

Ա.Ի. ԱԼԻԽԱՆՅԱՆԻ ԱՆՎԱՆ ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Մարզարյան Գարեգին Երվանդի

1.5-4.5 ԳԷՎ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԷԼԵԿՏՐՈՆՆԵՐՈՎ
ՄԻՋԱՆԿՅԱԼ ՉԱՆԳՎԱԾԻ ($4 \leq Z_f \leq 10$) ՖՐԱԳՄԵՆՏՆԵՐԻ
ՄԱՍԻՆՎԱԿԱՆ ԽՈՒՄՆԱԿԻ ՄԻՋՈՒԿԻ ՎՐԱ

Ա.04.16 - «Միջուկի տարրական մասնիկների և տիեզերական ճառագայթների
ֆիզիկա» մասնագիտությամբ
ֆիզմաթ գիտությունների թեկնածուի զիտական
աստիճանի հայցման ատենախոսության

Ս Ե Ղ Ս Ա Գ Ի Դ

Երևան 2009

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. А.И. АЛИХАНИЯ

Маркарян Гарегин Ервандович

ОБРАЗОВАНИЕ ФРАГМЕНТОВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ
МАССЫ ($4 \leq Z_f \leq 10$) ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 1.5-4.5 ГЭВ С ЯДРАМИ ^{197}Au

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 01.04.16-
« Физика ядра, элементарных частиц и космических лучей »

Ереван 2009

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի Ա. Ալիխանյանի անվ. ֆիզիկայի ինստիտուտում


Գիտական ղեկավար՝ Ֆիզմաթ. ցիտ. թեկնածու
Հ. Վ. Բաղդասյան (ԵրՖԻ)

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր
Ա. Մ. Դանագոյան (ԵՊՀ)
Ֆիզմաթ. գիտ. թեկնածու
Վ. Մ. Պողոսով

Առաջատար կազմակերպություն՝ Ի. Ջավախիշվիլու անվ. Թբիլիսիի
պետական համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2010թ. փետրվարի 23-ին ժամը 14:00, Երևանի ֆիզիկայի
ինստիտուտում գործող ԲՈՁ-ի 024 մասնագիտական խորհրդում (0036 Երևան, Ալիխանյան ելակայանների
փ. 2):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵրՖԻ-ի գրադարանում
Սեդմազիրն առաքված է 2010թ. հունվարի 20-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական
քարտուղար, ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր  Է. Գազարյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском физическом институте
им. А.И. Аликханяна.

Научный руководитель: кандидат физ.-мат. наук
Г. В. Бадалян (ЕрФИ).

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук,
А. С. Данагулян (ЕГУ).
кандидат физ.-мат. наук
В. С. Погосов (ЕрФИ).

Ведущая организация: Тбилисский государственный
университет им. И. Джавакишвили

Защита состоится 23 февраля 2010 г. в 14:00 ч. на заседании специализированного
совета ВАК 024, действующего в Ереванском физическом институте им. А. И. Аликханяна.
(0036, г. Ереван, ул. Братьев Аликханян, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕрФИ.
Автореферат разослан 20 января 2010г.

Ученый секретарь спец. совета,
доктор физико-математических наук  Գազարյան Է. Դ.

Общая характеристика работы

В настоящей работе впервые получены и проведен анализ экспериментальных данных по
образованию фрагментов ($4 \leq Z_F \leq 10$) под углами 50, 90, и 120 °, при взаимодействии
электронов с энергией 1.5- 4.5 ГэВ с ядрами ^{197}Au . Измерения исследуемой реакции проводились
на внутреннем пучке Ереванского синхротрона.

Актуальность темы: Несмотря на то, что проблема образования фрагментов промежуточной
массы (ФПМ: $3 \leq Z_F \leq 20$) при взаимодействии энергичных налетающих частиц с ядрами,
является предметом интенсивного экспериментального и теоретического изучения на
протяжении последних ~ 30-и лет, она остается актуальной по настоящее время. Интерес к
изучению этой проблемы обусловлен тем, что характерные особенностями образования ФПМ
такие как, например, степенная зависимость массовых или зарядовых распределений, $\sigma \propto A(Z)^T$,
множественный характер образования этих фрагментов, при достаточно высоких энергиях
возбуждения ($E^* > 3$ МэВ/нуклон), указывают на возможность осуществления в возбужденной
ядерной материи фазового перехода жидкость-газ [1-5]. Хотя за этот период времени и был
достигнут определенный успех в понимании процессов, приводящих к фрагментации ядер,
однако вопросы, связанные с механизмом образования и определением источника испускания
ФПМ, все еще требуют дальнейшего изучения. В настоящее время большое внимание уделяется
изучению образования ФПМ в реакциях инициированных легкими налетающими частицами,
использование которых дает ряд преимуществ:

- фрагменты испускаются только из источника, связанного с ядром-мишенью;
- чисто тепловое возбуждение ядра в столкновениях с такими частицами дает возможность
применения термодинамических подходов для интерпретации получаемых результатов (в этом
случае динамические эффекты, обусловленные сжатием, вращением и деформацией ядра
пренебрежимо малы).

