

ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ЛИХАЧЁВ ВЛАДИМИР ПЕТРОВИЧ



КВАЗИПРЯМЫЕ И РЕЗОНАНСНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ
РАСЩЕПЛЕНИЯ АТОМНОГО ЯДРА

01.04.16 - физика ядра и элементарных частиц

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Харьков - 1993

Работа выполнена в Харьковском физико-техническом институте

Официальные оппоненты/ доктор физико-математических наук
Шевченко Николай Гаврилович
ННЦ ХФТИ, г. Харьков

доктор физико-математических наук
Трубников Сергей Викторович
ХГУ, г. Харьков

доктор физико-математических наук
Копанец Евгений Григорьевич
ХИСИ, г. Харьков

Ведущая организация: Институт ядерных исследований
АН Украины, г. Киев.

Защита состоится "5" ноября 1993 г.
в 15⁰⁰ часов на заседании Специализированного учёного совета
Д 053.06.01 при Харьковском государственном университете
по адресу: ЗІОІОВ, Харьков-ІОВ, пр. Курчатова, 31, ауд. 301.
С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной
библиотеке ХГУ.

Автореферат разослан "1" октября 1993 г.

Ученый секретарь Специализированного учёного совета
доктор физико-математических наук *А.А. Азаренков* Н.А. Азаренков

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00802726 (P)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ.

Создание линейных ускорителей электронов стимулировало развитие исследований структуры атомного ядра и динамики процессов возбуждения и распада. Однако, на линейных ускорителях эффективно проводились только эксперименты, основанные на регистрации частиц в фокальной плоскости магнитных спектрометров, тогда как целый класс информативных экспериментов, связанных с регистрацией продуктов фото- и электроядерных реакций в условиях прямой видимости мишени детекторами, был ранее не освоен из-за специфических фоновых условий, обусловленных импульсным характером пучка. Развитие таких экспериментов позволяет достичь большие телесные углы регистрации, точную временную привязку событий, низкий энергетический порог, высокую скорость набора информации и, тем самым, исследовать ряд актуальных вопросов ядерной физики.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИИ.

- Установление механизмов и мультипольной структуры реакций фото- и электрорасщепления ядер.
- Изучение кластерных компонентов волновой функции основного состояния легких ядер.

- Апробация теоретических концепций: учет мезонных обменных токов по теореме Зигерта, влияние антисимметризации волновой функции ядра на индивидуальные характеристики кластеров, учет эффектов взаимодействия в конечном состоянии в градиентно-инвариантной модели, влияние деструктивной интерференции волн в конечном состоянии на сечение и Σ -асимметрию.

- Извлечение фундаментальных ядерных величин: вершинные константы и т. д.

- Отбор различных версий модели ядра.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ.

Создана экспериментальная методика, позволяющая регистрировать фрагменты расщепления ядра в условиях прямой видимости мишени на ускорителях электронов с большой скважностью пучка.

Выполнены комплексные экспериментальные исследования вклада квазипрямых и резонансных (E_1, E_2) процессов в сечение расщепления на фрагменты широкого круга ядер, начиная от лития и заканчивая ураном.

Сформулированы требования и предложено использовать для изучения E_2 резонансов реакции с изоспиновой структурой, обеспечивающей запрет E_1 резонансов и, тем самым, усиление E_2 .

Сформулированы требования и предложено использовать для разделения вкладов резонансных и квазипрямых процессов изотопические эффекты в сечениях деления ядер.

В рамках спирального формализма исследована чувствительность Σ -асимметрии реакций фоторасщепления ядер ${}^{6,7}\text{Li}$ на два фрагмента к структуре волновой функции основного состояния и

механизму реакции. Выполнены измерения этой наблюдаемой для реакций $\gamma^6\text{Li} \rightarrow {}^3\text{He} \text{ } ^3\text{H}$ и $\gamma^7\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} \text{ } ^3\text{H}$ в широком диапазоне энергий фотонов.

Показана информативность Σ -асимметрии в околороговой области и эффективность таких исследований на пучках фотонов, полученных при прохождении ультрарелятивистских электронов в плоскости кристалла.

Измерены значения Σ -асимметрии для реакций $\gamma d \rightarrow p, \gamma^3\text{He} \rightarrow p, \gamma^4\text{He} \rightarrow p, \gamma^7\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} \text{ } ^3\text{H}, \gamma^{12}\text{C} \rightarrow {}^4\text{He} \text{ } ^8\text{Be}$ волизи порога.

Систематические исследования расщепления ядра на тяжелые фрагменты в условиях линейных ускорителей электронов стали возможны благодаря созданию методики, основанной на селекции быстрого компонента импульса ППД с последующим амплитудно-временным анализом.

К моменту опубликования работ большинство результатов, изложенных в диссертации, получено впервые.

ЗНАЧИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ.

Совокупность результатов и выводов, изложенных в настоящей диссертации, можно квалифицировать как новое крупное достижение в развитии нового научно-методического направления в экспериментальной ядерной физике: регистрация адронов в условиях прямой видимости детекторами мишени на линейных ускорителях с большой скважностью пучка и исследования с помощью этой методики квазипрямых и резонансных электромагнитных процессов расщепления ядра на два тяжелых фрагмента.

В диссертации представлен и обобщен обширный экспериментальный материал, полученный в единых экспериментальных

условиях. Результаты работы стимулировали ряд новых теоретических разработок, таких как: расчеты Σ -асимметрии в рамках различных версий кластерных моделей легких ядер; развитие ковариантного калибровочно-инвариантного подхода, учитывающего структуру ядра, для описания фоторасщепления легких ядер.

Данные настоящей работы цитируются в теоретических и экспериментальных публикациях, посвященных фото и электрорасщеплению ядер.

ПРАКТИЧЕСКОЕ И НАУЧНОЕ ЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ.

Данные по сечениям электро- и фотообразованию α -частиц на ядрах могут быть использованы в различных прикладных целях, так например в исследованиях по термоядерному синтезу и радиационному материаловедению, реакция $\gamma \text{Li}^6 \rightarrow \text{He}^3 \text{H}^3$ играет фундаментальную роль в космологии.

