

ИНДЕКС 3649



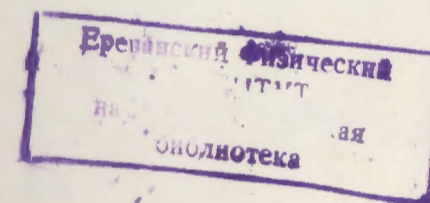
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Препринт ЕФИ-1193(70)-89

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԶԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE

К. А. АМРОЯН, Е. О. ГРИГОРЯН, Ҙ. А. ДЕМЕХИНА

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРОЦЕССА ФОТООБРАЗОВАНИЯ ${}^7\text{Be}$ и ${}^{24}\text{Na}$



ЦНИИАтоминформ
ЕРЕВАН - 1989

Կ.Ա.ԱՄՐՈՅԱՆ, Ե.Օ.ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ*, Ն.Ա.ԴԵՄԵՅԻՆԱ

${}^7\text{Be}$ եւ ${}^{24}\text{Na}$ ՖՈՏՈՆՆՄԱՆ ԳՈՐԵԸՆՔԱՅԻ ՈՐՈՇ ԲՆՈՒՔԱԳՐԵՐԻ

ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Բերվում են մինչև 5 ԳէՎ առավելագույն էներգիայով Cu , Nb , Ag և Ta թիրախների ծառայածան ընթացքում առաջացած ${}^7\text{Be}$ և ${}^{24}\text{Na}$ թեթև միջուկների ելքերի չափան արդյունքները: Փրագմենտների կինեմատիկական բնութագրերի վերլուծությունը բերվում է երկաստիճան վեկտորային մոդելի շրջանակներում:

Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ

Երևան 1989

* Երևանի պետական համալսարան

УДК 539.1:539.172.3

К.А.АМРОЯН, Е.О.ГРИГОРЯН*, Н.А.ДЕМЕХИНА

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА
ФОТООБРАЗОВАНИЯ ${}^7\text{Be}$ И ${}^{24}\text{Na}$

Приводятся результаты измерения выходов легких ядер ${}^7\text{Be}$ и ${}^{24}\text{Na}$, образованных при облучении мишеней Cu , Nb , Ag и Ta тормозным излучением с максимальной энергией до 5 ГэВ. Анализ кинематических характеристик фрагментов проводится в рамках двухступенчатой векторной модели.

Ереванский физический институт

Ереван 1989

* Ереванский государственный университет

K.A. AMROYAN, E.O. GRIGORIAN*, N.A. DEMEKHINA

INVESTIGATION OF SOME CHARACTERISTICS OF PHOTOPRODUCTION
OF ${}^7\text{Be}$ AND ${}^{24}\text{Na}$

The results of measurement of the yields of the light nuclei ${}^7\text{Be}$ and ${}^{24}\text{Na}$ produced at irradiation of Cu, Nb, Ag and Ta targets by bremsstrahlung of maximum energy up to 5 GeV, are presented. The analysis of the kinematic characteristics of the fragments is performed in the framework of the two-stage vector model.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1989

*Yerevan State University

Введение

Процесс образования легких ядер при взаимодействии частиц высоких энергий с ядрами исследуется уже много лет. Однако несмотря на обилие экспериментального материала, представленного в основном данными адрон-ядерных реакций (p -ядро, π -ядро, ядро-ядро [1,2]), единого подхода в описании этого процесса пока не существует.

В ряде работ обсуждаются различные механизмы этого явления: развал промежуточного ядра, образовавшегося в первичном соударении [3], рождение фрагментов в виде флуктуаций ядерной материи в нестабильном состоянии жидкость-газ [4], слипание нуклонов в фрагменты [5] и т.д. Существуют некоторые варианты описания процесса фрагментации в рамках различных модификаций испарительного процесса [6]. Ряд авторов приходит к определенным выводам на основе феноменологического анализа экспериментального материала [7]. В некоторых работах успешно применяют при описании отдельных закономерностей процесса развала ядра известные в адрон-адронных реакциях гипотезы предельной фрагментации и факторизации [8,9].

