

3-2000-86

На правах рукописи
УДК 539.172.4+539.1.074.22

М-87

МАШРАФИ

Рашид

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНОЙ КАМЕРЫ
И ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ СЕЧЕНИЙ РЕАКЦИИ (n, α)
НА ГАЗОВЫХ МИШЕНЯХ.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ
КОЭФФИЦИЕНТА АСИММЕТРИИ ВПЕРЕД-НАЗАД
В $^{35}\text{Cl}(n, p)^{35}\text{S}$ РЕАКЦИИ

Специальность: 01.04.016 — физика атомного ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 2000

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка ОИЯИ, г. Дубна.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук
Ю.М. Гледенов

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
профессор Ю.Э. Пенионжкевич,
ОИЯИ, Дубна

доктор физико-математических наук
Ю. М. Чувильский,
НИИЯФ МГУ, Москва

Ведущая организация:

Институт ядерных исследований РАН

Защита диссертации состоится « ».....2000 года
в на заседании специализированного совета Д 047.01.05
при Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций
ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан « ».....2000 г.

Ученый секретарь специализированного совета:

кандидат физико-математических наук
А.Г. Попеко

I. Общие сведения о работе

Актуальность темы

Поиск и исследования реакций (n,α) и (n,p) начинались интенсивно с того времени, когда появилась экспериментальная ядерная техника в виде ускорителей частиц и мощных источников нейтронов, таких как импульсные ядерные реакторы. Эти реакции играют важную роль в ядерной физике и в астрофизических процессах ядерного синтеза легких ядер и ядер средней массы. В последние годы, большое внимание было уделено изучению сечений этих реакций в связи с необходимостью получения ядерных данных для разработки астрофизических концепций в разных процессах и при изучении подбарьерных реакций (таких как реакция (α,n) на медленных α -частицах поскольку, рождаемые нейтроны в таких реакциях как $^{22}\text{Ne}(\alpha,n)^{25}\text{Mg}$, $^{13}\text{C}(\alpha,n)^{16}\text{O}$ и $^{21}\text{Ne}(\alpha,n)^{24}\text{Mg}$ создают благоприятные условия для протекания s-процесса).

Однако по ряду технических причин, реакции на некоторых элементах, обычно находящихся в газообразном состоянии, $^{17}\text{O}(n,\alpha)^{14}\text{C}$ и, особенно, на благородных газах как, $^{36}\text{Ar}(n,\alpha)^{33}\text{S}$ и $^{21}\text{Ne}(n,\alpha)^{18}\text{O}$ не достаточно исследованы экспериментально. Сравнительно недавно сечение реакции $^{17}\text{O}(n,\alpha)^{14}\text{C}$ получено в большом интервале энергии нейтронов при нормировке к рекомендованному сечению этой реакции для тепловых нейтронов. Однако рекомендованные значения сечений реакций $^{17}\text{O}(n,\alpha)^{14}\text{C}$ и $^{36}\text{Ar}(n,\alpha)^{33}\text{S}$ основываются только на одной работе. С другой стороны, большой интерес представляет измерение сечения реакции $^{21}\text{Ne}(n,\alpha)^{18}\text{O}$ для тепловых нейтронов, не только для астрофизических целей, но и для выяснения противоречивых данных и их отличия в разных публикациях: $\sigma_{th}=(96\pm 33)$ б и верхний предел $\sigma_{th}<1,5$ б.

Проблема несохранения четности и асимметрии привлекает физиков уже много лет и в течение долгого времени накоплен обширный экспериментальный материал по нарушающим пространственную четность эффектам при взаимодействии нейтронов с ядрами. Эффекты асимметрии наблюдались при делении ядер поляризованными нейтронами, в реакциях с вылетом протонов и γ -квантов. Наблюдаемые эффекты интерпретируются в рамках существующих представлений как проявление слабого взаимодействия нуклонов в ядре, приводящего к смешиванию ядерных уровней по четности. Количественное же сопоставление имеющихся экспериментальных данных с теорией, с целью получения сведений о потенциале слабого нуклон-нуклонного взаимодействия, затруднено вследствие неопределенностей в учете ядерно-структурных параметров, приводящих к усилению эффекта в каждом конкретном случае. На возможность исследования нарушения пространственной четности в ядерных взаимодействиях в измерениях асимметрии α -частиц, испускающихся после захвата

ОБЩЕУЧЕБНЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

легкими ядрами поляризованных нейтронов, впервые предложено в работе^[1]. В совместной работе ученые ЛНФ ОИЯИ и ПИЯФ обнаружили P - нечетный эффект в реакции $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$. В их работе были получены следующие значения для P- нечетного и P- четного коэффициентов:

α_{PNC} (коэффициент несохранения четности)	$-(1.51 \pm 0.43) \cdot 10^{-4}$
α_{LR} (коэффициент асимметрии лево - право)	$-(2.40 \pm 0.43) \cdot 10^{-4}$

С этими значениями с привлечением данных из реакции $^{35}\text{Cl}(n,\gamma)^{36}\text{S}$ была получена оценка для матричного элемента: $M_{\text{PV}} = 60 \pm 20$ мэВ. Тем не менее измерение коэффициентов асимметрии вперед-назад α_{FB} , несохранения четности α_{PNC} и асимметрии лево - право α_{LR} в одной реакции позволяют определить свободный от неопределенностей матричный элемент слабого взаимодействия.

