

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

МАГАЛЬ Миссия Иванович

УДК 539.171

ПОЛУЧЕНИЕ ПУЧКОВ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ЯДЕР ^{14}N
И АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ИХ СПИНОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Специальность 01.04.16 - физика ядра
и элементарных частиц

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Киев - 1993



00814735 (S)

Робота виконана в Інституті ядерних досліджень АН України

Научний керівник: доктор фізико-математических наук,
професор Заика Н.И.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математических наук
професор Токмаковський В.В.
(ІЯИ АН України , г. Київ)

доктор фізико-математических наук
професор Слабоспицький Р.П.
(ХФТИ, г.Харьков)

Ведущая организация: Київський державний університет

Захист состоится " 29 квітня 1993 года
в 16 часов на засіданні спеціалізованого комітету
Д І6.03.01 при Інституті ядерних досліджень АН України
по адресу: 252028 г.Київ, пр. Науки, 47.

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ІЯИ АН України

Автореферат розослан " 29 березня 1993 года

Учений секретар спеціалізованого комітету

Чеснокова В.Д.

Общая характеристика работы

Актуальность темы.

Пучки поляризованных частиц находят все большее применение в исследованиях структуры микромира. Исследования явлений поляризации при ядерных взаимодействиях, проводимые в ядерно-физических центрах мира, дают возможность получать более точную, зачастую оригинальную научную информацию о ядерных силах, структуре ядер, механизмах ядерных превращений. Преимущества поляризационных ядерно-физических экспериментов:

- при изучении поляризационных процессов значительно расширяется число наблюдаемых физических величин, что очень важно для устранения многозначностей при теоретическом описании явлений;
- высокая точность измерений (до 10^{-7}), на пять порядков превышающая точности, достигнутые при измерениях дифференциальных сечений.

Исключительная информативность поляризационных экспериментов особенно проявляется в изучении реакций с тяжелыми ионами. Подобные реакции исследуются экспериментально в области энергий от нескольких мегаэлектронвольт до релятивистских энергий и характеризуются многообразием продуктов, большими передачами момента и массы в процессе столкновения. Поляризационные исследования с тяжелыми ионами позволяют получать качественно новую информацию и сделать выбор между альтернативными теоретическими описаниями процессов. Поэтому в мировой практике наблюдается значительный прогресс в развитии техники получения и ускорения поляризованных тяжелых ионов для различных типов ускорителей. К сожалению, число лабораторий, обладающих источниками поляризованных тяжелых ионов, весьма ограничено: Гейдельберг (${}^6\text{Li}^-$, ${}^{6,7}\text{Li}$, ${}^{23}\text{Na}$), Киев (${}^{6,7}\text{Li}$). В последние годы проведены или ведутся разработки новых источников поляризованных ионов щелочных

металлов (Li, Na) для установки на новые перезарядные ускорители в Гейдельберге (ФРГ), Даресбури (Англия), Медисоне и Таллахасси (США) Проблема доставки поляризованных пучков с требуемыми спиновыми характеристиками к месту проведения эксперимента окончательно не решена.

В настоящее время для исследования спиновых явлений в реакциях с тяжелыми ионами в области атомов с массовым числом $6 < A < 20$ используются только поляризованные пучки изотопов лития. Другим элементом, имеющим ядро со спином $I=1$, одноизотопный состав и большую распространенность является азот. В ядре ^{14}N нечетные протон и нейтрон находятся в $P_{1/2}$ -состояниях, оно может рассматриваться как состоящее из остова ^{12}C с двумя экстрануклонами сверх замкнутых нейтронной и протонной $P_{3/2}$ -подоболочек или остова ^{16}O с двумя дырками в замкнутых P -оболочках. Ядро ^{14}N расположено между ярко выраженными α -кластерными ядрами ^{12}C и ^{16}O и отличается от них дейтроном. Приведенные свойства азота и особенности структуры его ядра свидетельствуют о наибольшей перспективности исследований поляризационных явлений на пучках поляризованных ионов азота в области $A=10+20$ в разнообразных ядерных реакциях

В данной работе развиты физические основы методов (глава 1) и техники получения пучков поляризованных ядер и ионов азота-14 (глава 3), решаются проблемы описания динамики спиновых компонент поляризованного пучка в системах транспортировки (глава 2) и измерения поляризационных характеристик ^{14}N посредством ядерных реакций (глава 4).

