

ПОЛНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ЛЕГКИХ ЯДЕР ПРИ ЭНЕРГИИ 3,7 ГэВ НА НУКЛОН

Представлены экспериментальные данные по исследованию процесса полного разрушения легких ядер (${}^6\text{C}^{12}$, ${}^8\text{O}^{16}$, ${}^{10}\text{Ne}^{22}$, ${}^{14}\text{Si}^{28}$) во взаимодействии их с импульсом 4,1–4,5 А ГэВ/с с легкими и тяжелыми ядрами в фотоэмульсии. Показано, что характеристики этого процесса (вероятность, среднее число фрагментов, степень «дробления», вероятности каналов распада на фрагменты) зависят от заряда остаточного ядра и атомного веса первичного ядра.

Процесс полного разрушения ядер (распад на одно- и двухзарядные фрагменты) при высоких энергиях в адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях давно привлекает к себе внимание [1–9]. Интерес к этому экстремальному процессу связан с тем, что он позволяет получить ценную информацию для изучения механизма взаимодействия, связанного со структурой сталкивающихся ядер. Полученные при этом результаты являются критичными к различным модельным представлениям.

Большинство работ проводилось с помощью метода ядерных фотоэмульсий, причем изучался распад тяжелых ядер мишеней (Ag, W). При этом заряд и энергия фрагментов, на которые распадается ядро, не определялись. Ситуация существенно изменилась, когда появилась возможность изучать распад ядра-снаряда, так как при этом достаточно надежно определяется заряд фрагментов, а энергию, приходящуюся на один нуклон, можно считать равной энергии для налетающего ядра.

В настоящей статье изучались характеристики полного разрушения легких ядер (${}^6\text{C}^{12}$, ${}^8\text{O}^{16}$, ${}^{10}\text{Ne}^{22}$, ${}^{14}\text{Si}^{28}$) во взаимодействии их с энергией 3,7 ГэВ на нуклон с ядрами атомов вещества фотоэмульсии.

Для решения поставленной задачи мы воспользовались полученными нами в сотрудничестве

с участниками из других стран экспериментальными данными [7, 10–12] при облучении стопок ядерной фотоэмульсии легкими ядрами на синхрофазотроне Дубны. Рассмотрим ядро-ядерное взаимодействие как процесс, состоящий из двух стадий: быстрой, когда взаимодействуют нуклоны ядра-снаряда с нуклонами ядра-мишени, что приводит к образованию новых частиц в перекрытой части объемов сталкивающихся ядер, и медленной, когда оставшаяся часть ядра распадается на фрагменты.

Благодаря релятивистской скорости фрагменты ядра-снаряда летят вперед в очень узком конусе, величина угла раствора которого определяется из формулы

$$\sin \theta = \frac{0,2}{P_0 \cdot z_f},$$

где P_0 – первичный импульс однозарядного фрагмента; z_f – заряд фрагмента.

Заряд определялся по ионизации (подсчет числа разрывов между блоками зерен в эмульсии) или по числу δ -электронов на пути многозарядных фрагментов. Знание зарядов каждого фрагмента позволяет определить суммарный заряд

образовавшихся фрагментов $Q = \sum_{i=1}^{n_f} z_f$, т.е. заряд остаточного ядра. Тогда число провзаимо-

действовавших нуклонов можно определить по формуле $\nu = A - \frac{A}{n_p} Q$, где A и n_p – соответственно атомный вес и число протонов ядра.

Рассмотрим теперь последовательно характеристики полного разрушения изучаемых ядер. Вероятность W (доля в %) полного разрушения остаточного ядра с определенным зарядом Q представлена в табл. 1.

