

Б-734

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



13/IV-74

P6 - 7716

966/2-74

Д.Д.Богданов, А.В.Демьянов, В.А.Карнаухов,
Л.А.Петров

НОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ ЗАПАЗДЫВАЮЩИХ ПРОТОНОВ
 ^{119}Ba , ^{121}Ba И ^{116}Cs

1974

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

P6 - 7716

Д.Д.Богданов, А.В.Демьянов, В.А.Карнаухов,
Л.А.Петров

НОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ ЗАПАЗДЫВАЮЩИХ ПРОТОНОВ
 ^{119}Ba , ^{121}Ba И ^{116}Cs

Направлено в ЯФ и в Nuclear Physics

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Богданов Д.Д., Демьянов А.В., Карнаухов В.А.,
Петров Л.А.

P6 - 7716

Новые излучатели запаздывающих протонов ^{119}Ba , ^{121}Ba и ^{116}Cs

С помощью масс-сепаратора БЭМС-2 на пучке тяжелых ионов получены излучатели запаздывающих протонов ^{119}Ba ($5,35 \pm 0,30$ сек), ^{121}Ba ($29,7 \pm 1,5$ сек) и ^{116}Cs ($3,9 \pm 0,4$ сек). Измерены протонные спектры, определена относительная вероятность протонного распада.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.
Дубна, 1974

Bogdanov D.D., Demianov A.V., Karnaukhov V.A.,
Karnaukhov V.A., Petrov L.A.

P6 - 7716

New Emitters of Delayed Protons ^{119}Ba ,
 ^{121}Ba and ^{116}Cs

New delayed proton emitters ^{116}Cs , ^{119}Ba and ^{121}Ba have been identified in the reactions $\text{Zr} + \text{S}^{32}$ and $\text{Mo}^{92} + \text{S}^{32}$ by on-line isotope-separator BEMS-2. The half-lives and the proton energy spectra were measured. For ^{116}Cs the results are $T_{1/2} = (3.9 \pm 0.4)$ sec. and proton spectrum covers the energy range from 2.0 MeV up to 6.5 MeV, for ^{119}Ba $T_{1/2} = (5.35 \pm 0.30)$ sec and $E_p = (2.0 - 6.0)$ MeV, for ^{121}Ba $T_{1/2} = (29.7 \pm 1.5)$ sec and $E_p = (2.0 - 4.0)$ MeV. The proton branching ratios for ^{116}Cs and ^{121}Ba were measured to be equal to $(3 \pm 1) \cdot 10^{-3}$ and $\approx 2.5 \cdot 10^{-4}$, respectively.

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1974

1. ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени известно около трех десятков излучателей запаздывающих протонов, от ^9C до ^{183}Hg . Исследование этого явления дает весьма интересную информацию о ядре /1,2/. Сюда относится получение данных о массах изотопов из измерения позитрон-протонных совпадений. Анализ сглаженной формы протонного спектра дает сведения о силовой функции β -распада. Исследование тонкой структуры протонного спектра позволяет определить плотность уровней ядра в функции энергии возбуждения в диапазоне от 3 до 9 МэВ.

В настоящей работе приведены экспериментальные данные о новых излучателях запаздывающих протонов ^{116}Cs , ^{119}Ba и ^{121}Ba . Изотопы получались в реакциях на тяжелых ионах и были идентифицированы с помощью БЭМС-2, масс-сепаратора на пучке. Измерены их периоды полураспада, протонные спектры, p/β^+ -вилки.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

Эксперименты проводились на выведенном пучке циклотрона У-300 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Ионами $^{32}\text{S}^{+5}$ / $E_{\text{max}} = 190$ МэВ / облучалась мишень / 2 мг/см^2 / из естественного Zr или обогащенного /90% / ^{92}Mo . Схематический вид установки показан на рис. 1. Мишень располагалась на расстоянии 15 мм от ионного источника масс-сепаратора БЭМС-2, с помощью которого осуществлялось разделение изотопов. Во внутреннюю полость источника изотопы попадают через тан-