До наших работ для $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$ имелись α_{PNC} и α_{LR} , полученные на тепловых нейтронах, и параметры известных резонансов. Кроме того, в рамках модели смешивающихся компаунд состояний (MSM), развитой для описания анизотропии γ -излучения и адаптированной для испускания протонов, имеются и теоретические расчеты для коэффициента асимметрии вперед назад α_{FB} , в интервале энергии нейтронов до 800 эВ^[2]. Полученные результаты в этих расчетах показывают неопределенность знака этого коэффициента до и после резонанса ($E_n = 398$ эВ) (см. ниже). В связи с отсутствием экспериментальных данных для выяснения этого поведения и определения знака и значений этого коэффициента, необходимо было провести измерения не только для проверки теоретических данных, но и для определения матричного элемента слабого взаимодействия.

Решению вышеуказанных задач посвящена настоящая работа, которая состоит из двух частей:

Первая часть: посвящена разработке методики и измерению сечения (n,α) реакции на газовых мишенях.

Вторая часть: с помощью ионизационной камеры с сеткой, было проведено экспериментальное исследование энергетической зависимости коэффициента асимметрии вперед-назад, включающее в себя: проведение измерений коэффициента асимметрии вперед-назад на хлорной мишени, анализ полученных данных и сопоставление их с существующими теоретическими данными. Более того, вместе с данными, полученными для α_{PNC} и α_{LR} ^[2], был извлечен матричный элемент слабого взаимодействия.

[1] Г.А. Лобов и др., Изв. Акад. наук СССР, Сир.Физ., 1977, т.41, с.1548.

[2] Yu.M.Gledenov et al., Nuc.Phys. A 654 (1999) 943c-948c.

Научное и прикладное значение

Исследования сечений нейтронных реакций с вылетом заряженных частиц, в частности α - частиц и протонов, имеют важные значения для ряда фундаментальных и прикладных проблем ядерной физики и астрофизики.

В ядерной физике результаты этих исследований и полученные экспериментальные данные находят широкое применение: в изучении свойств высоковозбужденных состояний ядер и с их помощью получают новые сведения о резонансных состояниях ядер, что необходимо для понимания сложного характера нейтронных резонансов. Также они расширяют возможности нейтронной спектроскопии, как один из важных методов получения информации о структуре ядер. Они дают дополнительную информацию для исследования несохранения четности в ядерных реакциях. Кроме того, исследования реакции (n,α) имеют и существенное прикладное значение для оценок повреждений в конструкционных материалах ядерных реакторов и представляет другой подход к рассмотрению процесса радиоактивности самого α -распада. Таким образом, ядерная и нейтронная спектроскопии через реакцию (n,α) нашли общие связи между собой. (n,α) и (n,p) реакции также играют важную роль в астрофизических процессах ядерного синтеза легких ядер и ядер средней массы. К настоящему времени, для вычисления различных сценариев ядерного синтеза, необходимо знать скорости протекания этих реакций. Реакции $^{17}\text{O}(n,\alpha)^{14}\text{C}$, $^{36}\text{Ar}(n,\alpha)^{33}\text{S}$ и $^{21}\text{Ne}(n,\alpha)^{18}\text{O}$ играют важную роль в первичном ядерном синтезе при 'большом взрыве' и в s-процессе ядерного синтеза в звездах (например, в происхождении редкого изотопа ^{36}S).

Что касается фундаментальных исследований, то коэффициент асимметрии вперед-назад вместе с коэффициентами лево-правой асимметрии и несохранения четности дают возможность вычислить матричный элемент слабого взаимодействия в ядерных реакциях, так как он выражается через эти коэффициенты. Он дает возможность получить сведения о нарушении сохранения четности как одним из фундаментальных законов сохранения в ядерных процессах.

Цель исследований

Цель данной работы состояла в следующем:

A/

1. Разработать и реализовать новую методику для исследования нейтронных реакций с вылетом заряженных частиц на газовых мишенях.
2. Проверить методику и ее эффективность в исследовании нейтронных реакций (n,α) и (n,p) .
3. Провести измерения теплового сечения (n,α) реакции на изотопах

газовых мишеней.

- Измерение теплового сечения реакции $^{17}\text{O}(n,\alpha)^{14}\text{C}$.
 - Измерение теплового сечения реакции $^{36}\text{Ar}(n,\alpha)^{33}\text{S}$.
 - Измерение теплового сечения реакции $^{21}\text{Ne}(n,\alpha)^{18}\text{O}$.
4. Сравнить результаты с результатами, полученными другими методами и выяснить противоречие в полученных результатах для реакции на изотопе ^{21}Ne .

В/

1. Исследовать экспериментально энергетическую зависимость коэффициента асимметрии вперед-назад в реакции $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$ в интервале энергии до 1 кэВ.
2. Провести сравнение с расчетными данными.
3. Извлечь значение матричного элемента слабого взаимодействия и провести сравнение с имеющимися оценками.