Одним из примеров успешного использования легких налетающих частиц является недавно
проведенный «ISIS» коллаборацией эксперимент по образованию ФПМ в реакции $8.0 \text{ ГэВ}/c \pi^- +$
 ^{197}Au . Результатом этого эксперимента было обнаружение различных масштабных законов в
выходе ФПМ [6-8]. Эти масштабные законы, в частности тепловой скейлинг, проявляющий
свойства присущие капельной модели Фишера [10], рассматриваются в качестве веского довода в
пользу осуществления фазового перехода жидкость-газ в возбужденной ядерной материи [6-8].
Свойства теплового скейлинга, согласующегося с капельной моделью Фишера, как было недавно
показано, также проявляются в выходе ФПМ из компаунд-ядер при низких энергиях
возбуждения [8]. Другие интересные результаты по тепловой мультифрагментации ядер были,
например, получены коллаборацией «FAZA» при изучении реакции $8 \text{ ГэВ } p + \text{Au}$. Образование
ФПМ в этой реакции связывается с фазовым переходом жидкость-туман, происходящим через
спинодальный развал возбужденной ядерной материи [9]. Эти примеры показывают
перспективность изучения тепловых аспектов ядерной фрагментации с использованием
релятивистских легких налетающих частиц. В связи с этим, следует отметить, что энергичные
электроны также хорошо подходят для проведения таких исследований. Изучение образования
ФПМ, в реакциях инициированных энергичными электронами, дает дополнительную
информацию, необходимую для понимания процессов ядерной фрагментации. К сожалению, по
настоящее время, имеется очень мало экспериментальных и теоретических работ по образованию
ФПМ энергичными электронами. Поэтому тема настоящей диссертационной работы,
посвященной образованию фрагментов ($4 \leq Z_F \leq 10$) на ядрах ^{197}Au электронами с энергией 1.5-
4.5 ГэВ, является актуальной.

Цель работы:

- Получение энергетических спектров, дифференциальных, $d\sigma/d\Omega$, и оценка полных сечений образования фрагментов ($4 \leq Z_F \leq 10$) в исследуемой реакции.
- Анализ энергетических спектров измеренных фрагментов, для выяснения источника их испускания, определение его размера, скорости и температуры, а также зависимости этих величин от энергии налетающих электронов.
- Анализ угловых, энергетических и зарядовых распределений измеренных фрагментов, включая сравнение с соответствующими распределениями, полученными на протонных и ионных пучках.
- Анализ полученных выходов измеренных фрагментов, для выявления признаков, указывающих на возможность их образования в исследуемой реакции через механизм фазового перехода жидкость-газ.

Научная новизна работы:

Впервые получены и проведен анализ экспериментальных данных по образованию фрагментов ($4 \leq Z_F \leq 10$) под углами 50° , 90° and 120° на ядрах ^{197}Au электронами с энергией 1.5-4.5 ГэВ:

1. Получены энергетические спектры измеренных фрагментов и показано: (а) фрагменты изотропно испускаются из движущегося в ядре источника, который существенно меньше ядра-мишени; (б) скорость и размер источника, в диапазоне энергий электронов 1.5-4.5 ГэВ, соответственно, равны: $\beta \sim 0.01-0.015$, $A \sim 50$ нукл.
2. Получены дифференциальные, $d\sigma/d\Omega$, и оценены полные сечения образования измеренных фрагментов и показано: (а) сечения значительно меньше ($\sim 10^{-4}$) соответствующих сечений, полученных на протонных пучках; (б) угловые и энергетические распределения фрагментов, находятся в качественном согласии с результатами, полученными на протонных и ионных пучках.
3. Показано наличие корреляции между выходами измеренных фрагментов и их кулоновскими энергиями, на основе которой определена температура источника испускания фрагментов $T \sim 6.3-7.7$ МэВ, в диапазоне энергий налетающих электронов 1.5-4.5 ГэВ, соответственно.
4. Показано проявление теплового скейлинга в выходах измеренных фрагментов, согласующегося с капельной моделью Фишера. Из анализа этого скейлинга, а также полученных зарядовых распределений фрагментов, определены значения для: (а) коэффициента поверхностной энергии при нулевой температуре, $c_0 = 11.8 \pm 0.8$ МэВ; (б) критического показателя, $\sigma = 0.56 \pm 0.03$ и (в) получена оценка критической температуры, $T_c \sim 18$ МэВ, которые находятся в диапазоне принятых значений, цитируемых в литературе.
5. Показано, что возможность интерпретации выходов фрагментов, в рамках капельной модели Фишера, с получением результатов, находящихся в диапазоне принятых значений, является существенным доводом в пользу образования измеренных фрагментов в исследуемой реакции через механизм фазового перехода жидкость-газ.