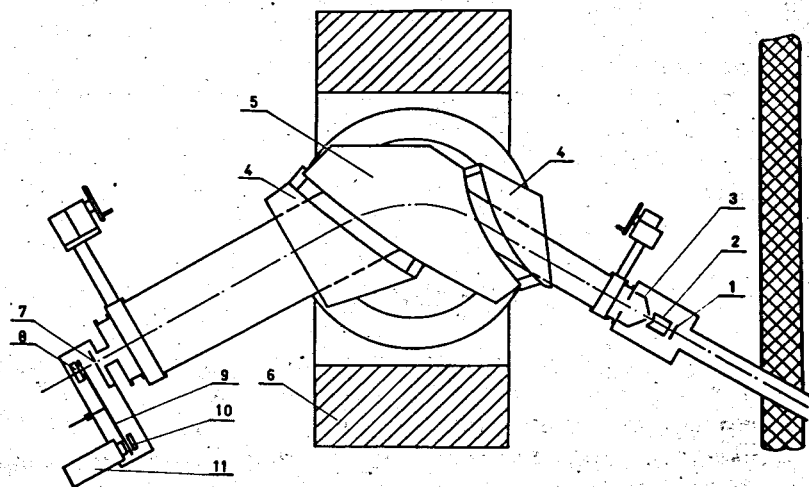


Рис. 1. Схематический вид масс-сепаратора БЭМС-2: 1 - мишень; 2 - ионный источник; 3 - вытягивающий электрод; 4 - магнитный экран; 5 - полюсный наконечник магнита; 6 - магнит; 7 - щель-коллиматор; 8, 10 - полупроводниковые детекторы; 9 - диск-сборник; 11 - сцинтилляционный бета-счетчик.

таловую фольгу толщиной 1,5 мкм за счет импульса, передаваемого бомбардирующей частицей.

Использовался высокотемпературный источник с поверхностной ионизацией, работающий в диапазоне температур от 1800° до 2500°С. Ионизатор изготовлен из вольфрама. При температуре, близкой к максимальной, эффективность всей системы такова, что 30-40% ядер отдачи Ва и Cs, вылетевших из мишени, доставляется в фокальную плоскость сепаратора. Особенности работы масс-сепаратора БЭМС-2 подробно описаны в^{/3/}.

В фокальной плоскости на центральном луче располагается коллиматор в виде щели шириной 2 мм и высотой 15 мм. При фиксированном магнитном поле через щель проходят изотопы с данной массой и попадают на сборник из алюминиевой фольги толщиной 0,8 мкм. Непосредственно за сборником размещен первый поверхностно-барьерный кремниевый детектор протонов. Диск-сборник

периодически поворачивался на угол 45°, и пятно с активностью помещалось между вторым Si(Au)-детектором протонов и β-счетчиком. Этот Si(Au)-детектор использовался для спектрометрии протонов и измерения периода полураспада протонной активности. При измерении периода полураспада, когда время экспозиции сборника много больше $T_{1/2}$, первый детектор позволяет реализовать существенно большую эффективность регистрации протонов /например, при $\Delta t = 10 T_{1/2}$ $\epsilon_1/\epsilon_2 = 6/$, однако его энергетическое разрешение ограничено величиной ≈ 40 кэВ из-за конечной толщины сборника.

