мка.

После реконструкции существенно увеличатся возможности для проведения ядерно-спектроскопических и радиохимических исследований. Это прежде всего связано со значительным увеличением интенсивности протонного пучка. Возможности расширятся также благодаря созданию устройств для облучения мишеней различного целевого назначения и созданию условий для использования параллельного ("паразитного")

времени. Прежде всего, это относится к мишени МХИ, работающей в режиме "он-лайн" (рис.5).

Интенсивность выведенного пучка в районе мишени МХИ ожидается около 30 мка, при сечении пучка 5-6 см². Предполагается, что 50% протонов удастся сфокусировать в пучок диаметром 1 см. Эти условия выполняются при работе установки ЯСНАПП-2 на собственном времени. На параллельном времени, когда на пучке перед мишенью МХИ будут стоять мишени для генерации вторичных частиц, интенсивность пучка в этой области существенно не снизится, но сечение его возрастет до 50-60 см².

Облучения мишеней с целью получения радиоактивных изотопов можно будет также проводить, на выведенном пучке протонов, используя пневмопробники М₅ и М₆ и утилизируя пучок, который гасится в пробке (мишень МУ), и на внутреннем пучке, используя "пробник" внутри камеры ускорителя (см. зал № 5 на рис.5).

Пневмопробники будут иметь выходы в перегрузочный бокс, снабженный копирующими манипуляторами. Бокс предполагается связать пневмопочтой со зданием ОЯС и РХ. Такая пневмопочта в настоящее время проектируется специалистами ВНР. Конструкция пневмопробников разработана в ОЯС и РХ.

Мишень МУ предназначена для длительных облучений больших количеств материалов с целью производства долгоживущих нейтронодефицитных изотопов для технических и медикобиологических целей.

После реконструкции ускорителя сохранится возможность проведения облучений на внутреннем пучке установки "Ф" (мишень М₁). Предусматривается, что облучения будут проводиться в двух режимах: полным внутренним пучком 50 мка, и на интенсивности пониженной до 2-3 мка.

4.2. Установка ЯСНАПП-2

С помощью установки ЯСНАПП-2 предполагается изучать короткоживущие изотопы, образующиеся при облучении мишеней протонами на установке "Ф". При этом желательно обеспечить условия, при которых будут доступны изотопы с $T_{1/2} \approx 0,1$ сек и, возможно, меньше. В связи с этим основное отличие от установки ЯСНАПП-1 (см. стр. 2) будет состоять в исключении промежуточного этапа доставки мишени с помощью пневмопочты. Образовавшиеся в мишени продукты ядерных реакций должны поступать прямо в ионный источник масс-сепаратора.

Для размещения установки ЯСНАПП-2 по плану реконструкции синхротрона ЛЯП возводится специальная пристройка (пристройка № 4) с экспериментальным залом № 9 (рис.5) площадью около 500 м^2 . В Зале № 9 будет размещено спектрометрическое оборудование установки ЯСНАПП-2 и электропитание масс-сепаратора. В лабораторной части этой пристройки предусмотрено также создание радиохимической лаборатории для проведения химических разделений после сепарации изотопов на масс-сепараторе ЯСНАПП-2 и для обработки мишеней, облученных на пневмопробниках M_5 и M_6 . Радиохимическая лаборатория связана пневмопочтой с экспериментальным залом № 9, с пневмопробниками M_5 и M_6 и зданием отдела ИС и РХ.

Для работы с узлом МХИ под залом № 7, где проходит выведенный протонный пучок, предусмотрено помещение площадью около 20 м^2 , связанное с залом № 7 специальным подъемником.

Исходя из планировки помещений, выделенных по плану реконструкции ускорителя, для установки ЯСНАПП-2, можно предложить вариант размещения основных узлов, показанный на рис.6

В зале ускорителя находится комплекс "ОН", включающий узел МХИ (мишень, химия, ионный источник), вакуумную камеру с ионно-оптической системой, оборудование вакуумной откачки (два диффузионных насоса, один форвакуумный насос, вакуумные шибера и манометры), системы