Таблица 1. Вероятность полного разрушения ($W, \%$) и среднее число фрагментов ($\langle n_f \rangle$) для различного заряда Q остаточного ядра

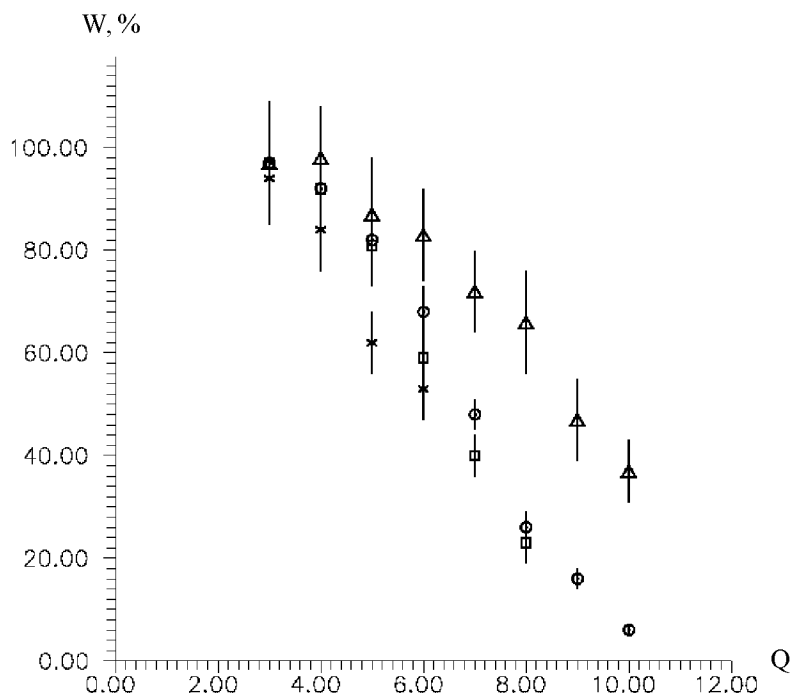
Q	A	${}_6\text{C}^{12}$	${}_8\text{O}^{16}$	${}_{10}\text{Ne}^{22}$	${}_{14}\text{Si}^{28}$
3	W	94 ± 8	97 ± 9	97 ± 6	97 ± 12
	$\langle n_f \rangle$	2,4 ± 0,3	2,5 ± 0,2	2,5 ± 0,2	2,7 ± 0,4
4	W	84 ± 8	92 ± 9	92 ± 6	98 ± 10
	$\langle n_f \rangle$	2,8 ± 0,3	3,2 ± 0,3	3,0 ± 0,2	3,4 ± 0,1
5	W	62 ± 6	81 ± 8	82 ± 6	87 ± 11
	$\langle n_f \rangle$	3,4 ± 0,4	3,7 ± 0,3	3,4 ± 0,3	4,0 ± 0,5
6	W	53 ± 6	59 ± 6	68 ± 5	83 ± 9
	$\langle n_f \rangle$	3,8 ± 0,5	4,2 ± 0,4	4,3 ± 0,3	4,8 ± 0,6
7	W		40 ± 4	48 ± 3	72 ± 8
	$\langle n_f \rangle$		4,7 ± 0,4	4,9 ± 0,4	5,3 ± 0,5
8	W		23 ± 4	26 ± 3	66 ± 10
	$\langle n_f \rangle$		5,0 ± 0,8	5,2 ± 0,5	5,9 ± 0,8
9	W			16 ± 2	47 ± 8
	$\langle n_f \rangle$			6,0 ± 0,7	6,6 ± 1,0
10	W			6 ± 1	37 ± 6
	$\langle n_f \rangle$			6,4 ± 1,0	7,2 ± 1,0

Из данных табл. 1 видно, что для этого ядра-снаряда с увеличением значения заряда остаточного ядра Q доля событий ПР, например, для ${}_6\text{C}^{12}$ при изменении $Q=3 \div 6$ падает на 41%, тогда как для ${}_{14}\text{Si}^{28}$ – только на 14%, т.е. в сильной степени зависит от атомного веса исходного ядра. Эта A -зависимость показана на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что чем больше масса исходного ядра, тем слабее падает доля событий ПР. Эта закономерность, очевидно, связана с тем, что с ростом A увеличивается число провзаимодействовавших нуклонов (см. формулу), т.е. увеличивается передача энергии остаточному ядру с фиксированным зарядом Q .