Практическая ценность работы.

Полученные в работе результаты и предложенный способ определения параметров (скорости, размера и температуры) источника испускания фрагментов могут быть использованы в других исследованиях, связанных с фрагментацией ядер

Основные положения выносимые на защиту:

1. Получение и анализ энергетических спектров фрагментов ($4 \leq Z_F \leq 10$), включая выяснение источника их испускания; определение размера и скорости источника, а также зависимости этих величин от энергии налетающих электронов.
2. Получение дифференциальных $d\sigma/d\Omega$ и оценка полных сечений образования измеренных фрагментов, а также анализ их угловых, энергетических и зарядовых распределений, включая сравнение с результатами, полученными на протонных и ионных пучках.
3. Определение температуры источника испускания измеренных фрагментов, основываясь на выявленной корреляции между выходами фрагментов и их кулоновскими энергиями.
4. Анализ теплового скейлинга и зарядовых распределений фрагментов в рамках капельной модели Фишера, включая определение значений для коэффициента поверхностной энергии при нулевой температуре, c_0 , критического показателя, σ , и получение оценки ядерной критической температуры, T_c .
5. Обоснование возможности образования измеренных фрагментов в исследуемой реакции через механизм фазового перехода жидкость-газ.

Личный вклад автора.

1. Участвовал в создании экспериментальной установки и во всех сеансах измерений исследуемой реакции, а также в обработке полученных экспериментальных данных.
2. Провел физический анализ полученных данных, в результате которого было показано, что измеренные фрагменты в исследуемой реакции изотропно испускаются из движущегося в ядре источника, размер которого существенно меньше (~ 50 нукл.) ядра-мишени, и предложено: (а) определение скорости источника из совместного по измеренным углам фита энергетических спектров фрагментов; (б) определение размера источника из совместного фита энергетических спектров как по измеренным углам, так и фрагментам; (в) определение температуры источника из выявленной им корреляции между выходами фрагментов и их кулоновскими энергиями; (г) обоснование возможности образования фрагментов в исследуемой реакции через механизм фазового перехода жидкость-газ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы, содержащего 68 наименований. Работа изложена на 87 страницах, включая 32 рисунка.

Апробация работы Результаты работы докладывались на научных семинарах отдела экспериментальной физики Ереванского физического института.

Публикации По материалам диссертации опубликованы 3 работы, список которых приведен в конце автореферата.

Содержание работы

Во Введении показывается, что изучение проблемы образования фрагментов промежуточной массы (ФПМ) при взаимодействии энергичных частиц с ядрами является актуальным

направлением исследований в современной ядерной физике. В этих исследованиях, из за ряда преимуществ, большое внимание в последние годы уделяется использованию легких налетающих частиц. Отмечается актуальность темы диссертации, основанная на том, что энергичные электроны, как и другие легкие релятивистские частицы, хорошо подходят для изучения тепловых аспектов ядерной фрагментации и их использование дает дополнительную информацию, необходимую для понимания процессов, приводящих к образованию ФПМ.

В главе 1 дан краткий обзор экспериментальных и теоретических работ по образованию ФПМ на ядрах, включая краткое рассмотрение некоторых теоретических моделей, широко применяемых в последние годы для интерпретации экспериментальных данных по ядерной фрагментации. Наибольшее внимание уделено модели ядерного фазового перехода жидкость-газ, в частности, капельной модели Фишера, в рамках которой проводится анализ выходов фрагментов в исследуемой реакции.

В главе 2 кратко описана экспериментальная установка, которая использовалась в измерениях исследуемой реакции на внутреннем пучке Ереванского синхротрона. В качестве мишени использовалась тонкая ($\sim 3 \text{ mg/cm}^2$) пленка из золота. Идентификация фрагментов осуществлялась полупроводниковыми $\Delta E-E-A$ телескопами, обеспечивающими четкое разделение фрагментов по заряду вплоть до $Z_F = 10$. Диапазон измеренных кинетических энергий фрагментов составлял $\sim 2-7$ МэВ/нуклон. Мониторингирование электронов осуществлялось при помощи гаусс-квантометра, который регистрировал тормозные γ -кванты, выходящие из мишени во время измерений.