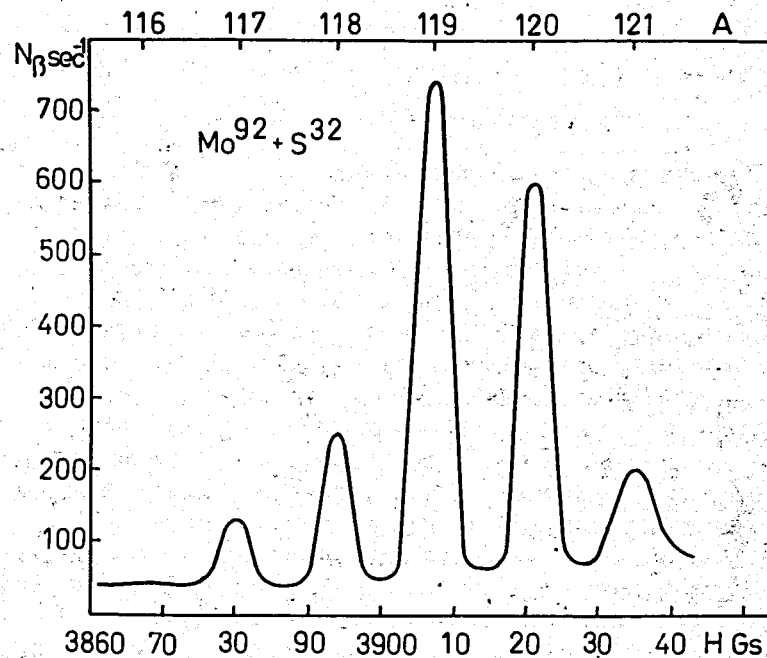


Рис. 2. Зависимость β-счета в фокальной плоскости масс-сепаратора от напряженности магнитного поля или массового числа изотопа при облучении мишени из ^{92}Mo ионами ^{32}S /190 МэВ/. Интенсивность β-счета определяется главным образом распадом изотопов цезия.

В качестве β -счетчика в этой работе использовался кристалл стильбена с фотоумножителем ФЭУ-13. Этот счетчик применялся как пороговый измеритель интенсивности β -излучения.

Для иллюстрации работы БЭМС-2 на рис. 2 приведена зависимость β -счета от напряженности магнитного поля при облучении ^{92}Mo пучком ^{32}S с энергией ≈ 190 МэВ. Температура ионизатора в этом опыте была 1800-1900°C. Время экспозиции сборника под пучком равнялось 16 сек. Бета-активность связана, главным образом, с изотопами цезия, т.к. в выбранном температурном режиме эффективность источника для более тяжелых элементов (Ba, La, Ce) подавлена ^{3/}. Для перевода рис. 2 в спектр масс необходимо ввести поправки на различие периодов полураспада для разных изотопов.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Изотоп ^{119}Ba

В первых экспериментах пучком $^{32}\text{S}^{+5}$ /158 МэВ/ облучалась мишень из естественного циркония /2 мг/см²/. При настройке сепаратора на выделение изотопа с $A = 119$ была зарегистрирована протонная активность с периодом полураспада /5,35±0,30/ сек. В ядерных реакциях, вызываемых серой в цирконии, возникают изотопы ряда элементов с $Z \leq 56$ за счет испарения протонов и нейтронов из составного ядра. Однако из рассмотрения следует исключить элементы более легкие, чем Ba и Cs, ввиду того, что коэффициенты поверхностной ионизации для них слишком малы. Изотоп ^{119}Cs известен, он имеет период полураспада /37,7 ± 1,0/ сек /4,5/, запаздывающие протоны в его схеме распада отсутствуют /5/. Таким образом, наблюдавшаяся протонная активность однозначно связывается с ^{119}Ba . При взаимодействии серы с цирконием этот изотоп образуется главным образом за счет реакции $^{90}\text{Zr}(^{32}\text{S}, 3n)$.

Распад неделящихся возбужденных составных ядер в области значительного нейтронного дефицита с большей