В табл. 1 представлено также среднее число образовавшихся одно- и двухзарядных фрагментов $\langle n_f \rangle$ в результате распада остаточного ядра для различных первичных ядер. Из этих данных видно, что для такого ядра с увеличением заряда (массы) остаточного ядра $\langle n_f \rangle$ возрастает, что естественно, причем практически линейно (в соответствии с рис. 2). Для фиксированного значения Q эта величина ($\langle n_f \rangle$) увеличивается медленно (возрастает наклон прямой на рис. 2) с повышением атомного веса A рассматриваемых ядер, хотя при этом существенно увеличивается число провзаимодействовавших нуклонов ν . Так, при $Q=5$ для ядра C^{12} $\nu = 2$, тогда как для Si^{28} $\nu = 18$. Из этого результата следует, что нет прямой

Рис. 1. Вероятность полного разрушения в зависимости от величины заряда Q (массы) остаточного ядра легких ядер: \times – ${}_6\text{C}^{12}$, \square – ${}_8\text{O}^{16}$, \circ – ${}_{10}\text{Ne}^{22}$, Δ – ${}_{14}\text{Si}^{28}$



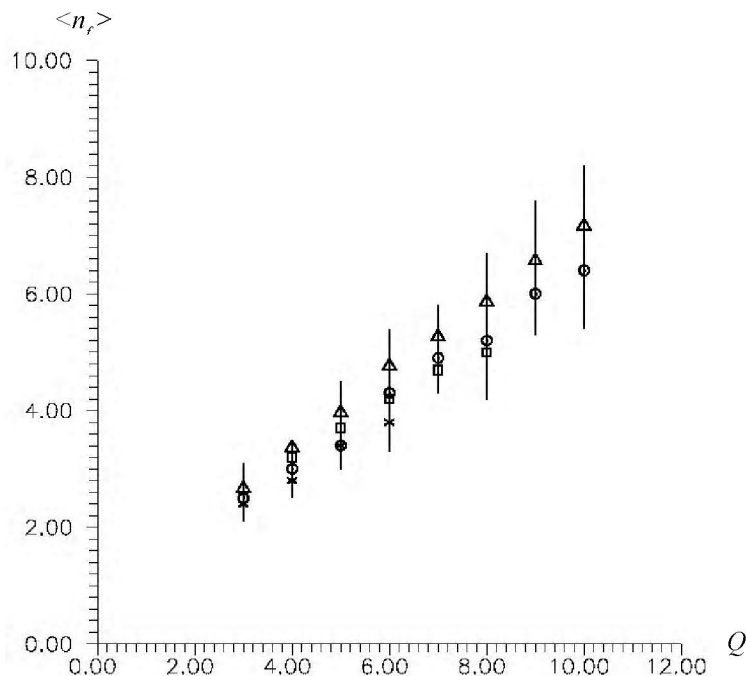


Рис. 2. Зависимость среднего числа фрагментов остаточного ядра $\langle n_f \rangle$ от Q для различных ядер. Обозначения те же, что на рис. 1

пропорциональности в передаче энергии остаточному ядру от значения ν .

Рассмотрим характеристику остаточного ядра, отражающую степень его разрушения при распаде на фрагменты. Такой величиной может служить отношение среднего числа фрагментов с зарядом два ($z_f = 2$) к числу фрагментов с зарядом один ($z_f = 1$) – $\langle n_{z=2} \rangle / \langle n_{z=1} \rangle$. Чем больше «дробление» (чем больше число фрагментов с зарядом $z = 1$), тем меньше это отношение.

Рассмотрим, как зависит $\langle n_{z=2} \rangle / \langle n_{z=1} \rangle$ для данного ядра от Q . Из рис. 3 видно, что с увеличением Q значение $\langle n_{z=2} \rangle / \langle n_{z=1} \rangle$ существенно возрастает. Это указывает на то, что с увеличением Q значение ν уменьшается, т.е. снижается передаваемая энергия, идущая на развал остаточного ядра. Для фиксированного значения Q отношение $\langle n_{z=2} \rangle / \langle n_{z=1} \rangle$ существенно уменьшается с увеличением массы исходного ядра, т.е. дробление остаточного ядра возрастает.

