

СЗ/04)

М-432,



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2377

МЕЖДУНАРОДНОЕ РАБОЧЕЕ СОВЕЩАНИЕ
ПО МАСС-СПЕКТРОМЕТРАМ И ИХ ПРИМЕНЕНИЮ
В ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

Дубна, 19-22 мая 1965 года

(Рефераты докладов)

Дубна 1965

2377

МЕЖДУНАРОДНОЕ РАБОЧЕЕ СОВЕЩАНИЕ
ПО МАСС-СПЕКТРОМЕТРАМ И ИХ ПРИМЕНЕНИЮ
В ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

Дубна, 18-22 мая 1965 года

(Рефераты докладов)

Дубна 1965

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

3745/3 нр.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

1. Разделение изотопов редких земель с помощью электромагнитного сепаратора изотопов. Мук В., Мончка Д., Поморски Ю., ПНР	5
2. Магнитный сепаратор изотопов института ядерной физики в Россендорфе. Шмидт А., Шенайх И., Нуссбаум Х., ГДР.....	8
3. Электромагнитный сепаратор изотопов Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ Тарантин Н.И., Демьянов А.В., Кабаченко А.П., Логинов О.П.	9
4. Масс-сепаратор С-2 с полем Z^2 и углом отклонения 114° для разделения изотопов тяжелых элементов. Суздаев В.А., Малов А.Ф., Золотарев В.С. СССР.....	10
5. Ионно-оптическая схема сепаратора заряженных частиц с полем Z^2 и углом отклонения π радиан Малов А.Ф., Суздаев В.А., СССР	13
6. Статические и динамические характеристики высоковольтных стабилизаторов напряжения. Нафтулин С.М., СССР	14
7. Стабилизация положения пучка в магнитном масс-сепараторе. Штанге Х., Шмидт А., Шенайх И. ГДР	16
8. Причины несимметричного распределения ионного пучка в масс-сепараторе. Тимпл Ф., ГДР	17
9. Устройство для наблюдения пучка на масс-сепараторе. Кемпиц Н., Шмидт А., Шенайх И. ГДР	18
10. Исследование извлечения и формирования ионных пучков из плазменных источников. Райко В.И., СССР.....	19
11. Некоторые проблемы термической эмиссии ионов в масс-спектрометрии изотопов урана. Опауски Н. ВНР	20
12. Масс-спектрометрическое исследование термоионизации некоторых элементов с высоким потенциалом ионизации на поверхности фосфатных стеклообразных слоев. Амов Б., НРБ	20
13. Масс-спектрометрическое определение примеси натрия в свинце. Утеев М.Л., СССР	21

Рукопись поступила в издательский отдел
30 сентября 1965 г.

	Стр.
14. Масс-анализатор с тройной фокусировкой. Дымович В.И., Дыбов П.Т., СССР	22
15. Магнитные призмы с пространственной фокусировкой заряженных частиц на угле отклонения $\pi/20$ радиан Федосеев Е.П., Малов А.Ф., СССР	23
16. Поиски аномального водорода Кунавадзе Г.И., Мемелова Л.Я., Суворов Л.Я., СССР.....	24
17. Измерение малых количеств He-3 и He-4 в твердом теле при помощи магнитного динамического масс-спектрометра с высокой разрешающей способностью. Алимова И.А., Болтенков Б.С., Гартман В.Н., Мамырин Б.А., Шустров Б.Н., СССР	25
18. Массы изотопов и энергии связи ядер в области от цезия до европия. Демирханов Р.А., Дорохов В.В., Дзюка М.И., СССР.....	27
19. Масс-спектрометрическое исследование радиационного захвата нейтронов изотопами урана и плутония в реакторе БР-5. Иванов В.И., Масленников Б.К., СССР	29

РАЗДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ РЕДКИХ ЗЕМЕЛЬ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СЕПАРАТОРА ИЗОТОПОВ

В.Жук, Д.Мончка, П.Поморски

Разделение изотопов проведено с помощью электромагнитного сепаратора с 90° магнитной линзой и дуговым источником ионов. Радиус траектории ионов в магнитном поле 160 см, что при дистанции источника ионов, а также коллектора от границ поля, равной радиусу кривизны, гарантировало дисперсию для ионов свинца 8 м и разрешающую способность около 1000. Ионы сепарированного элемента создавались в источнике с дуговым разрядом с накаливаемым катодом и магнитным полем, параллельным направлению разряда. Элементы или трудно-испаряющие их соединения могли быть введены в источник с помощью шлюза без нарушения вакуума в аппаратуре. Разделенные изотопы собирались на тонких алюминиевых фольгах, помещенных в положение коллектора, перед флуоресцирующим экраном, который давал возможность наблюдать массовые спектры. Детальное описание аппаратуры можно найти в предварительном сообщении о конструкции сепаратора (1), а также в статье, где детально описана постройка сепаратора (2).

После запуска сепаратора получено разделение изотопов газовых элементов, в особенности инертных газов. Получены хорошие результаты также при разделении изотопов свинца и таллия из хлоридов этих элементов. Из этих соединений мы получали ионные токи от нескольких десятков до 100 мка. Чтобы получить оптимальные условия работы источника ионов надо было поддерживать печь источника при сравнительно невысокой температуре (для $PbCl_2$ около $750^\circ C$, а для $TlCl$ еще ниже, приблизительно $500^\circ C$).

Чтобы получить ионные токи элементов редких земель, надо было повысить температуру испаряющей печи и ионного источника до $900^\circ C$. С этой целью был построен новый источник меньшего объема и с увеличенной мощностью печи. Камера разряда состоит из кварцевого цилиндра с расположенным внутри молибденовым анодом. Объем разряда ограничен электродом, изготовленным из нержавеющей стали, с отверстием $\phi = 2,5$ мм для диффузии положительных ионов в направлении ускоряющих электродов.

Попытки получения ионов из окисей редких земель не дали положительных результатов из-за низкого давления их паров. Анализ физических свойств соединений редких земель (3,4) а также опыты других авторов (5-8) указывают на то, что наиболее пригодными в целях сепарации могут быть безводные хлористые соединения этих элементов (см. таблицу 1).

Таблица I

Температура кипения при атмосферном давлении и температура, при которой давление насыщенных паров 2 мм Hg для хлористых соединений некоторых элементов редких земель.

Химическое соединение	ErCl_3	EuCl_2	EuCl_3	GdCl_3	HoCl_3	LuCl_3
Температура кипения при атмосферном давлении ($^{\circ}\text{C}$)	1500	распадается	распадается	1580	1510	1480
Температура, при которой давление насыщенных паров 2 мм Hg ($^{\circ}\text{C}$)	950	1310	940	980	950	950

Безводные хлористые соединения: хлористый эрбий, хлористый самарий, хлористый гольмий, хлористый тулий, хлористый лютеций изготавливаются из оксидов упомянутых химических элементов путем растворения их в соляной кислоте и последующего упаривания в атмосфере хлористого водорода и аммиака, возникающих при разложении хлористого аммония (9,10). Аппаратура, примененная для этой цели, была очень проста и состояла из пробырки, наполненной хлористым аммонием, соединенной с цилиндрическим контейнером, содержащим фарфоровый тигель с хлорируемым веществом.

Было проведено электромагнитное разделение стабильных изотопов эрбия и получена высокая разрешающая способность при ионных токах порядка мка. Были получены также те же токи для гольмия и тулия при температуре источника около 900°C . Эти токи были однако в несколько десятков раз слабее токов, полученных для A^2 и Pb .

Таблица II

Ионные токи, полученные для некоторых элементов

Химическое соединение	Сепарированный элемент	Температура пещки ($^{\circ}\text{C}$)	Ионный ток для всех изотопов мка
-	A^2	-	150
PbCl_2	Pb	700	60
ErCl_3	Er	900	2
HoCl_3	Ho	900	2
LuCl_3	Lu	900	0,2
		900	2

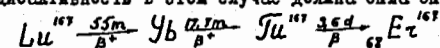
Танталовая мишень, облученная протонами с энергией 660 Мэв, обрабатывалась химически и на хроматографической колонке выделялась фракция лютеция. Затем фракция подвергалась химической обработке, вследствие чего получился безводный хлористый лютеций, и после этого — электромагнитной сепарации. Получены для отдельных масс активности даны в приложенной ниже таблице.

Таблица III

Относительная активность, полученная при разделении фракции лютеция

Массовое число	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176
Активность	малая	малая	малая	20	8	100	15	20	10	5	малая

Так как от облучения до момента электромагнитной сепарации прошло около 20 дней, то короткоживущие изотопы распались и поэтому отсутствуют радиоактивные изотопы Lu с массовым числом 165, 166 и 176. Для массового числа 167 можно было бы наблюдать активность только в том случае, если бы химическая обработка была бы проведена очень скоро после облучения. Радиоактивность в этом случае должна была бы происходить от тулия 167.



Радиоактивность для массы 168 нельзя наблюдать, поскольку изотоп Lu^{168} переходит с периодом полураспада 2,15 часа в стабильный Yb^{168} .