В главе 3 рассматривается: (а) получение и анализ энергетических спектров фрагментов ($4 \leq Z_F \leq 10$), включая выяснение источника испускания этих фрагментов и определение его размера и скорости; (б) получение дифференциальных, $d^2\sigma/d\Omega dE_i$, и оценка полных сечений образования измеренных фрагментов, а также анализ их угловых и энергетических распределений.

Рис.1 иллюстрирует типичные энергетические спектры фрагментов, которые для угла 90° и энергии налетающих электронов $4,5 \text{ ГэВ}$ показаны как с использованием (Рис.1а), так и без использования (Рис.1б) масштабных коэффициентов, показанных на рисунке.

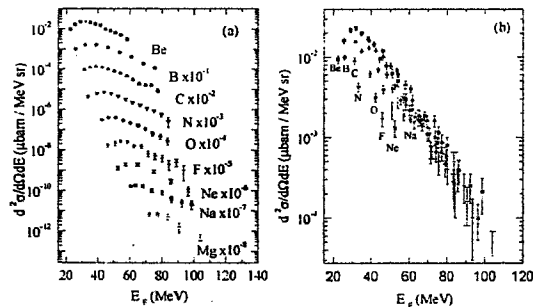


Рис.1. Энергетические спектры фрагментов под углом 90° при энергии электронов $4,5 \text{ ГэВ}$: (а) спектры показаны с использованием масштабных коэффициентов, (б) спектры показаны без использования этих коэффициентов.

Как видно из Рис.1(а), спектры имеют типичную форму Максвелл-Больцмановского распределения по кинетическим энергиям с широкими максимумами и экспоненциально спадающими хвостовыми частями, а из рис.1 (б) видно перекрытие хвостовых частей спектров разных фрагментов, которое анализируется в главе 4. На Рис.2 показана типичная угловая зависимость полученных спектров. Анализ угловой зависимости полученных спектров,

проведенный с использованием диаграмм для инвариантных сечений $(d^2\sigma/d\Omega dE) / p = f(v_{\parallel}, v_{\perp})$, где p - импульс фрагмента, а v_{\parallel} и v_{\perp} - продольная и поперечная компоненты скорости фрагмента, указывает на изотропное испускание измеренных фрагментов из некоторого движущегося источника [11]. Основываясь на этом, было сделано предположение о возможности аппроксимации спектров каждого фрагмента под измеренными углами общим выражением и определения из этой аппроксимации параметров этого источника [12].

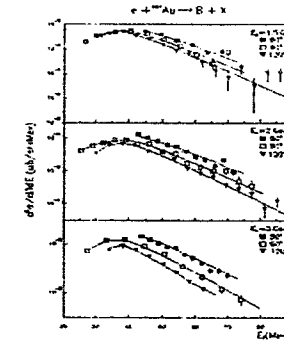


Рис.2. Угловая зависимость энергетических спектров бора при энергии электронов $1,5-3 \text{ ГэВ}$.

С этой целью был проведен совместный по углам фит энергетических спектров каждого фрагмента выражением Максвелл-Больцмановского-типа [12]

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega dE_i} = \frac{N v^{3/2}}{2(\pi T)^{3/2}} \frac{1}{2\Delta} \int_{E_i-\Delta}^{E_i+\Delta} (E_i - k B)^{1/2} \exp\left(-\frac{E_i v}{T}\right) dk \quad (1)$$

$$E^* = E_i - k B + m_f \beta^2 / 2 - 2[(m_f \beta^2 / 2) \cdot (E_i - k B)]^{1/2} \cos \theta,$$

где N - нормировочная константа; E_i и E^* - кинетические энергии фрагментов в лабораторной системе и в системе источника, соответственно; T - параметр наклона спектров; B - номинальный кулоновский барьер; k и Δ - доля и размытие кулоновского барьера, соответственно; $\beta = v/c$ - скорость источника; m_f - масса фрагмента; $v = A_S / (A_S - A_F)$ - коэффициент, учитывающий отдачу фрагмента; θ - угол испускания фрагмента в лабораторной системе.

Из этих фитов было получено: (а) скорость источника $\beta = v/c$ не зависит от заряда фрагмента и в диапазоне энергий налетающих электронов $1,5-4,5 \text{ ГэВ}$, возрастает от $\sim 0,01$ до $\sim 0,015$; (б) наклоны спектров линейно уменьшаются с возрастанием заряда фрагмента. Полученные результаты указывают, на возможность испускания всех измеренных фрагментов (при заданной энергии электронов) из общего источника. Учитывая это, для каждой энергии, был проведен совместный фит спектров как по измеренным углам, так и по фрагментам [12], из которого было получено: (а) измеренные фрагменты в исследуемой реакции испускаются из общего источника: (б) размер источника существенно меньше (~ 50 нукл.) размера ядра-мишени и, в пределах ошибок, не зависит от энергии налетающих электронов.

