

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P1-86-733

М.Х.Аникина, Г.Л.Варденга, А.И.Голохвастов,
К.К.Гудима¹, В.П.Кондратьев², Л.В.Краснов²,
Ю.А.Лакомкин², Ю.Лукстиньш, Э.О.Оконов,
И.В.Степанов², С.А.Хорозов, И.Е.Шевченко²

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНЫХ
И ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
 ^{12}C (3,6 ГэВ/нуклон) С ЯДРАМИ Cu , Pb

Направлено в журнал "Ядерная физика"

¹ ИПФ АН МолдССР, Кишинев

² Ленинградский государственный университет

1986

ВВЕДЕНИЕ

Изучение эмиссии легчайших ядер в ядро-ядерных взаимодействиях необходимо для понимания механизма их образования. Энергетические, угловые и массовые распределения ядер могут зависеть от энергии, переданной в реакции нуклонам-участникам. Выделение центральных взаимодействий позволяет отобрать случаи с повышенной передачей энергии.

С целью изучения особенностей в характеристиках вторичных ядер в данной работе измерялись выходы изотопов ^1H , ^2H , ^3H в реакции $^{12}\text{C} + \text{ядро}$ при энергии 3,6 ГэВ/нуклон на мишенях Cu , Pb . Разделение взаимодействий на центральные и периферические производилось по критерию отсутствия быстрой заряженной частицы, летящей под углом, меньшим $1,5^\circ$, к направлению падающего пучка.

Экспериментальные данные о выходах ^1H , ^2H , ^3H сравниваются с предсказаниями дубненской версии каскадной модели для ядро-ядерных взаимодействий [1], в которой образование легчайших ядер происходит в процессе коалесценции нуклонов.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Схема эксперимента показана на рис. 1. Спектрометр включал два сцинтилляционных телескопа $\Delta E-E$ типа [2], состоящих из четырех счетчиков с кристаллами $\text{CsI}(\text{Te})$; телескопы устанавливались под углами 37° и 90° к оси пучка ускоренных ионов ^{12}C . Общая толщина кристаллов $\text{CsI}(\text{Te})$ в телескопе составляла 40 г/см^2 . Формирование апертуры телескопа и отбор события производились триггерной системой, образованной двумя счетчиками с пластмассовыми сцинтилляторами перед кристаллами $\text{CsI}(\text{Te})$ и одним - за ними. Телескоп счетчиков располагался на расстоянии 240 мм от мишени; толщина мишени 1 г/см^2 . Светосила телескопа - 3 мср. Регистрация быстрых заряженных частиц осуществлялась счетчиком с пластмассовым сцинтиллятором, установленным на расстоянии 200 см от мишени на оси падающего пучка; счетчик регистрировал частицы, вылетающие под углом 5° по отношению к первичному пучку. При срабатывании этого счетчика событие относилось к периферическим. Признак типа события вместе спектроскопической информацией передавался в ЭВМ.

Процедура энергетической градуировки телескопов и получения энергетических спектров частиц описана в [2]. В эксперименте регистрировались ^1H , ^2H , ^3H в энергетических интервалах 85-200, 120-315 МэВ соответственно. Нормировка наших данных по абсолютным сечениям осуществлялась по спектрам протонов, полученных в [3] в аналогичных условиях.

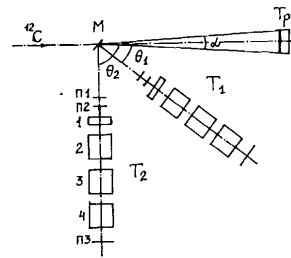


Рис. 1. Схема эксперимента. T_1, T_2 - телескопы счетчиков; 1, 2, 3, 4 - сцинтилляционные счетчики с кристаллами $\text{CsI}(\text{Te})$; n_1, n_2, n_3 - триггерные счетчики с пластмассовыми сцинтилляторами; T_p - триггерный счетчик, выделяющий заряженные частицы в угле $\alpha = 3^\circ$; M - мишень; $\theta_1 = 37^\circ$, $\theta_2 = 90^\circ$ - углы, под которыми установлены T_1, T_2 .