Л и т е р а т у р а

1. W. Zuk, D. Macza, J. Pomorski, *Folia Societatis Lublinensis*, 2, 105 (1962).
2. W. Zuk, D. Macza, J. Pomorski, *Electromagnetic Isotope Separator of the Experimental Physics Department Maria Curie-Skłodowska University, Lublin* — (в печати).
3. A. Goldsmith, T. E. Waterman, H. J. Mischorn, *Handbook of Thermophysical Properties of Solid Materials*, The Macmillan Company, New York, 1961.
4. F. N. Spedding, A. M. Daane, *The Rare Earths*, John Wiley and Sons, New York 1961.
5. K. O. Nielsen, *Nuclear Instruments and Methods* 1, 289, (1957).
6. M. L. Smit, *Electromagnetically Enriched Isotopes and Mass Spectrometry*, Butterworths Scientific Publications, London, 1956.
7. J. Koch, R. H. V. M. Dawton, M. L. Smith, W. Walther, *Electromagnetic Isotope Separators and Applications of Electromagnetically Enriched Isotopes*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1958.

8. Труды второй Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1958. Т. Получение и применение изотопов, Москва, 1959.

9. B. S. Jensen, Nuclear Instruments and Methods, 1, 323 (1957).

10. Сборник статей "редкоземельные элементы", Издательство Наука, Москва, 1963.

МАГНИТНЫЙ СЕПАРАТОР ИЗОТОПОВ ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РОССЕНДОРФЕ (ГДР)

А. Шмидт, И. Шенайх, Х. Нуссбаум

Магнитное поле масс-сепаратора секторного типа с углом раствора 90° создается постоянными магнитами. Средний радиус отклонения 100 см, дисперсия установки 10 мм на 1% разницы по массе.

Для настройки и испытания масс-сепаратора производилось разделение изотопов благородных газов. При этом обращалось внимание на пробойную устойчивость промежутков между ускоряющими электродами. Это особенно важно, так как для сепаратора с постоянным магнитным полем необходимо менять ускоряющее напряжение в довольно широких пределах. В связи с этим исследовалась пробойная прочность промежутков в зависимости от следующих параметров:

- 1) давление пара в ионном источнике,
- 2) давление остаточного газа в камере,
- 3) геометрия и качество обработки поверхности электродов.

Опыты показали, что структура поверхности отрицательного электрода значительно влияет на пробойную прочность. Большой поток нейтрального пара из источника и плохая геометрия линз могут являться причиной для разрушения поверхности. Однако, если поверхность отрицательного электрода защищается от загрязнения и разрушения, то пробойная прочность надежно сохраняется.

Влияние остаточного газа в камере на пробойную прочность при давлении ниже 10^{-5} мм ртутного столба, которое требуется для работы сепаратора, незначительно.

В настоящее время изготавливается дистанционное управление масс-сепаратора и производится автоматизация работы отдельных его узлов. Тем самым создаются условия для работы сепаратора вблизи ускорителя и для разделения радиоактивных веществ.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МАСС-СЕПАРАТОР ЛАБОРАТОРИИ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ОИЯИ

Н.И.Тарантин, А.В.Демьянов, А.П.Кабаченко,
О.П.Логинов.

Некоторые результаты работы с дуговым ионным источником.

Электромагнитный сепаратор ЛЯР предназначен для идентификации по массовому числу радиоактивных продуктов, образующихся в ядерных реакциях под действием тяжелых ионов. Этот сепаратор предполагается использовать непосредственно на выведенном из циклотрона пучке ускоренных ионов в варианте "on line" для быстрого анализа короткоживущих ядер.

Расчет, описание и ионно-оптические характеристики масс-сепаратора даны в работах /1,2/. Основные параметры электромагнитного сепаратора: радиус кривизны главной траектории 70 см, угол отклонения ионного пучка 90° , угол наклона выходной границы к главному лучу 45° , входная граница ортогональна к главному лучу. У входной и выходной границ магнита сепаратора с целью ограничения протяженности рассеянного поля расположены экраны. Электромагнитный сепаратор обеспечивает угловую фокусировку второго порядка в радиальной плоскости /входная и выходная границы магнитного поля круговой формы/ и линейную фокусировку первого порядка в аксиальном направлении /краевая фокусировка на выходной границе/. Дисперсия масс-сепаратора по направлению, перпендикулярному к главному лучу, составляет 11,5 мм для 1% различия по массе.

На электромагнитном сепараторе в настоящее время освещается дуговой источник типа Фримена /3/. Отрабатываются отдельные элементы конструкции ионного источника; исследуется влияние различных параметров ионного источника на величину тока и размер ионного пучка. С дуговым источником произведены пробные разделения естественных смесей изотопов криптона, ксенона, сурьмы, гадолиния. В этих опытах использовался ионный источник с целевым выходом размером $1 \times 30 \text{ мм}^2$; коллиный ток ионов на коллектор масс-сепаратора составлял 0,5-1 ма.

Распределение ионного тока на фокальную плоскость масс-сепаратора при оптимальных условиях было примерно таким же, как в случае ионов таллия для источника с поверхностной ионизацией /2/. Полуширина пика, например, для ^8Xe составляла ~ 1 мм, что соответствует разрешающей способности прибора ~ 1000 .

Коэффициент использования пробы установки $\sim 4 + 8\%$.

Л и т е р а т у р а :

1. Н.И.Тарантин, А.В.Демьянов. Препринт ОИЯИ Р-1948, 1965 г.
2. А.В.Демьянов, Н.И.Тарантин, Ю.А.Дьячихин, А.П.Кабаченко. Препринт ОИЯИ Р-1949, 1965 г.
3. J. H. Freeman, Nuclear Instruments and Methods, 22, 306, (1963).

МАСС-СЕПАРАТОР С - 2
С ПОЛЕМ τ^4 И УГЛОМ ОТКЛОНЕНИЯ 114° ДЛЯ
РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Суздаев В.А., Малов А.Ф., Золотарев В.С.

1. ОБЗОР

Большинство масс-сепараторов, предназначенных для разделения изотопов тяжелых радиоактивных элементов в лабораторных условиях, используют однородные секторные магнитные поля с прямолинейными границами. Их основным недостатком является малая дисперсия, однако благодаря использованию узких пучков, в них удается получать значительную разрешающую способность α , следовательно, и удовлетворительное качество разделения /1/. Изменением наклона границы поля достигалось некоторое увеличение дисперсии /2/. Применение магнитных экранов позволило уменьшить вредные влияния краевых полей, в особенности при наклонном прохождении границ пучком /3/.

Существенным шагом в разработке сепараторов заряженных частиц явилось использование в качестве анализаторов радиально-симметричных неоднородных магнитных полей /4/. Существующие в настоящее время масс-сепараторы этого типа разработаны с применением радиально-симметричных полей типа Бейдука-Коплинского /5/ и Зигбана - Свартхольма / $n\sqrt{2}$ / /6/.

Поиски более сильно дисперсионных систем привели к разработке теории фокусирующих свойств поля. /7/.

II. Параметры масс-сепаратора С-2

I. По ионно-оптическим параметрам требования к установке сводились к тому, чтобы плечи системы были не более 2 м при радиусе главной траектории 1 м, дисперсия не ниже 20 мм на 1% относительной разности масс, с фокальной линией, перпендикулярной к осевому лучу и ширине ионной линии не больше 4 мм. Исходя из проектируемой производительности /ток в пучке ~ 10 ма/, угол горизонтальной расходимости пучка на выходе из источника был выбран $\sim \pm 3,5^\circ$.

2. Технические характеристики установки, определенные из требуемых физических параметров, сводились к следующему. Вес магнита 15-20 т, камера из нержавеющей немагнитной стали, полированная изнутри содержит чехол также из полированной нержавеющей стали; ионный источник плазменного типа с производительностью по общему току порядка 10 ма и энергией ионов 30-50 кэв, допускающий работу, как в парах рабочего вещества, так и в режиме горения разряда на балластном веществе; приемник - под ортогональную линию фокусов для улавливания нескольких изотопов с интервалами в 1 аем при массовом числе порядка 250 аем.

III. Разработка масс-сепаратора С-2

I. Первоначальный вариант сепаратора С-2 предполагал применение поля $n\sqrt{2}$ и радиус кривизны траектории 1 м при угле отклонения $\Psi = \frac{\pi}{2}$ / 90° /. Схема этого варианта для получения пространственной фокусировки в

симметричном случае характеризуется следующими параметрами. Плечи системы - 2,27 м, угол расходимости пучка $\pm 3,5^\circ$. Такой пучок фокусируется на линии фокусов, наклоненной к оси пучка на угол, больше 45° , что заметно уменьшает реальную разрешающую способность прибора. Дисперсия в этом варианте имеет заданное значение.

Принципиальные и конструктивные недостатки этого варианта дали основание применять другой вариант ионно-оптической схемы /8/.