Экспериментальная методика, основанная на селекции быстрого компонента импульса ППД, может быть использована также на ускорителях с непрерывным пучком при создании 4π - детекторов, особенно при необходимости выделения редких событий в условиях большого физического фона.

Способы измерения эффективной глубины обедненного слоя, парциальной толщины тонких пленок, степени линейной поляризации фотонов носят универсальный характер и могут быть применены в других областях науки и техники.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПОЛОЖЕНИЯ, ВНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ.

1. Экспериментальные данные по сечениям электро и фотообразования α -частиц на ядрах Li, Be, C, Al.

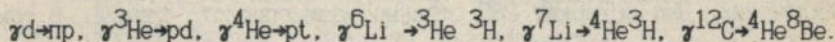
2. Выводы о вкладах E_1 и E_2 мультиполей в процессы электро- и фотообразования α -частиц на ядрах.

3. Метод и результаты измерения констант виртуального α -распада ядер в квазиэксклюзивной постановке эксперимента.

4. Выводы о вкладах E_1 , E_2 резонансов и квазипрямых процессов в электроделение. Метод разделения вкладов гигантских резонансов и квазипрямых процессов, основанный на анализе изотопических различий.

5. Результаты анализа в рамках спирального формализма поведения Σ -асимметрии при фоторасщеплении ядер ${}^6,7\text{Li}$ вблизи порога. Экспериментальную методику исследования Σ -асимметрии вблизи порога реакции с помощью пучков линейно-поляризованных фотонов, образующихся в результате плоскостного каналирования.

6. Экспериментальные данные по Σ -асимметрии реакций:



7. Выводы о доминировании αd -конфигурации в волновой функции основного состояния ядра ${}^6\text{Li}$ и о механизме протекания реакции $\gamma {}^6\text{Li} \rightarrow {}^3\text{He} {}^3\text{H}$ через разрушение α -частичного остова полученные из анализа данных по Σ -асимметрии.

8. Результаты экспериментальных исследований процесса фоторасщепления дейтрона вблизи порога и выводы о роли взаимодействия в конечном состоянии и адекватности выбора волновой функции.

9. Экспериментальную методику регистрации продуктов реакций, основанную на селекции быстрого компонента импульса ППД с последующим амплитудно-временным анализом.

10. Экспериментальное оборудование для измерения степени линейной поляризации фотонов на основе газообразной дейтериевой

АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ.

Материалы диссертации докладывались на международных конференциях, на всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, на сессиях совета по электромагнитным взаимодействиям.

Основные результаты диссертации опубликованы в 48 работах: в журналах "Phys. Lett.", "Ядерная физика", "Письма в ЖЭТФ", "Украинский физический журнал", "Известия академии наук СССР", в сборниках "ВАНТ", препринтах ХФТИ, в трудах конференций.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ ДИССЕРТАЦИИ.

Диссертация состоит из введения, пяти глав основного текста и заключения. Она содержит 285 страниц машинописного текста, в том числе 79 рисунков, 19 таблиц и список цитируемой литературы из 224 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении изложена актуальность проблемы, связанной с исследованием на линейных ускорителях электронов структуры основного состояния ядра и динамики возбуждения-распада в процессах расщепления ядра на тяжелые фрагменты.

Рассмотрено состояние вопроса на момент начала исследований и показано то новое, что вносится в решение поставленных проблем. Изложены основные положения диссертации, выносимые на защиту.

В первой главе описана экспериментальная методика, основанная на использовании для регистрации фрагментов расщепления ядра ППД.

и разработанная специально для работы в фоновых условиях импульсных ускорителей с большой скважностью пучка. Новизна методики заключается в реализации магнитной защиты ППД и селекции импульсов ППД по длительности фронта с последующим быстрым амплитудным и временным анализом. Созданная методика позволила осуществить регистрацию ядерных фрагментов в большом телесном угле (0,1 - 0,5 ср) с энергетическим разрешением ~ 300 КэВ и точностью временной привязки событий 1 нсек [1-5].

Благодаря созданной методике впервые стало возможным на ускорителях с большой скважностью пучка проведение систематических исследований электромагнитных процессов расщепления ядра с регистрацией ядерных фрагментов в условиях прямой видимости мишени.

В процессе создания методики были разработаны и внедрены новые точные методы калибровки энергетической шкалы детектора, основанные на измерении эффективной глубины обедненного слоя ППД [9], способ измерения толщины тонкой мишени [10], способы идентификации двухчастичных реакций и восстановления энергии фотонов [11], способы измерения степени линейной поляризации фотонов [12,13].

Во второй главе изложены результаты экспериментальных исследований электрообразования α -частиц на легких ядрах (^9Be , ^{12}C , ^{27}Al) в инклюзивной постановке эксперимента (регистрировались только α -частицы) [14-18] и эксклюзивной (регистрировались рассеянный электрон и α -частица) [19-21].

В инклюзивной постановке изучались характеристики энергетических спектров α -частиц. Измерения проводились при различных начальных энергиях электронов, что позволило путем

анализа изохромат методом виртуальных фотонов определить мультипольность процесса. Показано, что характер зависимости выхода α -частиц от начальной энергии электронов для ядер ${}^9\text{Be}$ и ${}^{12}\text{C}$ различен. В случае ядра ${}^9\text{Be}$ - близок к дипольному, ядра ${}^{12}\text{C}$ - квадрупольному (рис.1). Причиной этого различия является, вероятно, запрет по изоспину распада E1-резонансов через вылет α -частиц.

Далее, во второй главе описан метод [19] измерения вершинных констант виртуального α -распада основного состояния ядер :

$$|A|^2 \sim \sum_l \gamma_l^2 |f_l(q_\alpha)|^2$$

где A - амплитуда виртуального α -распада, γ_l^2 - вершинная константа, определяющая вероятность α -распада с моментом l , $f_l(q_\alpha)$ - формфакторы. Метод основан на регистрации выбитой α -частицы детектором, перекрывающим основную часть импульсного распределения, в совпадении с рассеянным электроном. Впервые были определены вершинные константы для ядер ${}^9\text{Be}$ и ${}^{12}\text{C}$, являющиеся фундаментальными параметрами, необходимыми для расчетов сечений и других наблюдаемых соответствующих фото- и электропроцессов.