Научная новизна

В данной работе представлены:

1. Первые экспериментальные результаты коэффициента асимметрии вперед-назад от тепловой области до резонанса 398 эВ.
2. Выяснение знакопеременного поведения коэффициента асимметрии вперед-назад в $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$.
3. Значение матричного элемента слабого взаимодействия.
4. Новая методика для исследования нейтронных реакций на газовых мишенях с вылетом заряженных частиц, в частности исследование (n,p) и (n,α) реакций.
5. Значение теплового сечения реакции $^{17}\text{O}(n,\alpha)^{14}\text{C}$, полученного другим методом.
6. Значение теплового сечения реакции $^{36}\text{Ar}(n,\alpha)^{33}\text{S}$.
7. Значение теплового сечения реакции $^{21}\text{Ne}(n,\alpha)^{18}\text{O}$ и выяснение противоречий в полученных результатах для этого значения.

Апробация работы

Результаты проведенных исследований докладывались:

1. На международной конференции «International Nuclear Physics Conference, 24-28 August 1998, Paris, France».
2. На международном семинаре по взаимодействию нейтронов с ядрами: VII International Seminar on Interaction of Neutron with Nuclei (ISINN-7) «Neutron Spectroscopy, Neutron Structure and Related Topic», 25-28 May 1999, Dubna Russia.
3. На семинарах лаборатории нейтронной физики.
4. На IV конференции молодых ученых и специалистов, 31 января - 4 февраля 2000 г., Дубна, Россия.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 7 работ.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из двух частей:

Первая часть состоит из введения и 4-х глав, а вторая часть содержит введение и 2 главы. Работа завершается выводами и заключением в каждой части. В ней содержится 100 страниц, написанных в Ms-Word версии-97, 37 рисунков, 10 таблиц и библиографический список основной литературы из 117 наименований и общей литературы из 40 наименований.

На защиту выносятся следующие положения и результаты:

1. Разработанная методика, с использованием ионизационной камеры с сеткой, для исследования нейтронных реакции с вылетом заряженных частиц в газообразных образцах. Представлены характеристики детектора (конструкция и временные характеристики).
2. Результаты измерений тепловых сечений реакции (n,α) для трех изотопов.
 - Измерение теплового сечения реакции $^{17}\text{O}(n,\alpha)^{14}\text{C}$.
 - Измерение теплового сечения реакции $^{36}\text{Ar}(n,\alpha)^{33}\text{S}$.
 - Измерение теплового сечения реакции $^{21}\text{Ne}(n,\alpha)^{18}\text{O}$.
3. Результаты экспериментов по исследованию энергетической зависимости коэффициента асимметрии вперед-назад в реакции $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$ до энергии нейтронов 398 эВ.
4. Значение матричного элемента слабого взаимодействия и его сравнение с имеющимися оценками.

II. Содержание работы

Первая часть: Разработка специальной камеры и измерение тепловых сечений реакции (n,α) на газовых мишенях

Во введении представляется краткая характеристика работы, ее актуальность, области ее применения и формулируется цель работы.

В первой главе обсуждается несколько теоретических вопросов о механизме α -распада (туннельный эффект), о его энергетическом рассмотрении и некоторые элементы теории α -распада.

Вторая глава рассматривает вопрос взаимодействия нейтронов с ядрами, обзор исследований (n,α) на тепловых и на резонансных нейтронах в рамках концепции модели составного ядра и роль

(n, α) реакции в современных исследованиях.

Третья глава содержит детальное описание методики: Дается детальное описание конструкции разработанного детектора на основе ионизационной камеры. Кроме того, дается обзор измерительной аппаратуры, ее состав, ее временные и энергетические параметры (при измерении на резонансных нейтронах реактора ИБР-30) и ее программное обеспечение. Также проведен сравнительный анализ характеристик ионизационной камеры с твердой и с газовой мишенями. В наших измерениях была использована ионизационная камера с сеткой. Это обычная плоскопараллельная камера. Ее особенность заключается в том, что газ, наполняющий камеру, является одновременно ионизационным газом и мишенью для нейтронного пучка. Пучок нейтронов как это показано на схеме эксперимента Рис.1. проходил между катодом и сеткой параллельно поверхности электродов. Расстояния между электродами в камере и положение пучка были такими, что на электроды не попадал нейтронный пучок, а треки от продуктов ядерных реакций даже при наименьшем использованном давлении смеси газов в камере, равном 1.2 атм, полностью укладывались в газе между ее катодом и сеткой. В первой части описаны измерения, проводящиеся на камере, схема которой показана на Рис.1.

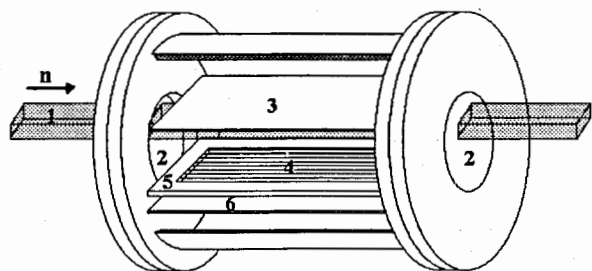


Рис.1. Схема ионизационной камеры: 1 - пучок нейтронов; 2 - входное и выходное окна; 3 - катод; 4 - сетка; 5 - рамка сетки; 6 - коллектор.

