

8/11-71

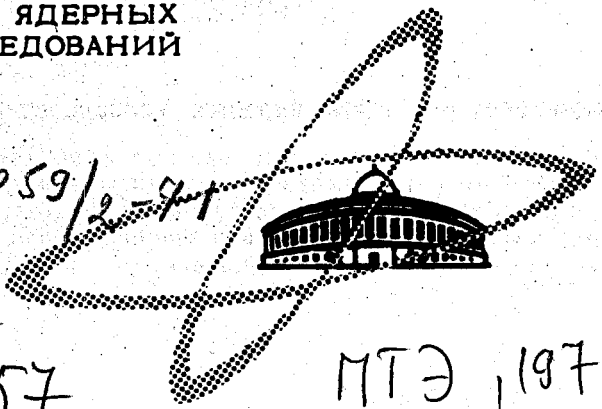
A-941

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

P13-5757

1859/2-71



5757

МТЭ, 1972 и 1, с 45-77

В.П. Афанасьев, И.И. Громова,
Д. Монча , В.И. Райко

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ
КОРОТКОЖИВУЩИХ ИЗОТОПОВ
РАДОНА, КСЕНОНА , КРИПТОНА
ДЛЯ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

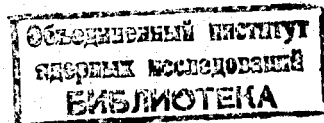
1971

P13-5757

В.П. Афанасьев, И.И. Громова,
Д. Мончка *, В.И. Райко

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ
КОРОТКОЖИВУЩИХ ИЗОТОПОВ
РАДОНА, КСЕНОНА, КРИПТОНА
ДЛЯ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Направлено в ПТЭ



* Университет им. Марии Склодовской-Кюри, Люблин.

В в е д е н и е

За последние годы спектрометрические исследования ядер переместились в область короткоживущих изотопов ^{/1/}. Это привело к созданию установок, позволяющих регистрировать спектры излучения при распаде радиоактивных ядер сразу же после их образования. Существенным элементом таких установок является электромагнитный сепаратор. Применение сепаратора значительно упрощает идентификацию полученных результатов и ускоряет процесс измерений. Поскольку сепараторы в таких установках непосредственно связаны с ускорителями заряженных частиц, они дают возможность исследовать изотопы с временем жизни несколько секунд ^{/2-5/}.

Электромагнитный сепаратор, на котором производилась настоящая работа, не связан непосредственно с синхроциклотроном, но находится вблизи от него, что позволяет разделять на нем изотопы с периодом полураспада несколько минут.

Целью настоящей работы было получение радиоактивных источников радона, ксенона и криптона. В связи с тем, что при разделении на масс-сепараторе ускоренные ионы газов могут быть вбиты в любую подложку коллектора и сохраняться в ней достаточно длительное время ^{/6/}, удалось получить радиоактивные источники инертных газов, которые были использованы для изучения альфа- и бета-распада радона и бета-

распада ксенона и криптона. Большое внимание было уделено сокращению времени всех этапов разделения. Разработанная методика позволила эффективно разделить изотопы газов и получить, в частности, радиоактивные источники ^{208}Rn с $T_{1/2} = 6$ мин и ^{207}Rn с $T_{1/2} = 11$ мин.

2. Основные параметры установки

Разделение изотопов радона, ксенона и криптона производилось с помощью электромагнитного сепаратора ДЯП ОИЯИ. Основные параметры сепаратора приведены в таблице 1, а детальное описание дано в работе ^{/7/}.

Таблица 1

Радиус средней траектории пучка	700 мм
Угол отклонения	90°
Угол входа ионного пучка в магнитный анализатор	0°
Угол выхода ионного пучка из магнитного анализатора	45°
Дисперсия при $\frac{\Delta M}{M} = \frac{1}{100}$	11,6 мм
Ускоряющее напряжение	50 кВ
Стабилизация ускоряющего напряжения	$1 \cdot 10^{-4}$
Стабилизация тока магнита	$3 \cdot 10^{-4}$

В настоящее время изменения коснулись только ионного источника, разрядная камера которого заменена новой с несколько меньшим объемом и продольным катодом ^{/8/}.

3. Определение оптимальных условий работы масс-сепаратора для разделения изотопов газов

С целью создания оптимальных условий были произведены исследования режимов работы ионного источника и параметров ионно-оптической системы. В качестве рабочего вещества был использован стабильный ксенон. Подобие свойств инертных газов позволяло надеяться, что оптимальные условия разделения ксенона будут оптимальными и для радона.