В третьей главе приведены результаты исследования электрорасщепления изотопов урана. В инклюзивной постановке эксперимента (регистрировались только осколки деления) изучались два основных механизма возбуждения ядра, приводящих к делению: гигантские мультипольные резонансы и квазипрямые процессы. Предложен и реализован метод разделения резонансных и квазипрямых процессов [24-25, 27-29], основанный на том, что нерезонансные (квазипрямые) вклады одинаковы для всех изотопов урана (равны сечения возбуждения и делимости), в то время как резонансные

вклады отличаются существенно. Метод заключался в измерении сечений электроделения для различных изотопов урана и сравнительном анализе изотопических различий с привлечением данных по фотосечениям в области гигантских резонансов. Показано, что при начальных энергиях электронов меньше 200 МэВ практически все сечение электроделения формируется областью гигантского дипольного резонанса, а при энергиях 1000-1200 МэВ вклад квазипрямых процессов становится сравнимым с резонансным.

Для исследования вопроса о величине вклада E2-резонансов в сечение электроделения были выполнены специальные измерения сечения электроделения ^{238}U с рекордной абсолютной точностью [30] (3%) и проведен мультипольный анализ, основанный на данных о параметрах гигантских мультипольных резонансов, полученных в (e, e') -экспериментах. Показано, что вклад E2-резонансов в сечение реакции (e, f) составляет несколько процентов (рис. 2).

Более детально E2-резонанс изучался в корреляционном эксперименте, основанном на регистрации в совпадении осколка деления и рассеянного электрона [24, 27]. В выбранных кинематических условиях, оптимальных для возбуждения E2-резонанса, его вклад достигал 40%, что позволило определить делимость: $D = 0,3 \pm 0,06$.

Отдельный параграф посвящен определению делимости для квазипрямых процессов, инициируемых фотонами и протонами. Экспериментальная методика изложена в работах [6-8]. Показано, что делимости для континуума в реакциях $(p, p'f)$ и $(e, e'f)$ могут различаться [31].

В четвертой главе приведены результаты измерений сечений

реакций $\gamma^6\text{Li} \rightarrow {}^3\text{He}^3\text{H}$ и $\gamma^7\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He}^3\text{H}$ выполненных с помощью электронов и неполяризованных фотонов в одноплечевом и двухплечевом экспериментах. Подробно анализируются трудности и неоднозначности, связанные с процедурой извлечения сечений двухчастичного расщепления ядер монохроматическими фотонами $\frac{d\sigma}{d\Omega}(E_\gamma)$ из выходов, инициируемых спектрами виртуальных (электроны) и реальных тормозных фотонов. В результате обработки экспериментальных данных были извлечены значения сечений реакций $\gamma^6\text{Li} \rightarrow {}^3\text{He}^3\text{H}$ и $\gamma^7\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He}^3\text{H}$ в широком диапазоне энергий фотонов (до 85 МэВ) и проведено сравнение с результатами расчетов, выполненных в рамках кластерных моделей. В случае ядра ${}^6\text{Li}$ рассматривалось две модели основного состояния: αd и πt .

Экспериментальные значения сечений при $E_\gamma \approx 50$ МэВ согласуются с расчетами по αd -модели, а при $E_\gamma \approx 50$ МэВ — πt -модели. Однако, во всем диапазоне измерений эксперимент не согласуется ни с одной, ни с другой моделями.

В значительной мере противоречивая ситуация с различными версиями описания основного состояния ядра ${}^6\text{Li}$ стимулировала постановку экспериментов с линейно поляризованными фотонами, описание результатов которых составляет содержание пятой главы.

В начале пятой главы приведены основные характеристики фотонных пучков, используемых в эксперименте и описана экспериментальная методика измерения степени линейной поляризации фотонов, выполненная на основе газовой дейтериевой мишени и ПД. Далее приведены результаты измерений [41,42] Σ -асимметрии и сечений σ_\perp , σ_\parallel для реакции $\gamma d \rightarrow n p$ вблизи порога ($E_\gamma = 4,5-10$ МэВ) выполненные для проверки предсказаний градиентно-инвариантной модели в этой области. Из сравнения эксперимента с

расчетом, выполненным с учетом эффектов перерасеяния в 1S_0 состоянии (эффектов ВКС), видно, что эффекты ВКС в диапазоне $E_\gamma = 4-10$ МэВ наиболее сильно проявляются в σ_\perp и расчет с включением ВКС хорошо описывает эксперимент. Влияние выбора волновой функции дейтрона (ВФД) наиболее сильно проявляется в σ_\parallel и эксперимент хорошо согласуется с расчетом, использующим ВФД с Парижским потенциалом. (рис.3).

В рамках спирального формализма исследована информативность наблюдаемой Σ -асимметрии для реакций $\gamma^6\text{Li} \rightarrow ^3\text{He}^3\text{H}$ и $\gamma^7\text{Li} \rightarrow ^4\text{He}^3\text{H}$. Показано, что в определенных кинематических условиях Σ -асимметрия является величиной критичной к тонким деталям структуры основного состояния ядра. Впервые выполненные измерения Σ -асимметрии реакции $\gamma^6\text{Li} \rightarrow ^3\text{He}^3\text{H}$ [39] свидетельствуют о доминировании конфигурации αd в основном состоянии ядра ^6Li . (рис.4)

Особый интерес представляет изучение поведения Σ -асимметрии реакции $\gamma^7\text{Li} \rightarrow ^4\text{He}^3\text{H}$ вблизи порога. Согласно анализу, проведенному в рамках спирального формализма, а также расчетам по кластерной αt -модели значения Σ -асимметрии при приближении к порогу со стороны больших энергий переходят от положительных значений к отрицательным. При этом энергетическое положение точки пересечения нуля критично к выбору версии модели основного состояния ядра ^7Li . Впервые проведенные измерения Σ -асимметрии реакции $\gamma^7\text{Li} \rightarrow ^4\text{He}^3\text{H}$ [40,44,45] подтвердили, что ход зависимости Σ -асимметрии от E_γ вблизи порога, согласуется с расчетом по αt - модели. (рис.5).