Для определения характеристик изготовленной камеры были проведены измерения с резонансными нейтронами импульсного реактора ИБР-30, работающего совместно с линейным ускорителем электронов. На Рис.2 приведено время установления рабочего режима камеры после вспышки импульса реактора, во время которой мощный поток γ -квантов и быстрых нейтронов создает перегрузку камеры. Времяпролетный спектр α -частиц от уранового источника, расположенного внутри камеры (^{234}U и ^{238}U), приведен на Рис.2. Видно, что примерно через 20 мкс после максимума импульса нейтронов от реактора, камера восстанавливает свой нормальный режим работы. Для повышения

числа отчетов в каждом канале временного спектра при ширине канала всего 1 мкс использовался генератор импульсов необходимой частоты. Полученный спектр, приведен также на Рис.2. По нему можно точнее определить время восстановления камеры совместно с использованной аппаратурой. Оно оказалось равным 26 мкс.

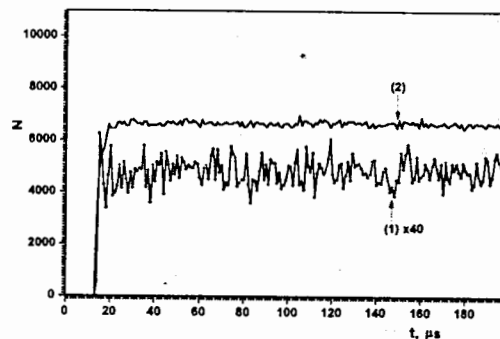


Рис.2. Времяпролетные спектры. (1)- α -частиц от уранового источника; (2)- импульсы от генератора; t- время пролета нейтронов в мкс; N- число α -частиц или импульсов от генератора.

На Рис.3 представлена зависимость разрешения пиков от продуктов реакции $^3\text{He}(n,p)^3\text{H}$ в зависимости от энергии нейтронов; видно, что оно, сохраняясь на уровне 80-100 кэВ до энергии нейтронов E_n почти 1 кэВ ближе к вспышке импульса нейтронов, растет до примерно 200 кэВ при $E_n \approx 10$ кэВ.

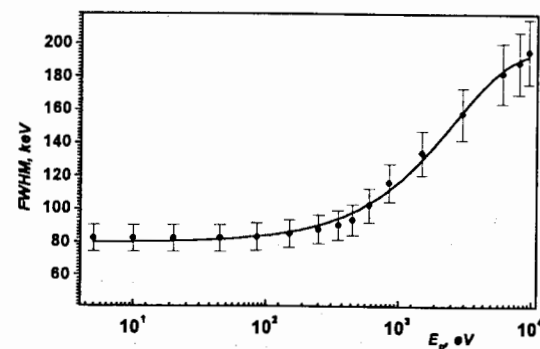


Рис.3. Разрешение пиков от продуктов реакции $^3\text{He}(n,p)^3\text{H}$ в зависимости от энергии нейтронов; E_n - энергия нейтронов; FWHM- Разрешение.

Для определения сечения указанных выше реакций в качестве источника нейтронов использовался изогнутый зеркальный нейтронный реактор ИБР-2 ЛНФ им. И.М.Франка, который обеспечил пучок тепловых нейтронов с интенсивностью до $\sim 4 \cdot 10^6$ п-см⁻²с⁻¹. Схема эксперимента показана на Рис.4

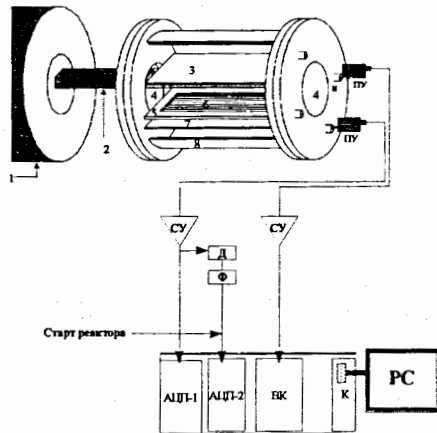


Рис.4. Экспериментальная установка для измерения сечения (n,α) реакции, 1- нейтронвод; 2-нейтронный пучок; 3- катод; 4- входное и выходное окна; 5- рамка сетки; 6- сетка; 7- коллектор; 8- корпус камеры; Д- дискриминатор; Ф- формирователь; СУ- спектрометрический усилитель; ВК- временной кодировщик; ПУ-предусилитель; PC- компьютер-486, К- контроллер.

Четвертая глава содержит сведения о полученных экспериментальных результатах по определению сечений исследуемых реакций. Сечение реакции (n,α) определялось с помощью формулы:

$$\sigma_x = \frac{N_x \cdot n_c}{N_c \cdot n_x} \sigma_c \quad /1/$$

где, N_x и N_c - число зарегистрированных импульсов исследуемой и калибровочной реакции, n_x и n_c - количество ядер в см³ исследуемого и калибровочного изотопа, σ_c - сечение калибровочной реакции.