На рис. 1 представлена основная характеристика работы масс-сепаратора - зависимость разрешающей способности RP и эффективности разделения η от силы ионного тока I^+ , извлекаемого из ионного источника. Изменение I^+ производилось путем выбора параметров ионного источника таких, как накал катода, анодное напряжение и величина магнитного поля. Расход газа и параметры ионно-оптической системы при этом не изменялись, за исключением потенциала промежуточного электрода. Этот потенциал подбирался каждый раз так, чтобы получить наилучшее разрешение.

Из рисунка 1 следует, что наиболее выгодные условия для разделения - это область второго максимума на кривой RP , так как здесь более высокая эффективность. Наличие максимумов на кривой $RP(I^+)$ связано с немоной зависимостью горизонтальной угловой расходимости ионного пучка от величины тока в нем. Подробно этот вопрос изучался в работах /9-12/. В данном случае расходимость ионного пучка в горизонтальной плоскости для оптимальных условий на коллекторе при расстоянии между щелью ионного источника и промежуточным электродом $d = 43$ мм оказалась равной 3° .

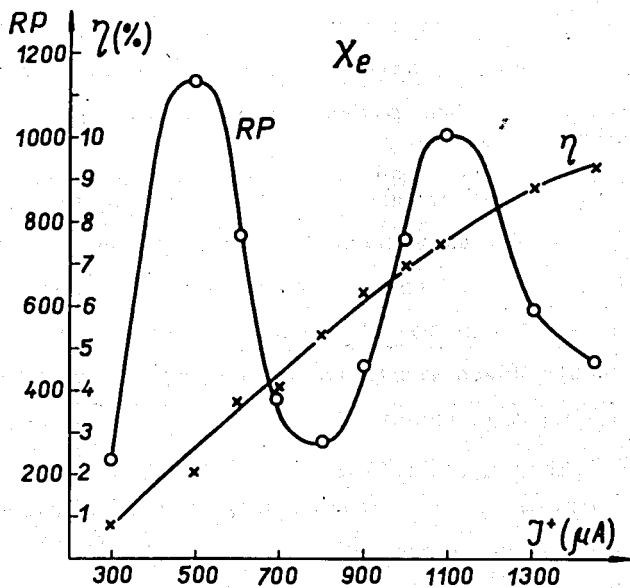
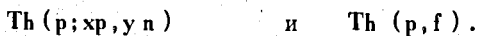


Рис. 1. Зависимости разрешающей способности RP и эффективности разделения η от силы ионного тока I^+ , извлекаемого из ионного источника, при расстоянии между щелью ионного источника и промежуточным электродом $d = 43$ мм и ускоряющем потенциале $U = 25$ кв и $U = -1,5$ кв.

4. Электромагнитное разделение короткоживущих изотопов радона, ксенона, криптона

Основной задачей при разработке методики было получение источников короткоживущих изотопов ^{206}Rn с $T_{1/2} = 6$ мин и ^{207}Rn с $T_{1/2} = 11$ мин для изучения альфа- и бета-распада. В связи с этим наибольшее внимание было уделено сокращению времени от конца облучения на синхроциклотроне до начала экспозиции на альфа-спектрографе.

Радиоактивные изотопы радона, ксенона и криптона образуются в реакциях деления и глубокого расщепления при облучении атомов тория протонами с энергией 680 Мэв на синхроциклотроне ЛЯП ОИЯИ.



Из облученной мишени тория по определенной химической методике выделялись газы радона, ксенона, криптона и др. и сорбировались на активированном угле. Специальная пробирка с этим углем, охлажденная до температуры жидкого азота, в сосуде Дьюара поступала к масс-сепаратору. Далее пробирка (9) помещалась в печь (4) и присоединялась к трубке (6), ведущей в разрядную камеру (7) ионного источника, как показано на рисунке 2. По этой же трубке в ионный источник поступал стабильный ксенон, на котором предварительно устанавливался режим работы, соответствующий области второго максимума на кривой RP (рис. 1). Экстракция радиоактивных газов с угля происходила в результате нагрева пробирки в печи. Диффундирующие из пробирки газы увлекались потоком стабильного ксенона в разрядную камеру. При разделении изотопов радона стабильный ксенон служил рабочим газом, поддерживающим разряд в ионном источнике. В качестве маркера использовались ртуть, таллий и свинец, дозированные так, чтобы отвечающий им ионный ток на коллекторе составлял не больше 10% тока ста-