Отдельным параграфом выделены результаты измерений Σ -асимметрии реакций $\gamma^3\text{He} \rightarrow p d$ и $\gamma^4\text{He} \rightarrow p t$ [38] в мягкой части спектра фотонов, где на момент проведения эксперимента такие

данные отсутствовали. Полученные данные могут быть использованы как для отбора ядерных моделей так и для калибровки экспериментов по фоторасщеплению виртуальных кластеров.

В конце главы приведены результаты исследования возможности использования реакции $\gamma \text{ } ^{12}\text{C} \rightarrow \text{}^8\text{Be} \text{}^4\text{He}$ в качестве реакции-поляриметра для абсолютных измерений степени линейной поляризации фотонов. Показано, что данный способ может быть использован на непрерывных пучках электронов в комплексе с системами мечения фотонов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертационной работы могут быть сформулированы следующим образом.

1. На ускорителях ЛУЭ-300 и ЛУЭ-2000 создана экспериментальная методика регистрации заряженных продуктов фото- и электроядерных реакций в условиях импульсного характера фона на линейных ускорителях, основанная на селекции быстрого компонента импульса ППД с последующим быстрым амплитудно-временным анализом. Разработаны схемы идентификации двухчастичных реакций и способы измерения степени линейной поляризации фотонов.

2. Проведены измерения энергетических спектров α -частиц на ядрах ^9Be , ^{12}C , ^{27}Al , в диапазоне $E_\alpha=4-16$ МэВ при начальных энергиях электронов 100 и 225 МэВ. Спектры α - частиц для ядер ^{12}C и ^{27}Al имеют максимумы, расположенные вблизи кулоновского барьера. В спектре для ядра ^9Be в измеренном диапазоне энергий максимум не наблюдается.

3. С целью обнаружения вкладов E2 резонансов в сечение

реакции (e, α) измерены сечения электро- и фотообразования α -частиц на ядрах ${}^9\text{Be}$ и ${}^{12}\text{C}$ при различных энергиях электронов в диапазоне 100–280 МэВ. Сравнение с расчетами по методу виртуальных фотонов показало, что характер зависимости выхода α -частиц для ядер ${}^9\text{Be}$ и ${}^{12}\text{C}$ существенно различен. В случае ядра ${}^9\text{Be}$ – близок к дипольному, ядра ${}^{12}\text{C}$ – квадрупольному. Возможным объяснением этого различия является изотопический запрет на распад E1 резонансов через вылет α -частицы в случае ядра ${}^{12}\text{C}$.

4. Измерены константы α -распада в квазиэксклюзивной постановке эксперимента для ядер ${}^9\text{Be}$ и ${}^{12}\text{C}$. Наблюдается хорошее согласие экспериментальных значений с расчетом по оболочечной модели.

5. Проведены прецизионные измерения инклюзивных сечений электроделения четырех изотопов урана в диапазоне начальных энергий электронов 90–1200 МэВ. Показано, что в диапазоне начальных энергий 90–225 МэВ в сечении реакции (e, f) для изотопов ${}^{233}\text{U}, {}^{235}\text{U}, {}^{236}\text{U}, {}^{238}\text{U}$ доминирует вклад резонансного механизма, а при 1000–1200 МэВ вклады резонансного и квазипрямого механизмов примерно равны. Извлеченный из эксперимента вклад квазипрямых процессов составил при начальных энергиях электронов 1000–1200 МэВ $\sigma = 4,18 \pm 0,21$ мбн, что на 30% меньше расчетного значения (5,6 мбн).

Исследован вклад E2-резонансов в сечение реакции (e, f) . Показано, что для ядра ${}^{238}\text{U}$ в диапазоне начальных энергий электронов 100–225 МэВ он мал ($< 10\%$) и не может объяснить различие между расчетом и экспериментом. Определена делимость E2-резонанса, расположенного при $\omega = 21,6$ МэВ: $D = 0,3 \pm 0,06$, которая оказалось равной делимости дипольных резонансов при $\omega = 14 \pm 23$ МэВ.

А Б. Измерена делимость для области континуума в реакции $(p, p'f)$. Показано, что делимость для реакции $(p, p'f)$ существенно меньше делимости для реакции (γ, f) , что может быть причиной расхождения данных о вкладе E2 резонансов в сечение деления ядра ^{238}U электронами и адронами.

7. На пучках электронов и неполяризованных тормозных фотонов измерены дифференциальные сечения реакции $\gamma^6\text{Li} \rightarrow ^3\text{He} \ ^3\text{H}$ и реакции $\gamma^7\text{Li} \rightarrow ^4\text{He} \ ^3\text{H}$ до $E_\gamma = 90$ МэВ. Показано, что полученные сечения реакции $\gamma^6\text{Li} \rightarrow ^3\text{He} \ ^3\text{H}$ в диапазоне $E_\gamma = 50-80$ МэВ по абсолютной величине близки к результатам расчета, выполненного в рамках πt кластерной модели, но имеют другой ход зависимости от E_γ ("плато" при $E_\gamma = 65-90$ МэВ, что характерно для αd -модели) и в целом не описываются ни первой, ни второй моделями.

8. В рамках спирального формализма исследована информативность наблюдаемой Σ -асимметрия для реакций $\gamma^6,7\text{Li} \rightarrow ^3,4\text{He} \ ^3\text{H}$ при малых E_γ . Показано, что Σ -асимметрия в этом диапазоне энергий чувствительна к структуре ядра.

9. Измерены значения Σ -асимметрии реакций $\gamma d \rightarrow p, \gamma^3\text{He} \rightarrow p, \gamma^4\text{He} \rightarrow p, \gamma^6\text{Li} \rightarrow ^3\text{He} \ ^3\text{H}, \gamma^7\text{Li} \rightarrow ^4\text{He} \ ^3\text{H}$ при малых E_γ . Показано, что взаимодействие в конечном состоянии в случае реакции $\gamma d \rightarrow p$ играет существенную роль только в σ_\perp и экспериментальные значения σ_\perp хорошо согласуются с расчетом, учитывающим перерассеяние в $1S_0$ состоянии. Обнаружены близкие к нулю значения Σ -асимметрии реакции $\gamma^7\text{Li} \rightarrow ^4\text{He} \ ^3\text{H}$ у порога, предсказываемые анализом в рамках спирального формализма и расчетами по αt -модели.