Для исследования сечения реакции на ядрах ¹⁷O и ³⁶Ar были выполнены три серии измерений. Камера наполнялась смесью газов 93,75% Ar; 6,25% CO₂ и 1,8·10⁻⁵% ³He до давления 1,2 атм. Сигналы с катода и с анода камеры от продуктов реакций, треки которых попадали в чувствительный объем, регистрировались в совпадении измерительно-накопительным модулем для

многопараметрических измерений. Это приводило к уменьшению фона. Для приведения давления газов в камере к нормальным условиям регистрировалась температура помещения. Значение сечения калибровочной реакции ³He(n,p)³H взято из литературы равным 5333±76. Необходимое малое содержание ³He было получено путем последовательного разбавления начальной смеси с гелием-3 аргоном и CO₂. Типичный амплитудный спектр одного измерения приведен на Рис.5. Из спектра было определено число альфа частиц, которое входит в формулу /1/ и полученные результаты представлены в таблицах 1 и 2.

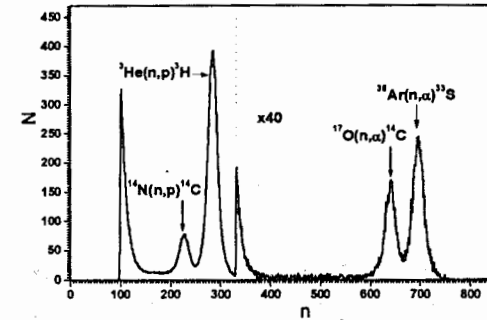


Рис.5. Спектр импульсов с коллектора камеры при наполнении ее ³He; CO₂ и Ar; n- номер канала; N- число зарегистрированных импульсов.

Таблица.1. Результаты измерений по определению сечения ¹⁷O(n,α)¹⁴C

N ⁰	t. ч	N(³ He)10 ³	n(³ He)10 ¹²	N(¹⁷ O)	n(¹⁷ O)10 ¹⁵	σ(¹⁷ O)мб
1	1.5	26.6±0.3	5.64±0.20	313±18	1.48±0.05	240±18
2	6.5	123.0±1.2	5.64±0.20	1401±43	1.48±0.05	231±14
3	10.8	192.1±1.9	5.64±0.20	2158±58	1.48±0.05	227±13

Таблица.2. Результаты измерений по определению сечения ³⁶Ar(n,α)³³S

N ⁰	t. ч	N(³ He)10 ³	n(³ He)10 ¹²	N(³⁶ Ar)	n(³⁶ Ar)10 ¹⁶	σ(³⁶ Ar)мб
1	1,5	26.6±0.3	5.64±0.20	483±22	9,84±0,34	5,55±0,38
2	6,5	123.0±1.2	5.64±0.20	2120±49	9,84±0,34	5,25±0,29
3	10,8	192.1±1.9	5.64±0.20	3463±69	9,84±0,34	5,49±0,30

N⁰- номер измерения, t- время измерения в часах, N- число зарегистрированных импульсов исследуемой и калибровочной реакции, n- количество ядер в см³ исследуемого и калибровочного изотопа, σ- сечение исследуемой реакции.

Третьей исследуемой реакцией была $^{21}\text{Ne}(n,\alpha)^{18}\text{O}$. В серии этих измерений камера наполнялась смесью газов 95% Ne и 5% CO_2 до давления 1,7 атм. Часть амплитудного спектра изображена на Рис.6

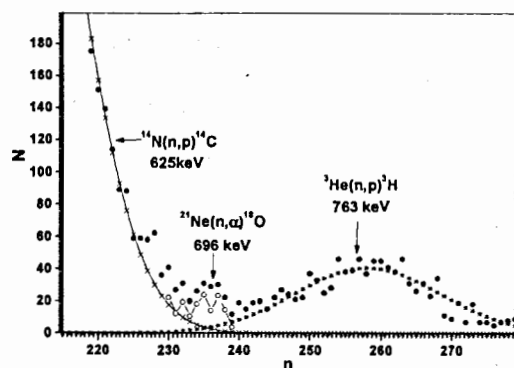


Рис.6. Часть амплитудного спектра импульсов с коллектора камеры при наполнении ее 95 % Ne + 5 % CO_2 ; n - номер канала; N - число зарегистрированных импульсов (сумма отчетов в двух каналах); • - экспериментальные точки; x - вычисленные точки правого края пика от реакции на ^{14}N ; * - вычисленные точки левого края пика от реакции на ^3He ; o - вычисленные точки из экспериментальных данных за вычетом вклада протонов азота и гелия.

Из Рис.6, видно, что в пределах 15-20 каналов есть превышение над суммой выходов от реакций на ^{14}N и ^3He , которые присутствовали как микропримеси в газе камеры. Калибровка шкалы энергии на Рис.6 произведена по энергии протонов из реакций на ^{14}N и ^3He , а также по α -частицам из реакции на ^{17}O . Полученное превышение совпадает с отмеченной энергией. Величина Q-энергии реакции $^{21}\text{Ne}(n,\alpha)^{18}\text{O}$ равна 696 кэВ. Для тепловых нейтронов Q является суммой энергий α -частицы и ядра ^{18}O (отмечена стрелкой на Рис.6). Левый край пика от реакции на ^3He проведен симметрично его правому краю. Выделение выхода из реакции на ^{21}Ne производилось вычитанием из экспериментальной кривой вклада от реакций на ^{14}N и ^3He .