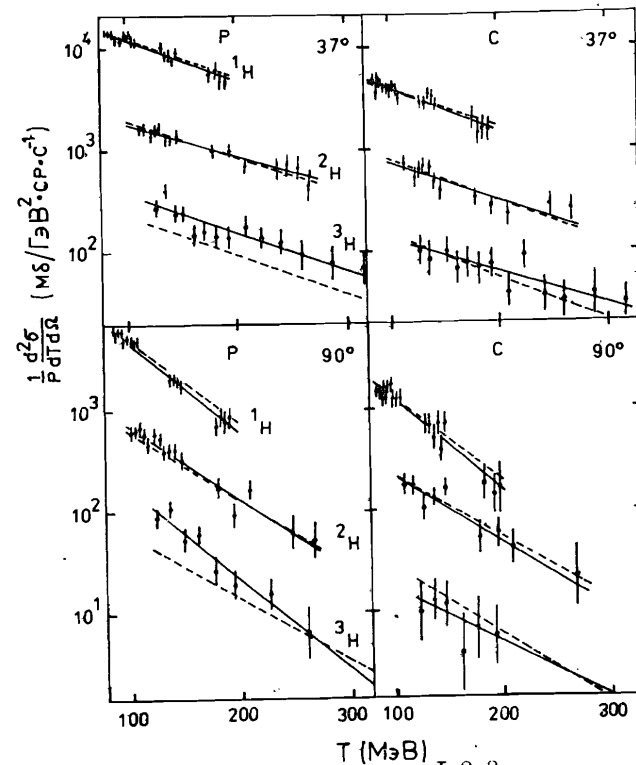


Рис. 2. Инвариантные сечения образования ^1H , ^2H , ^3H в реакции $^{12}\text{C} + \text{Cu}$; T - кинетическая энергия; p, c - периферические и центральные взаимодействия соответственно; — - аппроксимация экспериментальных данных зависимостью $\sim \exp(-T/T_0)$; - - - по каскадной модели.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА.

На рис. 2,3 показаны полученные нами инвариантные двойные дифференциальные сечения образования $^1,2,3\text{H}$ в реакциях $^{12}\text{C}+\text{Cu}$, $^{12}\text{C}+\text{Pb}$.

Сравнение спектров, полученных для периферических и центральных соударений, демонстрирует их подобие. Если аппроксимировать спектры экспоненциальной зависимостью вида $\exp(-T/T_0)$, где T - кинетическая энергия фрагмента, параметр T_0 для частиц одного сорта под одним и тем же углом регистрации в пределах ошибок эксперимента одинаков для обоих типов взаимодействия как для угла 37° , так и 90° . С увеличением угла регистрации параметр T_0 ведет себя обычным образом - убывает.

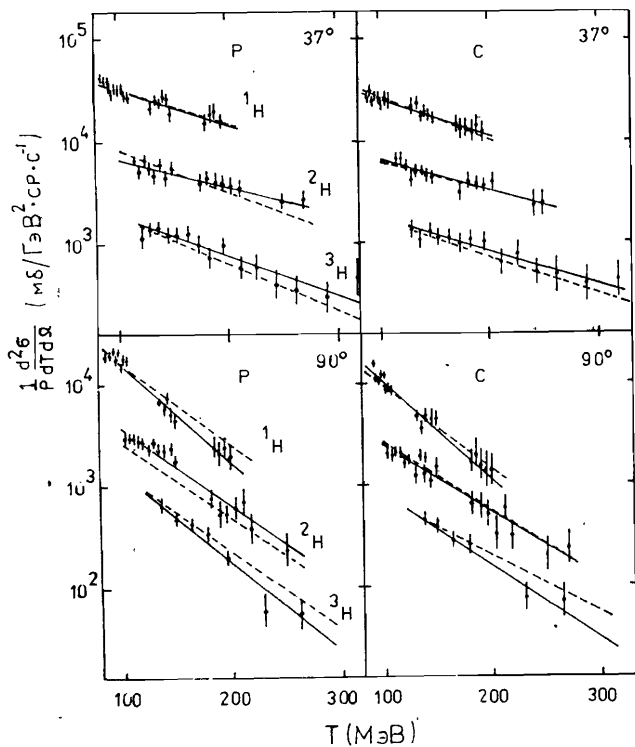


Рис. 3 То же, что на рис. 2, но для реакции $^{12}\text{C}+\text{Pb}$.