Первая гипотеза в приложении к ядерным реакциям формулируется следующим образом: поперечные сечения и энергетические спектры фрагментов в собственной системе отсчетов (мишени или продукта) при достаточно высоких энергиях становятся независимыми от энергии налетающих частиц. Второй постулат указывает на возможность представления некоторых характеристик процесса фрагментации в виде произведения двух факторов, зависящих от мишени и продукта. В частности, распределение фрагментов мишени должно зависеть от природы пучка только через некоторый постоянный член, характеризующий падающие частицы и наоборот. То же самое относится к распределению фрагментов налетающих частиц.

В понимании природы образования легких ядер немаловажная роль отводится исследованию фото- и электрофрагментации, сравнение с данными по фрагментации ядер в адронных процессах и характеристиками реакций другого типа позволяет изучить как общие закономерности фрагментации, так и влияние электромагнитного характера первичного акта взаимодействия. В Ереванском физическом институте проводится исследование инклюзивных сечений электрообразования легких фрагментов в зависимости от заряда, угла вылета фрагмента, свойств мишени и энергии электронов [10,11]. В области фотофрагментации опубликованные данные чрезвычайно малочисленны; разрозненные сведения относятся к ограниченному числу каналов и, главным образом, к области невысоких энергий (~ 1 ГэВ) [12-16], которая, согласно существующим представлениям о фрагментации как о процессе, протекающем в высоквозбужденном состоянии ядра, не является наиболее благоприятной для ее исследования.

Постановка эксперимента

В настоящей работе приводятся экспериментальные данные по фотообразованию легких ядер в мишенях Cu , Nb , Ag , Ta при максимальной энергии тормозного излучения до 5 ГэВ. В тяжелых мишенях существенное различие в массовых числах исходного ядра и продукта позволяет провести надежное разделение различного типа реакций: расщепление, деление, фрагментация. Облучение проводилось на пучке тормозного излучения электронного синхротрона ЕрФИ. Активность, наведенная в мишенях, измерялась с помощью полупроводникового $\text{Ge}(\text{Li})$ детектора. Идентификация продуктов реакции проводилась по характерным энергиям γ -переходов и по периодам полураспада $T_{1/2}$: ^{24}Na - энергия перехода 2753,9 кэВ, $T_{1/2} = 15,02$ ч, ^7Be - энергия перехода 477,6 кэВ, $T_{1/2} = 53,3$ ч. Мишени использовались натурального изотопического состава 99,9% чистоты.

При облучении мишеней Cu , Ag и Ta дополнительно применялась методика улавливающих фольг, позволяющая определить импульсные характеристики образующихся в реакции продуктов. С этой целью использовалась стопка, состоящая из фольг мишенного материала, прослоенных майларовыми пластинами для улавливания ядер отдачи. Размеры фольг были следующие: серебро - толщина фольги $0,432$ г/см², количество - 50 шт., тантал - толщина $1,743$ г/см², количество - 20 шт., медь - толщина $0,267$ г/см², количество - 50 шт. Каждая фольга прокладывалась с двух сторон майларовыми пленками толщиной 50 микрон, дополнительно вкладывались промежуточные фольги для проведения фоновых измерений.

Результаты, полученные при измерении наведенной активности с улавливающими фольгами, обрабатывались по известному в литературе методу [17-19].

Результаты и обсуждение

В табл. I представлены выходы ядер ${}^7\text{Be}$ и ${}^{24}\text{Na}$, измеренные в настоящей работе, а также ранее опубликованные данные [15-20]. С ростом массового числа мишени наблюдается определенный рост выхода фрагментов. Аналогичная картина отмечалась в протон-ядерных [22] и электроядерных процессах [10, 11]. Проверка количественных соотношений, полученных авторами [11, 21] при определенных энергиях налетающих частиц, для наших измерений затруднена из-за использования тормозного излучения в качестве источника фотонов при облучении мишени. Некоторый рост выхода фрагментов ${}^{24}\text{Na}$ был получен нами в Ag и Ta при измерении максимальной энергии тормозного излучения от 2,9 до 4,0 ГэВ. В реакции $\text{C} \rightarrow {}^{24}\text{Na}$ такого роста не наблюдается. При сравнении с данными в области более низких энергий [21], выход увеличивается более чем на порядок. Такого рода сравнение правомерно, так как анализ наших измерений, совместно с данными авторов [16, 23] для реакции фотообразования ${}^{24}\text{Na}$ в мишенях Al , V , Mn , Cu показал удовлетворительное согласие. Общий ход кривой функции возбуждения в реакциях $\text{Ag} \rightarrow {}^{24}\text{Na}$, $\text{Ta} \rightarrow {}^{24}\text{Na}$ согласуется и с данными работы [12] по фотофрагментации Ta .

Анализ данных, полученных при исследовании кинематических свойств ядер отдачи, позволяет судить о механизме взаимодействия падающих частиц с ядрами мишени.

В измерениях с улавливающими фольгами определяется относительное количество ядер, вылетающих по направлению пучка и обратно:

$$F = \frac{N_F}{N_F + N_B + N_T} \quad B = \frac{N_B}{N_F + N_B + N_T}$$

Анализ данных, полученных методикой улавливающих фольг, обычно проводят в рамках двухступенчатой векторной модели, которая предполагает две стадии реакции и позволяет получить оценку параметров, характеризующих ядро на каждой стадии взаимодействия [17-19]. Впервые этот анализ проводился в работе [17] и получил дальнейшее развитие в работе [19]. В последние годы опубликован ряд работ, где этот метод применяется к анализу данных, полученных в столкновениях ускоренных ионов с ядрами [18].

В этой модели предполагается, что скорость ядра, вылетевшего из мишени, в лабораторной системе координат является суммой двух векторов $\vec{v}_n = \vec{v} + \vec{V}$, где вектор \vec{v} - скорость промежуточного ядра, образованного при взаимодействии падающей частицы с ядром мишени на первой ступени реакции (состоящей в общем случае из двух компонент: \vec{v}_n - параллельной и \vec{v}_t - перпендикулярной направлению пучка). Вектор \vec{V} - скорость, приобретенная на второй стадии реакции. Дополнительные упрощающие предположения, которые вводятся в работе [19], позволяют выделить основные характеристики двух этапов ядерной реакции; к их числу относится пробег ядра в веществе мишени $R = K \cdot V^n$ (где K и n - постоянные) и отношение $\eta = v/V$. Характер изменения этих величин от целого ряда факторов, а именно, массового числа мишени и образующихся продуктов, массового числа и сорта налетающей частицы, дают определенную информацию о механизме реакций.

Для обработки экспериментальных данных, полученных при толщине мишенных пластин W мг/см² с помощью удавливающих фольг, обычно пользуются следующими соотношениями:

$$WF_F = 1/4 R_0 (1 + 2,333\eta + 1,562\eta^2)$$

$$W(F_F + F_B) = 1,166$$

$$WF_B = 1/4 R_0 (1 + 0,156\eta^2)$$

из которых определяют величину пробега R и отношение $\eta = v/v_0$. Подобным образом нами были обработаны экспериментальные результаты по выходу ²⁴Na при облучении меди [24], серебра и тантала. Полученные данные представлены в табл.2 совместно с результатами авторов [25], из ядерных реакций под действием протонов, α -частиц и ускоренных ионов ¹²C. Из сравнительного анализа приведенных данных следует, что параметры, характеризующие вторую стадию реакции (P , E , V , где E определяет кинетическую энергию ядра отдачи ²⁴Na), оказываются слабо зависящими от сорта налетающих частиц. Этот факт подтверждает предположение, что вторая ступень реакции протекает независимо от характера возбуждения ядра. Если предположить, что результатом первичного взаимодействия является скорость, переданная ядру, то характер протекания этой стадии реакции в фотоядерном процессе оказывается подобным адрон-ядерному в области очень высоких энергий. В работе [9,25] сходство параметров, характеризующих пробег в области высоких энергий, авторы рассматривают как проявление скейлинговых свойств предельной фрагментации.