Используя полученные параметры источника, из индивидуальной аппроксимации спектров, были определены дифференциальные, $d^2\sigma/d\Omega$, сечения образования измеренных фрагментов, которые: (а) \sim на 4 порядка меньше соответствующих сечений, полученных на протонных пучках;

(б) экспоненциально уменьшаются с ростом угла испускания фрагментов. Анализ угловых и энергетических распределений измеренных фрагментов показал качественное согласие с соответствующими распределениями, полученными на протонных и ионных пучках. Используя экспоненциальную угловую зависимость полученных $d\sigma/d\Omega$ сечений, были оценены полные сечения образования измеренных фрагментов в исследуемой реакции и их зависимость от энергии налетающих электронов, которая показана на рис. 3.

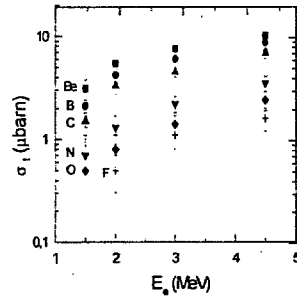


Рис.3. Зависимость полных сечений образования измеренных фрагментов, σ_t , от энергии

В главе 4 проведен анализ полученных энергетических спектров и выходов фрагментов, с целью выявления признаков, указывающих на механизм образования измеренных фрагментов в исследуемой реакции. Анализ начинается с рассмотрения перекрытия хвостовых частей спектров в лабораторной системе (рис.1б). Видно, что это перекрытие начинается сразу за максимумами спектров, которые экспоненциально падают с ростом заряда фрагмента. Следует отметить, что подобное перекрытие спектров фрагментов (C – Ar) ранее наблюдалось в работе Poskanzer et al. [15]. Для выяснения причины этого перекрытия было проведено преобразование полученных спектров из лабораторной системы в систему источника, причем кулоновские энергии, предполагая тепловой характер испускания, вычитались из кинетических энергий фрагментов [12]. Рис.4 иллюстрирует результат такого преобразования спектров, показанных на рис.1 (б).

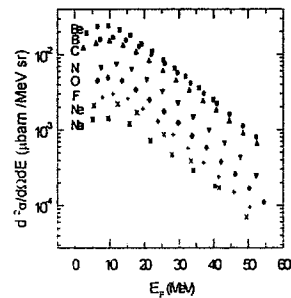


Рис. 4. Энергетические спектры фрагментов Be-Na, после преобразования из лабораторной системы (рис.1 б) в систему источника.

Как видно из рис.4, в системе источника отсутствует перекрытие спектров ($Z_F > 5$). спектры идентичны по форме, а максимумы находятся почти при одной и той же кинетической энергии.

Такой характер спектров типичен для испускания фрагментов из общего нагретого источника. Из сравнений спектров в лабораторной системе и в системе источника было сделано предположение [13,14], что перекрытие спектров в лабораторной системе обусловлено наличием корреляции между выходами (сечениями) фрагментов и их кулоновскими энергиями. На рис.5 для угла 90° , показаны полученные зависимости выходов (сечений) фрагментов от их кулоновских энергий.

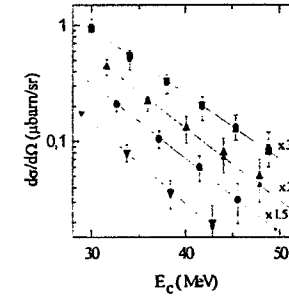


Рис. 5. Зависимость выходов (сечений) фрагментов ($Z_F > 5$, $\theta = 90^\circ$) от соответствующих кулоновских энергий: (■) $E_e = 4.5$ ГэВ, сечения фрагментов (C – Na) умножены на 3; (▲) $E_e = 3$ ГэВ, сечения (C – Ne) x 2; (●) $E_e = 2$ ГэВ, сечения (C – F) x на 1.5; (▼) $E_e = 1.5$ ГэВ, сечения (C – O). Сплошными линиями показаны результаты фита, описанного в тексте.

Как видно из рис. 5, наблюдается экспоненциальный спад сечений с возрастанием кулоновских энергий. Эти зависимости фитировались выражением $d\sigma/d\Omega = N \exp(-E_c / T_s)$, где N – нормировочная константа, E_c – кулоновская энергия фрагмента и T_s – свободный параметр. Из фитов были получены значения для T_s , которые в диапазоне энергий налетающих электронов 1.5- 4.5 ГэВ возрастают от ~ 6.3 до ~ 7.7 МэВ. Анализ полученных значений для T_s указывает на возможность принятия этого параметра в качестве температуры источника испускания измеренных фрагментов [13]. Основываясь на этом, были построены зависимости логарифма выхода фрагмента от обратной температуры $1/T$ [6-8, 13], которые для фрагментов C, N, O и F показаны на рис. 6.