2. В качестве рабочего варианта проекта была избрана схема секторного поля τ^4 , $\Psi = 2$ рад = $114,6^\circ$, дающая приблизительно ортогональную линию фокусов, при радиусе 1 м и плечах длиной 2 м. Дисперсия в этом варианте также равна 20 мм на 1% относительной разности масс. Геометрия пучка в этой схеме предусматривает угол расходимости пучка на входе $\pm 3,5^\circ$, а плечо аксиальной фокусировки $\Lambda = -0,87$, при котором источник должен иметь бицилиндрическую оптику с вертикальными фокусным расстоянием 2,87 м. На биссектрисе угла отклонения пучок испытывает аксиальную перефокусировку, а на входной и выходной границах имеет высоту около 1/3 от высоты источника. "Ножицы", как мы называем относительное изменение высоты изображения в осевых пучках по сравнению с осевым, составляют около 3%. стрелка изгиба линии - 0,3 мм.

3. Конструкция установки. Магнит С - образного типа с магнитопроводом, рассчитанным на пропускание магнитного потока $\sim 94 \cdot 10^6$ макс при магнитодвижущей силе $\sim 7 \cdot 10^4$ ав, создает в межполюсном зазоре на средней траектории напряженность поля H_0 до 7 кэ, что позволяет отклонять и фокусировать пучки ионов с $M=250$ аем при энергии до 100 кэв. Полюса конические, с углом между образующей и средней плоскостью $0,07$ рад / $\sim 4^\circ$ / и краями, обеспечивающими идеальную фокусировку пучков ионов.

Камера сварная, из листовой нержавеющей стали, полированная изнутри с внутренним чехлом из тонкой нержавеющей стали рассчитана на отклонение пучка на угол 2 рад / $114,6^\circ$ /. Плечи /2м/ имеют на концах отсеки для установки источника и приемника. Камера имеет окна для присоединения двух вакуумных агрегатов, несколько смотровых окон для наблюдения пучка и несколько штуцеров для вакууметров.

Блоки электропитания установки включают: мотор-генератор и блоки стабилизации и управления питания обмоток магнита, стабилизированные блоки питания и управления ускоряющего напряжения и прочих цепей источника, блоки управления приемником; блок питания вспомогательного магнита источника.

Источники плазменные для работы в парах рабочего вещества и балластного вещества. Приемники коробочного типа для ортогональной линии фокусов.

IV. Запуск масс-сепаратора

I. Промеры магнитного поля показали хорошее совпадение кривой намагничивания с кривой, полученной на стендовых испытаниях изготовителем, хорошее согласие радиального распределения с расчетным. Промер распределения поля на входном и выходном краях показал аномальный спад, объясняющийся плохим согласованием формы сердечника катушек с формой полюсов и малой толщиной полюсов.

Появление такой аномалии предполагалось в ходе конструирования, и при этом было намечено исправление ее вариацией формы края и формы поверхности полюсов вблизи краев.

2. Произведена полуэмпирическая оценка и производится уточнение влияния краев на фокусировку по оценке интегралов поля по пути пучка. Создается математический аппарат для количественной оценки влияния краевых полей на абберации и снос пучка. Проводится экспериментальная работа по подбору формы края и полюсов для исправления аномалий.

3. Производится доводка ионно-оптической системы установки путем проверки качества фокусировки в опитном экземпляре установки.

Л и т е р а т у р а:

1. W. Walcher, Z. Phys. 108, 307, 1938. J. Koch, B. Bendt-Nielsen, Kgl. Dan. Vid. Selsk. Mat. Fys. 21, 8, 1944, R. Bernas, Ph. et Rad 14, 34, 1953; R. H. Dowton, Proc. Harwell Isotope Conf. 1956; N. I. Freeman et al., Viebock, Electromagnetic Separation of Isotopes, Vienna, 1961.

2. L. Kerwin, R. S. I. 20, 36, 1946; G. Anderson, B. Hedin, G. Rudstam, Viebock, Electromagnetic Separation of Isotopes, Vienna, 1961.

3. G. Anderson, B. Hedin, G. Rudstam, Viebock, Electromagnetic Separation of Isotopes, Vienna 1961
Афанасьев Н. Г., Изв. АН СССР 24, 1157, 1960.

4. K. Siegbahn, N. Svartholm, Ark. Mat. Fys. Ash, 33A21 1946. Арцимович Л. А. Отчет ИАН 1946.

5. J. Kistemaker, C. I. Zilverhoon, NBS Circ. 522, 179, 1953.

6. Арцимович Л. А. и др., Ат. Эн., 12, вып. 3/1957/.

7. К. Бэйнбридж, Р. Бендер и др. в книге "Бета-и гамма-спектроскопия" под редакцией К. Зигбана, Гтти Москва. 1956.

8. Малов А. Ф., Суздаев В. А. Доклад на III Международной конференции по получению и применению стабильных изотопов. Лейпциг. 1963

ИОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СХЕМА СЕПАРАТОРА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С ПОЛЕМ ζ^4 И УГЛОМ ОТКЛОНЕНИЯ Ψ РАДИАН

А. Ф. Малов, В. А. Суздаев

I. Основные свойства систем с секторным полем ζ^4 и фокусировкой краем.

1. Системы с секторным полем обладают свойством идеальной фокусировки в средней плоскости для частиц резонансной массы, если края сектора представляют собой дуги окружностей, проходящих через центр симметрии системы, соответствующий фокусу, и точку пересечения осевого луча с границей сектора /I/.

2. Если в такой системе, симметричной относительно биссектрисы угла отклонения, фокусное расстояние равно половине длины дуги средней траектории, линия фокусов оказывается ортогональной к осевому лучу системы. Если выбрать фокусное расстояние равным полной длине этой дуги, угол наклона линии фокусов будет мало отличаться от прямого, причем, тем меньше, чем больше угол отклонения. Это существенно увеличивает дисперсию, которая пропорциональна произведению фокусного расстояния /плеча системы/ на угол отклонения. В дальнейшем эти системы будут называться "квазиортогональными" или системами с квазиортогональной линией фокусов.

3. Анализ пространственной фокусировки в квазиортогональных системах выполняется на основе уравнений движения в форме Лагранжа методом шести параметрических рядов с учетом аксиального преломления по формуле Хургина /2/. При этом форма изображения источника зависит от двух факторов: разности оптического хода лучей в средней плоскости и вне её, вызывающей искривление изображения, и явления "ножниц" - различия аксиальной фокусировки в осевом и неосевых меридиональных пучках. Расчет показывает, что в рассмотренных вариантах квазиортогональных схем кривизна изображения оказывается совсем незначительной /стрелка прогиба в пределах 1мм для источника высотой порядка 100мм /, а эффект "ножниц" тоже невелик - отношение высот изображения в осевом и неосевых пучках для угла азимутальной расхожимости $\pm 0,1$ рад / $\pm 6^\circ$ / не превышает $\pm 0,25 / 25\%$.

II - вариант сепарационной системы с полем

1. Решение основного уравнения аксиальной фокусировки показывает, что существуют два варианта аксиальной фокусировки в осевом меридиональном пучке, при которых квазиортогональная система симметрична относительно биссектрисы угла отклонения. Для угла отклонения $\Psi = \Pi$ это решение дает значения плечей аксиальной фокусировки Λ , равные 0 и $-\Pi$, т.е. в первом случае пучок должен иметь аксиальную перефокусировку на входной границе поля, во втором - виртуальный фокус должен находиться на выходной границе. В обоих случаях дисперсия в 5 раз превышает дисперсию в системах с однородным полем при том же радиусе средней траектории.

2. Первый вариант, $\Lambda = 0$, характерен тем, что в нем получается прямое изображение линейного ионного источника. Замечательными свойствами этой системы является отсутствие искривления изображения и отсутствие "ножниц". Несомненным практическим достоинством системы является то, что пучок проходит зону краевых полей очень близко к средней плоскости, что уменьшает искажающее влияние их на фокусировку и позволяет надежней проанализировать его. Удобно также то, что область невозмущенного поля пучок проходит также

близко к средней плоскости, что дает некоторые выгоды при конструировании магнита и камеры для установки.

3. Второй вариант, $\Lambda = -\Pi$, характеризуется тем, что в нем образуется перевернутое изображение источника. Кривизна изображения в этом случае также отсутствует, но "ножицы" достигают величины 0,25 / 25 %. Этот вариант менее выгоден тем, что на обеих границах пучок имеет высоту, равную половине высоты источника, а, следовательно, и более сильны влияния краевого поля на него.

IV. Исследование системы

I. Система исследуется на модели полюсов в экспериментальном магните. Намечено испытание схемы пучком с целью проверки ее фокусирующих свойств в условиях реального ионного пучка с динамической компенсацией пространственного заряда и чувствительности ее к флуктуациям параметров.

Л и т е р а т у р а :

1. К.Бэйнбридж, Р.Бендер, Л.Лавателли в книге "Бета-и гамма-спектроскопия", под ред. К.Зигбава. ГИИМО, Москва, 1959г.
2. Хургин Я.Л. ЭТФ, т.9, № 7, 824, 1939.
3. Малов А.Ф., Суздаев В.А. Доклад на III Международной Конференции по получению применения стабильных изотопов. Лейпциг, 1963г.

СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

С.М. Нафтулин

В электромагнитных сепараторах при разделении некоторых изотопов или исследовании частиц требуется более высокая точность стабилизации электрического и магнитного полей, соответствующая коэффициенту стабилизации порядка $8 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot 10^{-5}$ для источников питания мощностью 2-10 квт. В работе рассматриваются высоковольтные стабилизаторы напряжения с электронными лампами, используемыми в качестве управляющих элементов, соединенных последовательно с нагрузкой. Стабилизаторы

напряжения представляют собой статическую систему автоматического регулирования компенсационного типа с обратной связью. Из эквивалентной схемы стабилизатора и уравнения электронной лампы можно вывести уравнение статических параметров систем, учитывающее влияние всех возможных возмущающих воздействий на стабильность напряжения и условия их подавления.

Статическая ошибка, вызванная возмущающими воздействиями, тем меньше, чем больше коэффициент усиления замкнутого контура регулирования. Наиболее сильно подавляются колебания входного напряжения и тока нагрузки, меньше подавляются дрейф выходного напряжения усилителя, колебания напряжения, экранного напряжения и накала лампы / в случае применения пентода в качестве управляющего элемента/. Совсем не подавляются колебания опорного напряжения и пульсации /помехи/ на входе усилителя. Естественно, что стабильность опорного напряжения должна быть лучше требуемой стабильности выходного напряжения. В качестве источников опорного напряжения используются нормальные элементы, ртутные элементы или специальные стабилизаторы напряжения с температурной компенсацией, или стабилизаторы напряжения, выходной каскад которых помещен в термостат с автоматической регулировкой температуры.

Значительно труднее устранить помехи, пульсации напряжения на входе усилителя, возникающие в цепях датчика, источника опорного напряжения и делителя напряжения. Коэффициент деления делителя напряжения K_1 значительно меньше единицы и, как видно из уравнения статических параметров, пульсации и помехи в выходном напряжении стабилизатора $\Delta U_{\text{вых}} = \Delta U_{\text{вх}} K$ могут достигнуть недопустимых значений. Поэтому принимаются специальные меры к снижению пульсаций на входе усилителя.

Уравнение статических параметров позволяет определить параметры всех элементов контура регулирования. При достаточно большой величине коэффициента усиления контура регулирования можно существенно подавить влияние возмущающих воздействий. Но безгранично повышать коэффициент усиления контура нельзя, так как существует некоторое критическое значение коэффициента усиления контура $K_{\text{кр}}$, при которой система становится неустойчивой. Применением компенсирующих цепочек можно повысить $K_{\text{кр}}$. Для этой цели исследуются динамические процессы системы регулирования. Контур регулирования разбивается на элементарные звенья, для которых определяется коэффициент передачи.

Наиболее сложным является определение коэффициента передачи для звена, где осуществлены модуляции сигнала высокой частотой и детектирование для передачи сигнала в цепь высокого напряжения через разделительную емкость. Для решения этой задачи экспериментально определяется амплитудно-фазовая частотная характеристика звена и по форме кривой определяется порядок уравнения. Составляется эквивалентная схема звена, параметры которого определяются из экспериментальных данных. Из полученного уравнения динамики системы можно определить $K_{\text{кр}}$, и если он окажется менее необходимого, определяются параметры компенсирующей цепочки, позволяющей получить $K_{\text{кр}}$ макс. В данной системе в уравнение одного из звеньев входит взаимодействие по первой производной от сигнала, поэтому в качестве компенсирующей вводится интегрирующая цепочка С. Применяя переменное сопротивление, можно просмотреть всю зону устойчивости, по краям которой система

находится в автоколебательном режиме с резкими частотами возбуждения.

Кроме устойчивости системы нас интересует также другой параметр динамики системы — время переходного процесса при искровой пробе. Работа ионного источника сопровождается пробоями, вызванными напылением вещества на электродах и состоянием вакуума. Пробой в источнике может перейти в дуговой разряд, если энергия системы способствует развитию разряда. Для ограничения этого явления последовательно с управляющей электронной лампой включается омическое балластное сопротивление, что приводит к ограничению развития разряда и превращению его в кратковременный искровой пробой с временем существования до одной или нескольких микросекунд. Сам по себе искровой пробой не может ухудшить качество разделения изотопов, но вызванный им переходный процесс системы регулирования может привести к колебаниям напряжения системы, уже существенно влияющим на качество разделения. Поэтому необходимо принять меры к уменьшению времени переходного процесса, к сокращению числа колебаний. Время регулирования зависит от быстродействия системы. Для этого необходимо расширить частотную характеристику контура регулирования, которая в основном зависит от реактивных параметров контура. В данной системе, где осуществлена передача сигнала с низкого напряжения на цепь высокого напряжения через разделительную емкость с модуляцией высокой частотой, верхний предел частотной характеристики равен 3–5 кгц. В этом случае при аperiodическом переходном процессе время регулирования составляет $(0,2 \div 0,5) \cdot 10^{-5}$ секунды.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.А. Юрвев. Электронный стабилизатор напряжения, ПТЭ, 1963, № 4.
2. И.Г. Гольдрейер, Стабилизаторы напряжения, Госэнергоиздат 1957 г.
3. В.В.Поливанов и др. Стабилизированный источник высокого напряжения на 80 кв. ПТЭ, 1959, № 5, 85.
4. А.М. Бонч-Бруевич. Применение электронных ламп в экспериментальной физике, ГИИЛ, 1956 г.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПУЧКА В МАГНИТНОМ МАСС-СЕПАРАТОРЕ

Х. Штанге, А. Шмидт, И. Шенайх

Положение пучка стабилизируется без регулирования ускоряющего напряжения. Медленные изменения положения пучка компенсируются при помощи электромагнитного поля, а быстрые изменения — при помощи электростатического поля конденсатора. Схема регулирования не чувствительна к пульсациям ускоряющего напряжения, поэтому имеется стабилизация высокого напряжения.

Два зонда дают сигнал для регулирования, усилимый логарифмическим усилителем. Звено логарифмирования построено так, что изменение тока в пределах от 10^{-8} до 10^{-5} а дает изменение сеточного напряжения от -1 в до $-0,4$ в. При этом относительное усиление остается постоянным. Усиление сигнала имеет максимальное

значение, если зонд находится в положении, где нарастание интенсивности пучка имеет максимум. Дрейф на входе примерно $3 \div 4$ мв за час. Это значит, что при одночасовой работе может возникнуть отклонение пучка на $0,1 \div 0,2$ мм. При одновременном изменении потенциалов на входе дифференциального усилителя возникает небольшой сигнал на выходе. Для исключения этого схема имеет специальное звено для компенсации.

Схема медленного регулирования состоит из дифференциального усилителя, пассивного звена для коррекции усилителя — регулятора с обратной связью, магнитного усилителя и катушки электромагнита. Статическое усиление этой схемы около 60 дБ.

Схема быстрого регулирования состоит из дифференциального усилителя, который используется и для медленной схемы, усилителя напряжения конденсатора и конденсатора отклонения. Усиление около 28 дБ.

Постоянная времени медленной схемы 330 мсек, постоянная времени быстрой схемы 7 мсек.

При очень быстрых изменениях работает быстрая схема, а при медленных отклонениях в соответствии с постоянной времени работает медленная схема регулирования.

ПРИЧИНЫ НЕСИММЕТРИЧНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИОННОГО ПУЧКА В МАСС-СЕПАРАТОРЕ

Ф. Тимпл

Имеется две основные причины несимметричного распределения ионного пучка в направлении, перпендикулярном к главному лучу:

1) Если отклоняемый магнитным полем ток нейтрализуется при столкновении с молекулой остаточного газа, то он движется далее по касательной к круговой орбите. Это обуславливает асимметрию распределения пучка со стороны больших масс.

2) Ионы, возникающие в результате обмена зарядом в промежутке между ускоряющими электродами /хроматические ионы/, не получают полную энергию. Они отклоняются магнитным полем сильнее и обуславливают асимметрию в распределении пучка со стороны легких масс. Однако, если оба эти вклада в несимметричное распределение исключить, то для некоторых элементов все еще остается асимметрия распределения со стороны легких масс. Улер /1/ исключил первый вклад, используя электростатическое отклонение перед коллектором, а Камплан и др. применяли для этих целей двухступенчатый сепаратор. Цель этого сообщения — дать физическое объяснение остаточной асимметрии.

а) Если T_{\perp} -проекция магнитного момента иона на направление его механического момента J_{\perp} , то в магнитном поле с индукцией B на этот ион действует момент сил $D = (T_{\perp} B)$, который вызывает прецессию иона-волчка с угловой скоростью $\omega_p = \frac{D}{I\theta}$, где θ — момент инерции иона. Вектор ω_p перпендикулярен $J_{\perp} D$ и, следовательно, он параллелен B , т.е. такие ионы поляризуются в магнитном поле. Нужным магнитным моментом T_{\perp} обладают парамагнитные ионы ($\mu > 1$ или $\chi > 0$).

б) При упругом соударении поляризованных ионов с молекулами остаточного газа кроме законов сохранения энергии и импульса необходимо еще учитывать и закон сохранения момента количества движения. В этом случае из статистического рассмотрения взаимодействия поляризованных ионов с молекулами остаточного газа следует, что направление полного углового момента двух частиц скоррелировано с направлением магнитного поля и ионы рассеиваются преимущественно в направлении действия силы Лоренца. Отсюда следует, что при разделении элементов, ионы которых обладают парамагнитными свойствами/например, Cu, U, Eu, Fe / возникает несимметричное распределение ионного пучка с большей интенсивностью в сторону легких масс.

в) У диамагнитных ионов $\mu = 1, \chi < 0$ /, которые образуют, например, элементы Zn, K, Ag, Cd, J в магнитном поле не происходит такой поляризации. Однако, для отдельных пар электронов возникает увеличение у одного и уменьшение у другого частоты их вращения из-за суперпозиции с частотой ларморовской прецессии. Это приводит к увеличению средней кинетической энергии вращения пары электронов, что соответствует моменту количества движения, который, однако, направлен противоположно моменту прецессии. Проявление эффекта у диамагнитных ионов значительно слабее, чем у парамагнитных, что выражается в том, что по абсолютному значению χ у диамагнитных ионов в 10-100 раз меньше, чем у парамагнитных. Отсюда следует, что упругие столкновения диамагнитных ионов с молекулами остаточного газа вряд ли приводят к заметным эффектам. Однако в этом случае в принципе должна возникать асимметрия в рассеянии, преимущественно в направлении, противоположном действию силы Лоренца. Она должна приводить к асимметрии распределения ионного пучка в сторону более тяжелых масс.

Л и т е р а т у р а :

1. J.Uhler, Ark.Fys. 24, 329, (1963).
2. J.Campian, M.Van Ments, E.Bernas, Journ. Phys. Radium, 22, 91A, (1961).

УСТРОЙСТВО ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ПУЧКА НА МАСС-СЕПАРАТОРЕ

Н.Кемниц, А.Шмидт, И. Шенайх

При разделении изотопов на магнитном масс-сепараторе необходимо контролировать разрешение прибора, положение и форму ионного пучка во время его работы для того, чтобы сразу же корректировать возникающие отклонения от заданных параметров. Контроль по ионному току на приемник ненадежен. Поэтому была разработана простая механическая система, состоящая из двух колеблющихся в горизонтальном и вертикальном направлении зондов, охватывающих плоскость размером 200x60 мм.

Каждый зонд состоит из металлического стержня, который подвешен на двух пружинах. Концы пружин прикреплены к валикам двух перестроенных моторов постоянного тока. Якорь одного из моторов совершает колебательные движения с амплитудой в 30° и приводит зонд в движение. Это движение передается на якорь второго мотора и вызывает электрический сигнал. Этот сигнал подается через усилитель на первый мотор. Возбуждение резонансной частоты зонда (примерно 15 гц) обеспечивается регулировкой усиления и фазы.

Устройство работает уже год. На осциллографе хорошо наблюдается положение и форма пучка. Зонды работают очень надежно и облегчают работу особенно при настройке сепаратора.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ИОННЫХ ПУЧКОВ ИЗ ПЛАЗМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Райко В.И.

Отсутствие единой общепринятой характеристики ионных источников, в которых эмиттером ионов является плазма газового разряда, затрудняет сравнивать их ионно-оптические системы и предсказывать поведение в различных условиях.

В работе в качестве основной характеристики плазменных источников рассматривается зависимость расходимости ионного пучка в плоскости траекторий от параметра подобия I . Изучалось влияние геометрии и формы ионнооптической системы источников, используемых при разделении стабильных изотопов в ИАЗ, на расходимость пучка и плотность извлекаемого ионного тока. Получено, что минимальная расходимость пучка наиболее сильно зависит от величины ускоряющего промежутка и соотношения потенциалов на ускоряющем и фокусирующем электродах. Влияние формы электродов найдено менее критичным. Измерена расходимость пучка с увеличением расстояния от ионного источника вследствие декомпенсации объемного заряда.

Опираясь на изложенные представления была осуществлена модификация источника, которая позволила существенно увеличить его производительность.
Литература: I. Райко В.И., ЖТФ, 33.244, 1963 г.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ИОНОВ
В МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ ИЗОТОПОВ УРАНА.

И. Опауски

При масс-спектрометрических изотопных анализах урана или элементов более высокого порядкового номера, в основном может быть использована только термическая ионизация, если в распоряжении имеется небольшое количество вещества /значительно меньше миллиграмма/. Оптимальные условия для термической ионизации в масс-спектрометрии до сих пор еще нельзя считать вполне известными, поэтому каждый результат, полученный в этом направлении, является ценным вкладом в масс-спектрометрическую изотопную аналитику урана и трансурановых элементов.

В многочисленных научных работах упоминается, что при добавлении посторонних веществ /окислителей, восстановителей/ к анализируемому материалу образуются промежуточные или стабильные химические соединения, которые изменяют работу выхода в благоприятную сторону и в результате этого значительно возрастает выход ионов. Такое явление было замечено нами в случае прибавления капли водной графитной суспензии к нанесенному на вольфрамовую нить уранил-нитрату. Таким образом, в течение 1-2 часов был получен ионный ток $10^{-9} - 10^{-10}$ а U^{238} при общем количестве урана меньше одного миллиграмма и отношении U^{238}/N^{235} было определено с точностью 0,2 - 0,4%. Метод может применяться при изотопном анализе элементов с более высоким порядковым номером, особенно при наличии возможности замены образца без внимания ионного источника.

МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОИОНИЗАЦИИ
НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ВЫСОКИМ ПОТЕНЦИАЛОМ ИОНИЗАЦИИ
НА ПОВЕРХНОСТИ ФОСФАТНЫХ СТЕКЛОБРАЗНЫХ СЛОЕВ

Б. АМОВ

С помощью масс-спектрометра МИ-1305 исследована термоионизация свинца при испарении из слоев, содержащих в различных пропорциях окиси кремния, фосфора, алюминия и циркония, нанесенных на вольфрамовую ленту. Для этой цели путем применения сетки с задерживающим потенциалом, смонтированной в печном ионном источнике, осуществлялась раздельная регистрация положительных ионов и нейтральных атомов, выделяющихся с поверхности слоя. Таким образом исследовано влияние различных факторов и главным образом состава слоя на степень ионизации.

Установлено, что основными компонентами слоев с хорошими эмиссионными характеристиками и высокой ионизацией являются окись кремния и окись фосфора. При определенных соотношениях между ними и при температуре выше $1100^{\circ}C$ эти компоненты сплавляются и образуют стеклообразный слой на вольфрамовой ленте, с поверхности которого свинец испаряется преимущественно в виде ионов. Однако получаемый ионный ток сильно нестабилен. Прибавление в определенных количествах термически устойчивых окислов таких как окиси алюминия, циркония стабилизирует ионный ток.

Установлено, что слои с хорошими эмиссионными характеристиками получаются лишь тогда, когда на вольфрамовой ленте образуется аморфный стеклообразный слой. Это достигается путем подходящей термообработки и введения в слой достаточного количества окиси фосфора. Исследован масс-спектр продуктов термического разложения окиси фосфора. Этот масс-спектр изменяется с течением времени и с повышением температуры и сильно зависит от состава слоя. Установлена тесная связь между характером этого спектра и степенью ионизации для слоев различного состава. При испарении из исследованных слоев в высокой степени ионизируются ряд элементов с высокими потенциалами ионизации, главным образом, такие, которые имеют низкую теплоту испарения и слабосвязанные соединения с кислородом. Эти слои могут быть использованы с успехом для некоторых масс-спектрометрических исследований малых количеств отдельных элементов - радиоактивных изотопов и продуктов ядерных реакций.

МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИМЕСИ НАТРИЯ

В СВИНЦЕ

Утеев М.Л.

Возрастающая потребность ряда областей науки и техники в чистых и сверхчистых материалах нуждается в надежном анализе этих материалов как в процессе их получения, так и в процессе их использования. Существующие методы анализа либо не обладают достаточной чувствительностью, либо не являются универсальными. Масс-спектральный анализ может быть применен к подавляющему большинству элементов. Чувствительность масс-спектрометра может быть улучшена усовершенствованием источника ионов, увеличением светосилы всей ионно-оптической системы прибора, а также выбором наиболее рационального метода анализа.

В данной работе рассматривается один из возможных методов масс-спектрометрического анализа с применением принципа многократной ионизации. Конструктивной особенностью источника ионов является устройство с тремя испарителями, что дает возможность без нарушения вакуума в системе проводить при анализе. Обычно один испаритель загружается эталоном. Испаритель представляет собой вольфрамовую нить с коническими спиралями. Ионизатором является полоска из вольфрамовой фольги с щелью. Было установлено, что величина ионного тока при температуре ионизатора выше $2000^{\circ}C$ не зависит от работы выхода материала ионизатора. Эффективность ионизации натрия в нашем случае по сравнению с термоионизацией на одной ленте выше в 1000 раз. Перемещение испарителей и установка одного из них в рабочее положение осуществляется приводом, расположенным в самом источнике. Для питания электрическим током привода использовался свободный ввод стандартного

источника и корпус. Количественная оценка содержания натрия в образце проводилась путем сравнения ионных токов эталона и образца. Установлена линейная зависимость ионного тока от количества примеси. Температурный режим испарителя выбирался таким образом, чтобы в течение 5 мин. получить максимальную и неизменяющуюся интенсивность ионного тока.

Проведена проверка воспроизводимости путем последовательного анализа одного и того же образца из всех испарителей. Результаты оказались вполне удовлетворительными. Измерение ионного тока проводилось вторичным электронным умножителем. Чувствительность анализа по натрию оказалась равной $10^{-6}\%$.

МАСС-АНАЛИЗАТОР С ТРОЙНОЙ ФОКУСИРОВКОЙ

Дымович В.И., Дыбов П.Т.

Масс-спектрометрические методы исследования получили широкое распространение в различных областях науки и техники. В некоторых случаях, например, при исследовании плазмы, представляют интерес приборы, позволяющие производить анализ массового состава пучков ионов, имеющих большой энергетический разброс. В этом случае целесообразно использовать анализаторы с фокусировкой по направлению и энергии. В докладе приводятся данные расчета и экспериментальное исследование масс-анализатора с тройной фокусировкой/фокусировка по двум направлениям и энергии/. Масс-анализатор состоит из однородного магнитного поля (угол раствора 90°), совмещенного с квазиоднородным электрическим полем. Электрическое поле образуется электростатической фокусирующей системой /ЭФС/ /1/. Проведен расчет сферической аберрации второго порядка. Приводится методика настройки масс-анализатора и его ионно-оптические характеристики. В масс-анализаторе с радиусом центральной траектории $r_0 = 24$ см получено разрешение 400-650. Показано, что прибор позволяет работать с ионными пучками, имеющими разброс по энергиям до $\pm 25\%$.

/1/ "Расчет и некоторые ионно-оптические характеристики электростатической фокусирующей системы" В.И.Дымович, А.А.Сисоев. Сб. "Физическая электроника", выпуск 2. Атомиздат 1965.

МАГНИТНЫЕ ПРИЗМЫ С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФОКУСИРОВКОЙ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ НА УГЛЕ ОТКЛОНЕНИЯ $n\sqrt{10}$ РАДИАН

Федосеев Е.П., Малов А.Ф.

В современных ядерно-физических исследованиях часто возникает потребность выделения малораспространенных изотопов с высокой кратностью обогащения и минимальными потерями при разделении. Для этих целей А.Ф.Маловым /1/ в 1956 г. была предложена идея создания магнитного спектрометра, осуществляющего пространственную фокусировку заряженных частиц на угле отклонения $\psi = n\sqrt{10}$ радиан.

Выгода приборов данного типа заключается в сравнительно большой дисперсии, которая выражается формулой $\Delta x = r_0 \left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 \frac{dm}{m}$. При начальном радиусе $r_0 = 40$ см дисперсия Δx равна 40 мм на 1% относительной разности масс. Также существенным преимуществом данной системы является отсутствие плечей фокусировки, что делает прибор достаточно компактным.

Недостатком системы является сравнительно небольшой угол наклона линии фокусов к осевому лучу /порядка 30° /, что снижает реальную разрешающую силу прибора и ограничивает применение пучков с большими углами расходимости /не более $\pm 1^\circ - 2^\circ$./.

Известные неудобства создает и то обстоятельство, что источник и приемник должны находиться в межполюсном пространстве. Попытки оттянуть пучок за пределы полюсов оказались безуспешными, так как расчеты показали, что при этом будет происходить дефокусировка пучка.

В ИАЭ по расчетам А.Ф.Малова был создан бета-спектрометр с полем $n\sqrt{10}$, который успешно действует /2/. В этом приборе используется внешняя и внутренняя части пучка, что вызывается необходимостью расположить приемник и источник в теневой зоне, защищенной от заряженных частиц.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Баранов С.А., Малов А.Ф., Полевой Р.М., Щепкин Г.Я.,
Авторское свидетельство № 167649 по заявке № 872385, с приоритетом от 25 декабря 1963 года.
2. Баранов С.А., Полевой Р.М., Волчков В.А., Алиев И.Г., Беленький С.М.
Магнитный бета-спектрометр с пространственной фокусировкой пучка электронов на угол $n\sqrt{10}$.
Программа XV ежегодного совещания по ядерной спектроскопии. Издательство "Наука". 1965.

Кукавадзе Г.М., Мемелова Л.Я., Суворов Л.Я.

1. Известные в настоящее время закономерности, относящиеся к элементарным частицам, не запрещают существования аномальных стабильных частиц /как заряженных, так и нейтральных, а также античастиц/ с массой большей массы протона. Оценка возможной концентрации таких частиц в земной атмосфере дает величину, не больше 10^{-10} , если под концентрацией понимать отношение числа аномальных частиц к полному числу частиц в данной пробе.

2. Стабильные "дикие" частицы, заряженные положительно, должны образовывать, захватывая электрон, тяжелый "дикий" водород, который после окисления будет участвовать в круговороте воды и во всех химических реакциях наряду с обычным водородом в качестве его изотопа.

В процессе обогащения водорода дейтерием /напр., при производстве тяжелой воды/ должно иметь место попутное обогащение образца аномальными тяжелыми изотопами тем больше, чем больше их масса.

3. В силу сказанного, несмотря на низкую ожидаемую величину примеси "диких" частиц в атмосферном воздухе, не лишена смысла специальная попытка масс-спектрометрического исследования образцов тяжелой воды с целью обнаружения аномального водорода /тем более, что чувствительность современных масс-спектрометрических методов достаточно высока/.

4. Масс-спектрометр МИ 1311-04 был подвергнут дополнительному испытанию для уточнения его характеристик.

Разрешающая способность этого масс-спектрометра с газовым источником на уровне 5% интенсивности линии масс-спектра была получена равной "500" при вакууме в ионном источнике - $2,10^{-7}$ мм рт. ст. и при фоновом токе $\sim 2,10^{-18}$ А. Если принять, что превышение ионного тока над фоном /двумя/ в три раза является линией масс-спектра и сравнить такой пик ($\sim 6,10^{-18}$ А) с максимально возможным большим пиком ($\sim 3,10^{-11}$ А), то для отношения пиков получится значение - $2,10^{-7}$ ($\sim 2,10^{-5}\%$), что является оценкой чувствительности данного масс-спектрометра. Прибор позволяет обнаружить примерно 1 аномальную частицу на $5,10^6$ обычных частиц при условии, что ее масса отличается от масс известных частиц более чем на $\pm 0,003$ массовой единицы.

5. Содержание водяных паров в атмосферном воздухе на уровне моря достигает 4-х объемных процентов. Концентрация аномальных частиц в пробе воды из сконденсировавшегося пара должна быть, примерно, в 20-25 раз больше, чем в пробе воздуха. При этом возможность заметить "дикие" изотопы водорода увеличивается до величины: $1:10^8$. В случае, когда масса искомого аномальных частиц /и образуемых ими атомов/ больше массы атомов дейтерия, процесс концентрирования дейтерия должен привести к увеличению содержания "дикого" водорода не менее чем в $6,6 \cdot 10^3$ раз ($C/Co = 6,6 \cdot 10^3$ при $C = 99,82\%$ и $Co = 0,015\%$). Это должно повысить возможность обнаружения аномальных частиц в пересчете на атмосферный воздух до величины $1:6,6 \cdot 10^{11}$.

6. В интервале масс от I до I2-ти "дикого" водорода в атмосферном воздухе, водороде воды и дейтерия 97 и 99,82-процентной тяжелой воды обнаружено не было. В результате масс-спектрометрического исследования на установке МИ-1311 04 с чувствительностью $2,10^{-5}\%$ и разрешающей способностью "500" на уровне 5% высоты пика установлено:

а/ в случае, если масса "дикого водорода" занимает промежуточное значение между массой обычного водорода и дейтерия, то максимальная концентрация таких частиц в воздухе данными измерениями оценивается в пределах $1,10^{-8} \div 1,5,10^{-12}$.

б/ в случае, если масса "дикого водорода" больше массы дейтерия, то концентрация таких частиц в земной атмосфере может быть менее чем - $1,5,10^{-12}$;

в/ для аномальных изотопов водорода с массой, существенно превосходящей массу дейтерия, граница их концентрации в атмосфере, которая могла бы быть замечена, значительно снижается по сравнению с величиной $1,5 \cdot 10^{-12}$, поскольку эффективность процессов изотопного обогащения тяжелой воды определяется эффективностью процессов изотопного обогащения тяжелой воды. Следует иметь в виду, что для величины разности масс, разделяемых изотопов. Следует иметь в виду, что для возможности оценки границ концентрации таких аномальных частиц необходимо переработать значительно большие количества исходной воды.

7. Поиск аномальных частиц был бы существенно облегчен, если бы был указан наиболее вероятный интервал масс, где можно ожидать обнаружения "диких" изотопов. Это позволило бы для улучшения приведенных данных использовать масс-спектрометрическую накопительную методику при измерениях. Не лишено смысла также вновь просмотреть масс-спектрограммы, полученные ранее при анализе проб высококонцентрированной воды с целью обнаружения пиков /линий/, которые не были в свое время идентифицированы с определенными массами.

ИЗМЕРЕНИЕ МАЛЫХ КОЛИЧЕСТВ He-3 и He-4 В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ ПРИ ПОМОЩИ МАГНИТНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРА С ВЫСОКОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ

Алимова И.А., Болтенков Б.С., Гартманов В.Н., Мамырич Б.А., Шустров В.Н.

1. Атомы He³ и He⁴ могут оказаться включенными в кристаллическую решетку твердого тела в результате ряда процессов, происходящих в природе и в ходе физических экспериментов. Примерами таких процессов являются:

1. Облучение в космосе, вызывающее соответствующие ядерные реакции в веществе твердого тела.

2. Непосредственное внедрение в кристаллическую решетку образца космических частиц в виде ядер He³ и He⁴. /1/.

3. Ядерные реакции при искусственном облучении образцов в ускорителях заряженных частиц и в ядерных реакторах.

4. Ядерные реакции, идущие под влиянием излучения от радиоактивных руд в естественных условиях.

5. Распад естественно-радиоактивных атомов, входящих в вещество образца. /2/.

Анализ содержания He^3 и He^4 в образцах при этом дает возможность судить об интенсивности и длительности соответствующих процессов. Возможность количественного анализа очень малых проб гелия в образцах / 10^{10} атомов и менее/ позволяет изучать процессы длившиеся относительно малое время или производить анализ при очень малом количестве образца.

II. Методика анализа включает в себя выделение гелия путем плавления образца в вакуумной печи, поглощение химически активных газов геттерами и масс-спектрометрический анализ очищенного гелия.

Установка для выделения гелия представляет собой цельнометаллическую вакуумную систему, выполненную из нержавеющей стали с металлическими уплотнениями и кранами. Образцы весом до 60 г. плавилась в корундизовом тигле, нагреваемом молибденовой печью сопротивления до 1600° . Мелкие образцы /в доли грамма/ полностью испарялись. Перед плавлением образцов вся система газовой выделении тщательно обезгаживалась путем прогрева и высоковакуумной откачки.

Количественный анализ выделенного $He-3$ и $He-4$ производился при помощи специально разработанного для этой задачи динамического магнитного масс-спектрометра с питанием модулятора чисто синусоидальным напряжением. Для увеличения коэффициента использования ионов, созданных в ионизационной камере источника, в этом масс-спектрометре применен источник с улучшенными ионно-оптическими свойствами и метод компенсации разброса энергии ионов, которые они получают в модуляторе. Кинематика движения ионов в разработанном масс-спектрометре /исключая компенсационный режим/ подобна /3/. Компенсационный метод описан в /4,5/. Особенности используемой системы являются:

1. Высокая разрешающая способность масс-спектрометра, достаточная для разделения фоновых дублетных линий. При измерении He^3 необходимо отделять линию HD, имеющую то же массовое число; при измерении He^4 необходимо отделять дублетную линию C_{12}^{+++} . На уровне 50% высоты пика разрешающая способность достигала $7 \cdot 10^3$.

2. Хорошая форма линии в масс-спектрометре, дававшая возможность полностью разрешать дублет He^3 -HD даже в случае, когда линия HD была интенсивнее линии He^3 в 10^4 раз.

3. Высокая чувствительность, позволявшая записывать пики He^3 при парциальном давлении его в источнике порядка 10^{-7} тора, что соответствует выделению из образца пробы He^3 порядка 10^7 атомов.

4. Возможность длительного измерения пробы без откачки, что позволяло сохранять на время измерения парциальное давление измеряемого газа практически неизменным.

5. Возможность осуществления количественной градуировки при помощи чистых изотопов гелия-3 и гелия-4 вплоть до проб в 10^6 атомов.

III. Результаты измерений.

1. Контрольные опыты с соблюдением всей процедуры газовой выделении при отсутствии образца показали, что в ампуле не обнаруживается He^3 с точностью до 10^7 атомов и He^4 с точностью до 10^{10} атомов.

2. Контрольные опыты показали, что при всей процедуре газовой выделении и измерения нет потерь гелия /вплоть до проб $6 \cdot 10^7$ атомов/.

3. Измерение изотопного отношения гелия в пробе воздуха дало примерно табличное значение.

4. Достигнутая чувствительность позволила произвести измерение количеств He^3 и He^4 и их отношения в нескольких железных и каменных метеоритах весом в 10-50 мг. Результаты измерений удовлетворительно совпадают с измерениями, сделанными в лаборатории проф. Герлинга Э.К. /6/ при значительно большем весе образцов этих же метеоритов. Измерение образца весом 0,35 мг дало совпадающие результаты с измерениями того же образца при больших навесках. Чувствительность методики позволяет уменьшить навески для ряда метеоритов до сотых долей миллиграмма. Мы предполагаем, что достигнутые результаты могут быть улучшены и при более тщательном выполнении установки, чувствительность по He^3 может быть доведена до проб $6 \cdot 10^6$ атомов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. S.A.Schaeffer, J.Zahringer, Rev.Let., 3,10, 389, 1962.
2. Старик И.Е. Ядерная геохронология. А.Н. СССР. Москва 1961.
3. Мамурин Б.А., Французов А.А., ПТЭ № 3, II4, 1964.
4. Шустров Б.Н., ЖТФ 30, № 7, 860, 1960.
5. Мамурин Б.А., Шустров Б.Н. ПТЭ № 5, 135, 1962.
6. Герлинг Э.К., Левский Л.К., Метеоритика. А.Н. СССР, вып 16, 24, 1958.

МАССЫ ИЗОТОПОВ И ЭНЕРГИИ СВЯЗИ ЯДЕР В ОБЛАСТИ ОТ ЦЕЗИЯ ДО ЕВРОПИЯ

Р.А.Демирханов, В.В.Дорохов, М.И.Дзюка.

Для измерения масс стабильных изотопов в области от цезия до европия использовался масспектрограф с двойной фокусировкой. Средняя разрешающая способность прибора равнялась $60000 \sim 80000$. Измерения масс производились с помощью дублетов, образованных ионами органических соединений и измеряемыми изотопами. Масса каждого изотопа вычислялась из нескольких независимых дублетов с использованием различных органических соединений.

Контроль качества полученных данных производился составлением замкнутых циклов с "нулевой погрешностью" и измерением "изотопных" дублетов, т.е. дублетов, образованных двумя соседними изотопами данного элемента, а в ряде случаев и различных элементов, с разницей в массах примерно на одну или две единицы массы.

Использование нескольких дублетов при измерении массы неизвестного изотопа позволяло контролировать "внутреннюю" согласованность результатов. Окончательные значения масс изотопов вычислялись с учетом "веса" измерения.

Вычисление дисперсии прибора во всех случаях производилось с помощью фрагментов органических соединений с разницей на одну массу водорода. Это обеспечивало относительную точность определения дисперсии во всем измеренном диапазоне масс $\sim 10^{-5}$.

Средняя относительная точность, полученная в работе с учетом "внутренней" согласованности результатов $\Delta M / M = (2 \div 5) \cdot 10^{-7}$, что соответствует $20 \div 60$ кв. В таблице I приведены значения измеренных масс.

Т а б л и ц а I *

№ №	Элемент	A	Значение массы	№ №	Элемент	A	Значение массы	
1.	⁵⁵ Cs	133	132,905410	16.		142,	141,907772 ± 15	
2.		130	129,906470	17.		143	142,909815 ± 15	
3.		132	131,905120	18.		144	143,910090 ± 15	
4.	⁵⁶ Ba	134	133,904520	19.	⁶⁰ Nd	145	144,912662 ± 15	
5.		135	134,905330	20.		146	145,913173 ± 15	
6.		136	135,904570	21.		148	147,917043 ± 15	
7.		137	136,905590	22.		150	149,920910 ± 35	
8.		138	137,905260	23.		144	143,911980 ± 60	
9.		138	137,907202 ± 20	24.		147	146,914880 ± 30	
10.	⁵⁷ La	139	138,906500 ± 20	25.		148	147,914920 ± 40	
11.		136	135,907090 ± 20	26.		⁶² Sm	149	148,917200 ± 20
12.	⁵⁸ Ce	138	137,906010 ± 20	27.			150	149,917320 ± 60
13.		140	139,905540 ± 30	28.		152	151,919850 ± 30	
14.	⁵⁹ Pr	142	141,909150 ± 25	29.		154	153,922450 ± 20	
15.		141	140,907610 ± 20	30.		⁶³ Cu	151	150,919830 ± 20
				31.			153	152,921360 ± 50.

*) Погрешности в значениях масс относятся к последним значащим цифрам.

***) Значения масс изотопов цезия и бария являются предварительными.

Применяя измеренные в настоящей работе массы изотопов в качестве опорных, мы вычислили около 70 масс и энергий связи радиоактивных изотопов. Все эти данные были использованы для подсчета энергии связи на нуклон (E/A), энергии связи последних нейтрона и протона (V_n и V_p), энергии связи двух последних нейтронов и протонов (V_{2n} и V_{2p}) и парной энергии нейтронов (P_n) и протонов (P_p), исследовано поведение энергетических параметров у изобарных ядер.

Анализ изменения энергетических параметров ядер указывает на аномальное поведение энергии связи при переходе от сферических ядер к деформированным (N = 88 ÷ 92).

Показано, что аномалия в поведении значений V_{2n} наблюдается как у четно-четных, так и у четно-нечетных ядер. Определены величины скачка (0,3 ± 0,6 Мэв) и примерные границы действия этого эффекта. Эти выводы находятся в соответствии со спектроскопическими данными по измерениям энергий первых ротационных состояний в исследуемой области масс.

МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО ЗАХВАТА НЕЙТРОНОВ ИЗОТОПАМИ УРАНА И ПЛУТОНИЯ В РЕАКТОРЕ БР-5

Ильнов В.И., Масменников Б.И.

Сечение радиационного захвата σ_{γ} и его отношение к сечению деления $\sigma_{\gamma} / \sigma_f$ важно знать при расчетах и конструировании ядерных реакторов.

В настоящей работе приведены результаты измерений доли радиационных захватов $\sigma_{\gamma} \Phi$ (где Φ - интегральный поток нейтронов) изотопами урана (U^{235} , U^{238} , U^{233}) и плутония (Pu^{239} , Pu^{240} , Pu^{241}) в зависимости от положения образцов по высоте реактора БР-5. Описание реактора и постановка эксперимента даны в работах /1,2/. $\sigma_{\gamma} \Phi$ определялись из изменения изотопного состава при облучении.

Изотопный анализ облученных образцов проводился на масс-спектрометре МИ-1306. Для анализа брались навески урана и плутония $\sim 10^{-6} \div 10^{-7}$ г.

Результаты измерений в виде распределений $\sigma_{\gamma} \Phi$ по высоте реактора приведены в таблицах I и 2. Для расстояний от центра реактора $r < 15$ см образцы облучались в активной зоне реактора, а для $r > 15$ см - в никелевом отражателе, где основной вклад в радиационный захват вносили резонансные нейтроны.

Т а б л и ц а I

Для изотопов у р а н а

№ образца	Расстояние от центра (см)	$\sigma_{\gamma} \Phi$ (%)		Расстояние от центра /см/	$\sigma_{\gamma} \Phi$ (%)		Расстояние от центра /см/	$\sigma_{\gamma} \Phi$ (%)
		U^{235}	U^{238}		U^{233}	U^{233}		
1.	4,7	0,328 ± 0,004	0 + 0,6	4,7	0,186 ± 0,007	4,7	0,180 ± 0,008	
2.	5,9	0,314 ± 0,004	0 + 0,6	-	-	5,3	0,164 ± 0,005	
3.	8,8	0,299 ± 0,004	0,1 ± 0,1	-	-	-	-	
4.	12,5	0,302 ± 0,004	0,1 ± 0,1	11,5	0,129 ± 0,010	-	-	
5.	16,2	0,381 ± 0,006	0,8 ± 0,2	-	-	-	-	
6.	20,0	0,456 ± 0,005	1,5 ± 0,6	-	-	-	-	
7.	24,0	0,484 ± 0,004	1,8 ± 0,6	23,0	0,235 ± 0,013	-	-	

№ образца	Расстояние от центра /см/	$\delta\Phi$ (%)		Расстояние от центра в /см/	$\delta\Phi$ (%)	
		U^{235}	U^{234}		U^{233}	U^{238}
8.	28,0	0,437 ± 0,009	1,8 ± 0,6	-	-	-
9.	31,9	0,402 ± 0,007	-	-	-	-
10.	35,9	0,349 ± 0,006	1,2 ± 0,6	34,9	0,177 ± 0,008	-
11.	39,8	0,296 ± 0,005	-	-	-	-
12.	43,7	0,260 ± 0,004	0,6 ± 0,5	-	-	-
13.	47,7	0,204 ± 0,006	-	-	-	-
14.	51,6	0,167 ± 0,007	0,4 ^{+0,5} _{-0,4}	50,6	0,102 ± 0,007	-

1. Определено из измерения отношения $\frac{U^{234}}{U^{235}}$
2. $\rho_{Pu^{238}}$ измерялся по λ - активности, U^{238} - методом изотопного разбавления.

Таблица 2
для изотопов плутония

№ образца	Расстояние от центра в /см/	$\delta\Phi$ (%)		Расстояние от центра /см/	$\delta\Phi$ (%)
		$\rho_{Pu^{240}}$	$\rho_{Pu^{241}}$		
1.	4,7	0,262 ± 0,012	0,63 ± 0,32	4,7	0,232 ± 0,005
2.	6,5	0,283 ± 0,011	0,76 ± 0,36	6,2	0,222 ± 0,012
3.	9,7	0,296 ± 0,012	0,68 ± 0,30	-	-
4.	13,5	0,502 ± 0,013	1,11 ± 0,44	12,9	0,255 ± 0,005
5.	17,2	1,31 ± 0,02	1,16 ± 0,21	16,7	0,390 ± 0,011
6.	21,0	2,68 ± 0,08	2,16 ± 0,51	-	-
7.	25,0	2,79 ± 0,10	1,97 ± 0,38	24,4	0,589 ± 0,016
8.	29,0	2,66 ± 0,09	1,62 ± 0,53	-	-
9.	32,9	2,94 ± 0,11	1,27 ± 0,61	-	-
10.	36,9	2,35 ± 0,07	0,91 ± 0,30	-	-
11.	40,8	2,67 ± 0,50	-	-	-
12.	44,7	2,36 ± 0,10	-	-	-
13.	48,7	2,05 ± 0,07	-	-	-
14.	52,6	2,15 ± 0,06	-	-	-

Из сравнения цепочек радиационного захвата от U^{233} и Pu^{232} было получено $\delta\Phi = (1,9 \cdot 10^{-2})\%$ для $\rho_{Pu^{233}}$ ($\tau = 20,0$ см).

Для центральных образцов, где значение потока было известно ($\Phi = 1,14 \cdot 10^{22}$ н/см²) можно определить абсолютные значения сечений. Из отношений $\delta\Phi$ в никелевом отражателе оценивались резонансные интегралы. Полученные результаты даны в таблице 3.

Таблица 3

Ядро	Сечения $\delta\gamma$ для центральных образцов /барны/	Резонансные интегралы /барны/ "
$\rho_{Pu^{233}}$	-	1200
U^{233}	-	144 ± 20
U^{234}	0,163 ± 0,011	900 ± 160
U^{235}	0,09 ± 0,09	-
U^{238}	0,288 ± 0,019	-
U^{239}	0,158 ± 0,012	-
$\rho_{Pu^{240}}$	0,204 ± 0,013	317 ± 40
$\rho_{Pu^{241}}$	0,235 ± 0,015	3300
$\rho_{Pu^{244}}$	0,55 ± 0,25	1000

1. Нормировано на 271 ± 25 бары для U^{235}
2. Эти значения отличаются от опубликованных данных. Расхождение, видимо, обусловлено влиянием резонансных уровней при $E_0 = 0,233$ и $E_0 = 1,023$ Расчетные значения $\delta\gamma$ для центральных образцов даны в работе /3/, а резонансные интегралы - в /4,5/.
Сравнения результатов данной работы с недавно опубликованной работой /6/, (где измерялись $\delta\gamma$ для U^{233} , U^{235} , U^{238} , $\rho_{Pu^{233}}$ при облучении реактора EBR-I Mark III) показывает, что отношение сечений $\delta\gamma$ в активной зоне были близкими, а $\lambda = \frac{\delta\gamma}{\Phi}$ в BR-5 значительно выше, чем в EBR-I Mark III. Это обусловлено различием в спектрах нейтронов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. А.И.Лейпунский и др. "Атомная энергия" II,498,1961 г.
2. В.И. Иванов и др. "Атомная энергия" 16,497,1964 г.
3. А.И. Лейпунский и др. Доклад № 368 на 3-ей Женевской конференции, 1964 г.
4. E.K. Hyde, J. Reikman, G.T. Seaborg, The nuclear properties of Heavy Elements, V, II, New Jersey 1964.
5. В.И. Гордеев и др. "Ядерно-физические константы". Атомиздат, 1963 г.