В таблицах 1,2 (для Cu и Pb соответственно) приведены относительные выходы $^1,2,3\text{H}$, просуммированные по энергетическим интервалам регистрации этих частиц. Относительный выход частицы k -го сорта определялся как $N_k / (N_p + N_d + N_t)$, где N_k - число зарегистрированных в эксперименте частиц k -го сорта. В центральных взаимодействиях несколько повышен выход ^2H и ^3H по сравнению с периферическими, за исключением ^3H из Cu при $\theta = 90^\circ$. С увеличением угла регистрации от 37° до 90° доля ^2H и ^3H уменьшается для обеих мишеней. Для данного угла доля ^2H и ^3H для мишени Pb выше, чем для Cu .

Таким образом, экспериментальные данные демонстрируют слабую чувствительность энергетических спектров и относительных выходов ^1H , ^2H , ^3H к типу взаимодействия. Это, вероятно, свидетельствует о том, что механизм образования этих частиц во взаимодействиях обоих типов одинаков, а вариации в относительных выходах следуют тенденциям зависимости множественности вторичных частиц от массы ядра-мишени и типа взаимодействия. С другой стороны, подобие спектров может являться следствием слабой эффективности критерия определения типа взаимодействия, использованного в эксперименте.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как указывалось ранее, мы использовали дубненскую версию каскадной модели с учетом коалесценции [1]. В рамках этой модели ядра ^2H , ^3H могут образовываться в процессах предравновесного и равновесного распада возбужденных послекаскадных ядер, а также в процессе коалесценции нуклонов, возникших в ядерном каскаде. В процессе коалесценции образуется ядро $^Z\text{A}_N$, если среди нуклонов, вылетевших из ядра на стадии каскада, найдутся такие Z протонов и N нейтронов, что относительные импульсы любой пары из этих нуклонов окажутся меньше заданной величины R_A , называемой радиусом коалесценции в импульсном пространстве. Величина R_A является свободным параметром расчета. Поскольку учитывалось рождение в процессе коалесценции ^2H , ^3H , ^3He , ^4He , были использованы три параметра R_A (для ^3H и ^3He использовалось одно и то же значение). Во всех расчетах радиус коалесценции для ^3H и ^3He составлял 108 МэВ/с и для ^4He - 115 МэВ/с; для ^2H радиус был выбран 90 и 82 МэВ/с соответственно для мишени Cu и Pb . При проведении расчетов критерий отбора центральных событий соответствовал экспериментальному - отсутствие заряженных частиц в конусе с углом раствора $1,5^\circ$ по отношению к падающему пучку. При этом заряженными частицами для этого критерия являлись как фрагменты ^{12}C , так и частицы из ядра-мишени. В модели учитывается возможность развала фрагментов ^{12}C после взаимодействия с ядром-мишенью.

Таблица 1

θ	Периферические			Центральные			
	Тип взаимодействия	Эксперим.	Расчет I	Расчет II	Эксперимент	Расчет I	Расчет II
37°	Частица ^1H	0.76±0.01	0.77±0.01	0.75±0.01	0.72±0.01	0.72±0.01	0.70±0.01
	^2H	0.20±0.01	0.20±0.01	0.22±0.01	0.23±0.01	0.24±0.01	0.24±0.01
	^3H	0.039±0.003	0.028±0.003	0.031±0.003	0.043±0.005	0.045±0.004	0.061±0.009
90°	^1H	0.80±0.01	0.81±0.01	0.79±0.01	0.77±0.01	0.77±0.01	0.78±0.01
	^2H	0.17±0.01	0.17±0.01	0.19±0.01	0.21±0.01	0.21±0.01	0.21±0.01
	^3H	0.29±0.003	0.017±0.003	0.19±0.003	0.021±0.004	0.019±0.004	0.013±0.006