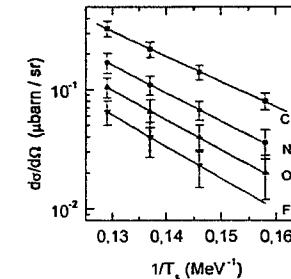


Рис. 6 Зависимость выходов фрагментов C, N, O, F под углом 90° от обратной температуры для энергий налетающих электронов: (▼) $E_e = 1.5$ ГэВ; (▲) $E_e = 2$ ГэВ; (●) $E_e = 3$ ГэВ; (■) $E_e = 4.5$ ГэВ. Сплошными линиями показаны результаты фита, описанного в тексте.

Как видно из рис. 6, наблюдается линейный спад логарифма выхода фрагмента с ростом обратной температуры $1/T_s$, что является характерным признаком теплового скейлинга.

Тепловой скейлинг отражает тот факт, что средний выход фрагмента в зависимости от температуры ведет себя как бoльцмановский множитель: $\langle Y \rangle \propto \exp(-B/T)$, где B – барьер испускания фрагмента [6-8]. Тепловой скейлинг присущ капельной модели Фишера [10], согласно которой выход фрагмента с числом нуклонов A дается выражением [7],

$$Y(A) = Y_0 A^{-\tau} \exp(A \Delta\mu/T - c A^\sigma/T), \quad (2)$$

где Y_0 – нормировочная константа, τ – критический показатель Фишера; T – температура фрагментирующей системы; $\Delta\mu = \mu_g - \mu_l$ – разность химических потенциалов газовой и жидкой фаз; c – плотность свободной поверхностной энергии фрагмента, зависящая от температуры; σ – критический показатель, характеризующий отношение размерности поверхности к размерности объема.

В области сосуществования фаз ($\Delta\mu = 0$), при параметризации $c = c_0 (1 - T/T_c)$ [7], где c_0 – коэффициент поверхностной энергии при температуре $T = 0$, а T_c – критическая температура, выражение (2), для заданного фрагмента, принимает вид, характерный для теплового скейлинга

$$Y(A) \propto \exp(-c_0 A^\sigma/T), \quad (3)$$

где $B = c_0 A^\sigma$ – “барьер” выхода фрагмента.

Анализ теплового скейлинга (рис.6) и зарядовых распределений измеренных фрагментов проводился в рамках капельной модели Фишера и были получены значения для:

(а) коэффициента поверхностной энергии при нулевой температуре, $c_0 = 11.8 \pm 0.8$ МэВ;

(б) критического показателя $\sigma = 0.56 \pm 0.03$; (в) оценка критической температуры $T_c \sim 18$ МэВ.

Полученные результаты находятся в диапазоне принятых значений, цитируемых в литературе [6, 7]. Используя полученную оценку $T_c \sim 18$ МэВ, были определены значения для параметра $\varepsilon = (1 - T/T_c)$, характеризующего меру удаленности фрагментирующей системы от критической точки, и была построена зависимость приведенных выходов (сечений) фрагментов $d\sigma/d\Omega/A^\tau$ от приведенной температуры, A^σ/T [6-8], показанная для угла 90° на рис.7. Как видно из рисунка, приведенные выходы для всех фрагментов ($Z_F > 5$) и энергий налетающих электронов (1.5-4.5 ГэВ), в зависимости от значений приведенной температуры, лежат на одной прямой, в соответствии с капельной моделью Фишера [10] для фазового перехода жидкость-газ.

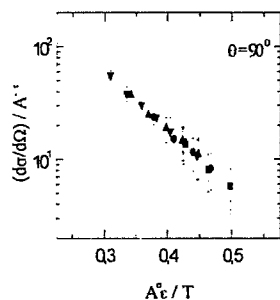


Рис. 7. Зависимость приведенных сечений образования фрагментов ($Z_F > 5$, $\theta = 90^\circ$, $E_e = 1.5, 2, 3$ и 4.5 ГэВ) от соответствующих значений приведенной температуры: (■) $E_e = 1.5$ ГэВ; (●) $E_e = 2$ ГэВ; (▲) $E_e = 3$ ГэВ; (▼) $E_e = 4.5$ ГэВ.