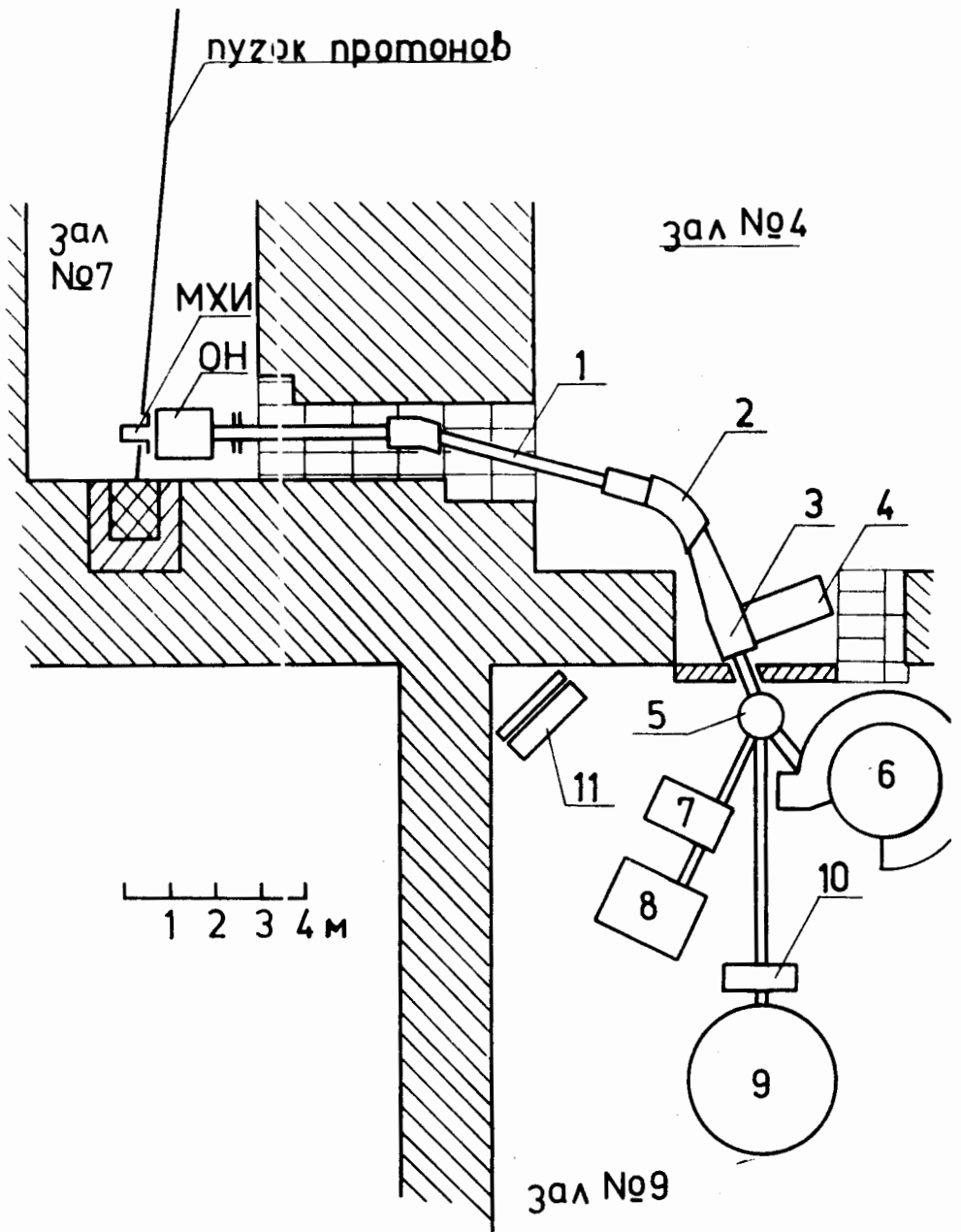


Рис.5 Проект размещения основных узлов установки ЯСНАПП-2.

пневматического управления. Этот комплекс соединен монопроводом (1) с анализирующим магнитом (2) масс-сепаратора. Для периодического или аварийного обслуживания весь комплекс "ОН" необходимо извлекать из горячей зоны зала № 7. Ионопровод, длиной 8,5 м, в середине имеет отклонение на $\sim 15^\circ$ для уменьшения нейтронного фона (в зале № 4). Коллекторная камера (3) масс-сепаратора находится в проеме стены между залами № 4 и № 9. Все разделенные изотопы могут собираться в этой камере на алюминиевую фольгу и извлекаться через вакуумный шлюз. Один из изотопов может быть принят на движущуюся ленту и перенесен к детекторам излучений с помощью лентопротяжного механизма (4). Кроме того, пучок ионов одного изотопа может быть выведен из коллекторной камеры и с помощью отклоняющего магнита (5) направлен в соответствующий спектрометр в зале № 9. Предполагается установить следующие магнитные спектрометры: магнитный альфа-спектрометр (6), магнитный бета-спектрометр (7), магнитный бета-спектрограф (8), тороидальный бета-спектрометр типа "Апельсин" (9). Вакуумная камера (10) предназначена либо для дополнительной лентопротяжной системы сбора изотопов, либо для полупроводниковых детекторов. В зале № 9 должны быть размещены источники электропитания и элементы его управления.