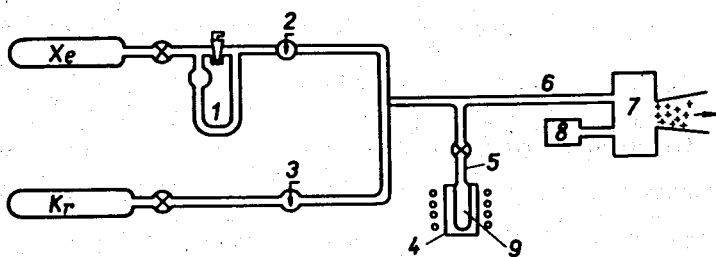


Рис. 2. Схема ввода в разрядную камеру стабильных и радиоактивных газов. 1 - масляный расходомер, 2 - 3 - игольчатый вентиль, 4 - печь, 5 - специальная пробирка, 6 - трубка, 7 - разрядная камера, 8 - печь внутри ионного источника для маркера.

бильного ксенона. В случае разделения изотопов радиоактивного ксенона и криптона стабильные криптон и ксенон были одновременно и маркером и газом, поддерживающим разряд.

Полученная на коллекторе радиоактивность может быть определена следующим соотношением:

$$N = N_0 \eta e^{-\lambda t} \quad (1)$$

где N - число ядер данного изотопа на коллекторе после разделения, N_0 - число ядер данного изотопа до разделения, η - эффективность разделения изотопов, λ - постоянная распада, t - время разделения изотопов. Время разделения изотопов в этой формуле есть сумма времен: t_1 - экстракции газа с активированного угля, t_2 - транспортировки до разрядной камеры, t_3 - пребывания в разрядной камере и прохождения ионов через сепаратор. Временем прохождения ионов через сепаратор можно пренебречь, так как оно очень мало и составляет 10^{-5} сек. Время транспортировки атомов может быть вычислено по формуле (2), если принять, что течение газа в трубке молекулярное

$$t_2 = \frac{1,5l^2}{a} \sqrt{\frac{\pi m}{8kT}} \quad (2)$$

где l - длина трубки, a - диаметр трубки, m - масса молекулы, T - температура газа. Это время в данном случае составляет 3 сек. Время пребывания атомов в ионном источнике можно вычислить в первом приближении по формуле (3)

$$t_3 = 2 \cdot 10^{-4} \frac{v}{s} \sqrt{\frac{M}{T}} \quad (3)$$

здесь t_3 - время в секундах, за которое половина ионов покинет разрядную камеру, v - объем разрядной камеры, s - площадь входного отверстия, M - массовое число, T - температура разрядной камеры. Это время равно 7 мсек. Из проделанных вычислений можно видеть, что временем транспортировки и временем пребывания в ионном источнике тоже можно пренебречь при разделении изотопов с временем жизни несколько минут. Существенным, таким образом, является лишь время экстракции газов с угля. В разработанной методике время экстракции можно изменять, регулируя температуру печи, в которой находится пробирка с адсорбированными газами. Определялось это время по окончанию роста активности на коллекторе. Увеличение активности на коллекторе, измеренное при помощи счётчика Гейгера, установленного внутри приемной камеры вблизи коллектора, приведено на рисунке 3. Как следует из рисунка, время разделения изотопов радона и ксенона 6 минут. Операции, связанные с извлечением коллектора из приемной камеры масс-сепаратора, занимают время порядка двух минут. Приблизительно такое же время расходуется на присоединение пробирки и нагрев печи до начала выхода радона с угля. Таким образом, время, затрачиваемое на разделение изотопов радона, не превышало 10 минут.

Эффективность η разделения изотопов радиоактивных газов определялась как отношение интенсивности гамма-линии разделенного изотопа к интенсивности такой же гамма-линии в смеси изотопов до разделения. Измерение гамма-спектров производилось на $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторе. Усредненные значения эффективности приведены в таблице 2. В этой же таблице приведены эффективности, полученные в ЦЕРНе^{13/}.