Выводы:

Впервые получены и проведен анализ экспериментальных данных по образованию фрагментов ($4 \leq Z_F \leq 10$) под углами $50^\circ, 90^\circ$ и 120° на ядрах ^{197}Au электронами с энергией 1.5-4.5 ГэВ:

1. Получены энергетические спектры, дифференциальные, $d\sigma/d\Omega$, и оценены полные сечения образования измеренных фрагментов в исследуемой реакции, анализ которых показал, что измеренные фрагменты изотропно испускаются из движущегося ($\beta = \sim 0.01 - 0.015$) в ядре источника, который существенно меньше ($A \sim 50$ нукл.) ядра-мишени; угловые и энергетические распределения фрагментов находятся в качественном согласии с соответствующими результатами, полученными на протонных ионных пучках; абсолютные сечения \sim на 4 порядка меньше соответствующих сечений, полученных на протонных пучках [9,12].

2. Выявлена корреляция между выходами фрагментов и их кулоновскими энергиями, на основе которой определена температура источника испускания фрагментов $T \sim 6.3 - 7.7$ МэВ, в исследуемом диапазоне энергий налетающих электронов 1.5-4.5 ГэВ, соответственно [13].

3. Показано, что в выходах измеренных фрагментов наблюдается тепловой скейлинг, согласующийся с капельной моделью Фишера. Из анализа теплового скейлинга а также полученных зарядовых распределений фрагментов, проведенного в рамках капельной модели Фишера, определены значения для коэффициента поверхностной энергии при нулевой температуре, $c_0 = 11.8 \pm 0.8$ МэВ, критического показателя, $\sigma = 0.56 \pm 0.03$, и получена оценка критической температуры, $T_c \sim 18$ МэВ. Полученные результаты находятся в диапазоне принятых значений, цитируемых в литературе. [6-9, 13].

4. Показано, что возможность интерпретации выходов фрагментов, в рамках капельной модели Фишера, с получением результатов, находящихся в диапазоне принятых значений, является существенным доводом в пользу образования измеренных фрагментов в исследуемой реакции через механизм фазового перехода жидкость-газ [6-9, 13].

Результаты диссертации опубликованы в работах:

1 G. E. Markaryan, “Some indications of liquid-gas phase transitions in electron-induced fragmentation of ^{197}Au nuclei” Fizika B (Zagreb) 16 (2007) 49.

2. G. E. Markaryan, G. M. Aivazyan, H. V. Badalyan, D. M. Beglaryan and H. G. Zohrabyan, “Intermediate-mass fragment ($4 \leq Z_F \leq 10$) emission in reaction induced on ^{197}Au nuclei by 1.5-4.5 GeV electrons”, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 25 (1999) L101.

3 Г. Е. Маркарян, Г. В. Бадалян, Д. М. Бегларян “Проявление признаков фазового перехода жидкость-газ при электрообразовании фрагментов на ядрах ^{197}Au ”, Известия НАН Армении, Физика 40 (2005) 335.

Цитируемая литература:

[1] A. S. Hirsh, A. Bujak, J. E. Finn, L. J. Gutay, R. W. Minich, N. T. Porile, R. P. Sharenberg and B. C. Stringfellow, “Experimental results from high energy proton-nucleus interactions, critical phenomena, and the thermal liquid drop model of fragment production” Phys. Rev. C 29 (1984) 508.

- [2] M. Mahi et al., "Energy dependence of proton-induced xenon fragmentation and the approach to liquid-gas criticality in nuclear matter", Phys. Rev. Lett. **60** (1988) 1936.
- [3] N. T. Porile et al., "Approach to criticality in the fragmentation of xenon by 1-19 GeV protons" Phys. Rev. C **39** (1989) 1914.
- [4] A. L. Goodman, J. I. Kapusta and A. Z. Mekjian, "Liquid-gas phase instabilities and droplet formation in nuclear reactions", Phys. Rev. C **30** (1984) 851.
- [5] A. D. Panagiotou, M. W. Curtin, H. Toki, and D. K. Scott, "Experimental evidence for a liquid-gas phase transition in nuclear systems", Phys. Rev. Lett. **52** (1984) 496.
- [6] J. B. Elliott et al., "Nuclear multifragmentation, percolation, and the Fisher droplet model: common features of reducibility and thermal scaling", Phys. Rev. Lett. **85** (2000) 119.
- [7] J. B. Elliott et al., "Liquid to vapor phase transition in excited nuclei", Phys. Rev. Lett. **88** (2002) 042701.
- [8] V. E. Viola, "The nuclear liquid-gas phase transition: Q. E. D", Nucl. Phys. A **734** (2004) 520.
- [9] V.A. Karnaukhov et al., "Multifragmentation and nuclear phase transitions (liquid-fog and liquid-gas) Nucl. Phys. A **734** (2004) 520.
- [10] M. E. Fisher, Physics (N.Y.) **3** (1967) 255.
- [11] G. E. Markaryan, G. M. Aivazyan, H. V. Badalyan, D. M. Beglaryan, and H. G. Zohrabyan, "Source of intermediate-mass fragment ($4 \leq Z_f \leq 10$) emission in interactions of 3 GeV electrons with ^{197}Au nuclei", Preprint YerPhI-143(1) (1995).
- [12] G. E. Markaryan, G. M. Aivazyan, H. V. Badalyan, D. M. Beglaryan and H. G. Zohrabyan, "Intermediate-mass fragment ($4 \leq Z_f \leq 10$) emission in reaction induced on ^{197}Au nuclei by 1.5-4.5 GeV electrons", J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **25** (1999) L101.
- [13] G. E. Markaryan, "Some indications of liquid-gas phase transitions in electron-induced fragmentation of ^{197}Au nuclei" Fizika B (Zagreb) **16** (2007) 49.
- [14] Г. Е. Маркарян, Г. В. Бадалян, Д. М. Бегларян "Проявление признаков фазового перехода жидкость-газ при электрообразовании фрагментов на ядрах ^{197}Au ", Известия НАН Армении, Физика **40** (2005) 335.
- [15] A. M. Poskanzer, G. W. Butler and E. K. Hide, "Fragment production in the interaction of 5.5 GeV protons with uranium", Phys. Rev. C **3** (1971) 882.