10. Измерены значения Σ -асимметрии реакции $\gamma^6\text{Li} \rightarrow ^3\text{He} \ ^3\text{H}$ в промежуточной области энергий фотонов. Обнаружен провал в зависимости Σ -асимметрии от E_γ , что свидетельствует о

доминировании αd -конфигурации в волновой функции основного состояния ядра ${}^6\text{Li}$ и следовательно, реакция протекает путем разрушения α -частичного остова.

ПУБЛИКАЦИИ.

1. Работа полупроводниковых детекторов в условиях прямой видимости мишени на ускорителях с большой скважностью пучка. - Препринт ХФТИ, ХФТИ 85-21, Москва, ЦНИИатоминформ, 1985. - В. П. Лихачев, И. Г. Евсеев, С. А. Пашук и др.
2. Применение кремниевых полупроводниковых детекторов на линейных ускорителях электронов / В. П. Лихачев, Ю. В. Владимиров, В. М. Деняк, А. А. Немашкало, С. А. Пашук и др. // Тезисы докладов XXXI совещания по ядерной спектроскопии и структуре атом. ядра., Самарканд, 14-16 апреля 1981 г. - Ленинград: Наука, 1981. - с. 438.
3. Применение интегральных схем в наносекундной логике / В. М. Деняк, А. А. Немашкало, Ю. В. Владимиров, В. П. Лихачев // ВАНТ. Сер. Физика выс. энерг. и атомного ядра. - 1974. Вып. 3(12). - с. 64-66.
4. Результаты исследования 22-х канального счетчика электронов с перекрывающимися сцинтилляторами на СП-95 / В. П. Лихачев, Н. Г. Афанасьев, А. А. Немашкало и др. // ВАНТ. Сер. Физика высоких энергий и атом. ядра. 1974. - Вып. 2(13). - с. 45-46.
5. Комплекс многоканальной регистрирующей аппаратуры установки СП-95, работающей в линии с ЭВМ "Днепр-21" / В. П. Лихачев, Н. Г. Афанасьев, Ю. О. Стороженко и др. - Харьков, 1976. - 28 с. - (Препринт / АН УССР. ХФТИ; 76-4).
6. Спектрометр заряженных частиц на базе магнитных элементов транспортировки пучка циклотрона У-240 / В. П. Бадовский,

- Г. П. Палкин, С. М. Хороманский, В. Б. Шостак, В. П. Лихачев // ВАНТ. Сер. Общ. и ядерн. физика. -1981. -Вып. 4(18). -с. 85-86.
7. Экспериментальное изучение реакции $(p, p'p)$ на ядрах ${}^2\text{H}$ и ${}^3\text{H}$. /М. В. Пасечник, В. Б. Шостак, В. П. Бадковский, Г. П. Палкин, В. П. Лихачев и др. // Известия АН СССР. Сер. Физика. -1984. -48,10. -с. 1950-1951.
8. Экспериментальное изучение реакции $(p, p'p)$ на ядре ${}^6\text{Li}$. /М. В. Пасечник, В. Б. Шостак, В. П. Бадковский, Г. П. Палкин, Р. Г. Оффенгенден, С. Б. Кумшаев, В. П. Лихачев // УФЖ. -1988. -33,7. -с. 976-979.
9. Лихачев В. П., Перун Н. В., Владимиров Ю. В. Способ измерения эффективной глубины обедненного слоя полупроводникового детектора ядерных частиц. -Изобретение. - А. С. № 1267910.
10. Способ измерения парциальной толщины тонкой ядерной мишени / В. П. Лихачев, Ю. В. Владимиров, И. Г. Евсеев, В. М. Хвастунов. - Изобретение. - А. С. № 1356712. -приоритет 16.04.1986.
11. Владимиров Ю. В., Лихачев В. П., Хвастунов В. М. Устройство для измерения характеристик бинарных фотоядерных реакций. - Изобретение. - А. С. № 1549351. -приоритет 11.07.1988.
12. Способ определения степени линейной поляризации фотонов /В. П. Лихачев, Ю. В. Владимиров, И. Г. Евсеев и др. - Изобретение. - А. С. № 1407256. -приоритет 30.06.1986.
13. Способ определения степени линейной поляризации квазимонохроматических фотонов / В. П. Лихачев, Ю. В. Владимиров, А. А. Заяц, В. М. Хвастунов. - Изобретение № 1464709. -приоритет 6.07.1987.
14. Энергетические спектры продуктов реакции электрообразования заряженных частиц на ядрах ${}^9\text{Be}$, ${}^{12}\text{C}$ и ${}^{27}\text{Al}$.

- Украинский физический журнал, 29, вып.3, 1984, с.331-335.
- В. П. Лихачев, А. Ю. Буки, И. Г. Евсеев, А. А. Немашкало, С. А. Пашук и др.
15. Электрообразование тяжелых заряженных частиц на ядрах // В. П. Лихачев, А. Ю. Буки, И. Г. Евсеев, и др. // Тезисы докладов XXXI совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Москва, 19-21 апреля 1983 г. - Ленинград: Наука, 1983. - с. 339.
16. Поиск вклада квадрупольных возбуждений в сечение электрообразования α -частиц на ядрах ${}^9\text{Be}$ и ${}^{12}\text{C}$ // Тезисы докладов XXXVI совещания по ядерной спектроскопии и структуре атом. ядра. Харьков, 15-18 апреля 1986 г. - Ленинград: Наука, 1986. - с. 351.
17. Вклад квадрупольных возбуждений в сечение электрообразования гелия на ядрах ${}^9\text{Be}$ и ${}^{12}\text{C}$. - Ядерная физика, 44, вып. 6(12), 1986, с.1377-1383. - В. П. Лихачев, А. Ю. Буки, И. Г. Евсеев, Ю. В. Владимиров, А. А. Заяц, С. А. Пашук и др.
18. Зависимость сечения электрообразования протонов на ядрах ${}^9\text{Be}$ и ${}^{12}\text{C}$ от энергии электронов. - Украинский физический журнал, 30, вып. 5, 1985, с.682-687. - В. П. Лихачев, И. Г. Евсеев, А. А. Заяц, С. А. Пашук и др.
19. Исследование α -кластеризации ядра ${}^9\text{Be}$. - Вопросы атомной науки и техники. Сер./Общая и ядерная физика. Вып. 2(27), Москва, 1984, с.68-69. - В. Л. Агранович, И. Г. Евсеев, В. П. Лихачев, А. А. Немашкало, С. А. Пашук и др.
20. Определение константы виртуального α -распада ядер в $(e, e'\alpha)$ -эксперименте. - Украинский физический журнал, 35, 6, 1990, с. 839-845. - И. Г. Евсеев, В. П. Лихачев, В. Л. Агранович, Ю. В. Владимиров, С. А. Пашук и др.
21. Квазиупругое рассеяние электронов на альфа-кластерах ядра