Рассмотрим более подробно вероятность реализации различных каналов распада на фрагменты остаточного ядра в зависимости от его заряда Q и атомного веса первичного ядра A . Из табл. 2, где представлены полученные данные для событий с $Q=3-6$, можно сделать следующие выводы:

вероятность каналов распада, в которых наблюдаются только однозарядные фрагменты, для данного ядра с увеличением заряда Q падает, что, очевидно, связано с уменьшением числа ν , а сле-

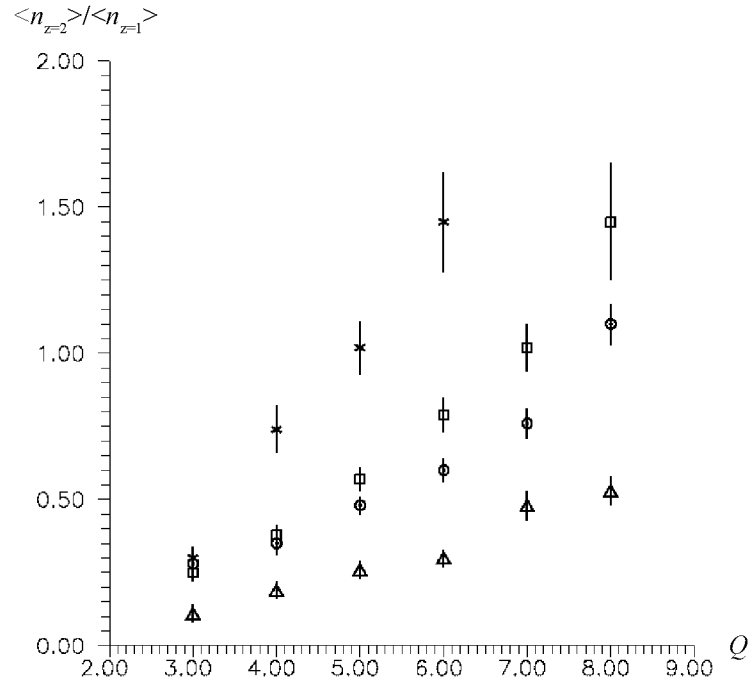
Таблица 2. Вероятность полного разрушения остаточного ядра (%) по различным типам каналов в зависимости от Q и A (атомный вес исходного ядра)

Каналы распада	Q	${}_6\text{C}^{12}$	${}_8\text{O}^{16}$	${}_{10}\text{Ne}^{22}$	${}_{14}\text{Si}^{28}$
111	3	41 ± 6	49 ± 6	45 4	71 ± 10
12		53 ± 6	49 ± 6	53 ± 5	26 ± 6
1111	4	12 ± 3	30 ± 4	19 ± 3	50 ± 7
112		44 ± 6	49 ± 6	53 ± 5	41 ± 6
22		28 ± 4	14 ± 4	20 ± 3	7 ± 3
11111	5	5 ± 2	9 ± 3	13 ± 2	31 ± 6
1112		19 ± 3	37 ± 5	38 ± 4	40 ± 7
122		39 ± 5	35 ± 5	31 ± 3	16 ± 5
111111	6	$1 \pm 0,5$	2 ± 1	5 ± 1	16 ± 4
11112		3 ± 1	14 ± 3	20 ± 3	40 ± 6
1122		32 ± 6	32 ± 4	31 ± 3	25 ± 5
222		17 ± 3	11 ± 3	13 ± 2	2 ± 1

довательно, как уже отмечалось, с уменьшением передачи энергии. При фиксированном значении Q с увеличением A вероятность реализации этих каналов, наоборот, возрастает по той же причине (увеличение ν) за исключением для Ne при $Q = 4$; вероятность распада только на двухзарядные фрагменты уменьшается как с увеличением Q при фиксированном A , так и при фиксированном значении Q с возрастанием A .