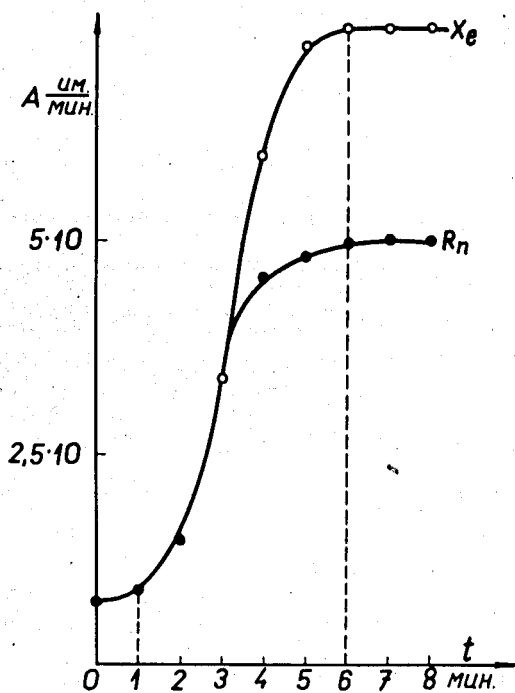


Рис. 3. Увеличение активности радона на коллекторе.

Таблица 2

газ	эффективность η %	η % /13/
радон	7,0	1,5
ксенон	6,0	5,2
криптон	3,6	2,3

Следует отметить, что указанные в таблице 2 значения эффективности при времени разделения порядка десяти минут позволили получить разделенные изотопы с временем жизни несколько минут и выше. Для изучения альфа-и бета-распада были выделены следующие изотопы радона ^{206}Rn ($T_{1/2} = 6$ мин); ^{207}Rn ($T_{1/2} = 11$ мин); ^{208}Rn ($T_{1/2} = 23$ мин); ^{209}Rn ($T_{1/2} = 30$ мин); ^{210}Rn ($T_{1/2} = 2,9$ часа); ^{211}Rn ($T_{1/2} = 16$ часов); ^{212}Rn ($T_{1/2} = 23$ мин); ^{221}Rn ($T_{1/2} = 25$ мин); ^{223}Rn ($T_{1/2} = 43$ мин); ^{222}Rn ($T_{1/2} = 3,8$ дня).

Первые результаты изучения распада разделенных изотопов радона опубликованы в работе /14/.

В заключение авторы приносят глубокую благодарность сотрудникам отдела ядерной спектроскопии и радиохимии В.Г. Чумину и М.Я. Кузнецовой за постоянный интерес к работам, проводимым на масс-сепараторе, и большую помощь, оказанную ими. Авторы благодарны также Ц. Вылову и И. Пеневу за помощь при измерении гамма-спектров.

Один из авторов (Д.М.) выражает свою благодарность профессору В. Жуку и доктору физико-математических наук К.Я. Громову за предоставление возможности провести научную работу в ОИЯИ.

Литература

1. Proceedings of the Int. Symposium on Nuclides far of the Stability Line, Lysekil, Sweden, August 21-27, 1966. Editors: W. Forsling, C.J. Heerlander, H. Ryde.
2. G. Rudstam. Electromagnetic Isotope Separators and Their Applications. Ed. J. Koch, K.O. Nielson, L. Sarholt-Kristensen. Nord-Holland Publ. Comp. 1965, p. 282.
3. R. Klapisch, R. Bernas, *ibid.*, p. 291.
4. Н.И. Тарантин, А.В. Демьянов и др. Сообщение ОИЯИ, P13-4061, 1968.
5. Proc. of the Int. Conf. on Elektromagnetic Isotope Separators and the Techniques of their Applications. Marburg, Sept. 7-10, 1970, Ed. H. Wagner, W. Walher.
6. J. Uhler. Arkiv Fysik, 1963, 24, 249.
7. В.П. Афанасьев и др. Сообщение ОИЯИ, 13-4763, 1969.
8. J.H. Freeman. Nucl.Instr. and Meth., 1963, 22, 306.
9. W.L. Rautenbach. Nucl.Instr. Meth., 1961, 12, 169.
10. I. Chavet-Choueka. Thesis, Paris, 1965.
11. V.I. Raiko, Kernenergie, 1967, 10, 85.
12. А. Пиотровски, В.И. Райко, Х. Тыррофф. Сообщение ОИЯИ, P13-5369, 1970.
13. The ISOLDE Isotope Separator on-Line Facility at CERN, CERN-Report, 1970, 70-3.
14. В.Г. Чумин, Н.А. Головков, Р.Б. Иванов и др. Сообщение ОИЯИ, P6-4972, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел

17 апреля 1971 года.