бериллий-9 // В. П. Лихачев, В. Л. Агранович, И. Г. Евсеев и др. // Тезисы докладов XXX11 совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Москва, 19-21 апреля 1983 г. - Ленинград: Наука, 1983. - с. 338.

22. Квазиупругое рассеяние электронов на ядре ^{12}C при малых переданных импульсах. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. / Общая и ядерная физика. Вып. 4(18), Харьков, 1981, с. 10-11. - А. Ю. Буки, Ю. В. Владимиров, В. П. Лихачев, А. А. Немашкало, С. А. Пашук и др.

23. Лихачев В. П., Немашкало А. А., Буки А. Ю. Исследование реакции $^{12}\text{C}(e, e'p)^{11}\text{B}$ при малых переданных импульсах. // Тезисы докладов XXX11 совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Киев, 16-18 марта 1982 г. - Ленинград: Наука, 1982. - с. 341.

24. Исследование электроделения изотопов урана. - Украинский физический журнал, 27, вып. 10, 1982, с. 1456-1459. - В. П. Лихачев, А. Ю. Буки, Ю. В. Владимиров, А. А. Немашкало, С. А. Пашук и др.

25. Электроделение ядра ^{238}U в резонансной области энергий возбуждения. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. / Общая и ядерная физика. Вып. 4(18), Москва, 1981, с. 12-13. - А. Ю. Буки, Ю. В. Владимиров, В. П. Лихачев, А. А. Немашкало, С. А. Пашук и др.

26. Исследование распределения намагничивания в ядре ^{49}Ti методом упругого рассеяния электронов / В. П. Лихачев, Н. Г. Афанасьев, А. А. Немашкало и др. Я. Ф. - 1976. - 23, вып. 3. - с. 498-503.

27. Гигантские резонансы в электроделении изотопов урана / В. П. Лихачев, А. Ю. Буки, Ю. В. Владимиров, А. А. Немашкало, С. А. Пашук, и др. Тезисы докладов XXX11 совещания по ядерной спектроскопии и

структуре атомного ядра. Киев, 16-18 марта 1982 г. - Ленинград: Наука, 1982. - с. 337.

28. Изучение реакции электроделения ядер ^{233}U , ^{235}U и ^{238}U в интервале энергий 100 - 1200 МэВ. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. / Общая и ядерная физика. Вып. 2(27), Москва, 1984, с. 65-67. - В. Л. Агранович, А. Ю. Буки, И. Г. Евсеев, В. П. Лихачев, А. А. Немашкало, С. А. Пашук и др.

29. Электроделение изотопов урана в нерезонансной области энергий возбуждения. - Ядерная физика, 40, вып. 3(9), 1984, с. 638-642. - В. П. Лихачев, А. Ю. Буки, В. Л. Агранович, И. Г. Евсеев, А. А. Немашкало, С. А. Пашук и др.

30. Вклад гигантских резонансов в инклюзивное сечение электроделения ядра ^{238}U . - Препринт ХФТИ, ХФТИ 85-20. Москва, ЦНИИ атоминформ, 1985. - В. П. Лихачев, И. Г. Евсеев, С. А. Пашук и др.

31. Лихачев В. П., Немашкало А. А., Шостак В. Б. Исследование реакции $^{238}\text{U}(\rho, p, f)$ в нерезонансной области энергий возбуждения ядра // УФЖ. - 1982. - 27. №12. - с. 1856-1857.

32. Двухчастичное фоторасщепление ^6Li . - Украинский физический журнал, 32, 9, 1987, с. 1293-1296. - В. П. Лихачев, И. Г. Евсеев, А. Ю. Буки, Ю. В. Владимиров, С. А. Пашук и др.

33. Фоторасщепление ^6Li / В. П. Лихачев, А. Ю. Буки, И. Г. Евсеев и др. // Тезисы докладов XXXVI совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Харьков, 15-18 апреля 1986 г. - Ленинград: Наука, 1986. - с. 349.

34. Кластерная структура ядра ^6Li / Н. А. Буркова, М. А. Жусупов, Р. А. Эрамжан, И. Г. Евсеев, В. П. Лихачев и др. // Тезисы докладов XXXVII111 совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного

- ядра. Баку, 12-14 апреля 1988 г. - Ленинград: Наука, 1988. - с. 315.
35. Измерение сечения ${}^6\text{Li}(\gamma, t){}^3\text{He}$ реакции. - Вопросы атомной науки и техники. Сер./ Общая и ядерная физика. Вып. 1(41). Москва, 1988, с. 22-23. - И. Г. Евсеев, В. П. Лихачев, С. А. Пашук и др.
36. Σ -асимметрия расщепления ${}^6\text{Li}$ на ${}^3\text{He}$ и ${}^3\text{H}$ линейно-поляризованными фотонами. - Препринт ХФТИ, ХФТИ 88-48. Москва, ШНИАтоминформ, 1988. - В. В. Деняк, А. А. Заяц, В. П. Лихачев, С. А. Пашук, В. М. Хвастунов.
37. Поляриметр на основе газообразной дейтериевой мишени и полупроводниковых детекторов. - Препринт ХФТИ, ХФТИ 88-60. Москва, ШНИАтоминформ, 1988. - Ю. В. Владимиров, В. В. Деняк, И. Г. Евсеев, В. П. Лихачев, С. А. Пашук и др.
38. Измерение Σ -асимметрии реакций ${}^3\text{He}(\gamma, p){}^2\text{H}$ и ${}^4\text{He}(\gamma, p){}^3\text{H}$ в мягкой части спектра фотонов. - Препринт ХФТИ, ХФТИ 89-19, Москва, ШНИАтоминформ, 1989. - Ю. В. Владимиров, В. В. Деняк, С. Н. Дюков, И. Г. Евсеев, Л. М. Завада, В. И. Касилов, Н. И. Лапин, В. П. Лихачев, С. А. Пашук и др.
39. Photodisintegration of ${}^6\text{Li}$ into ${}^3\text{He}$ and ${}^3\text{H}$ by linearly polarized photons. - Phys. Lett. B, 223, No. 2, 1989, p. 136-138. - N. A. Burkova, Yu. V. Vladimirov, V. V. Ganenko, I. G. Evseev, V. P. Likhachev, S. A. Pashchuk et al.
40. Σ -асимметрия реакции $\gamma + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{H}$ вблизи порога. - Письма в ЖЭТФ, 49, вып. 3, 1989, с. 133-134. - Ю. В. Владимиров, В. В. Деняк, С. Н. Дюков, И. Г. Евсеев, В. И. Касилов, Н. И. Лапин, В. П. Лихачев, С. А. Пашук и др.
41. Фоторасщепление дейтрона вблизи порога линейно-поляризованными фотонами. - Ядерная физика, 51, вып. 5,

- 1990, с.1208-1209. - А. Ю. Буки, Ю. В. Владимиров, В. В. Деняк, В. П. Лихачев, С. А. Пашук и др.
42. Фоторасщепление дейтрона вблизи порога линейно поляризованными фотонами. - Вопросы атомной науки и техники. Сер. / Ядерно-физические исследования / Теория и эксперимент // Вып. 8(8), Москва, 1989, с. 45-47. - Ф. Ю. Буки, Ю. В. Владимиров, В. В. Деняк, И. Г. Евсеев, А. А. Заяц, В. И. Касилов, В. П. Лихачев, С. А. Пашук и др.
43. Поляризация электромагнитного излучения при движении ультрарелятивистских электронов вблизи оси кристалла алмаза. - Ядерная физика, 48, вып. 4(10), 1988, с. 1211-1212. - Ю. В. Владимиров, В. А. Гушин, В. В. Деняк, И. Г. Евсеев, Ю. В. Желтецкий, В. П. Лихачев, С. А. Пашук и др.
44. Photodisintegration of light nuclei by linearly polarized photons. - 1990, Gordon Research Conference of Photonuclear Reaction. Aug. 6-10, 1990, Tilton, New Hampshire, USA. - V. V. Denyak, I. G. Evseev, V. P. Likhachev, S. A. Pashchuk et al.
45. V. P. Likhachev /Light nuclei photodisintegration by polarized photons at low energies. - Proceeding of the 8-th seminar on electromagnetic interaction of nuclei at low and medium energies. - Moscow, -1992. - p. 71-76.
46. Лихачев В. П., Пашук С. А., Хвастунов В. М. / Способ магнитного анализа спектров импульсов электронов в системах мечения фотонов. - Изобретение. - А. С. № 1522435.
47. Система мечения тормозных фотонов накопителя-растяжителя НР-2000 (прект) / В. П. Лихачев, С. А. Пашук, В. М. Хвастунов, А. А. Щербаков // ВАНТ. Сер. Общ. и ядерн. физика. - 1988. - вып.

1(41)-с. 74-77.

48. Использование внутреннего пучка накопителя-растяжителя НР-2000 в ядерно-физическом эксперименте / Ю. Н. Григорьев, О. Д. Звонарева, И. М. Карнаухов, В. П. Лихачев и др. - М.: ЦНИИАтоминформ, 1989. - 9с. - (Препринт / АН УССР. ХФТИ; 89-19).

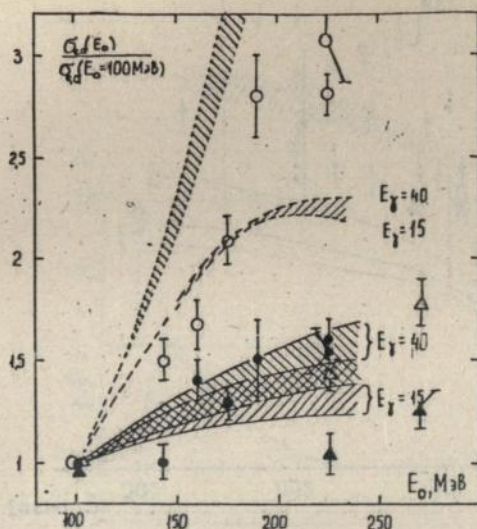


Рис. 1 Полные сечения электрообразования (кружки) и фотообразования (треугольники) ядер He с энергиями $E_\alpha > 6$ МэВ на ядрах ^9Be и ^{12}C в зависимости от начальной энергии электронов. Сечение при начальной энергии 100 МэВ принято за единицу. Граничные кривые соответствуют энергиям возбуждения 15 и 40 МэВ: сплошные рассчитаны с использованием E1 спектра виртуальных фотонов, штриховые - E2. Зависимость сечения фотообразования на эквивалентный фотон (σ_Q) от начальной энергии электронов (границы спектра) практически совпадает с расчетом для точечного ядра с E1 спектром виртуальных фотонов и поэтому на рис. не показана. Светлые кружки и треугольники относятся к ядру ^{12}C , темные - ^9Be . Видно, что данные для ядра ^{12}C находятся между расчетами для квадрупольного характера возбуждения, а для ^9Be - дипольного.

