

С 341,2г
Д-758

11/17-69

Р6 - 4539

**Х.Дростэ, В.Нойберт, Т.Морек, С.Хойнацкий,
З.Вильгельми, К.Александр**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ
НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫХ ЯДЕР ЦЕЗИЯ**

Часть I

Новые изотопы ^{122}Cs и ^{124}Cs

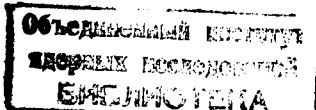
P6 - 4539

Х.Дростэ, В.Нойберт, Т.Морек, С.Хойнацкий,
З.Вильгельми, К.Александр

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ
НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫХ ЯДЕР ЦЕЗИЯ

Часть I

Новые изотопы ^{122}Cs и ^{124}Cs



В в е д е н и е

Целью работы являлось дальнейшее исследование ядер в области $50 < Z, N < 82$, где теоретически ^{/1-3/} предусматривается появление деформации. Как показали авторы ^{/3/}, в некоторых случаях в этой области можно ожидать наличия отрицательных деформаций для основных и низколежащих состояний. В ядрах ¹²⁰⁻¹²⁴Cs, согласно ^{/3/}, существование отрицательной деформации может привести к образованию изомеров. В связи с этим были исследованы нейтронодефицитные изотопы цезия ¹²⁰⁻¹²⁴Cs, у которых ожидается образование низковозбужденных изомерных уровней с большим спином.

В настоящей работе (1 часть) представлены данные о распаде до сих пор не изучавшихся изотопов ¹²⁰Cs, ¹²²Cs и ¹²⁴Cs. Во второй и третьей частях статьи будут опубликованы результаты исследований изомерного состояния ядра ¹²²Cs ($T_{1/2} = 0,35$ сек, $E_{\gamma} = 47$ кэв и 82 кэв), β^+ -распада ядра ¹²²Cs ($T_{1/2} = 3,5$ мин), а также до сих пор неизвестного изомера в ядре ¹²³Cs ($T_{1/2} = 1,6$ сек, $E_{\gamma} = 63$ и 95 кэв, соответственно).

2. Распад ¹²²Cs \rightarrow ¹²²Xe

Эксперименты по синтезу ¹²²Cs проводились на выведенном пучке тяжелых ионов циклотрона У-300.

Изотоп ^{122}Cs образуется в реакциях $^{113}\text{In} (^{12}\text{C}, 3n) ^{122}\text{Cs}$ и $^{109}\text{Ag} (^{18}\text{O}, 5n) ^{122}\text{Cs}$ при энергии бомбардирующих ионов 60 и 94 Мэв соответственно. Мишени изготовлялись из индия, обогащенного до 86% изотопом ^{113}In , и из серебра, обогащенного изотопом ^{109}Ag до 97%. Продукты реакции исследовались при помощи $\text{Ge}(\text{Li})$ - детектора, установленного в пучке тяжелых ионов /4/ циклотрона У-300.

В γ -спектрах (рис. 1), полученных при облучении мишени из ^{113}In ионами ^{12}C и мишени из ^{109}Ag ионами ^{18}O , наблюдаются быстро распадающиеся линии с энергией 330 ± 1 кэв и 355 кэв. Измеренный период полураспада линии 330 кэв составляет 23 ± 6 сек (рис. 2). Переход с энергией 331 кэв наблюдался в работе /5/, в которой были исследованы мгновенные γ -спектры ядерных реакций, приводящих к возбужденным уровням ядра ^{122}Xe . Этот переход соответствует γ -распаду уровня 2^+ на основное состояние ядра ^{122}Xe . Таким образом, наблюдаемая нами линия показывает, что мы действительно имеем дело с распадом ^{122}Cs .

Следующим указанием на образование ^{122}Cs является кривая возбуждения (рис. 3), измеренная по линии 330 кэв в реакции $^{109}\text{Ag} + ^{18}\text{O}$. Функция возбуждения имеет максимум при энергии бомбардирующих ионов $E_{\text{LAB}} = 94$ Мэв, что соответствует энергии возбуждения составного ядра $E_{\text{exo}} = 77,5$ Мэв. Для идентификации массового числа продукта реакции была рассчитана величина

$$\frac{\epsilon_x}{x} = \frac{E_{\text{exo}} - \sum_{i=1}^x B_{\text{in}}}{x},$$

где x - количество испарившихся нейтронов в реакции (HI, xn); E_{exo} - энергия возбуждения, соответствующая положению максимума сечения образования данного продукта; B_{in} - энергия связи i -го нейтрона. Для реакции $^{109}\text{Ag} (^{18}\text{O}, xn) ^{127-x}\text{Cs}$ величина ϵ_x/x принимает следующие значения:

$$\frac{\epsilon_4}{4} = (9,9 \pm 0,7) \text{ Мэв,}$$

$$\frac{\epsilon_5}{5} = (5,7 \pm 0,6) \text{ Мэв,}$$

$$\frac{\epsilon_6}{6} = (3,2 \pm 0,5) \text{ Мэв.}$$

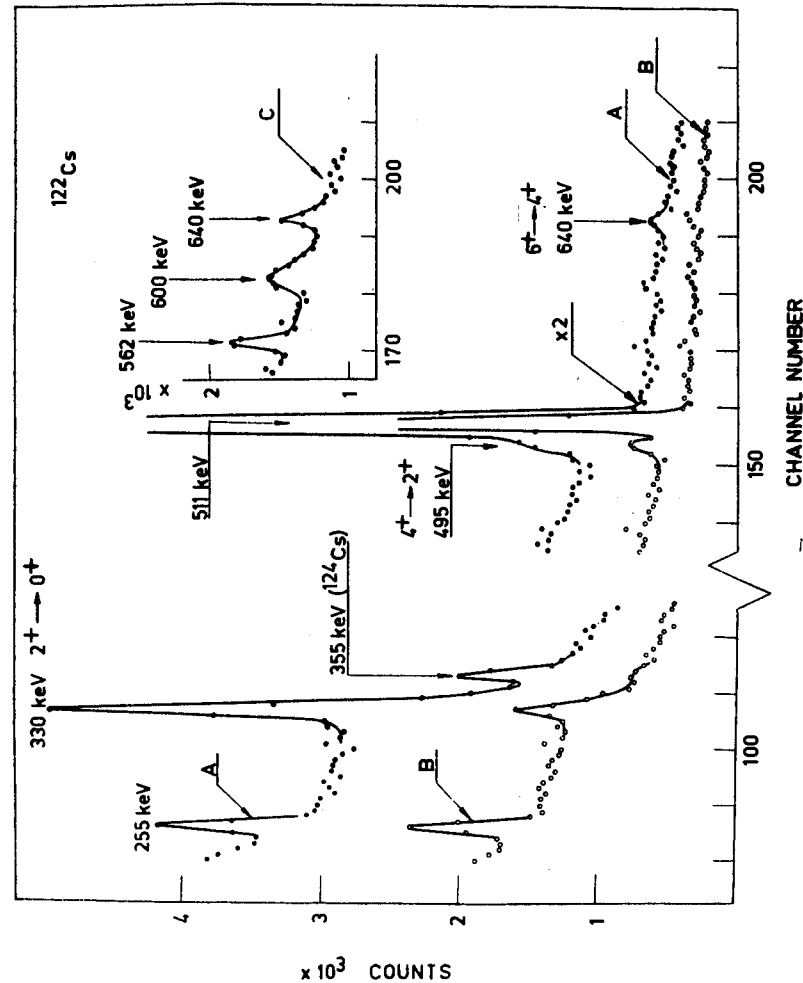


Рис. 1. Гамма-спектр распада ^{122}Cs из реакции $^{113}\text{In} (^{12}\text{C}, 3n) ^{122}\text{Cs}$. Энергия падающих ионов 70 Мэв. Толщина мишени - 9 мг см $^{-2}$, степень обогащения изотопом ^{113}In - 86%. $\text{Ge}(\text{Li})$ - детектор с объемом 4,5 см 3 . Спектр А измерен спустя 5 сек после конца облучения, спектр В - спустя 80 сек. Время измерения спектров А и В - 15 сек. В спектре С представлена сумма счетов по всем временным каналам.

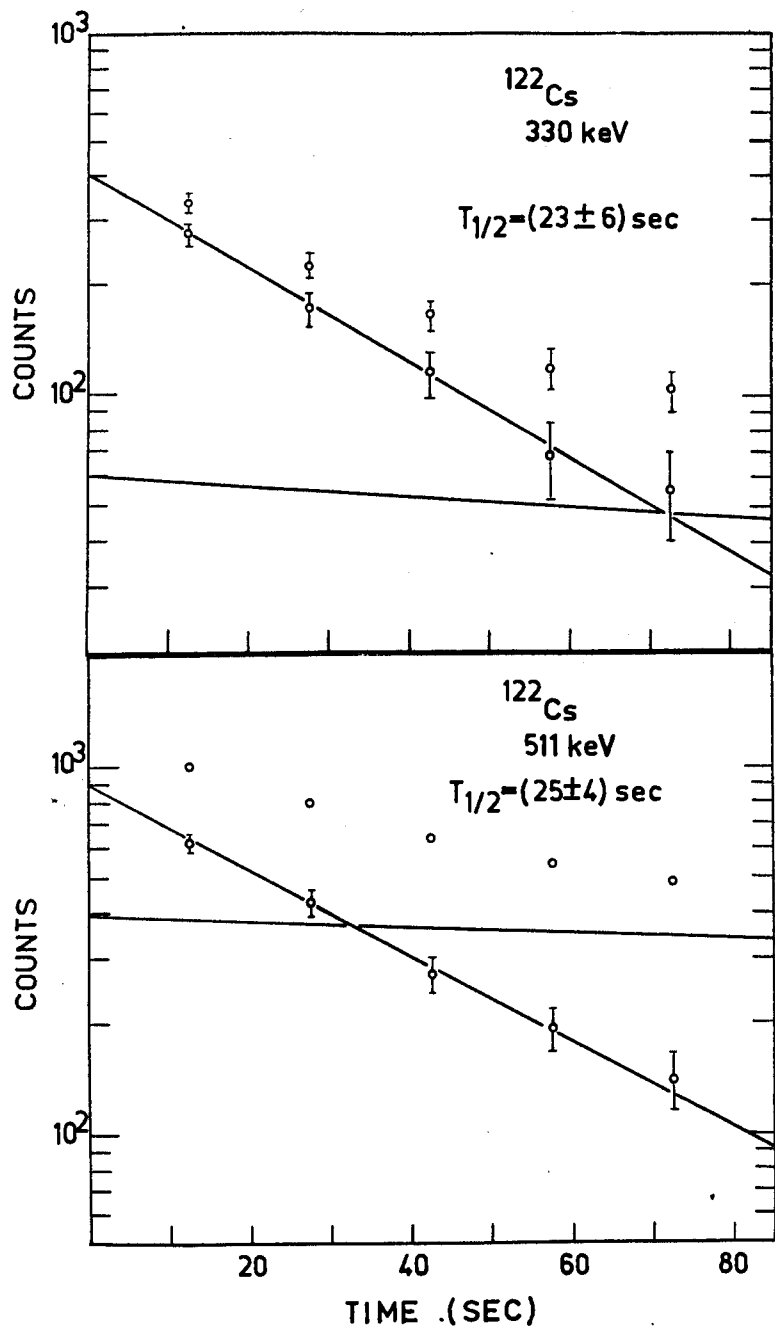


Рис. 2. Распад изотопа ^{122}Cs . Изотоп образовался в реакции $^{113}\text{In}(^{12}\text{C}, 3n)^{122}\text{Cs}$.

По систематике, приведенной в [6], в исследованной области ядер ожидается $\frac{\epsilon_x}{X} \approx 6$ Мэв. Это означает, что реакция, в которой наблюдается линия 330 кэв, действительно является реакцией $^{109}\text{Ag}(^{18}\text{O}, 5n)^{122}\text{Cs}$.

Линия 355 кэв, распад которой наблюдается в спектре (рис. 1), связана с распадом ^{124}Cs . Этот изотоп образуется в реакции $^{115}\text{In}(^{12}\text{C}, 3n)^{124}\text{Cs}$ на примесях изотопа ^{115}In (см. раздел 3).

Кроме линии 330 кэв в γ -спектре распадающегося ядра ^{122}Cs наблюдаются линии 495 и 636 кэв с периодом полураспада $(3,5 \pm 0,5)$ мин. Они тоже известны из работы [5], где определены как переходы $4^+ \rightarrow 2^+$ и $6^+ \rightarrow 4^+$ в ядре ^{122}Xe . Из этого следует, что в ядре ^{122}Cs существуют два изомера с периодом 23 сек и 3,5 мин. Их взаимное расположение пока не известно. На основании полученных нами данных изомер с периодом полураспада 23 сек распадается, главным образом, на уровень 2^+ (примесь перехода на уровень 4^+ , если вообще существует, то меньше 20% перехода на 2^+). Изомер 3,5 мин. распадается, по-видимому, на уровень 6^+ в ядре ^{122}Xe или на один из вышележащих уровней.

Дальнейшие данные о β^+ -распаде этого изомерного состояния будут опубликованы. Хотелось бы только отметить, что существование такого изомера (вероятно, с большим спином) может быть объяснено отрицательной деформацией ядра ^{122}Cs .

3. Распад $^{124}\text{Cs} \rightarrow ^{124}\text{Xe}$

Изотоп ^{124}Cs образовался в реакции $^{115}\text{In}(^{12}\text{C}, 3n)^{124}\text{Cs}$. Мишень была изготовлена из естественного индия. γ -спектр распада продуктов реакций исследовался при помощи $\text{Ge}(\text{Li})$ детектора.

Гамма-спектр измерялся в интервале энергий от 50 до 900 кэв. В этом спектре (рис. 4) наблюдается быстро распадающаяся линия с энергией 353 ± 2 кэв. Период полураспада линии равен 34 ± 6 сек (рис. 5). Переход 352 кэв был также измерен (рис. 6) при помощи β -спектрометра, установленного в пучке [7]. В этом случае использовалась реакция $^{118}\text{Sn}(^{12}\text{C}, 4n)^{124}\text{Ba}$. Продукт ее ^{124}Ba распался в ^{124}Cs и далее в ^{124}Xe . Измерено отношение $\frac{\alpha_k}{\alpha_{L+M}}$; оно равняется $5,2 \pm 0,4$.

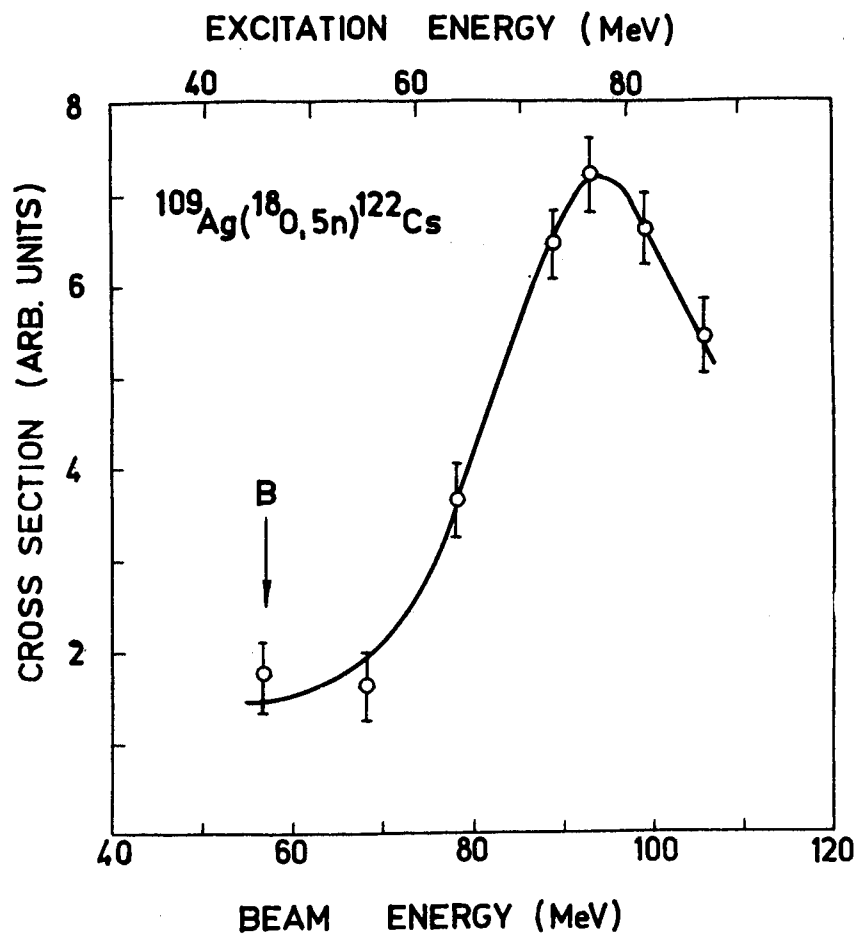


Рис. 3. Функция возбуждения реакции $^{109}\text{Ag}(^{18}\text{O},5n)^{122}\text{Cs}$. В - кулоновский барьер реакции. Толщина мишени изотопа ^{109}Ag - 4 мг см^{-2} . Функция возбуждения измерена на линии с энергией 330 кэв и периодом полураспада 20 сек.

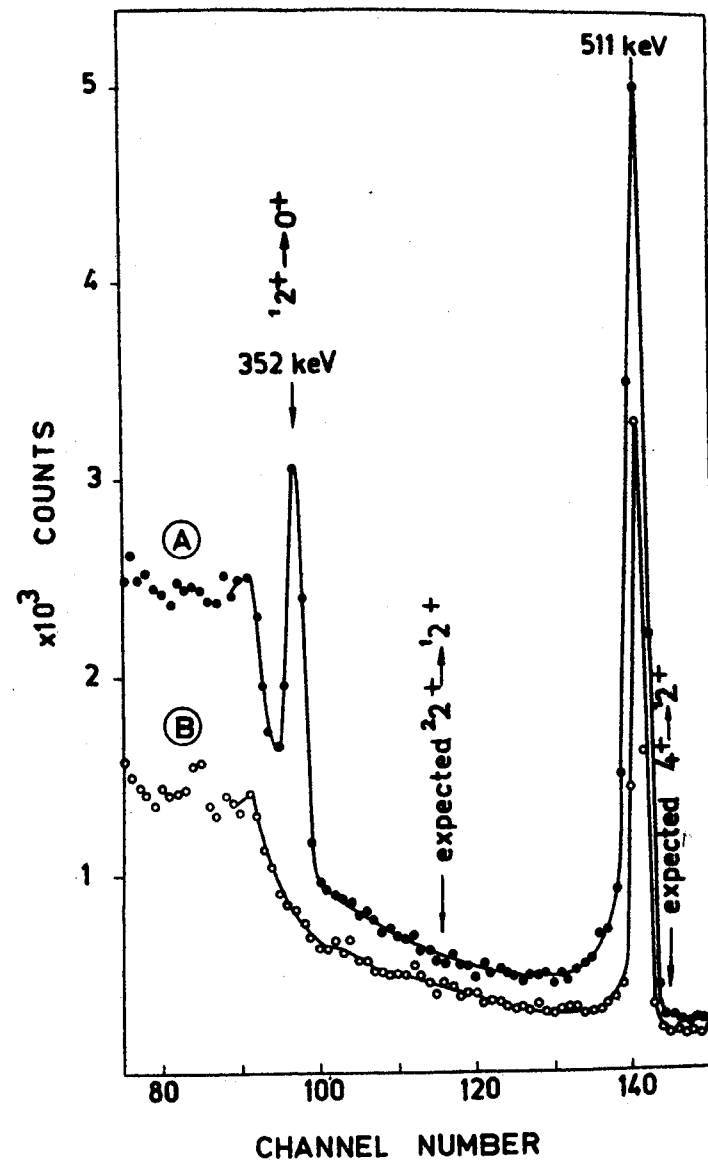


Рис. 4. Гамма-спектр распада ^{124}Cs из реакции $^{115}\text{In}(^{12}\text{C},3n)^{124}\text{Cs}$. Энергия налетающих ионов ^{12}C - 70 Мэв. Мишень: фольга металлического индия толщиной 15 мг см^{-2} . Ge(Li) - детектор с объемом $4,5\text{ см}^3$. Спектр А измерен спустя 5 сек после окончания облучения, время измерения 20 сек. Спектр В измерен спустя 6 мин. после окончания облучения, время измерения 60 сек.

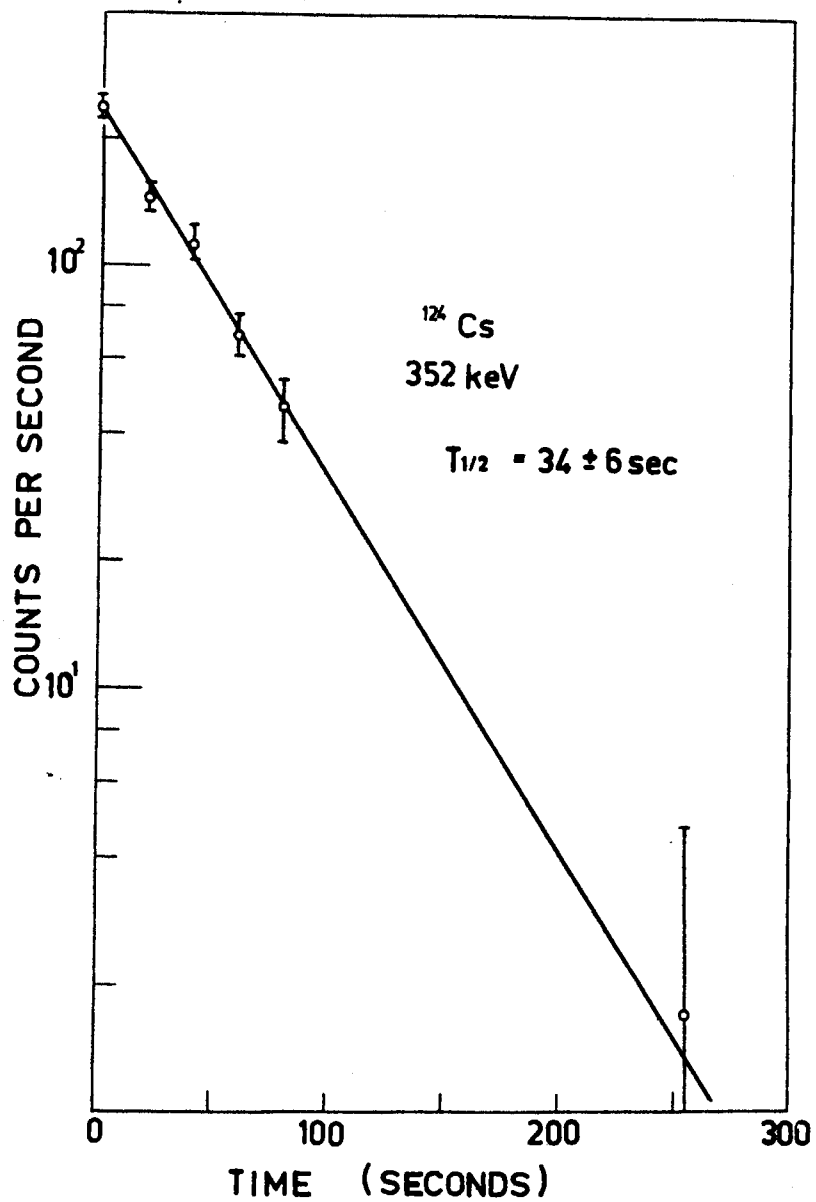


Рис. 5. Распад основного состояния изотопа ^{124}Cs . Изотоп образовался в реакции $^{115}\text{In} (^{12}\text{C}, 3n) ^{124}\text{Cs}$.

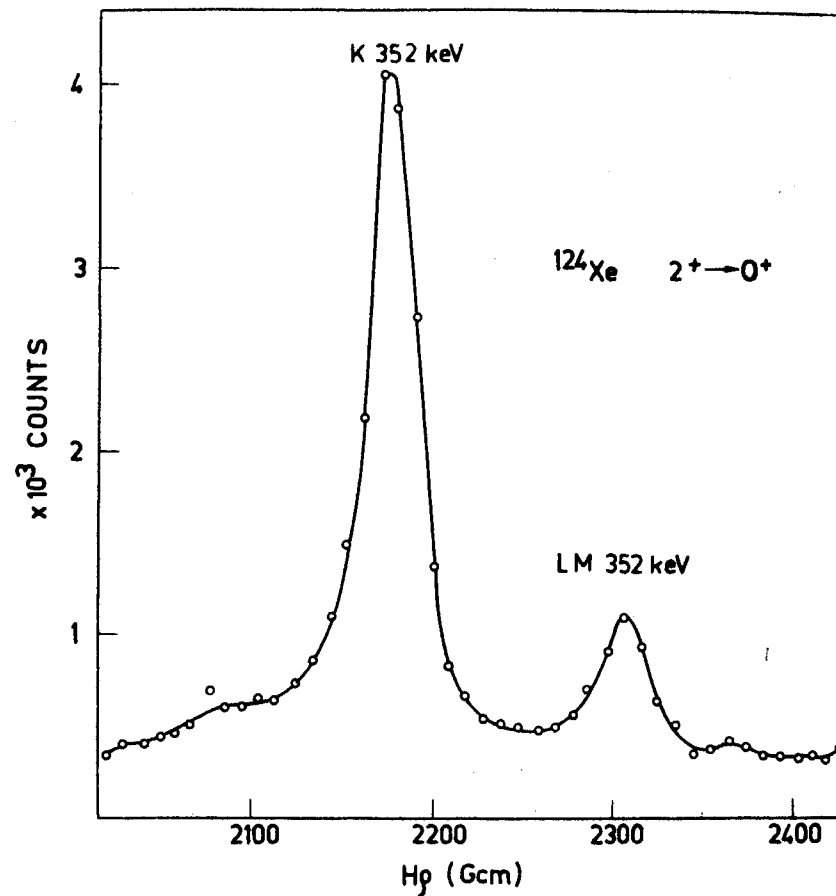


Рис. 6. Спектр электронов внутренней конверсии. Возбужденное состояние в ядре ^{124}Xe образовалось в распаде $^{124}\text{Ba} \rightarrow ^{124}\text{Cs} \rightarrow ^{124}\text{Xe}$. ^{124}Ba получен в реакции $^{118}\text{Sn} (^{12}\text{C}, 4n) ^{124}\text{Ba}$ при энергии налетающих ионов 82 Мэв. Толщина мишени $2,8 \text{ мг} \cdot \text{см}^{-2}$.

Это подтверждает результат работы^{/8/}, в которой определена мультипольность перехода - E2 (таблица 1).

Таблица 1

переход	E1	E2	E3	M1	M2	M3
$\frac{a_k}{a_{L+M}}$	6,1	4,8	2,9	5,9	5,1	4,2

Из работы^{/8/} известен γ -переход с энергией 354 кэв, который соответствует распаду уровня $1\ 2^+$ на основное состояние в ядре ^{124}Xe . Наблюдаемая нами линия 352 ± 2 кэв является доказательством того, что в реакции $^{115}\text{In} + ^{12}\text{C}$ (при $E_c = 60$ Мэв) образуется действительно ^{124}Cs , который распадается на уровень $1\ 2^+$ в ядре ^{124}Xe .

Добавочным доказательством образования ^{124}Cs является кривая возбуждения (рис. 7), измеренная на линии 352 кэв. Функция возбуждения имеет максимум при энергии $E^{\text{LAB}} = 60 \pm 2$ Мэв. Если учитывать влияние кулоновского барьера ($V^{\text{LAB}} = 45$ Мэв) на форму кривой возбуждения, то получается $E_{\text{exc}} = 52 \pm 2$ Мэв. Тогда величина $\frac{\epsilon \cdot x}{x}$ принимает следующие значения:

$$\frac{\epsilon_3}{3} = 6,6 \pm 0,8 \text{ Мэв} - \quad ^{115}\text{In} (^{12}\text{C}, 3n) ^{124}\text{Cs},$$

$$\frac{\epsilon_4}{4} = 2,8 \pm 1,0 \text{ Мэв} - \quad ^{115}\text{In} (^{12}\text{C}, 4n) ^{123}\text{Cs}.$$

Это приводит к выводу, что линия 352 кэв образуется в реакции $^{115}\text{In} (^{12}\text{C}, 3n) ^{124}\text{Cs}$.

В спектре γ -излучения, сопровождающего β^+ -распад ^{124}Cs , наблюдается только одна линия - 352 кэв (переход $1\ 2^+ \rightarrow 0^+$ в ядре ^{124}Xe). Распад на более высокие уровни в ядре ^{124}Xe отсутствует потому, что известные из работы^{/8/} линии 525 кэв (переход $4^+ \rightarrow 1\ 2^+$), 669 кэв ($6^+ \rightarrow 4^+$), а также 401 кэв (вероятно переход $2\ 2^+ \rightarrow 1\ 2^+$) не наблюдаются. Если эти линии существуют в наших спектрах, то их интенсивность меньше 5% интенсивности линии 352 кэв.

EXCIT. ENERGY (MeV)

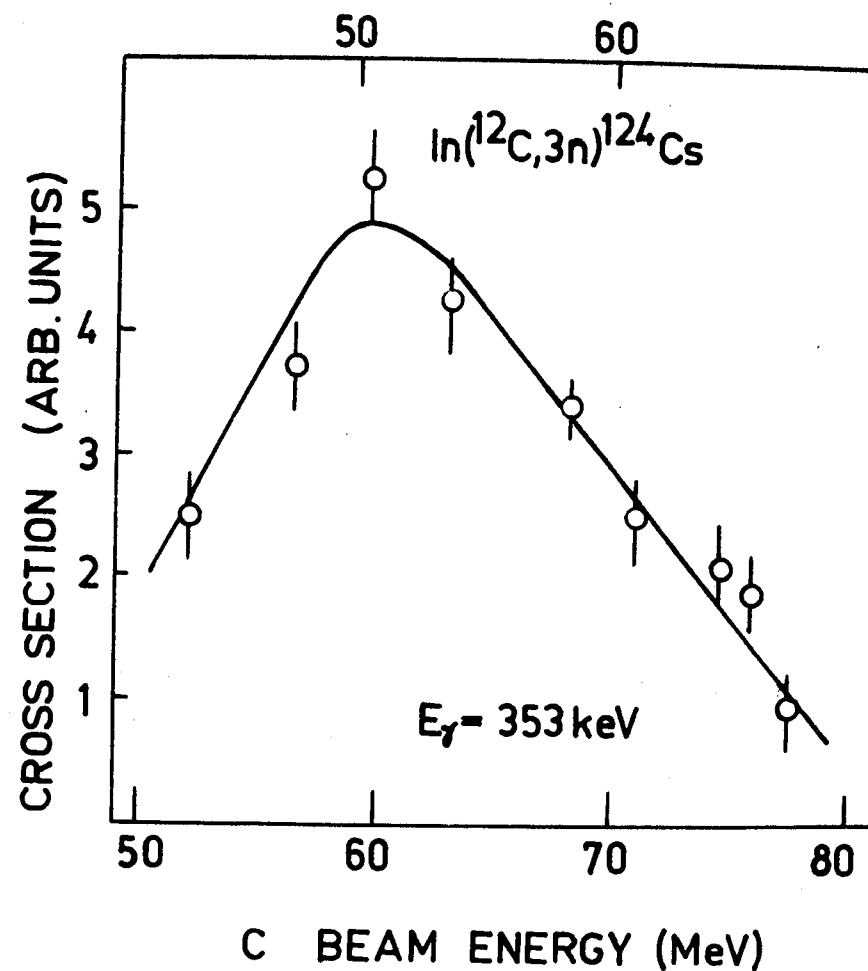


Рис. 7. Функция возбуждения реакции $^{115}\text{In} (^{12}\text{C}, 3n) ^{124}\text{Cs}$. Толщина мишени $3,2 \text{ мг. см}^{-2}$. Мишень изготовлена путем испарения естественного индия на алюминиевую фольгу толщиной 5 мкм в вакууме.

Для определения спина изотопа ^{124}Cs измерено отношение $I_{\beta^+}/I_{\gamma 352}$. Оно составляет $2,1 \pm 0,4$. Если мы принимаем, что энергия β^+ -распада $Q = 6,0$ Мэв (согласно расчётам работы/10/), мы получаем для $\log ft_{\beta^+}$ -перехода на основное и первое возбужденное состояние в ядре величины 5,4 и 5,2, соответственно. Из этого следует, что переход является разрешенным и состояние ядра ^{124}Xe с периодом полураспада ^{124}Cs $T_{1/2} = 34$ сек имеет спин и чётность $I^\pi = 1^+$. Предполагаемая схема распада представлена на рис. 8.

В таблице 2 представлены данные по энергии распада (Q), периоду полураспада ($T_{1/2}$) и спину основного состояния (I^π) для ранее известных изотопов цезия/9/. Сюда включены также данные, полученные в настоящей работе, хотя мы не знаем, является ли уровень в ядре ^{124}Cs (с периодом 34 сек) основным или изомерным. То же самое касается ядра ^{122}Cs , где порядок уровней изомерной пары (23 сек и 3,5 мин) не известен. Энергия распада для $^{122,124}\text{Cs}$ взята из расчётов/10/.

Таблица 2

Cs	130	128	126	124	122
Q (Мэв)	2,99	3,93	4,8	6,0	7,1
$T_{1/2}$	30 мин	3,8 мин	1,6 мин	34 сек	23 сек 3,5 мин
I^π	1^+	1^+	1^+	1^+	1^+

Как видно из таблицы 2, период полураспада ^{124}Cs проявляет ту же закономерность, что и периоды полураспада соседних ядер цезия.

Поиски изомера ^{124}Cs , с периодом полураспада порядка нескольких минут, который являлся бы аналогом 3,5 минутного изомера в ядре ^{122}Cs не дали положительного результата.

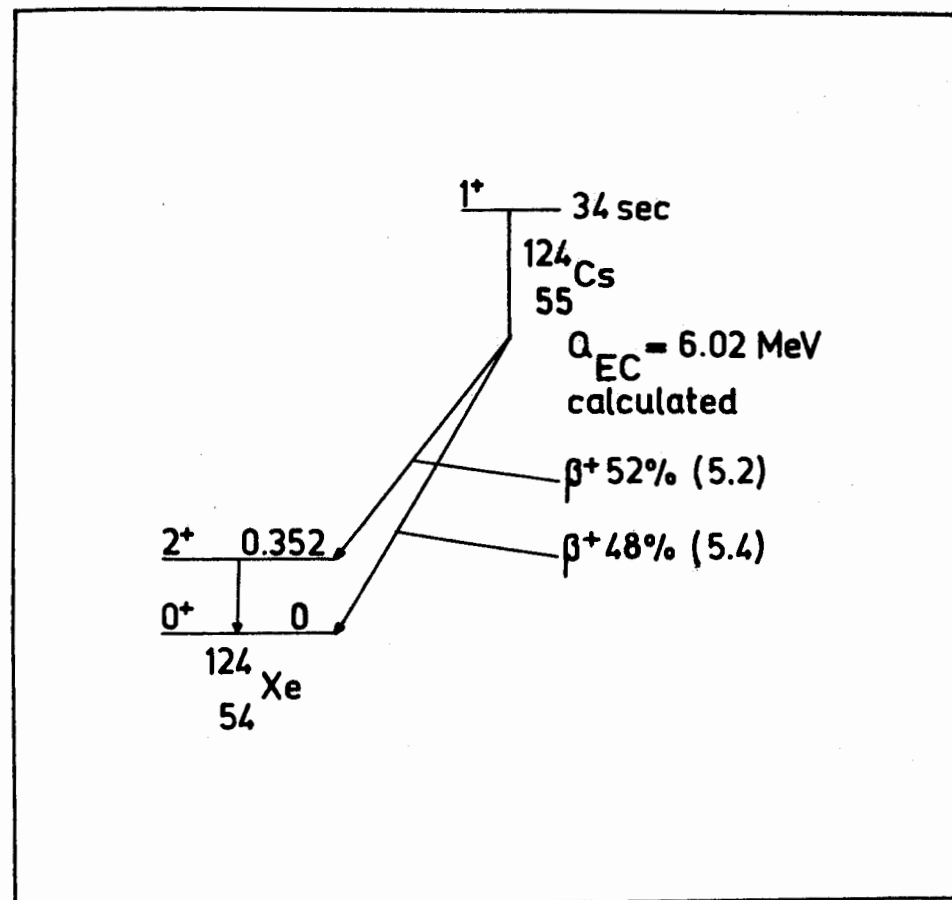


Рис. 8. Предполагаемая схема распада изотопа ^{124}Cs .

4. Изотоп ^{120}Cs

При облучении мишени, обогащенной изотопом ^{107}Ag , ионами ^{18}O с энергией 94 Мэв среди продуктов реакции наблюдается в спектре и в спектре конверсионных электронов переход с энергией 328 кэв и периодом полураспада $T_{1/2} = 72$ сек. Этот переход соответствует (по данным работы^{/5/}) разрядке 2^+ - уровня в ядре ^{120}Xe и является доказательством того, что в реакции $^{107}\text{Ag} (^{18}\text{O}, 5n) ^{120}\text{Cs}$ образовался изотоп ^{120}Cs .

Авторы выражают глубокую благодарность академику Г.Н.Флерову за поддержку этой работы, группе эксплуатации циклотрона У-300 во главе с Б.А.Загером и В.С.Алфеевым, обеспечившей четкую работу ускорителя, и Ю.Юнкер за постоянную помощь при обработке экспериментальных данных.

Л и т е р а т у р а

1. E.Marshalek, L.W.Person and R.K.Sheline. *Revs. Mod. Phys.*, 35, 108 (1963).
2. K.Kumar and M.Baranger. *Phys. Rev. Lett.*, 12, 73 (1964).
3. D.A.Arseniev, A.Sobiczewski and V.G.Soloviev. *Nucl. Phys.*, A126, 15 (1969).
4. K.F.Alexander, W.Neubert, H.Rotter, S.Chojnacki, Ch.Droste, T.Morek. *Preprint JINR E6-4278*, Dubna 1969.
5. Jack E.Clarkson, R.M.Diamond, F.S.Stephens and I.Perlman. *Nucl. Phys.*, A93, 272 (1967).
6. В.Нойберт, К.Александр. *Препринт ОИЯИ Р7-3657*, Дубна 1968.
7. Z.Wilhelmi, V.S.Alfeev, S.Chojnacki, Ch.Droste, J.Lewitowicz, T.Morek, P.Radecki, K.I.Siomin, J.Srebrny and A.Wojtasiewicz. *Preprint JINR E6-4593*, Dubna 1969.
8. I.Bergström, C.J.Herrlander, A.Kerek and A.Luukko. *Nucl. Phys.*, A123, 99 (1969).
9. C.M.Lederer, J.M.Hollander and I.Perlman. "Table of Isotopes" sixth edition. (J.Wiley & Sons, New York, 1967).

10.N.Zeldes, A.Grill and A.Simievic. *Mat.Fys.Skr.Dan.Vid.Selsk.*,
3, no.5 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел

13 июня 1969 года.