В случаях, когда в каналах распада наблюдается сочетание одно- и двухзарядных фрагментов, нет указанных выше более или менее

Рис. 3. Зависимость отношения $\langle n_{z=2} \rangle / \langle n_{z=1} \rangle$ от заряда остаточного ядра Q для различных ядер. Обозначения те же, что на рис. 1



простых закономерностей (распады только на однозарядные или только на двухзарядные фрагменты). По-видимому, зависимости вероятности каналов распада фрагментов от Q и A можно будет получить исходя из модельных представлений, учитывающих кластерную структуру [10, 11] легких ядер, вероятности образования и распада двухзарядных частиц в остаточных ядрах.

Итак, из анализа экспериментальных данных взаимодействия легких ядер с легкими и тяжелыми ядрами в фотоэмульсии при энергии 3,7 А ГэВ можно сделать следующие выводы.

1. Вероятность полного разрушения остаточного ядра падает с увеличением его заряда Q (массы) и тем быстрее, чем меньше масса исходного (первичного) ядра.

2. Характеристики полного разрушения остаточного ядра-снаряда: среднее число фрагментов, отношение среднего числа двухзарядных фрагментов к однозарядным (степень дробления), вероятность реализации каналов распада на фрагменты существенно зависят от его заряда и атомного веса ядра-снаряда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Толстов К.Д. // Z. Phys. 1981. V. A301. P.339.
 2. Богданов В.Г. и др. // ЯФ. 1983. Т. 38. С. 1493.
 3. Марин А. и др. // ЯФ. 1979. Т. 29. С. 105.
 4. Антончик В.А. и др. // ЯФ. 1980. Т. 32. С. 319.
 5. Андреева Н.П., Боос Э.Г. и др. // ЯФ. 1981. Т. 34. С. 790.

6. Андреева Н.П., Бубнов В.И., Гайтинов А.Ш., Часников И.Я. и др. Сотрудничество ЕМУ01 // ЯФ. 1992. Т. 55, вып. 4. С. 1010-1020.

7. Андреева Н.П., Бубнов В.И., Гайтинов А.Ш., Часников И.Я. и др. Сотрудничество ЕМУ01 // ЯФ. 1995. Т. 58, вып. 6. С. 1024-1031.

8. Андреева Н.П., Гайтинов А.Ш., Филиппова Л.Н., Шайхиева Д.Б. // Труды межд. научно-практ. конф. молодых ученых. 2004. С. 19-20.

9. Бондаренко А.И. и др. // ЯФ. 1999. Т. 62. С. 1612.

10. Bradnova V., Chernyavsky M.M., Gaitinov A.Sh. et al. // Acta physica slovac. 2004. V. 54, N 4. С. 351-365.

11. Андреева Н.П. и др. // Ядерная физика. 2005. Т. 68, №3. С. 484-494.

Резюме

Энергиясы 4,1-4,5 А ГэВ/с жеңіл ядролардың (${}^6\text{C}^{12}$, ${}^8\text{O}^{16}$, ${}^{10}\text{Ne}^{22}$, ${}^{14}\text{Si}^{28}$) фотоэмульсияның жеңіл және ауыр ядроларымен әрекеттескенде олардың толық қирау процесін зерттеу туралы эксперименттік деректер келтірілген. Осы процестің сипаттамалары (ықтималдығы, фрагменттердің орташа саны, «бөлшектену» дәрежесі, фрагменттерге ыдырау арналарының ықтималдығы) қалдық ядроның зарядына және бастапқы ядроның атомдық салмағына тәуелділігі көрсетілген.

Summary

Experimental data on research of process of full destruction of easy nucleus (${}^6\text{C}^{12}$, ${}^8\text{O}^{16}$, ${}^{10}\text{Ne}^{22}$, ${}^{14}\text{Si}^{28}$) in their interaction with a pulse 4,1-4,5 А GeV/c easy and heavy nucleus in photo emulsion are submitted. It is shown, that characteristics of this process (probability, an average of fragments, a degree of «crushing», probability of channels of disintegration on fragments) depend on a charge of a residual nucleus and nuclear weight of a primary nucleus.

Физико-технический институт
 МОН РК, г. Алматы

Поступила 3.10.06г.