Экспериментальные данные по определению сечения реакции $^{21}\text{Ne}(n,\alpha)^{18}\text{O}$ и полученные результаты приведены в таблице.3. Первые два измерения выполнены с камерой, наполненной неонам с одного источника, а третье - с неонам другой поставки. Большие погрешности полученных сечений, приведенных в таблице.3, объясняются большой неточностью выделения выхода от реакции на ^{21}Ne .

Таблица.3. Результаты измерений по определению сечения $^{21}\text{Ne}(n,\alpha)^{18}\text{O}$

N^0	t, ч	$n(^{17}\text{O})10^{15}$	$n(^{21}\text{Ne}),10^{17}$	$N(^{21}\text{Ne})$	$N(^{17}\text{O})$	$\sigma(^{21}\text{Ne}),\text{мб}$
1	4,4	$1,68 \pm 0,05$	$1,14 \pm 0,035$	34 ± 17	677 ± 35	$0,17 \pm 0,09$
2	5,5	$1,68 \pm 0,05$	$1,14 \pm 0,035$	42 ± 21	844 ± 40	$0,17 \pm 0,09$
3	10,9	$1,68 \pm 0,05$	$1,14 \pm 0,035$	106 ± 42	2002 ± 50	$0,18 \pm 0,09$

N^0 - номер измерения, t- время измерения в часах, N- число зарегистрированных импульсов исследуемой и калибровочной реакции, n- количество ядер в см^3 исследуемого и калибровочного изотопа, σ - сечение исследуемой реакции.

Вторая часть: Исследование энергетической зависимости коэффициента асимметрии вперед назад в $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$ реакции

Во введении этой части освещается актуальность темы и сформулирована ее цель и ее научное значение.

В первой главе представлены результаты теоретических расчетов для энергетической зависимости коэффициента асимметрии вылета протонов вперед-назад в реакции $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$ до 800 эВ (нижняя часть Рис.7), а также методика измерения асимметрии, детектор, и методика изготовления мишени.

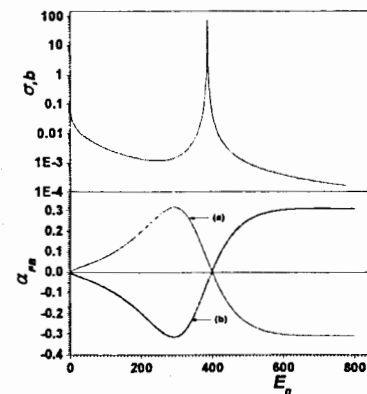


Рис.7. Зависимость сечения реакции $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$ и коэффициента асимметрии вылета протонов вперед-назад от энергии нейтронов^[2].

Во второй главе представлены полученные спектры и результаты наших измерений для определения коэффициента асимметрии вперед-назад. Измерения проводились на 31м пролетной базе импульсного

реактора ИБР-30 ЛНФ ОИЯИ. В качестве мишени использовалась соль NaCl. В качестве детектора протонов реакции $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$ применялась плоскопараллельная двухсекционная ионизационная камера с сеткой (Рис.8). В одной из секций помещалась мишень NaCl диаметром 200 мм, нанесенная на алюминиевой подложке толщиной 100 мкм, другая секция использовалась для измерения фона. В первой серии измерений (9 измерений) использовалась мишень толщиной $d=0,5$ мг/см² а во второй серии (4 измерения) мишень была более тонкая $d=86$ мкг/см². Размеры электродов 220x220 мм.

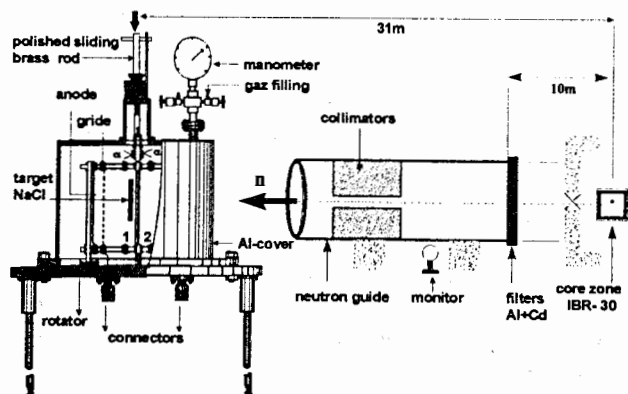


Рис.8. Экспериментальная установка для измерения коэффициента асимметрии вперед-назад в реакции $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$.

Регистрация вылетающих протонов с энергией $E_p=0,6$ МэВ осуществлялась с помощью многопараметрического измерительного модуля. Камера периодически поворачивалась на 180° (0° при измерении вперед и 180° при измерении назад). Нормировка потока нейтронов проводилась с помощью борного счетчика. Величина коэффициента асимметрии вперед назад определялась по формуле:

$$\alpha_{FB} = \frac{N_F - N_B}{N_F + N_B} \quad |2|$$

где, N_F и N_B - число зарегистрированных событий вперед и назад соответственно, т.е. по направлению нейтрона и против него.

Из-за малости сечения реакции, определение α_{FB} проводилось в достаточно широких интервалах энергии нейтронов. Амплитудные спектры в интервалах энергии нейтронов 0,5-10 эВ, 150-260 эВ и область резонанса 398 эВ приведены на Рис.9а-с.