Таблица 2

θ	Периферические			Центральные			
	Тип взаимодействия	Эксперим.	Расчет I	Расчет II	Эксперим.	Расчет I	Расчет II
37°	Частица ^1H	0.66±0.01	0.69±0.01	0.67±0.01	0.61±0.01	0.63±0.01	0.63±0.01
	^2H	0.26±0.02	0.25±0.01	0.27±0.01	0.30±0.01	0.30±0.01	0.30±0.01
	^3H	0.071±0.005	0.058±0.006	0.065±0.004	0.090±0.005	0.077±0.005	0.078±0.007
90°	^1H	0.70±0.01	0.71±0.01	0.68±0.01	0.66±0.01	0.63±0.01	0.63±0.01
	^2H	0.23±0.01	0.24±0.01	0.26±0.01	0.26±0.01	0.27±0.01	0.26±0.01
	^3H	0.066±0.04	0.050±0.008	0.061±0.006	0.078±0.006	0.093±0.007	0.102±0.009

Таблица 3

Мишень	θ	Эксперимент	Расчет I	Расчет II
Cu	37°	3.0 ± 0.1	1.4 ± 0.1	6.5 ± 0.3
	90°	3.6 ± 0.1	1.2 ± 0.1	6.1 ± 0.4
Pb	37°	1.2 ± 0.1	0.59 ± 0.03	1.6 ± 0.1
	90°	1.5 ± 0.1	0.55 ± 0.03	1.4 ± 0.1

В таблице 3 сравниваются экспериментальные и расчетные отношения суммарного числа ^1H , ^2H , ^3H , зарегистрированных в эксперименте для периферических взаимодействий с такой же величиной для центральных взаимодействий. В графе "расчет I" помещены результаты расчета, в котором учитывался развал фрагментов ^{12}C ; расчетные значения ниже экспериментальных в 2-3 раза. Это указывает на то, что в расчете завышено число взаимодействий, отнесенных к центральному. Детальный анализ расчетов показал, что учет развала фрагментов ^{12}C дает большое число случаев, для которых фрагмент ^{12}C попадает в конус $\pm 1,50^\circ$, но продукты его развала уже выходят из этого конуса. Это приводит к уменьшению числа периферических взаимодействий за счет соответствующего увеличения числа центральных. Таким образом, можно заключить, что модель переоценивает число случаев развала фрагментов ^{12}C . Этот выход находится в соответствии с результатами работ [4] по изучению фрагментации ионов ^{22}Ne на ядрах фотоэмульсии, где показано, что число случаев развала фрагмента бомбардирующего ядра на частицы с единичным зарядом, полученное в эксперименте, существенно ниже предсказанного каскадной моделью.

Для сравнения нами был проделан расчет, в котором не учитывался развал фрагментов ^{12}C ; они анализировались только на попадание их в конус $\pm 1,5^\circ$. Результаты этого расчета приведены в табл. 3 в графе "расчет II". Отношения возросли от 3 до 5 раз. Сравнение двух расчетов показывает, что выбранный нами критерий центральности события очень чувствителен к деталям учета в модели эволюции фрагментов налетающих ядер и этот аспект модели нуждается в уточнениях.

В табл. 1,2 приведены расчетные отношения выходов $^1,2,3\text{H}$, просуммированных по экспериментальным энергетическим интервалам регистрации. Модель воспроизводит наблюдаемый в реакции $^{12}\text{C}+\text{Pb}$ рост вклада

$^2,^3\text{H}$ в центральных взаимодействиях и падение относительного выхода тритонов в реакции $^{12}\text{C} + \text{Cu}$ под углом 90° для центральных взаимодействий. Результаты расчета по модели оказались малочувствительными к способу учета эволюции фрагментов ^{12}C , что видно из приведенных в таблицах значений относительных выходов с учетом развала ^{12}C (графа "расчет I") и без учета развала ^{12}C (графа "расчет II").

На рис. 2.3 штриховой линией нанесены расчетные инвариантные сечения для варианта "расчет I". Расчетные сечения нормированы к экспериментальным; коэффициент нормировки определялся из условия минимума χ^2 при привязке расчетных распределений к экспериментальным инвариантным сечениям $^1,^2,^3\text{H}$ одновременно для данного угла регистрации. Модель достаточно хорошо описывает форму инвариантных сечений. Отметим, что наклоны инвариантных спектров для обоих вариантов расчета практически совпадают.

Рассмотрим полученные в расчете распределения числа событий по параметру удара b отдельно для центральных и периферических взаимодействий. Эти распределения показаны на рис. 4. Как видно, введенный критерий достаточно эффективно отбирает взаимодействия с малым параметром удара для центральных взаимодействий. Однако, среди периферических взаимодействий имеется заметная доля случаев с малым параметром удара; особенно это проявляется для мишени Cu . Фактически значительная прозрачность ядра Cu для фрагментов ^{12}C приводит к тому, что в число отобранных в эксперименте периферических событий попало больше событий с параметром удара b , меньшим радиуса ядра Cu , чем в число центральных.

Аналогичное заключение можно сделать и для мишени Pb , хотя там из-за меньшей прозрачности ядра-мишени наблюдается несколько более благоприятная ситуация для центральных событий. Как нам кажется, это является объяснением близости характеристик спектров частиц, полученных в эксперименте для центральных и периферических взаимодействий.

Рассмотрим модельные оценки вклада различных процессов в образование частиц данного сорта. На рис. 5 показано формирование спектров ^1H , ^2H , ^3H в реакции $^{12}\text{C} + \text{Pb}$ для угла регистрации $\Theta = 37^\circ$. Спектр каскадных протонов в области энергий, меньших 150 МэВ, заметно искажается за счет убыли протонов, вошедших в состав ядер в процессе коалесценции. При энергиях, меньших ~ 50 МэВ, основной вклад в формирование спектра протонов дают процессы предравновесной и равновесной эмиссии из возбужденных ядер-остатков мишени. Дейтроны и тритоны формируются в процессах эмиссии и коалесценции. Для регистрируемых нами энергетических интервалов видно, что для ^2H , ^3H подавляю-

щий вклад вносит процесс коалесценции, а спектр протонов сформирован только каскадными частицами с учетом искажения этого спектра процессом коалесценции. Можно поэтому считать, что в данном эксперименте достаточно чисто выделена энергетическая область в спектрах вторичных частиц, где доминирующую роль в формировании ^2H , ^3H играет процесс коалесценции.

Рис. 4. Зависимость числа взаимодействий $N(b) \Delta S_b$ от прицельного параметра b ; $\Delta S_b = 2\pi b \Delta b$; --- для центральных взаимодействий, — для периферических. Стрелкой отмечен радиус половинной плотности $R = 1.07 A^{1/3}$ (фм), ядра-мишени; по оси ординат масштаб в произвольных единицах.