Успех экспериментов на установке ЯСНАПП-2 будет определяться в первую очередь тем, как будут решены вопросы, связанные с конструкцией узла мишень-химия-ионный источник. От конструкции этого узла зависит, как быстро будут извлекаться из облучаемой мишени ядра-продукты, а, следовательно, какие минимальные периоды полураспада изотопов будут доступны изучению. Конструкция этого узла будет определять количество ядер-продуктов извлекаемых из мишени и потери при транспортировке их к коллектору масс-сепаратора, т.е. в конечном счете активность изучаемых короткоживущих изотопов.

Разработка конструкции узла МХИ сильно осложняется тем что он, в рабочем положении, располагается на выведенном протонном пучке в зале № 7 (рис.5), т.е. в зале, где расположен ускоритель. По проекту установки "Ф" вход в этот зал без специальных защитных устройств (манипуляторные кабины) категорически запрещен. Между тем наш опыт работы на установке ЯСНАПП-I и опыт группы Изольде в ЦЕРН показывает, что практически перед каждым экспериментом необходимо производить оптимизацию параметров ионного источника и ионной оптики с изменением напряжения и расстояния между электродами. Очевидно также, что ионный источник и мишенное устройство должны быть доступны для регулярной очистки от загрязнений, смены вещества мишени и др. Все эти операции необходимо осуществлять дистанционно из-за мощной защиты. Эта проблема предварительно проработана В.И.Райко и П.Клепацким. Предлагается изготовить для этой цели специальный автоматический оператор (АО). Это устройство (рис. 7) должно осуществлять следующие операции:

1. Установка и съём мишени и оборудования для быстрой химии (или всего узла МХИ).
2. Замена и встировка источника ионов (в том числе подключение охлаждения, электропитания, вакуумной откачки).
3. Обслуживание вакуумных насосов, около ионного источника (охлаждение, нагреватели, шибера, клапаны).
4. Регулировка положения электродов ионно-оптической системы.
5. Периодическое или аварийное обслуживание всех систем, включая вакуумные манометры, пневматические системы управления и пр.

Автоматический оператор предполагается расположить в нижнем помещении под узлом МХИ. В этом же помещении размещается запас мишени (13), двигатели защитного люка (12), транспортер (14)