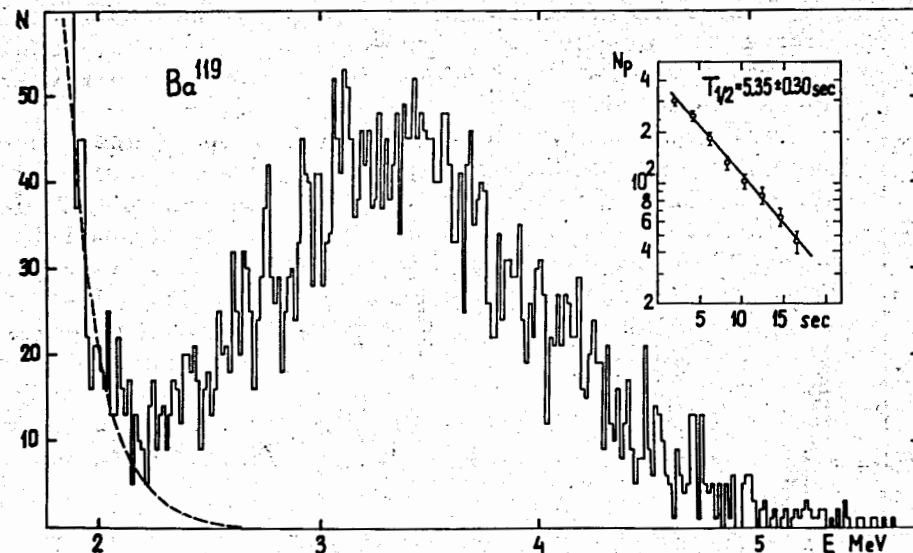


Рис. 3. Спектр запаздывающих протонов и кривая распада для ^{119}Ba . Штрихованной линией показан β -фон.

вероятностью идет с испарением не только нейтронов, но и протонов. Поэтому для получения большего выхода ^{119}Ba была использована реакция $^{92}\text{Mo}(^{32}\text{S}, 2p, 3n)$ при энергии пучка серы ≈ 190 МэВ.

На рис. 3 показан спектр запаздывающих протонов ^{119}Ba , измеренный детектором, расположенным за сборником. Там же дана кривая распада протонной активности. Спектр проявляет типичную для этой области ядергросс-структуру, определяющуюся двумя факторами: ростом относительной протонной ширины и уменьшением частичной вероятности β -распада по мере увеличения энергии возбуждения дочернего ядра.

Предварительные данные о ^{119}Ba приведены в нашей работе /6/, в которой этот изотоп регистрировался с помощью методки газовой струи. Идентификация проводилась по функциям возбуждения и не могла быть строго однозначной. Периоды полураспада, измеренные в настоящей работе и в /6/, совпадают в пределах точности.

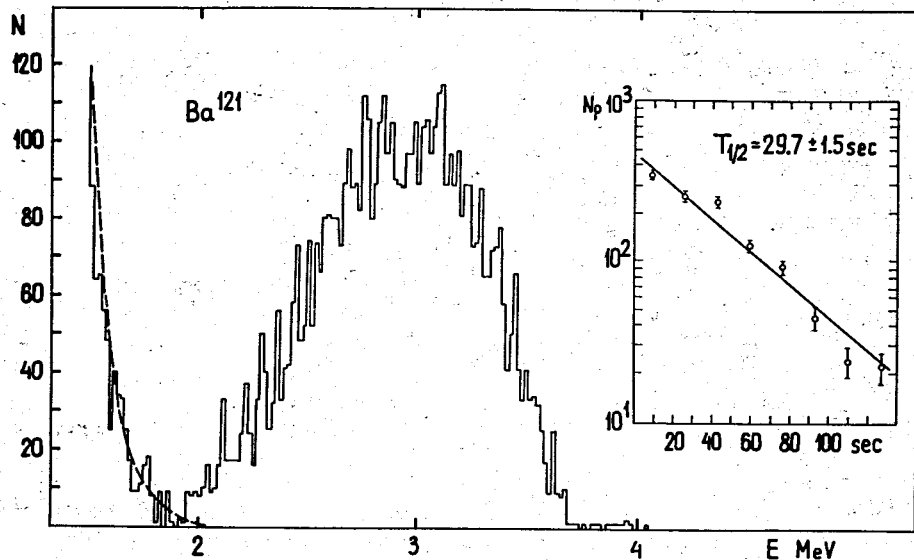


Рис. 4. Спектр запаздывающих протонов и кривая распада для ^{121}Ba .

3.2. Изотоп ^{121}Ba

Этот изотоп наблюдался при облучении ниобия ионами серы /реакция $^{93}\text{Nb} (^{32}\text{S}, p 3n) ^{121}\text{Ba}$ / и с существенно большим выходом при использовании реакции $^{92}\text{Mo} (^{32}\text{S}, 2pn)$. Период полураспада равен $29,7 \pm 1,5$ сек.

На рис. 4 дан спектр запаздывающих протонов, измеренный детектором "на пучке" масс-сепаратора. Протонный спектр ^{121}Ba имеет gross-максимум при энергии на 0,4 - 0,5 МэВ меньше, чем в случае ^{119}Ba , а максимальные энергии различаются примерно на 2 МэВ. Это различие может быть объяснено на основании статистической модели процесса испускания запаздывающих протонов^{/7/}. Максимальная энергия в протонном спектре определяется величиной $Q_0 - V_p$, где Q_0 - энергия К-захвата, а V_p - энергия связи протона в дочернем ядре. Из расчетов Гарви и др.^{/8/} следует, что $Q_0 - V_p$ для

^{119}Ba равно 6,5 МэВ, а для ^{121}Ba 4,4 МэВ. Эти значения согласуются с нашими результатами. Уменьшение $Q_0 - V_p$ на ≈ 2 МэВ для ^{121}Ba приводит и к смещению влево gross-максимума, несмотря на то, что энергия связи протона в ^{121}Cs больше, чем в ^{119}Cs /на $\approx 0,7$ МэВ по расчетам^{/8/} /.

Для ^{121}Ba была оценена p/β^+ вилка, которая равна $\approx 2,5 \cdot 10^{-4}$. Эта величина была определена из анализа кривой распада β -активности в положении $A = 121$, в результате которого удалось выделить компоненту, связанную с ^{121}Ba , на фоне ^{121}Cs .

3.3. Изотоп ^{116}Cs

В первых экспериментах это ядро получалось в реакции $^{90}\text{Zr} (^{32}\text{S}, p 5n)$ при облучении мишени из естественного циркония ионами серы с энергией 190 МэВ. Был получен период полураспада $\approx 3,4$ сек^{/9/}. Наблюдая протонную активность в положении $A = 116$, мы должны из каких-то дополнительных соображений установить Z изотопа. В принципе не исключено образование протонного излучателя ^{116}Ba за счет реакции $^{90}\text{Zr} (^{32}\text{S}, 6n)$. Для доказательства того, что наблюдавшаяся активность связана с ^{116}Cs , мы воспользовались сильным различием в зависимости от температуры для выхода цезия и бария из ионного источника. Соответствующие кривые были измерены по β -счету ^{122}Cs и протонному счету ^{121}Ba ^{/3/}. Полученные зависимости имеют четко выраженный порог, равный $\approx 1500^\circ\text{C}$ для цезия и 1800°C для бария. Плато для цезия достигается при $T \approx 2000^\circ\text{C}$, а для бария при $T = 2300-2400^\circ\text{C}$. Было показано, что зависимость выхода протонной активности с $A = 116$ от температуры источника соответствует ожидаемой для цезия.

На рис. 5 приведен спектр запаздывающих протонов ^{116}Cs и кривая распада, из которой следует $T_{1/2} = 3,9 \pm 0,4$ сек. Эти данные получены при облучении мишени из разделенного изотопа ^{92}Mo пучком серы с энергией 190 МэВ /реакция $^{92}\text{Mo} (^{32}\text{S}, 3p 5n) ^{116}\text{Cs}$ /. Выход ^{116}Cs при этом в 8 раз больше, чем при облучении

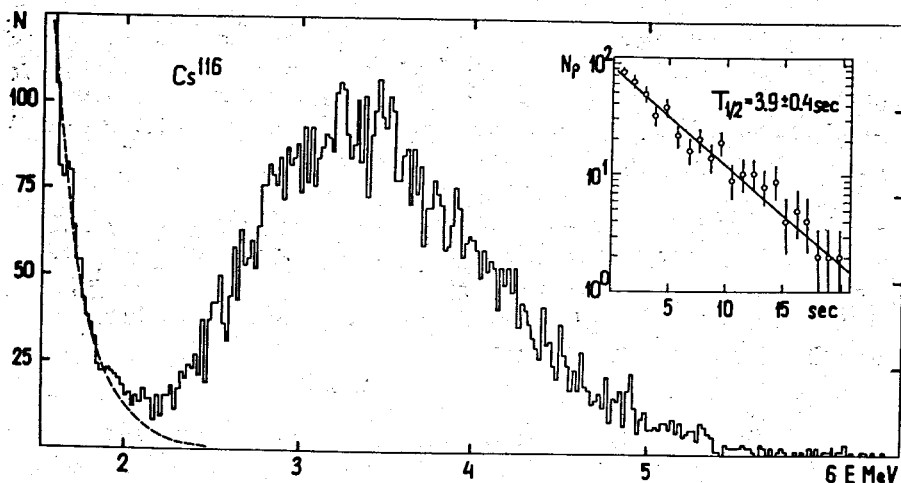


Рис. 5. Спектр запаздывающих протонов и кривая распада для ^{116}Cs .

естественного циркония. Скорость счета протонов детектором за сборником составляла 1200 1/час. Спектр протонов простирается до 6,5 МэВ. Это соответствует предсказаниям работы /8/, в которой для ^{116}Cs дается $Q_0 - V_p = 6,8$ МэВ.

Относительная вероятность эмиссии запаздывающих протонов для ^{116}Cs находилась двумя способами: сравнением интенсивностей β и протонного счета на пучке и по активности дочернего ^{116}Te . В последнем способе после измерения протонного спектра ^{116}Cs сборник извлекался из камеры сепаратора и его γ -активность исследовалась Ge(Li) -спектрометром. Была достоверно выделена линия $E_\gamma = 1293$ кэВс $T_{1/2} = 2,4$ час, принадлежащая ^{116}Te . В результате получено $p/\beta^+ = 1/3 \pm 1 \cdot 10^{-3}$.

Отметим, что первое указание на существование протонного излучателя ^{116}Cs получено в работе группы "ИЗОЛДЕ" в ЦЕРНе /10/. При изучении изотопов цезия была найдена слабая протонная активность в положении $A = 116$ с интенсивностью счета 8 час $^{-1}$. В последующей краткой публикации этой группы указывается ее период

полураспада $\approx 3,5$ сек. Для увеличения чувствительности методики использовалась фотоэмульсия для регистрации протонов. Существенное различие выходов ^{116}Cs в наших опытах и в работе /10/ связано с тем, что в реакциях с тяжелыми ионами сечения образования изотопов со значительным нейтронным дефицитом существенно больше сечений соответствующих реакций глубокого расщепления, вызываемых быстрыми протонами.

Авторы благодарны акад. Г.Н.Флерову за поддержку настоящей работы, В.П.Бочину и В.С.Романову за помощь в изготовлении мишеней.

Литература

1. J.Hardy. In "Nuclear Spectroscopy", ed. by J.Cerny, Academic Press, New York, 1973.
2. В.А.Карнаухов. ЭЧАЯ, т. 4, вып. 4, 1018 /1973/.
3. В.А.Карнаухов, А.В.Демьянов, Д.Д.Богданов, Л.А.Петров, Г.И.Коваль. Препринт ОИЯИ, Р13-7657, Дубна, 1974.
4. J.Chamont, E.Roeckl, Y.Nir-El, C.Thibault-Philippe, R.Klapisch, R.Bernas. Phys.Lett., 29B, 652 (1969).
5. H.L.Ravn, S.Sundell, L.Westgaard. Phys.Lett., 39B, 337 (1972).
6. Д.Д.Богданов, В.А.Карнаухов, Л.А.Петров. Препринт ОИЯИ, Р6-7272, Дубна, 1973.
7. В.А.Карнаухов. ЯФ, 10, 450 /1969/.
8. G.T.Garvey, W.J.Gerace, R.L.Jaffe, I.Talmi, I.Kelson. Rev.Mod.Phys., 41, No. 4, Pt. II, S1 (1969).
9. V.A.Karnaukhov. Proc. of the 6th Summer School on Nuclear Physics, Mikolaiki, Poland, 1973.
10. B.Jonson, Ph.D.Thesis. Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, 1972.
11. B.Jonson, P.G.Hansen, P.Hornshoj, O.B.Nielsen. Proc. of the Intern. Conf. on Nucl. Phys., v. I, p. 690, Munich (1973).

Рукопись поступила в издательский отдел
5 февраля 1974 года.