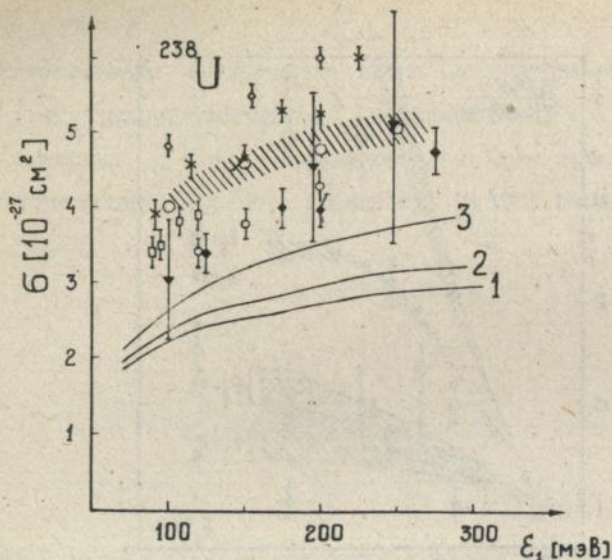


Рис. 2. Сечение электроделения ядра ^{238}U .

Кривыми показаны результаты расчета, выполненного с использованием параметров гигантских резонансов, извлеченных из данных (e, e') -эксперимента:

- 1 - вклад только E_1 ;
- 2 - $E_1 + E_2$;
- 3 - $E_1 + E_2 +$ квазидейтронный механизм.

Заштрихованной полосой показан коридор ошибок, связанный с абсолютизацией экспериментальных данных. Светлыми кружками, расположенными внутри заштрихованной полосы показаны результаты настоящей работы. На рис. также показаны данные других авторов, имеющиеся в исследуемой области энергий. Из рис. видно, что расчетная кривая 3 проходит ниже экспериментальных точек. Возможной причиной несогласия является неучет в расчете процесса квазиупругого рассеяния.

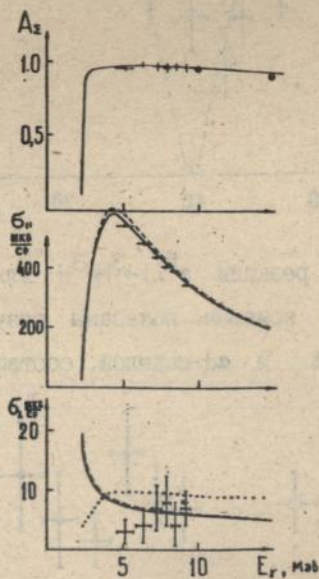


Рис. 3. Σ -асимметрия и сечения реакции $\gamma d \rightarrow n p$ для $\theta = 90^\circ$. Сплошной и пунктирной кривыми показаны результаты расчетов, выполненных с учетом ВКС для волновой функции дейтрона с Парижским потенциалом и Гросса, соответственно. Точечная кривая - результат расчета без учета ВКС для волновой функции с Парижским потенциалом. Аналогичный расчет с волновой функцией Гросса практически не отличим и на рис. не показан.

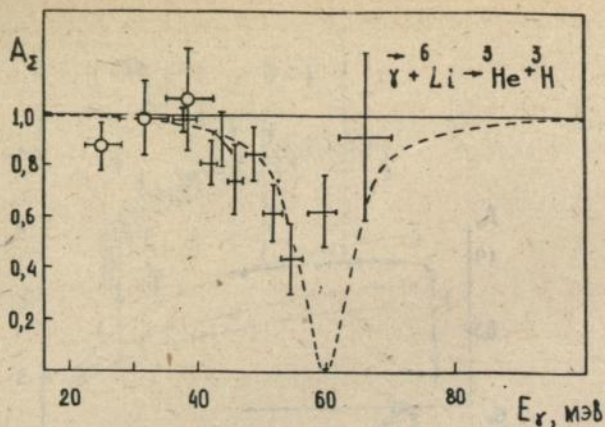


Рис. 4. Σ -асимметрия реакции $\gamma {}^6\text{Li} \rightarrow {}^3\text{He} + {}^3\text{H}$ для $\theta = 90^\circ$.

Сплошной и пунктирной кривыми показаны результаты расчетов, выполненных в рамках τ - и αd -моделей, соответственно.

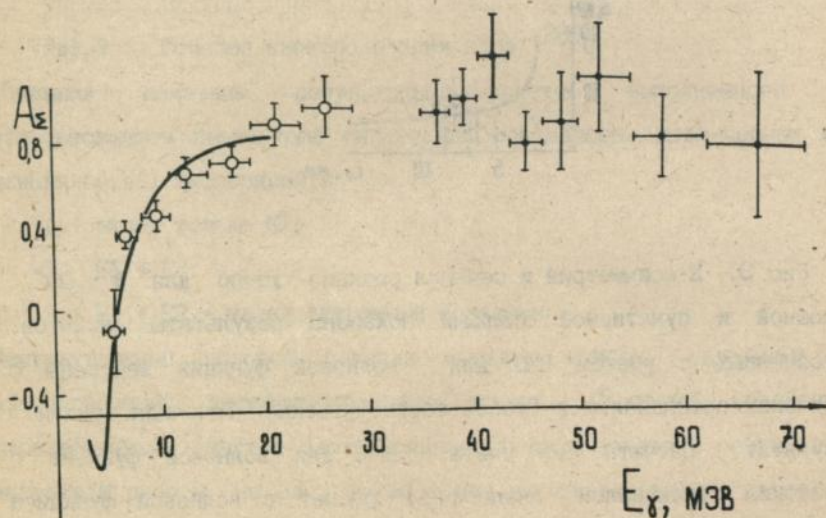


Рис. 5. Σ -асимметрия реакции $\gamma {}^7\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{H}$ для $\theta = 90^\circ$.

Светлыми кружками показаны данные двухплечевого эксперимента, точками - одноплечевого эксперимента. Сплошной кривой показан расчет, выполненный в рамках αt -кластерной модели.

Подписано в печать 31.05.93. Формат 60x84/16.
Офсетн.печать. Усл.п.л. 1,2. Уч.-изд.л. 1,2.
Тираж 100. Заказ № 327.

Харьков-108, ротاپронт ННЦ ХФТИ.

463663

AB 28.139

AB 28.139