В результате проведенных исследований получены новые данные по фотофрагментации ядер в области высоких энергий, позволившие установить некоторые характеристики указанного процесса.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность академику АН Арм ССР Г.А.Вартапетяну за проявленный интерес к работе, а также персоналу ускорителя за обеспечение нормального режима работы в период облучения.

Таблица I

Мишень	E ГэВ	Выход, мб		Работа
		${}^7\text{Be}$	${}^{24}\text{Na}$	
Cu	0,6	-	0,0016	[21]
	0,78	-	0,004	[21]
	2,0	-	0,029 ± 0,006	[20]
	3,0	-	0,037 ± 0,007	[20]
	4,0	0,16 ± 0,04	0,036 ± 0,007	[20]
	5,0	-	0,034 ± 0,007	[20]
Nb	4,5	0,12 ± 0,03	0,034 ± 0,007	наст.
Ag	0,78	-	0,0013	[21]
	1,0	-	0,0018	[21]
	2,9	0,072 ± 0,02	0,0326 ± 0,01	наст.
Ta	4,5	0,11 ± 0,03	0,045 ± 0,009	наст.
	2,9	-	0,049 ± 0,01	наст.
	4,0	0,21 ± 0,05	0,06 ± 0,02	наст.

Таблица 2

Ми- шень	Частица (ГэВ)	Пробег (мг/см ²)	E (МэВ)	$\sigma/c \times 10^8$	Рабо- та
Cu	γ , 4,5	2,76 ± 0,8	13,5 ± 4,05	4,5 ± 0,8	наст.
	p, 400	2,75 ± 0,07	12,6 ± 0,5	5,8 ± 0,2	[25]
	${}^{12}\text{C}$, 18,5	2,81 ± 0,07	12,4 ± 0,07	7,9 ± 0,4	[25]
Ag	γ , 4,5	6,16 ± 1,8	27,5 ± 1,2	3,9 ± 1,0	наст.
	p, 400	4,09 ± 0,16	18,7 ± 0,9	3,4 ± 0,2	[25]
	${}^{12}\text{C}$, 18,5	4,86 ± 0,19	22,0 ± 1,0	6,7 ± 0,4	[25]
Ta	γ , 4,5	10,8 ± 1,3	37,7 ± 4,5	2,6 ± 0,3	наст.
	p, 400	11,1 ± 0,28	40,0 ± 1,5	3,1 ± 0,3	[25]
	${}^{12}\text{C}$, 18,5	11,67 ± 0,29	41,0 ± 1,6	8,1 ± 0,3	[25]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев Ю.П. Фрагментация ядер под действием частиц и ядер промежуточных и высоких энергий. ЭЧАЯ, 1983, т.14, вып.6, с.1285-1335.
2. Hufner S. Heavy fragments produced in proton-nucleus and nucleus-nucleus collision at relativistic energies.- Phys. Rep., 1985, vol.125, N.4, p.129.
3. Botvina A.S., Iljinov A.S., Mishustin I.N. Multifragmentations versus evaporation of target residues in high-energy proton-nucleus collisions.- Phys.Lett., 1988, vol.B 205, N.4, p.421.
4. Minich R.W., Agarwall S., Bujak A. et al. Critical phenomena in hadronic matter and experimental isotopic yields in high energy proton-nucleus collisions.- Phys.Lett., 1982, vol.118 B, N.6, p.458.
5. Gutbrod H.H., Sandoval A., Johansen P.S. et al. Final - state interactions in the production of hydrogen and helium isotopes by relativistic heavy ions on uranium.- Phys. Rev. Lett., 1976, vol.37, N.11, p.667.
6. Барашенков В.С., Тонеев В.Д. Взаимодействия высокоэнергетических частиц и атомных ядер с ядрами. М.: Атомиздат, 1972.
7. Bogatin V.I., Lozhkin O.V., Yakovlev J.P. Phenomenological model of fragmentation and experimental proofs of its predictions.- Nucl.Phys., 1979, vol.A326, p.508.
8. Kaufman S.B., Steinberg E.P., Westfield M.W. Recoil properties of radionuclides formed in the interaction of 1-300 GeV protons with gold.- Phys.Rev., 1978, vol.C18, N.3, p.1349.
9. Cumming S.B., Haustein P.E., Hseuh H.-C. Momentum transfer in the fragmentation of Cu by relativistic heavy ions and protons.- Phys.Rev., 1981, vol.C24, N.5, p.2162.
10. Айвазян Г.М., Бадалян Г.В., Бегларян Д.М. и др. Зависимости инклюзивных сечений электрообразования фрагментов He, Li, Be, B от заряда, угла вылета, энергии электронов, массового числа ядра-мишени и их анализ. Препринт ВЭИ-857(8)-86, Ереван, 1986.
11. Айвазян Г.М., Арутюнян В.Н., Ахвердян Э.А. и др. Инклюзивные спектры фрагментов He, Li, Be, B, образованных на ядрах электронами с энергией 2 и 4,5 ГэВ под углами 50 и 130°. Препринт ВЭИ-859(10)-86, Ереван, 1986.
12. Касилов В.И., Митрофанова А.В., Ранник Ю.Н., Сорокин П.В. Фотоделение и фотофрагментация тантала. ЯФ, 1972, т.15, вып.3, с.406-411.
13. Асатурян В.М., Григорян Е.О., Вартапетян Г.А. и др. Реакции в легких ядрах под действием тормозных фотонов при максимальных энергиях от 2 до 4,5 ГэВ. ЯФ, 1977, т.25, вып.6, с.1133-1139.
14. Митрофанова А.В., Нога В.И., Попов А.И. и др. Расщепление ядер Ta и W электронами и фотонами высоких энергий. ЯФ, 1977, т.25, вып.5, с.926-929.
15. Данагулян А.С., Демехина Н.А. Выход ^{24}Na из легких и среднетяжелых элементов. ЯФ: 1976, т.24, вып.4, с.661-685.

16. Аракян А.Р., Вартапетян Г.А., Григорян Е.О., Демехина Н.А. Фоторасщепление легких ядер когерентным и некогерентным тормозным излучением от электронов высоких энергий. ЯФ, 1986, т.44, вып.2(8), с.298-302.
17. Sugarman N., Campos M., Wielgoz K. Recoil studies of high energy proton reactions in Bismuth.- Phys.Rev., 1956, vol. 101, N.1, p.388.
18. Crespo V.P., Alexander J.M., Hyde E.K. Ejection of large fragments in high-energy nuclear reactions.- Phys.Rev., 1963, vol.131, N.4, p.1765.
19. Winsberg L. Analysis of thick-target thick-catcher nuclear recoil experiments.- NIM, 1978, vol.150, p.465.
20. Danagulyan A.S., Demekhina N.A., Vartapetyan G.A. Photoneuclear reactions in medium weight nuclei ^{51}V , ^{55}Mn , and Cu.- Nucl.Phys., 1977, vol.A285, p.482.
21. Jarund A., Forkman B. Photoproduction of ^{24}Na from targets with $63 \leq A \leq 238$.- Z.Phys., 1977, vol.A281, p.39.
22. Авдейчиков В.В., Богданов А.И., Будилов В.А. и др. Экспериментальное излучение механизма образования фрагментов промежуточной массы в релятивистских $\text{P} + \text{Au}$ и $^4\text{He} + \text{Au}$ взаимодействиях. Препринт ОИЯИ, PI-87-872, Дубна, 1987.
23. Johnssen B., Jarund A., Forkman B. Absolute Yield. measurement of the reaction $^{27}\text{Al}(\gamma, 2pn)^{24}\text{Na}$.- Z. Phys., 1976, vol.A276, p.410.

24. Вартапетян Г.А., Григорян, Е.О., Демехина Н.А. Импульсные свойства продуктов фоторасщепления меди. Препринт ОИЯИ-689(4)-84, Ереван, 1984.
25. Cole G.D., Porile N.T. Recoil properties of fragments emitted in the interaction of complex nuclei with relativistic ^{12}C ions and protons.- Phys.Rev., 1982, vol.C25, N.1, p.244.

Рукопись поступила 21 августа 1989 г.