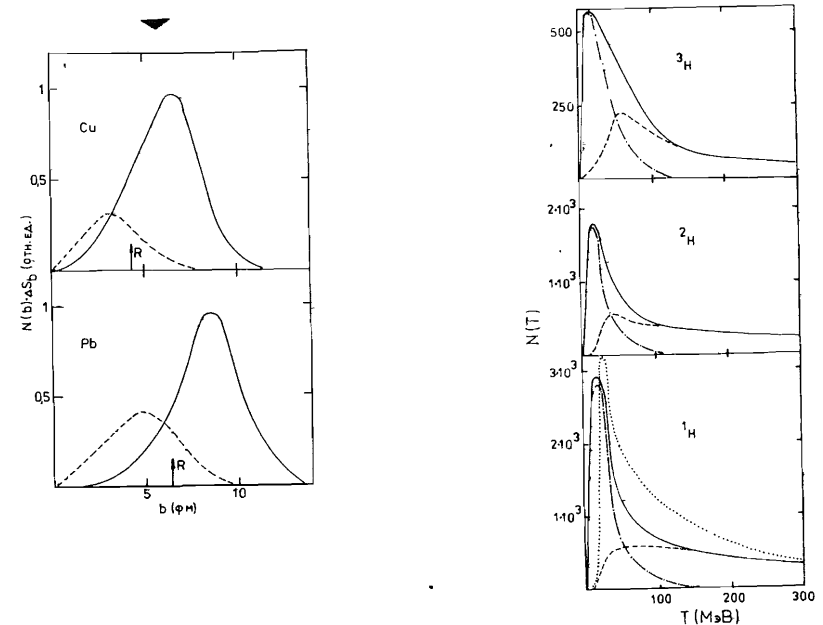


Рис. 5. Вклад процессов в формирование спектра частиц. - спектр протонов на стадии быстрого каскада; --- для протонов-спектр после учета образования $^2,^3\text{H}$, $^3,^4\text{He}$ в процессе коалесценции; для $^2,^3\text{H}$ - спектр частиц, образованных в процессе коалесценции; -.-.- спектр частиц, образованных в процессах предравновесной и равновесной эмиссии; ——— - спектр частиц с учетом всех процессов их образования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование спектров ^1H , ^2H , ^3H в процессах взаимодействия ядер ^{12}C с мишенями Cu и Pb с выделением центральных и периферических взаимодействий показало слабую чувствительность характеристик спектров к типу взаимодействия. Расчеты по каскадной модели достаточно хорошо описывают экспериментальные результаты, относящиеся к форме энергетических спектров и относительным выходам частиц. Модель показывает, что ^2H , ^3H сформированы за счет процесса коалесценции. Близость характеристик спектров для обоих типов взаимодействия связывается в модели с тем, что использованный экспериментальный критерий периферичности взаимодействия не может эффективно дискриминировать взаимодействия с малым параметром удара.

Авторы благодарят И.Г. Яцышина за участие в проведении эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Toneev V.D., Gudima K.K. Nucl. Phys., A400, 173, 1983.
2. Гаркун В.В., Голохвастов А.И., Кондратьев В.Н. и др. ОИЯИ, I3-82-68I, Дубна, 1983.
3. Adyasevich B.P., Antonenko V.G., Grigoryan Yu.I. et al. IAE-3972/2, Moscow, 1984.
4. Андреева Н.П., Анзон Э.В., Бубнов В.И. и др. ОИЯИ, P1-85-692, Дубна, 1985.

Рукопись поступила в издательский отдел
II ноября 1986 года.

Аникина М.Х. и др.

P1-86-733

Исследование центральных и периферических взаимодействий ^{12}C (3,6 ГэВ/нуклон) с ядрами Cu , Pb

Приводятся выходы протонов, дейтронов и тритонов в реакциях $^{12}\text{C} + \text{Cu}$, $^{12}\text{C} + \text{Pb}$ под углами регистрации 37° и 90° . Взаимодействия углерода с мишенью классифицированы как центральные или периферические в зависимости от наличия заряженных частиц в конусе $\pm 1,5^\circ$ по отношению к оси пучка. Показано, что основные характеристики спектров протонов, дейтронов и тритонов для обоих типов взаимодействий близки, что частично обусловлено слабой селективностью отбора периферических взаимодействий. Результаты эксперимента сравниваются с расчетами по дубненской версии каскадной модели с учетом образования дейтронов и тритонов в процессе коалесценции. Показано, что модель описывает основные экспериментальные данные.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод авторов

Anikina M.Kh. et al.

P1-86-733

Investigation of Central and Peripheral Interactions of ^{12}C (3.6 GeV/nucleon) with Cu , Pb Nuclei

The yields of $^1,2,3\text{H}$ in nuclear collisions of $^{12}\text{C} + \text{Cu}$, $^{12}\text{C} + \text{Pb}$ have been measured at 37° and 90° lab. angles. The collisions of C with a target are classified as central or peripheral depending on the presence of charged particles within 1.5° emission angle relatively to ^{12}C beam. It is shown that the basic characteristics of $^1,2,3\text{H}$ spectra are similar for both types of collisions which is connected with a weak selectivity of the used event type criterium. The data obtained are compared with the Dubna version of cascade model calculations taking into account the $^2,3\text{H}$ production as the result of coalescence. It is shown that the model describes the basic experimental results.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1986