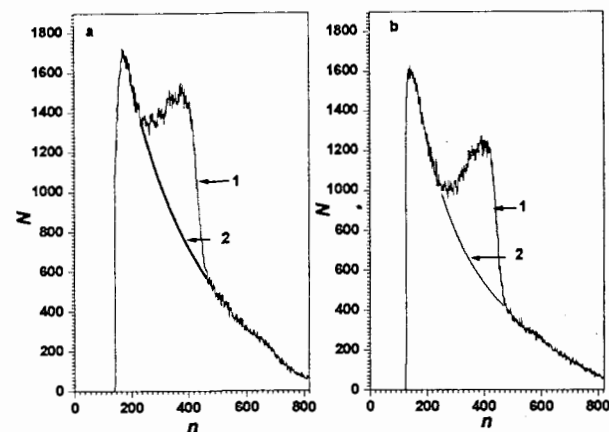


Рис.9а. Амплитудный спектр во временном окне 0.5-10 эВ, n- номер канала; N- число зарегистрированных импульсов; 1- эффект с фоном; 2- фон; а- измерение вперед; б- измерение назад (толстая мишень)

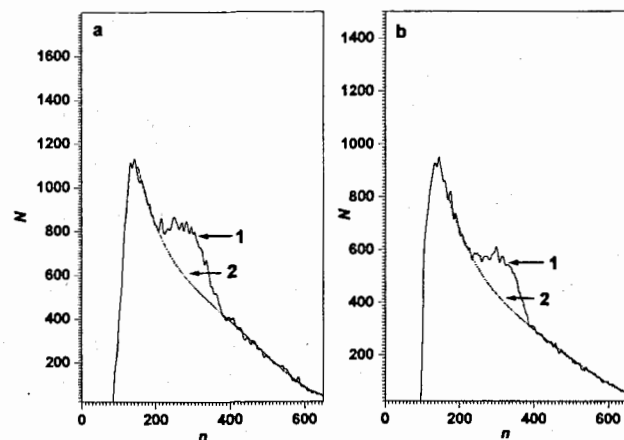


Рис.9б. Амплитудный спектр во временном окне 150-260 эВ, n- номер канала; N- число зарегистрированных импульсов; 1- эффект с фоном; 2-фон; а- измерение вперед; б- измерение назад (толстая мишень)

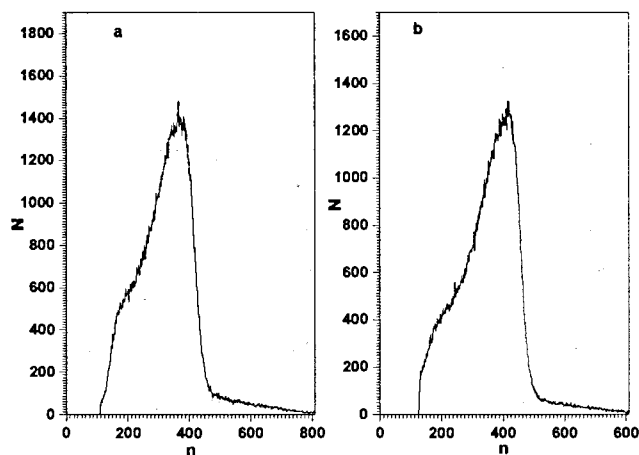


Рис.9с. Амплитудный спектр в районе резонанса (398 эВ),
n- номер канала; N- число зарегистрированных импульсов;
а - измерение вперед; b – измерение назад.

Полученные величины коэффициента α_{FB} приведены в таблице 4.

Таблица.4. Значения коэффициента асимметрии вперед-назад

E_n , эВ	α_{FB}
0.5 - 10	0.020 ± 0.009
150- 260	0.17 ± 0.035
260 - 350	0.075 ± 0.025
Резонансная область	0.005 ± 0.003

III- Заключение

В заключение приводятся основные результаты выполненной работы.

A/

1. Разработан и изготовлен новый детектор для исследований нейтронных реакции с вылетом заряженных частиц на газовых мишенях. С его помощью удалось преодолеть ряд трудностей встречаемых, при использовании детекторов с твердыми мишенями.

По сравнению с камерой для образцов на подложках, изготовленная нами камера с газовой мишенью, имеет ряд преимуществ:

- меньший фон;
- отсутствие пиков от реакций на микропримесях ^{10}B и ^6Li , содержащихся в веществах твердых образцов и подложках;
- значительно проще, точнее и надежнее определяется число ядер исследуемого образца;

- пики на спектрах частиц, вылетающих из реакций на ядрах газов, не имеют «хвостов» в сторону низких энергий, проявляющихся при измерении реакций на ядрах изотопов, входящих в твердые мишени, из-за конечной толщины последних;
- регистрируется полная энергия реакции, включая энергию ядер отдачи, что существенно для легких ядер.
- частицы регистрируются в 4π -геометрии.

2. Получено значение сечения реакции $^{21}\text{Ne}(n,\alpha)^{18}\text{O}$ на тепловых нейтронах, величина, определенная нами как 0.18 ± 0.09 мб, оказалась значительно меньше оценки верхнего порога 1.5 б и значения 98 ± 36 б, полученных другими авторами.

Возможно, это отличие результатов обусловлено тем, что в этих работах не выделялся вклад от реакций (n,p) на ^{14}N и ^3He , присутствующих как небольшие примеси в газе камеры. В наших измерениях примесь ^3He порядка $1 \cdot 10^{-5}\%$ приводила к выходу протонов из реакции на ^3He большему, чем выход из реакции на ^{21}Ne .

3. Полученное значение сечения реакции сечения $^{17}\text{O}(n,\alpha)^{14}\text{C}$ для тепловых нейтронов (233 ± 12) мб хорошо совпало со значением (235 ± 10) мб, полученным другим методом, рекомендованным в литературе и результатом (236 ± 5) мб, измеренным недавно в работе^[3].

4. Определенное нами значение сечения реакции $^{36}\text{Ar}(n,\alpha)^{33}\text{S}$ на тепловых нейтронах (5.43 ± 0.27) мб совпадает со значением (5.5 ± 0.1) мб измеренным в работе^[4].

5. На основании исследований работы созданной камеры с газообразными мишенями, в области резонансных нейтронов на пролетной базе 30м нейтронного спектрометра реактора ИБР-30 сделаны выводы о надежности и применимости методики в области энергии нейтронов до 10 кэВ. При необходимости исследовать область энергий нейтронов больше 10 кэВ, необходимо проводить измерения на нейтронных источниках с более короткой длительностью импульса или на более длинных базах

B/

6. Впервые проводилось экспериментальное исследование энергетической зависимости коэффициента асимметрии вперед-назад в диапазоне энергии нейтронов до 1кэВ и удалось получить значения этого коэффициента в области вплоть до резонанса $E_n=398$ эВ.

7. Проведено сравнение полученных нами экспериментальных результатов с теоретическими расчетами. Это позволило однозначно выбрать знак эффекта в теоретических расчетах.

^[3] C. Wagemans и др., Int. Conf. Nucl. Data for Sci. and Techn., Ed.G. Reffo, A.Ventura and C.Grandi (Trieste, 19-24 May 1997. P.1568)

^[4] S.F. Mughabghab, Neutron cross-section, vol.1 (Academic, New York, 1981)

8. Получен матричный элемент слабого взаимодействия $M_{pv}=57\pm 17$ мэВ, и который практически совпадает с оценкой 60 ± 20 мэВ, полученной в работе [5], но существенно расходится с другой оценкой 250 ± 80 мэВ из работы [6].

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах

1. Testing an ionisation chamber and measurement of (n,p) and (n, α) reaction cross-section, Yu.M.Gledenov, R.Machrafi, V.I.Salatski, P.V.Sedyshev, J.Andrzejewski, P.J.Szalanski, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 431(1999) 201-207.
2. Search of P-odd and P-even correlations in (n,p) reactions, Yu.M.Gledenov, R.Machrafi, A.I.Oprea, V.I.Salatski, P.V.Sedyshev, P.I.Szalanski, V.A.Vesna, I.S.Okunev, Nuclear Physics A 654 (1999) 943c-948c.
3. Determination of the forward-backward asymmetry coefficient in $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$, Yu.M.Gledenov, R.Machrafi, A.I.Oprea, Yu.P.Popov, P.V.Sedyshev, V.I.Salatski, P.J.Szalanski, Proceeding of the VII International Seminar on Interaction of Neutron with Nuclei (ISINN-7) «Neutron Spectroscopy, Neutron Structure and Related Topic», Dubna, May 25-28, 1999, E3-98-212, pp. 229-232.
4. Characteristics of an ionisation chamber for gaseous targets studies, Yu.M.Gledenov, R.Machrafi, A.I.Oprea, Yu.P.Popov, P.V.Sedyshev, V.I.Salatski, J.Andrzejewski, P.J.Szalanski, Proceeding of the VII International Seminar on Interaction of Neutron with Nuclei (ISINN-7) «Neutron Spectroscopy, Neutron Structure and Related Topic», Dubna, May 25-28, 1999, E3-98-212, pp. 303-307.
5. Angular correlations in $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$ reaction, Yu.M.Gledenov, R.Machrafi, A.I.Oprea, P.V.Sedyshev, V.I.Salatski, Second International Yugoslav Nuclear Society Conference (YUNSC'98), Belgrade, September 28- October 1, 1998, pp.565-574.
6. Test of an ionisation chamber on resonance neutrons, Yu.M.Gledenov, R.Machrafi, P.V.Sedyshev, V.I.Salatski, J.Andrzejewski, P.J.Szalanski, JINR communication, P15-99-211 (1999).
7. Theoretical and experimental study of the forward backward asymmetry coefficient in $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$, Yu.M.Gledenov, R.Machrafi, A.I.Oprea, P.V.Sedyshev, V.I.Salatski, IV Conference of Young Scientists and Specialists, 31- Jan-4 February 2000, Dubna Russia.

[5] A.Antonov, V.A.Vesna et al., Pism'a ZhETF.40 (1984) 209.

[6] M. Avenier et al., Nucl. Phys A436 (1985) 83.

Рукопись поступила в издательский отдел

19 апреля 2000 года.