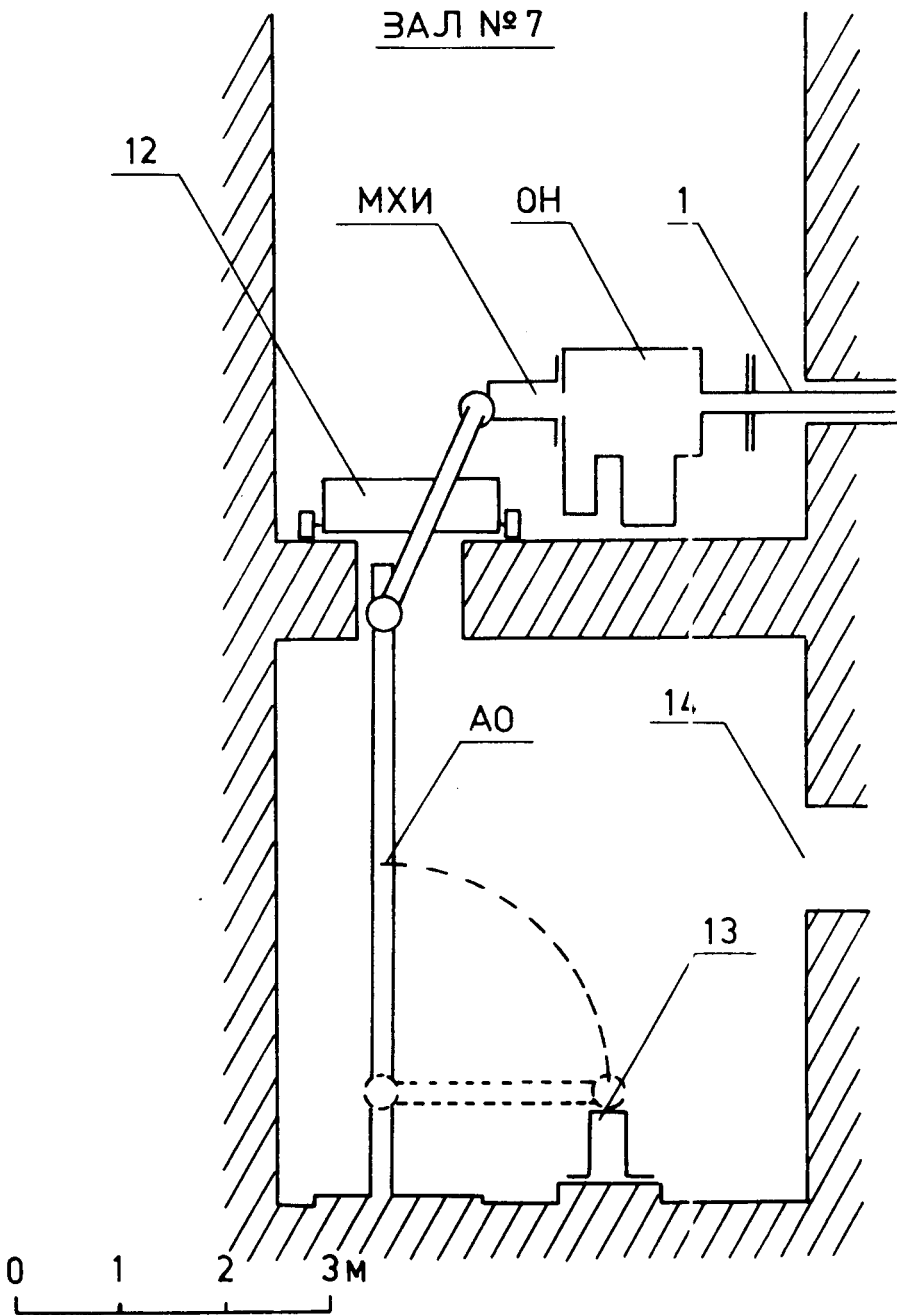


Рис.7 Схема устройства автоматического оператора
(вертикальный разрез).

для переноса использованных мишеней в защитный контейнер. Оператор АО оборудуется необходимыми захватами и должен работать или автоматически по заданной программе, или с дистанционным управлением. Визуальный контроль за работой оператора АО осуществляется с помощью телевизионной камеры или другими средствами.

4.3. Спектрометрическое оборудование

Успех исследований по программе ЯСНАПП-2 во многом будет зависеть от измерительной техники. Как сказано выше, предполагается включение в установку ЯСНАПП-2 в "он-лайн" режиме нескольких магнитных спектрометров и спектрографов. Это позволит получать прецизионную информацию о спектрах заряженных частиц.

Ясно, однако, что наибольшая по объему информация будет получаться с помощью спектрометров излучения с полупроводниковыми детекторами. Наряду с используемыми в установке ЯСНАПП-1 детекторами гамма-лучей и электронов, необходимо будет использование детекторов тяжелых заряженных частиц (p, α, \dots), нейтронов, осколков деления. Очевидно, очень большую роль будет играть развитие необходимой радиоэлектронной аппаратуры. По существующим на сегодня представлениям, которые могут претерпеть изменения в процессе развития самой программы, требования к электронной аппаратуре и необходимый ее объем, могут быть определены следующим образом.

Прежде всего, для эффективного использования всего комплекса аппаратуры и времени ускорителя должны быть существенно улучшены загрузочные характеристики всей спектрометрической аппаратуры, начиная от усилительных трактов и кончая накопителями на базе анализаторов и ЭВМ. Спектрометры с полупроводниковыми детекторами должны работать без заметного ухудшения разрешения (относительно достигнутого в настоящее время) на уровне загрузок $5 \cdot 10^4 + 10^5$. Для решения этой задачи необходима разработка соответствующих предусилителей, ли-

нейных усилителей, быстрых дискриминаторов, временных конверторов и быстрых амплитудно-цифровых преобразователей (время преобразования на 4 + 8 тысяч каналов должно быть 5 + 10 мксек). Соответственно, измерительный центр должен быть укомплектован анализаторами и малыми ЭВМ с объемом памяти в четыре и восемь тысяч каналов и циклом обращения к памяти в 1-2 мксек. Для нормальной работы необходимо располагать не менее, чем четырьмя одномерными централизованными трактами с указанными характеристиками.

Для исследования временных и пространственных корреляций между различными видами излучения необходимо создать на базе ЭВМ установки для многомерного анализа, в том числе с возможностью отбора полезной информации методом цифровых окон. Для этого в измерительном центре I корпуса ЛЯП должны быть две ЭВМ с объемом памяти 16 + 32 К (при 16 разрядном слове) и циклом памяти 1 - 2 мксек, с соответствующими периферийными устройствами (диск, магнитная лента, АЦПУ, плоттер).

При нескольких (4 + 5) корреляционных установках, располагающих соответствующими детекторами и спектрометрическими и временными трактами, достаточно иметь две системы с 2 + 3 амплитудно-цифровыми преобразователями и логической электроникой их сопряжения с ЭВМ, что позволит проводить одновременно два многомерных корреляционных эксперимента. При этом все АЦП должны быть достаточно быстрыми, но не обязательно все на 4096 каналов. ЭВМ, используемые для многомерного анализа, должны обязательно иметь осциллографический дисплей со световым карандашом.

Ввиду значительной удаленности измерительного центра от зала с экспериментальными установками, работающими по программе ЯСНАПП-2, для многомерного анализа на базе ЭВМ, расположенных в ИЦ, необходи-

мо предусмотреть выносные дисплейные станции с телетайпами непосредственно у экспериментальных установок. Кроме того, в помещении с экспериментальными установками необходимо иметь два-три современных многоканальных анализатора для работы с магнитными спектрометрами, одномерных измерений "оф-лайн", наладки аппаратуры и подготовки сложных многомерных измерений, проводимых на централизованном оборудовании, как правило, занятом на прямых экспериментах на пучках и поэтому мало доступном для наладочных и подготовительных работ. Автономные анализаторы также должны быть связаны с базовой ЭВМ ИЦ.

Обработка информации. Помимо развитых уже сейчас видов обработки спектрометрической информации, включающих полуавтоматические методы (предварительная обработка с дисплеем, затем окончательная обработка) и полностью автоматической обработки, должны быть развиты методы экспериментальной обработки в процессе эксперимента для возможности влияния на его ход в зависимости от получаемых результатов. Эта новая функция обработки должна развиваться в направлении автоматизации процесса обратной связи, то есть управления аналоговой и цифровой аппаратурой, занятой в эксперименте, как это, например, реализуется в системе КАМАК.

Рассматривая спектрометрическую аппаратуру, которая может быть включена в "он-лайн" эксперименты на установке ИСНАПП-2, следует упомянуть и ряд более сложных методов таких, как: определение спинов основных состояний радиоактивных ядер оптическими методами; определение ядерных моментов методом оптической накачки; применение сверхнизких температур для корреляционных экспериментов. Такие методы уже начинают использовать для "он-лайн" -экспериментов в некоторых институтах мира. Однако эти установки требуют специальных крупных разработок и обсуждение вопроса об их создании выходит за рамки этого материала. Несомненно, представляло бы большой интерес, чтобы установки

такого рода были разработаны и построены в заинтересованных институтах стран-участниц.

5. Заключение

Представляет интерес сравнить программу ЯСНАПП с другими программами изучения изотопов, удаленных от полосы стабильности. Как видно из таблицы I, программ исследований далеких от полосы стабильности ядер существует довольно много, однако, только три из них используют для получения далеких нейтронодефицитных изотопов протоны с энергией несколько сот Мэв. Это программы: ИЗОЛЬДЕ (ЦЕРН, Женева), ЯСНАПП (ОИЯИ, Дубна) и ИРИС (ЛИЯФ, АН СССР, Ленинград). Очевидно, эти три программы следует сравнивать между собой, если нас интересует место нашей программы ЯСНАПП среди других *ISOL*-систем.

Программой Изольде с самого начала (1967) было предусмотрено совмещение мишени и ионного источника масс-сепаратора в одном узле, т.е. создание строго "он-лайн"-системы (см. Введение стр.5). Отсюда одна из главных характеристик установки Изольде - это возможность изучать ядра с периодами полураспада 0,1 сек, а иногда и еще меньше.

Исследования по программе Ирис пока проводятся без использования масс-сепаратора ("он-лайн"-химия, спектрометрия). Предусматривается сооружение в ближайшее время масс-сепаратора, с установкой его ионного источника на пучок протонов синхротрона ЛИЯФ ($E_p = 1000$ Мэв, $I_p = 1$ амп).

Основным отличием программы ЯСНАПП-I от программы Изольде и в будущем, от программы Ирис является, то что мишень и ионный источник разделены расстоянием ~ 80 м и связаны пневмопочтой. По этой причине самые короткоживущие изотопы, которые изучались на установке ЯСНАПП-I, имеют $T_{1/2} = 2-3$ мин. Соответственно на установке Изольде

удаётся изучать ядра на 3 - 6 единиц более удаленных от линии стабильности, чем на установке ЯСНАПП-1. Так, например, по программе Изольде изучались ядра ртути-178, удаленные от линии стабильности на 22 единицы, а по программе ЯСНАПП-1 - ядра таллия-188, удаленные на 16 единиц. Различие не так велико, однако минимальные периоды полураспада ядер, доступные для ЯСНАПП как раз таковы, что не допускают наблюдения и исследования интересных явлений задержанного испускания тяжелых частиц и некоторых других новых явлений, возникающих при значительном удалении от полосы бета-стабильности.

Однако наряду с этим можно отметить и некоторые преимущества экспериментальных условий характерных для исследований по программе ЯСНАПП-1. Облучение мишени и сепарация изотопов на некотором удалении друг от друга позволяет:

а) Использовать более широкий круг методов выделения радиоактивных изотопов из облученной мишени. Это дало возможность расширить по сравнению с программой Изольде число облучаемых мишеней, повысить в некоторых случаях эффективность выделения из мишени и сепарации изотопов. Важным достижением в этом направлении было создание нового ионного источника с поверхностной ионизацией.

б) Существенно снизить фон в спектрометрической лаборатории.

в) Применять экспрессную химию до и после сепарации изотопов. Это дает возможность надежно идентифицировать Z - изотопа и повысить чистоту источников.

г) Использование внутреннего, более интенсивного пучка для приготовления изотопов с $T_{1/2} \gg 10$ мин дает возможность изучать их альфа- и бета-спектры с помощью магнитных спектрометров.

В этом материале трудно проанализировать все новые сведения, которые были получены по программам Изольде и ЯСНАПП-1, однако можно,

по-видимому сказать, что объем спектрометрической информации (схемы распада) о короткоживущих ядрах, полученный по программе ЯСНАПП существенно больше, чем по программе Изольде. Заметим здесь, что в последние 1-2 года программа Изольде сосредотачивает исследования на новых явлениях, свойственных удаленным от полосы стабильности ядрам, сокращая исследования схем распада короткоживущих ядер.

Эти соображения позволяют нам считать, что программа ЯСНАПП-1 была составлена в 1967 году в основном правильно: получена важная информация о распаде короткоживущих ядер; и перспективы работ по программе ЯСНАПП-1 на ближайшие 1-2 года (до остановки синхроциклотрона ИЯП на реконструкцию) неплохие.

Для оценки перспектив работ по программе ЯСНАПП-2 представляет интерес провести сравнение возможностей установки ЯСНАПП-2 с аналогичными установками, которые будут существовать в 1975 году. Нам известно о следующих таких установках:

Изольде-2. Имеется план реконструкции синхроциклотрона ЦЕРН. Он должен быть утвержден или отвергнут в ближайшие месяцы (до конца 1972 года). По этому плану установка Изольде-2 будет иметь автономный, хорошо сфокусированный, пучок протонов, интенсивностью около 10 микроамперей. Преимуществом системы Изольде-2 /43/ по сравнению с ЯСНАПП-2 следует считать относительно свободный доступ к узлу мишень - ионный источник, расположенному на протонном пучке, и почти полная ликвидация монопровода от ионного источника к масс-сепаратору.

Установка Ирис будет обеспечивать хорошие условия для работы в "он-лайн"-режиме с масс-сепаратором, однако доступный протонный ток будет в 10 или более раз меньше, чем на ЯСНАПП-2 или Изольде-2.

Мезонная фабрика в Лос-Аламосе (США) запущена в этом году, в 1973 году предполагается получить пучок протонов с $E_p = 1$ Гэв

интенсивность 1 миллиампер. Пока создание установки типа Изольде или ЯСНАПП там не планируется, однако перспективы этих работ на ускорителе с протонным током в один миллиампер не оставляют сомнений, что в ближайшие годы такая установка в Лос-Аламосе будет создана.

Таким образом реальное сравнение условий и возможностей установки ЯСНАПП-2 мы можем провести только с установкой Изольде-2. Энергия протонов и их интенсивность будут примерно одинаковы. Существенное различие состоит в радиационной обстановке в зале, где будут расположены мишень и ионный источник. Для установки Изольде еще в 1966-67 г.г. был создан автономный пучок протонов, уведенный под землю от зала ускорителя на расстояние примерно 100 м. В результате по плану Изольде-2 будет разрешен доступ для обслуживания узла мишень - ионный источник через 10-20 часов после работы на протонном пучке. Как выше было отмечено, план установки ЯСНАПП-2 предполагает обслуживание этого узла с помощью дистанционных устройств. Это очень сложная проблема. Возможно следует еще раз оценить, что более рационально: создание автоматических дистанционных устройств в зале нового ускорителя или создание автономного пучка для установки ЯСНАПП-2.

В заключение мы считаем необходимым еще раз подчеркнуть важность развития методов экспериментальных исследований короткоживущих изотопов. Значение проблем, поставленных в разделе 3 настоящего материала, очевидно, не вызывает сомнений. Некоторые короткоживущие изотопы уже нашли практическое применение. Здесь можно указать, что программа Лос-Аламосской мезонной фабрики предусматривает производство короткоживущих изотопов для медицинских и биологических целей. В будущем практическое применение короткоживущих изотопов, по-видимому, еще более расширится. *ISBL* - системы становятся, а по-существу уже стали, классическим методом исследований коротко-

живущих изотопов. Развитие этого метода - установка ЯСНАПП-2, очень важно как для ОИЯИ, так и для стран-участниц.

Из изложенного выше ясно, что создание установки ЯСНАПП-2 требует решения ряда нетривиальных методических вопросов и значительных затрат. Некоторые важные методические вопросы в настоящем материале были почти не затронуты. Среди них можно упомянуть технику транспортировки ядер-продуктов ядерных реакций с помощью сверхзвуковой гелиевой струи. Не исключено, что развитие этой техники может привести к существенно более простому решению проблем, связанных с обслуживанием узла мишень - ионный источник установки ЯСНАПП-2. Необходимо также развитие нестандартных методов исследований ядерных свойств (см.конец раздела 4).

В этой связи мы считаем необходимым еще раз поставить вопрос о желательности разработки и сооружения в институтах стран-участниц ОИЯИ отдельных узлов и целых систем для установки ЯСНАПП-2. Активное участие институтов стран-участниц в работах по программе ЯСНАПП-2 является непременным условием успеха этих работ.

Л и т е р а т у р а

1. Материалы Международной конференции "Как и зачем изучать ядра, удаленные от линии бета-стабильности", Лизеквиль, Швеция, 1966 г.
2. Материалы Международной конференции по свойствам ядер, удаленных от области бета-стабильности. Лизон, Швейцария, 1970 г.
Препринт CERN 70-30, 1970 г.
3. К.Я.Громов, Б.С.Джелепов. Атомная энергия, т.26, вып.4, стр.362-369, 1969 г.
4. Н.Г.Зайцева, В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова, Ма Хо Ик, Г.Музюль, Хань Шу Кунь, Чжо Мо Лунь, В.Г.Чумин. Ядерная физика, т.1, стр.385, 1965.
5. Материалы У сессии Ученого Совета ОИЯИ по физике низких энергий. 31 мая - 2 июня 1967 г.
6. Г.Музюль, В.И.Райко, Х.Тыррофф. Препринт ОИЯИ Р6-4487, Дубна, 1969
7. Препринт ЦЕРН 70-3 , 1970
8. А.Т.Василенко, И Махунка, З.Мате, Й.Надь, В.М.Сороко, Н.С.Станчева, С.М.Станчев, В.А.Уткин, Т.Фокен
Препринт ОИЯИ Р6-5888, ПТЭ, № 2, 1972 г. стр.34-36
9. Н.Г.Зайцева, в сборнике "Радиохимические методы определения микроэлементов" стр.16 М.-Л., "Наука", 1965
10. Н.Г.Зайцева. Препринт ОИЯИ 6-3596, Дубна, 1967
11. Ф.Молнар, В.А.Малкин, Э.Херрманн. ЭЧ и АЯ (в печати)
12. Б.Баяр, Н.Г.Зайцева, А.Ф.Новгородов. Препринт ОИЯИ Р6-5955, Дубна, 1971 г.
13. Я.Вандлик, Т.Б.Вандлик, Н.Г.Зайцева, З.Мате, И.Махунка
Препринт ОИЯИ Р12-6234, Дубна, 1972
14. А.Пиотровски, В.И.Райко, Х.Тыррофф . Препринт ОИЯИ Р13-5369, Дубна, 1969
15. А.Пиотровски, В.И.Райко, Х.Тыррофф. Препринт ОИЯИ Р13-6014, Дубна, 1971 , ПТЭ № 2, 23, 1972.
16. G.Beyer, E.Herrmann, A.Piotrowski, V.I.Raiko, H.Tyrroff
Nucl. Instr. a. Methods 96/3, 437 (1971)

17. G.Beyer, E.Herrmann, F.Molnar, V.I.Raiko, H.Tyrroff
JINR, E13-6671
18. V.A.Bystrov, A.Latuszynski, V.I.Raiko, H.Tyrroff
JINR E 13-6672, Dubna 1972
19. R.Arlt, V.A.Bystrov, W.Habenicht, E.Herrmann, V.I.Raiko,
H.Strusny, H.Tyrroff
Nuclear Instrument and Methods 102, 253, (1972)
20. Ц.Вылов, И.Н.Егошин, М.Г.Маринов, Т.Муминов, Б.П.Осипенко,
В.Г.Сандуковский, Д.Срика, Я.Юрковски
Сообщение ОИЯИ 13-6440, 1972 г.
21. Д.К.Акимов, К.Андерт, А.Е.Бонифатов, П.Дойчев, А.И.Калинин,
М.И.Петров, В.К.Твинков, В.И.Шуравин
Сообщение ОИЯИ 13-6236 (1972)
22. Система блоков спектрометрической аппаратуры; ОИЯИ ЛЯИ ОИЯИ
СМ2-516, Дубна (1972)
23. Yu.K.Akimov, K.Andert, A.I.Kalinin, H.G.Ortlepp
IEEE NS 19 N^o 3, 404 (1972)
24. С.В.Медведь, А.Н.Синаев, Х.Хаупт, Д.Цахер. Сообщение ОИЯИ, 1972
25. Г.Элер, П.М.Гопич, Г.В.Винель, В.Хабенхит, О.Н.Казаченко
Программа и тезисы докладов 22-го ежегодного совещания по ядер-
ной спектроскопии и структуре ядра в Киеве, январь, 1972 г.
часть первая, стр.273, "Наука", 1972 г.
26. Р.Арльт, Г.Винтер, С.В.Медведь, Г.Музоль, А.Н.Синаев, З.А.Усма-
нова, Д.Фромм, Н.А.Чистов, Х.Штрусный
Препринт ОИЯИ Р6-6227, 1972 г.
27. Р.Арльт, Г.Ю.Байер, Х.Тыррофф, З.А.Усманова, Х.Штрусный,
В.И.Фоминных, Э.Херрманн. Препринт ОИЯИ Р6-5783, Дубна, 1971
28. Ц.Вылов, И.Н.Егошин, С.Орманджиев, Б.П.Осипенко, Д.Срика,
Я.Юрковски. ОИЯИ, 13-6440, Дубна, 1972.
29. С.Аврамов, Л.А.Александров, И.А.Емелин, Г.И.Забякин, Н.С.Зайкин
З.Зайдлер, Й.Звольски, З.В.Дысенко, В.Н.Поляков, В.В.Федорин,
В.И.Фоминных, М.И.Фоминных, В.М.Цупко-Ситников, В.П.Ширинов
ОИЯИ, 10-6467, Дубна, 1972.

30. В.И.Фоминих. Многомерные измерения на базе ЭВМ "Минск-2" в задачах ядерной спектроскопии. Диссертация. ОИЯИ, 1972 г.
В.И.Фоминих. Автореферат диссертации. ОИЯИ, 13-6354, Дубна, 1972 г.
31. Р.Арльт, А.Е.Банифатов, А.И.Калинин, М.М.Петров, Л.И.Тывин
Препринт ОИЯИ Р13-5707
32. Р.Арльт, Г.Байер, К.Я.Громов, Г.Музюль, Х.Г.Ортлепп, Х.Штрусный
Х.Тыррофф, З.А.Усманова, Э.Херрманн
Сообщение ОИЯИ Р6-6285, 1972 г.
33. R.Arlt, G.Beyer, V.I.Fomynich, E.Herrmann, A.Jasinski,
H.G.Ortlepp, H.Strusny, H.Tyrroff, S.A.Usmanova
E 2 -6620
34. Р.Арльт, Г.Байер, Г.Музюль, Д.К.Пекер, Г.Пфреппер, Х.Штрусный
Изв.АН СССР, сер.физ. 34, (1970) 753
35. Р.Арльт, Г.Байер, Г.Музюль, Д.К.Пекер, Г.Пфреппер, Х.Штрусный
Изв.АН СССР, сер.физ. 34, (1970) 409
36. В.С.Бутцев, К.Я.Громов, В.Г.Калинников
Препринт ОИЯИ, Р6-6519, 1972
37. В.С.Бутцев, Ц.Вильов, В.Г.Калинников, Н.А.Тихонов, Э.Херрманн
Изв.АН СССР, сер.физ. 35, 1618 (1971)
38. В.П.Афанасьев, В.С.Бутцев, И.И.Громова, В.Г.Калинников,
Н.А.Тихонов Изв.АН СССР сер.физ. 35, 1603 (1971)
39. Р.Арльт, ~~И.И.И.И.И.~~ З.Малек, Г.Музюль, Г.Пфреппер, Х.Штрусный
Препринт ОИЯИ Р6-4235 (1968), Изв.АН СССР сер.физ. 33, (1969),
I232.
40. Р.Арльт, З.Малек, Г.Музюль, Х.Штрусный. Препринт ОИЯИ Р6-4234
(1968), Изв.АН СССР, сер.физ., 33 (1969) I232
41. Р.Арльт, К.Я.Громов, З.Малек, Г.Музюль, Ли Тун Хи, Х.Штрусный,
Х.Штрусный, Н.Г.Зайцева
Препринт ОИЯИ Р6-4635 (1969), Изв.АН СССР, сер.физ. 34 (1970) 702
42. К.Я.Громов, С.И.Федотов, Х.Штрусный, З.А.Усманова
Проблемы физики элементарных частиц и атомного ядра (ЭЧАЯ)
т.1, вып.2 стр.525-546, Атомиздат, 1971 г.
43. П.Г.Хансен. Лекции на международной школе по структуре ядра
Алушта, апрель 1972 г., Препринт ОИЯИ Д-6465 стр.365-378, 1972 г.