Անփոփում

Ատենախոսության մեջ առաջին անգամ ստացվել են փորձարարական տվյալներ ^{197}Au միջուկի վրա 50° , 90° և 120° անկյունների տակ 1.5-4.5 ԳէՎ էներգիայի էլեկտրոններով ($4 \leq Z_f \leq 10$) ֆրագմենտների ծնման վերաբերյալ և կատարվել է նրանց վերլուծությունը: Ուսումնասիրվող ռեակցիայի չափումները կատարվել են Երևանյան սինխրոտրոնի ներքին փնջի վրա, ֆրագմենտների նույնացման համար, օգտագործելով $\Delta E-E-A$ կիսահաղորդիչային դետեկտորների մեթոդիկան, իսկ ընկնող էլեկտրոնների մոնիտորացման համար Գաուս-քվանտոմետրը: Չափված ֆրագմենտների համար ստացվել են էներգետիկ սպեկտրները, $d^2\Omega/d\Omega$ անկյունային կախումները և գնահատված են ծնման լրիվ էֆեկտիվ կտրվածքները: էներգետիկ սպեկտրների վերլուծությունը ցույց տվեց, որ ֆրագմենտները իզոտրոպ արձակվում են միջուկի մեջ շարժվող աղբյուրից, որն էապես փոքր է թիրախային միջուկից: Ընկնող էլեկտրոնների ուսումնասիրվող էներգետիկ տիրույթում որոշված են այդ աղբյուրի արագությունը և չափսերը: Ստացված կտրվածքների վերլուծությունը ցույց տվեց, որ նրանք մոտ 4 կարգով փոքր են համապատասխան կտրվածքներից՝ ստացված պրոտոնային փնջերի վրա, իսկ ֆրագմենտների անկյունային և էներգետիկ բաշխումները որակապես համաձայնվում են պրոտոնային և իոնային փնջերի վրա ստացած արդյունքների հետ: Ցույց է տրված ֆրագմենտների էլքերի և նրանց կուլոնյան էներգիաների միջև կորելյացիայի առկայությունը, որի հիման վրա որոշվել է չափված ֆրագմենտները արձակող աղբյուրի ջերմաստիճանը: Ցույց է տրված ֆրագմենտների էլքերում ջերմային սկեյլինգի դրսևորում, որը համաձայնվում է Ֆիշերի կաթիլային մոդելի հետ: Այդ սկեյլինգի, ինչպես նաև ֆրագմենտների ստացված լիցքային բաշխումների Ֆիշերի կաթիլային մոդելի շրջանակներում անցկացված վերլուծությունից որոշվել են գոյական ջերմաստիճանում մակերևութային էներգիայի գործակցի՝ c_0 , կրիտիկական ցուցչի՝ σ արժեքները, գնահատվել է նաև T_c կրիտիկական ջերմաստիճանը, որոնք ընկած են գրականության մեջ հիշատակվող ընդունված արժեքների տիրույթում: Ցույց է տրված, որ ֆրագմենտների էլքերի մեկնաբանման հնարավորությունը Ֆիշերի կաթիլային մոդելի շրջանակներում, որի ժամանակ ստացվել են գրականության մեջ ընդունված արժեքների տիրույթում գտնվող արդյունքներ, հանդիսանում է էական փաստարկ ի օգուտ այն բանի, որ չափված ֆրագմենտների առաջացումը, հետազոտվող ռեակցիայում կատարվում է հեղուկ-գազ փուլային անցման մեխանիզմով: