

УДК 539-17

А. Р. БАЛАБЕКЯН

СРАВНЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯДЕР-ОТДАЧИ, ОБРАЗОВАННЫХ ИЗ МИШЕНИ ^{65}Cu , С ТЕОРЕТИЧЕСКИМИ РАСЧЕТАМИ

Кинематические характеристики ядер-отдачи, образованных при взаимодействии фотонов с максимальной энергией $E_{\gamma, \text{max}} = 4,5 \text{ ГэВ}$ с мишенью ^{65}Cu , сравнены с теоретическими расчетами, сделанными по трем разным моделям LAQGSM03 (Los-Alamos version of the Quark-Gluon String Model). Сравнение показало, что экспериментальные результаты хорошо описываются моделями LAQGSM03.S1 и LAQGSM03.G1.

Введение. Метод наведенной активности исследует только те остаточные ядра, которые задерживаются в мишени после облучения. Исследование этих ядер-остатков можно сделать двумя способами: а) определением сечений образования ядер; б) исследованием характеристик ядер-отдачи.

Для исследования характеристик ядер-отдачи используется экспериментальный метод «толстая мишень–толстый поглотитель». В этих экспериментах толщина мишени и поглотителей должны быть больше, чем длина пробега ядер-отдачи, чтобы они останавливались в них. Экспериментально определяют относительную долю ядер, вышедших из мишени по направлению пучка (F) и в обратном направлении (B):

$$F = N_F / (N_F + N_T + N_B), \quad B = N_B / (N_F + N_T + N_B),$$

где N_F – число ядер, зарегистрированных в передних поглотителях, N_B – в задних поглотителях, N_T – в мишени.

Результаты эксперимента обычно рассматриваются в рамках двухступенчатой векторной модели [1–3]. В этой модели делаются следующие предположения:

1. В первой стадии частица, взаимодействуя с ядром, образует возбужденное ядро со скоростью v , импульсом P и энергией возбуждения E^* .

2. Во второй стадии возбужденное ядро, теряя массу и энергию, приобретает форму ядер-отдачи, которые двигаются со скоростью V , имеющей распределение по величине и направлению.

Обычно в экспериментах делаются дополнительные предположения:

- Значения v и P в первой стадии постоянны и направлены вперед [4].

- Скорость во второй стадии распределена изотропно.

Результаты эксперимента зависят от отношения пробег–энергия ядер-отдачи. Последнее удобно представить в виде [2]:

$$R = kV^n, \quad (1)$$

где R – пробег ядра-отдачи в мишени, а k и n – постоянные, определяющиеся из таблиц пробег–энергия ядер в разных материалах. Для ядер, вылетающих вперед и назад, можно написать:

$$FW = R[1 + 2/3(n+2)\eta + 1/4(n+1)^2\eta^2]/4, \quad (2)$$

$$BW = R[1 - 2/3(n+2)\eta + 1/4(n+1)^2\eta^2]/4,$$

где $\eta = v/V$, а W – толщина мишени в $\text{мг}/\text{см}^2$.

Соотношение между пробегом продуктов реакции (R), скоростью в первой (v) и второй (V) стадиях можно представить в следующем виде:

$$F/B = [1 + 2/3(n+2)\eta + 1/4(n+1)^2\eta^2]/[1 - 2/3(n+2)\eta + 1/4(n+1)^2\eta^2], \quad (3)$$

$$R = 2W(B + F)/[1 + 1/4(n+1)^2\eta^2].$$

Целью настоящей работы является сравнение кинематических характеристик ядер-отдачи, образованных при взаимодействии фотонов с максимальной энергией $E_{\gamma, \text{max}} = 4,5 \text{ ГэВ}$ с мишенью ^{65}Cu , с теоретическими расчетами, сделанными по трем разным моделям LAQGSM03 (Los-Alamos version of the Quark-Gluon String Model, лос-аламосская версия кварк-глюонной струнной модели).

Обсуждение экспериментальных результатов. Методом наведенной активности были исследованы кинематические характеристики вышеописанных ядер-отдачи. Для этого использован метод «толстая мишень–толстый поглотитель» [2]. Получены пробеги, скорости и кинетические энергии некоторых ядер-отдачи, начиная с ^{24}Na до ^{64}Cu , результаты приведены в [5].

В настоящей работе полученные экспериментальные результаты сравнены с теоретическими расчетами для фотоядерных реакций [6], сделанными по моделям LAQGSM03.01 [7], LAQGSM03.S1 [8] и LAQGSM03.G1 [8].

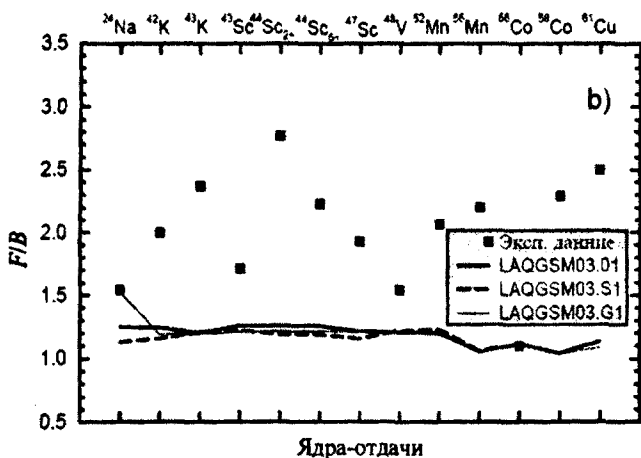
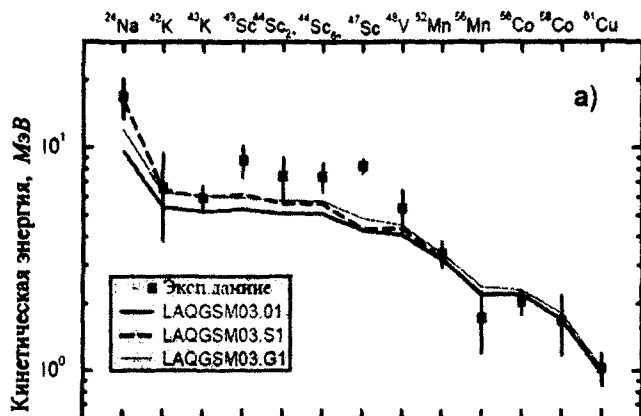
LAQGSM03.01 – последняя усовершенствованная версия *кварк-глюонной струнной модели Лос-Аламоса* [9]. Эта модель описывает реакции, протекающие под действием частиц и ядер, как трехступенчатый процесс: внутриядерный каскад, выход предравновесных частиц в процессе уравнивания возбужденного остаточного ядра, образованного во внутриядерном каскаде, и испарение частиц из составного ядра. Первая стадия реакции – внутриядерный каскад – описывается моделью, созданной в Дубне, которая в литературе известна как *дубнинская каскадная модель* [10]. Предравновесная стадия реакции описывается *модифицированной экситонной моделью* [11], развитой из *каскадной экситонной модели* [12]. Испарительная стадия реакции описывается *обобщенной испарительной моделью* (GEM2) [13], которая рассматривает испарение свыше 66 разных частиц и легких фрагментов (вплоть до ^{28}Mg).

LAQGSM03.S1 [8] – это та же самая модель, что и LAQGSM03.01, только она включает мультифрагментацию возбужденного ядра после предравновесной стадии реакции, когда энергия возбуждения выше $2A$ (МэВ), где A – массовое число. Для описания мультифрагментации используется *статистическая модель мультифрагментации Ботвины* [14].

LAQGSM03.G1 [8] аналогична LAQGSM03.01, только она использует модель деления подобного бинарного распада GEMINI [15] и рассматривает

испарение всех возможных фрагментов.

На рисунке приведены зависимости кинетической энергии (а) и F/B -отношения (б) ядер-отдачи от их массового числа при взаимодействии фотонов с $E_{\gamma, \max} = 4,5$ ГэВ с мишенью ^{65}Cu . Сравнение экспериментальных данных с теоретическими расчетами [6] указывает на то, что легкие ядра (^{24}Na) образуются в процессе фрагментации. В образование ядер-отдачи в массовой области $24 \leq A \leq 48$, помимо каскадно-испарительного механизма, вносят вклад и другие процессы. Расхождение экспериментальной зависимости F/B -отношения с теоретическими расчетами можно объяснить тем фактом, что



экспериментальные результаты получены в рамках двухступенчатой векторной модели с использованием толстой мишени, тогда как теоретические расчеты сделаны для тонкой мишени и без использования указанной модели.

В заключение хочу выразить благодарность С.Г. Машнику за предоставление теоретических расчетов для ^{65}Cu , что дало возможность сравнить их с экспериментальными результатами.

Кафедра ядерной физики

Поступила 16.06.2006

ЛИТЕРАТУРА

1. Sugarman N., Campos M., Wielgoz K. – Phys.Rev., 1956, v. 101, p. 388.

2. Winsberg L. – Nucl. Instrum. Methods, 1978, v. 150, p. 465.
3. Winsberg L. – Phys. Rev., 1978, v. C22, p. 2116.
4. Kortelling R.G., Toren C.R., Hyde E.K. – Phys.Rev., 1973, v. C7, p. 1611.
5. Arakelyan A.A., Balabekyan A.R. et al. – Nucl. Phys., 1991, v. A534, p. 535.
6. Mashnik S.G., Gudima K.K., Baznat M.I. et al. – J. Nucl. and Radiochemical Sci., 2005, v. 6, № 2, p. A1–A19; nucl-th/0503061, 2005.
7. Mashnik S.G., Gudima K.K., Baznat M.I. et al. – LANL Report, LA-UR-05-2686, Los-Alamos, 2005.
8. Mashnik S.G., Gudima K.K., Baznat M.I. et al. – LANL Report, LA-UR-06-1764, Los-Alamos, 2006.
9. Gudima K.K., Mashnik S.G., Sierk A.J. – LANL Report, LA-UR-01-6804, Los-Alamos, 2001, <http://lib-www.lanl.gov/la-pubs/00818645.pdf>
10. Toneev V.D., Gudima K.K. – Nucl. Phys., 1983, v. A400, p. 173.
11. Mashnik S.G., Gudima K.K., Baznat M.I. et al. – LANL Report, LA-UR-05-7321, Los-Alamos, 2005.
12. Gudima K.K., Mashnik S.G., Toneev V.D. – Nucl. Phys., 1983, v. A401, p. 329.
13. Furihata S. – Nucl. Instrum. Methods, 2000, v. B171, p. 252.
14. Bondorf J.P., Botvina A.S. et al. – Phys. Rep., 1995, v. 257, p. 133.
15. Charity R.J., McMahan M.A. et al. – Nucl. Phys., 1988, v. A483, p. 371.

Ա. Ռ. ԲԱԼԱԲԵԿՅԱՆ

⁶⁵Cu ԹԻՐԱՆԻՑ ՍՏԱՅՎԱԾ ՀԵՏՀԱՐՎԱԾԱՅԻՆ ՄԻՋՈՒԿՆԵՐԻ ԿԻՆԵՄԱՍԻԿԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՀԱՄԵՍԱՏՈՒՄԸ ՏԵՍԱԿԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿՆԵՐԻ ՀԵՏ

Ամփոփում

⁶⁵Cu թիրախից $E_{\gamma, \max} = 4,5$ ԳԷՎ առավելագույն էներգիայով ֆոտոնների ազդեցության տակ առաջացած հետհարվածային միջուկների կինեմատիկական բնութագրերը համեմատվել են տեսական հաշվարկների հետ՝ կատարված LAQGSM03 (Los-Alamos version of the Quark-Gluon String Model) մոդելի երեք տարբերակներով: Համեմատումը ցույց է տվել, որ փորձարարական արժեքները լավագույն տեսքով նկարագրվում են LAQGSM03.S1 և LAQGSM03.G1 մոդելներով:

A. R. BALABEKYAN

COMPARISON OF RECOIL PROPERTIES OF NUCLEI FORMED FROM THE TARGET ⁶⁵Cu WITH THEORETICAL CALCULATIONS

Summary

The recoil properties of nuclei formed from the target ⁶⁵Cu by the photons beam with the energy $E_{\gamma, \max} = 4,5$ GeV were compared with the theoretical calculations made by three versions of LAQGSM03 (Los-Alamos version of the Quark-Gluon String Model) model. The comparison showed that the experimental results are the best described by the LAQGSM03.S1 and LAQGSM03.G1 models.