Цель работы.

Получение пучков поляризованных ядер азота-14 и анализ динамики их спиновых характеристик. Пути достижения цели:

1. Исследование возможности поляризации ядер азота-14 различными методами и оценка достижимых величин поляризации и возможностей изменения спиновых условий в месте проведения эксперимента.
2. Предложения по технической реализации установок для получения пучков ^{14}N .
3. Развитие методов расчета динамики спинов и деполяризации при транспортировке пучков поляризованных ионов со спинами ядер $I = 1/2, 1, 3/2$ к месту проведения эксперимента и разработка программы расчетов транспортировки поляризованных ионов по произвольному ионно-оптическому тракту.
4. Исследование механизма протекания реакций $d(^{14}\text{N}, \alpha)^{12}\text{C}^*$ и $d(^{14}\text{N}, p)^{15}\text{N}^*$ при энергии ионов $^{14}\text{N}^{2+}$ $E=7.8$ МэВ с целью использования этих реакций в качестве эффективного анализатора поляризации.

Научная новизна

1. В работе впервые проведены экспериментальные исследования возможности поляризации ядер ^{14}N системой наклонных фольг при энергии ионов $^{14}\text{N}^{2+}$ $E = 7.8$ МэВ и впервые измерены угловые распределения продуктов реакций $d(^{14}\text{N}, \alpha)^{12}\text{C}^*$ и $d(^{14}\text{N}, p)^{15}\text{N}^*$ при этой энергии с целью проведения анализа относительно использования этих реакций в качестве анализатора поляризации.

Результаты исследований свидетельствуют об лево-правой асимметрии распределения упруго выбитых ионами азота протонов и дейтронов, а также о преимущественном вкладе прямых процессов в механизм протекания реакций, указанных выше.

2. Развита форма описания динамики спинов ионов в электромагнитных полях применительно к ионным пучкам с ядерной поляризацией и произвольными эмитансами. Разработана программа TRANSPIN для расчета динамики спинов в электромагнитных полях.

3. Предложена схема струйной поляризованной мишени ядер ^{14}N модульной конструкции с толщиной мишени до 10^{14} ат/см² при размерах в 1 см^2 .

4. Предложена схема получения и транспортировки поляризованных ядер ^{14}N для электростатического перезарядного ускорителя. Проведены расчеты поляризации ядер азота на мишени при различных начальных условиях и вариантах линии транспортировки.

На защиту выносятся следующие положения диссертации:

1. Расчет энергии уровней сверхтонкого расщепления для $^{4}\text{S}_{3/2}^0$ - состояния азота-14 во внешнем магнитном поле и результаты расчета максимальных значений степени поляризации ядер ^{14}N классическим методом.
2. Формализм описания динамики спинов ионов в электро-магнитных полях применительно к ионным пучкам с ядерной поляризацией и произвольными эмитансами. Программа TRANSPIN для расчета динамики спинов в электромагнитных полях.
3. Результаты исследований угловых распределений реакций $d(^{14}\text{N}, \alpha)^{12}\text{C}^*$ и $d(^{14}\text{N}, p)^{15}\text{N}^*$ при энергии $E(^{14}\text{N}) = 7.8\text{ МэВ}$.
4. Результаты исследований по поляризации ядер ^{14}N с энергией 7.8 МэВ системой наклонных фольг.
5. Схема струйной поляризованной мишени ядер ^{14}N модульной конструкции с толщиной мишени до 10^{14} ат/см² при размерах в 1 см^2 .
6. Схема получения и транспортировки пучков поляризованных ядер ^{14}N для электростатического перезарядного ускорителя.

Апробация работы и публикации

Материалы диссертации докладывались на Всесоюзном семинаре по электромагнитным взаимодействиям адронов в резонансной области энергий (Харьков, 1987), XI Всесоюзном совещании по физике

ускорителей (Дубна, 1988), Международной школе ОИЯИ-ЦЕРН по физике (Алушта, 1991), ежегодных конференциях молодых специалистов и конференциях по итогам года ИЯИ АН Украины, и опубликованы в виде двух научных докладов, пяти статей в различных научных журналах, одного авторского свидетельства, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения, списка литературы, содержит 108 страниц, в том числе 25 таблиц, 17 рисунков, 51 ссылка в списке литературы.

Краткое содержание работы

В первой главе описан классический способ поляризации ядер ^{14}N , представлены уравнения, полученные для расчета энергии уровней сверхтонкого расщепления для $^4\text{S}_{3/2}$ состояния ядра ^{14}N во внешнем магнитном поле H , а так же приведены результаты расчета энергии уровней в области $H=0.0+1.0$ Тл. Здесь же приведены возможные варианты поляризации ядер азота и рассчитаны максимальные величины векторной P_z и тензорной P_{zz} поляризации, достижимые при реализации конкретных вариантов (табл I).

В второй же главе анализируются и другие методы поляризации ядер азота- 14 такие как:

- метод поляризации ^{14}N , использующий лямбовский сдвиг;
- присоединение к системе (ядро, электрон) ^{14}N поляризованного электрона;
- поляризация водородоподобных $^{14}\text{N}^{6+}$ и гелиеподобных $^{14}\text{N}^{5+}$ ионов методом оптической накачки;
- поляризация ядер ^{14}N наклонной поверхностью;

Дана оценка возможных максимальных значений поляризации ядер при

Таблица 1.

Возможные варианты поляризации ядер ^{14}N при реализации классического способа поляризации.

Слабое поле		Переходы		Поляризация	
свз переход.	с переход.	в сильном поле		P_z	P_{zz}
+	-	-	-	1/3	0
-	+	-	-	-2/3	0
-	+	π II \circ IO	π 8 \circ 7	-1	1
+	-	2 \circ 6 π	-	1/6	1/2
-	+	3 \circ 5	-	-1/2	-1/2
-	-	2 \circ 6 π	-	-1/6	1/2
-	-	2 \circ 3	5 \circ 6 π	-1/3	1
-	-	3 \circ 5	-	1/6	-1/2
+	-	π 1 \circ 2	4 \circ 5	0	-1
-	-	π 1 \circ 2	2 \circ 3 π	-1/2	1/2

Для ионов $^{14}\text{N}^{6+}$ метод поляризации, использующий лембовский сдвиг не реализуем, так как значение требуемого внешнего магнитного поля $H=72.5$ Тл, что недостижимо при современном развитии техники магнитных полей.

В случае присоединения к системе (ядро ион) ^{14}N поляризованного электрона максимально достижимая поляризация такая же, как и в случае пучков, поляризованных по электронному спину в мультипольном магните и затем выведенных в слабое магнитное поле: $P_z \leq (2I+1)^{-1}$, т.е. $P_z \leq 33\%$. В работе показана возможность поляриза-

ции азота этим методом.

Метод оптической накачки, в отличие от других способов, позволяет достигать теоретически возможной величины векторной поляризации ядер при $I \geq 1$. Оптическая накачка современными лазерами ядер азота в основном состоянии неосуществима в связи с быстрым ростом энергии первого уровня с ростом зарядности ионов. Поэтому в работе рассмотрена возможность накачки ионов азота в нижних метастабильных состояниях, к которым принадлежат 2^3S_1 -уровень гелиеподобного иона $^{14}N^{5+}$ и $2^1S_{1/2}$ -уровень водородоподобного иона $^{14}N^{6+}$. В работе показано, что при интенсивности ионных пучков в десятки микроампер возможно получение пучка поляризованных ионов $^{14}N^{5+}$ в 2^3S_1 -состоянии интенсивностью несколько микроампер, разумеется, при использовании доплеровского сдвига. Водородоподобный ион $^{14}N^{6+}$ методом оптической накачки поляризовать невозможно, так как частота перехода $2S_{1/2} \rightarrow 2P_{3/2}$ слишком мала и далека от оптического диапазона современных перестраиваемых лазеров на красителях.

Проведенный в главе анализ свидетельствует, что метод поляризации ядер наклонной поверхностью более эффективен для поляризации ядер с большими магнитными моментами, но реализуем и для ядер с малыми спинами. В главе 4 исследована экспериментально возможность поляризации ядер азота методом наклонных фольг.

Во второй главе развит формализм расчета изменения поляризационных характеристик частиц со спином I в различных ионно-оптических элементах транспортировки применительно к пучкам поляризованных частиц с произвольными эмитансами. Получены явные выражения для матриц вращения для следующих элементов ионно-оптического тракта транспортировки: дипольный магнит, фильтр Вина, соленоид, квадрупольная магнитная линза, циклотрон (без учета резонансов), электростатическое зеркало. Рассмотрение прове-

дено в системе координат с осью z , совпадающей с центральной траекторией частиц, осью y , параллельной магнитному полю дипольных магнитов (вертикальной для магнитов с горизонтальными полюсами) и осью x , направленной так, чтобы получилась правая система координат. Вектор спина ядра $I(I_x, I_y, I_z)$ в системе координат x, y, z после электромагнитного элемента получается из начального вектора $I_0(I_{x0}, I_{y0}, I_{z0})$ в системе x_0, y_0, z_0 путем преобразования его с помощью матрицы вращения R : $I = R \cdot I_0$ или

$$\begin{bmatrix} I_x \\ I_y \\ I_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{x0} \\ I_{y0} \\ I_{z0} \end{bmatrix}$$

Матрица вращения R реализует повороты на углы Эйлера α, β, γ : 1-й поворот на угол α вокруг оси z ; 2-й поворот на угол β вокруг оси y' (линии узлов); 3-й поворот на угол γ вокруг оси z'' . Положительное значение поворота соответствует вращению правого винта, взвращиваемого в направлении положительной оси вращения. Общий вид матрицы вращения системы $R = R_z(\alpha) \cdot R_{y'}(\beta) \cdot R_{z''}(\gamma)$:

$$R = \begin{bmatrix} \cos\alpha\cos\beta\cos\gamma - \sin\alpha\sin\gamma & -\cos\alpha\cos\beta\sin\gamma - \sin\alpha\cos\gamma & \cos\alpha\sin\beta \\ \sin\alpha\cos\beta\cos\gamma + \cos\alpha\sin\gamma & -\sin\alpha\cos\beta\sin\gamma + \cos\alpha\cos\gamma & \sin\beta\sin\alpha \\ -\sin\beta\cos\gamma & \sin\beta\sin\gamma & \cos\beta \end{bmatrix}$$

Описана программа TRANSPIN, разработанная для расчета динамики изменения поляризационных характеристик пучка после прохождения им произвольного числа и расположенных в любой последовательности элементов тракта на основании полученных матриц вращения. Расчет спиновых компонентов пучка осуществляется в декартовой и сферической системах координат: рассчитываются значения P_i, P_{ij} ,

P_{ijk} ($i, j, k = x, y, z$) и сферические компоненты A_{kq} , t_{kq} для $I=I/2$, $I, 3/2$ ($k=0, 1, \dots, 2I$; $q=-2I, -(2I-1), \dots, 0, 1, \dots, 2I-1, 2I$).

Кратко описана заложенная в программе TRANSPIN возможность для разработки режима ее работы, позволяющего рассчитать при включении в тракт фильтра Вина (ФВ) угол поворота ФВ вокруг оси движения пучка и величину его магнитного поля H в пределах $H=0+H_{\text{макс}}$, при которых требуемая поляризационная компонента пучка будет максимальной в заданной точке тракта транспортировки.

Третья глава посвящена технике поляризованных пучков ^{14}N . В работе впервые предложена струйная поляризованная мишень ядер ^{14}N модульной конструкции с толщиной мишени до 10^{14} ат/см² при размерах в 1 см^2 применительно к накопительным кольцам, при этом сохраняются преимущества одноструйной поляризованной мишени по быстрому управлению поляризацией. Рассчитаны возможные максимальные значения поляризации ядер (см. табл. I).

Мишень состоит из пяти секций:

- 1) получение атомов из молекул, охлаждение до температуры, близкой к температуре жидкого азота (около 80 К) и формирование атомарных пучков;
- 2) разделение атомов по проекции электронного спина (поляризация по электронному спину);
- 3) движение атомов, сфокусированных в пучки к траектории циркулирующих ионов и основная откачка системы мишени;
- 4) секция радиочастотных переходов;
- 5) улавливание поляризованного атомарного потока после пересечения им траектории циркулирующих в накопительном кольце частиц.

Пересечение пучка накопителя с мишенью происходит между четвертой и пятой секциями мишени в месте, где достигается наибольшее их перекрытие, так как здесь диаметр мишени практически равен однопучковому варианту. Вне области пересечения рабочая

часть мишени имеет форму секторов с углом примерно 45° в центре. Секции 1 и 2 имеют модульное строение - 8 модулей. В каждом модуле по 12 каналов, каждый из которых по характеристикам близок к каналу формирования и фокусировки атомного пучка в классическом источнике поляризованного водорода или дейтерия.

В этой же главе предложена схема получения, ускорения и транспортировки поляризованного пучка для перезарядного электростатического ускорителя.

С новыми узлы источника поляризованных тяжелых ионов (ИПТИ):

- формирователь нейтрального пучка;
- система раделения пучка по проекциям электронного спина в неоднородном магнитном поле;
- радиочастотные переходы, применение которых позволяет достигать теоретически возможных результатов;
- ионизатор для получения положительных ионов;
- перезарядное устройство для получения отрицательных ионов;
- системы фокусировки.

Особенности ИПТИ для ионов азота-I4:

- применение светосильной системы формирования нейтрального пучка для повышения интенсивности поляризованных ионов;
- использование молекулярных соединений азота в нейтральном и ионном пучках для образования отрицательных ионов, содержащих поляризованный азот.

В ИПТИ осуществляется предускорение поляризованных ионов, в связи с чем узлы ионизации и перезарядки находятся под регулируемым потенциалом до 20 кВ.

Для предложенной схемы тракта значения отклонений компонентов поляризации частиц, движущихся по максимально удаленной краевой траектории, составляют десятые процента от аналогичных величин для частиц осевой траектории и они заметно меньше в четных

кроссоверах пучка. Здесь же приведены расчеты спиновых характеристик поляризованных ядер ^{14}N для различных вариантов построения тракта транспортировки перезарядного электростатического ускорителя от источника до места проведения эксперимента. Расчеты выполнены по программе TRANSPIN.

Четвертая глава включает в себя экспериментальные работы, выполненные на приборостроительном комплексе У-120 ИГиМ АН Украины. Впервые исследована возможность поляризации ядер ^{14}N с энергией 7.8 МэВ с помощью системы наклонных фольг и получен положительный эффект в виде отличной от нуля асимметрии распределения упруго рассеянных ядер азота протонов и дейтронов. Здесь же обсуждаются ошибки измерения асимметрии.

Для реализации эксперимента была разработана методика проведения эксперимента с участием в качестве анализатора микро-ЗЕМ СМ-4, разработаны и выполнены:

- а) узел для изменения угла наклонных фольг на противоположный, работающий дистанционно и в автоматическом режиме;
- б) устройство У-01 для управления периодом изменения угла наклонных фольг $T_{\text{нф}}$ и режимом накопления спектрометрической информации.

Эксперимент проводился при периоде $T_{\text{нф}}=33$ с. Во время изменения угла наклонных фольг (7 с) устройством У-01 осуществлялась приостановка накопления всей спектрометрической информации. Для поворота наклонных фольг "+α" или "-α" устройство У-01 осуществляло переадресацию всей информации в зону А или В анализатора, соответственно (в том числе от мониторов). В эксперименте была предусмотрена возможность одновременного накопления информации от 4-х детекторов и двух мониторов в соответствующую зону. Ошибка разброса устройством У-01 информации по зонам на пучке была существенно ниже статистической, а при подаче импульсов от

генератора точных амплитуд ошибки разброса по зонам составляла $(0.2 \pm 0.5)\%$.

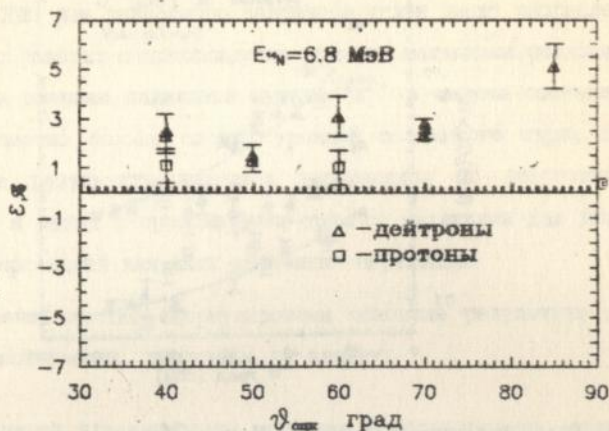
Поляризация ядер азота осуществлялась тремя фольгами ^{12}C толщиной ≈ 10 мкг/см² каждая. В качестве мишени использовалась дейтерополиэтиленовая пленка с примесью водорода толщиной $d_{\text{см}} = 70$ мкг/см² на подложке ^{12}C ($d_{\text{с}} = 2\text{г}$ мкг/см²).

Для регистрации упруго выбитых протонов и дейтронов применялись однокристалльные полупроводниковые детекторы с энергетическим разрешением $\approx 1.5\%$, расположенные на подвижной платформе с угловым интервалом 22.5° . В качестве монитора использовались упругий пик ядер ^{14}N , рассеянных на ^{12}C , и цилиндр Фарадея (ЦФ).

Угловое разрешение детекторов составляло $\Delta\theta = 3-4^\circ$.

В зависимости от угла рассеяния асимметрия протонов $(1.0 \pm 0.7)\% \leq \epsilon_p \leq (1.1 \pm 0.7)\%$, для дейтронов $-(1.3 \pm 0.9)\% \leq \epsilon_d \leq (5.1 \pm 0.9)\%$ и возрастает с увеличением угла рассеяния дейтронов (фиг.1). Для угла $\theta = 20^\circ$ величины асимметрии распределения p и d , измеренные одним и двумя симметрично расположенными детекторами, совпадали с точностью до ошибок измерений, но при использовании двух детекторов ошибка измерений была несколько выше из-за необходимости учета геометрических и кинематических ошибок. Поэтому для остальных углов асимметрия p и d измерялась одним детектором, упругий пик азота которого служил монитором. Ложная асимметрия, — асимметрия между отсчетами интегратора и в упругом пике азота-14, находилась в пределах $(-0.19 \pm 0.33)\%$ на протяжении всего времени проведения эксперимента.

Проведена экспериментальная работа по изучению реакций $d(^{14}\text{N}, \alpha)^{12}\text{C}^*$ и $d(^{14}\text{N}, p)^{15}\text{N}^*$ как эффективного анализатора поляризации. Впервые измерены угловые распределения этих реакций при энергии $E(^{14}\text{N}) = 7.8$ МэВ. Измеренные угловые распределения в

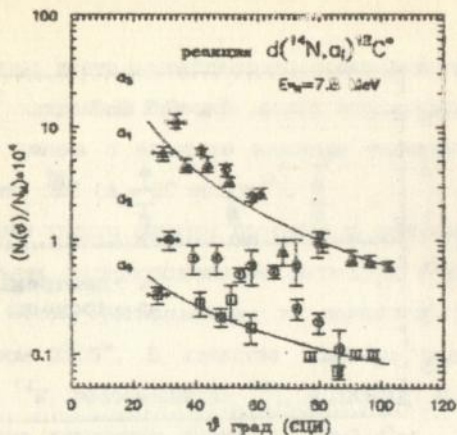


Фиг.1. Асимметрия рассеяния протонов и дейтронов, упруго выбитых ядрами ^{14}N с энергией 7.8 МэВ, прошедшими через тонкие углеродные наклонные фольги.

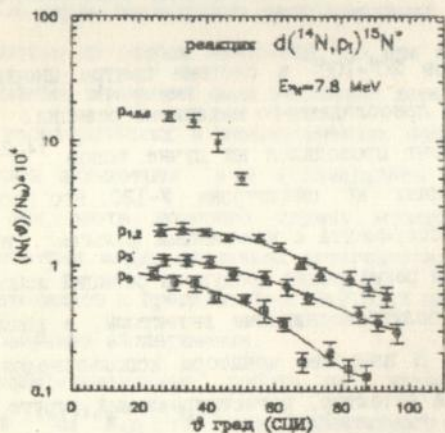
области углов $20^\circ + 100^\circ$ в системе центра инерции рассмотрены с точки зрения преобладающего механизма реакции.

Эксперимент проводился на пучке ионов $^{14}\text{N}^{2+}$ с энергией 7.8 МэВ, ускоренных на циклотроне У-120. Его геометрия аналогична геометрии эксперимента с наклонными фольгами, только с тем отличием, что для регистрации продуктов реакций использовались телескопические полупроводниковые детекторы, а наклонные фольги отсутствовали. В качестве монитора использовался простой полупроводниковый детектор, регистрировавший упруго выбитые азотом дейтроны под углом $\theta_{\text{д}} = 42.5^\circ$.

Спектры для α -частиц и протонов из реакций ^{14}N с энергией $E = 7.8$ МэВ на дейтерии показаны на Фиг.2 и Фиг.3, соответственно.



Фиг.2. Угловые распределения реакций $d(^{14}\text{N}, \alpha)^{12}\text{C}^*$ при энергии $E_{\text{ч}} = 7.8 \text{ MeV}$. Сплошные линии - результат сглаживания экспериментальных данных функцией типа $f = ax^b + c$.



Фиг.3. Угловые распределения реакций $d(^{14}\text{N}, p)^{15}\text{N}^*$ при энергии $E_{\text{ч}} = 7.8 \text{ MeV}$. Сплошные линии - результат сглаживания экспериментальных данных функцией типа $f = ax^3 + bx^2 + cx + d$.

Измеренные угловые распределения для продуктов ${}^2\text{H}({}^{14}\text{N}, \alpha){}^{12}\text{C}$ -реакций (фиг.2) и ${}^2\text{H}({}^{14}\text{N}, \text{p}){}^{15}\text{N}$ - реакций (фиг.3) в системе центра инерции (СЦИ) для указанного диапазона углов имеет направленность вперед, что говорит о преобладании прямого механизма реакции.

Потери энергии падающего пучка ${}^{14}\text{N}^{2+}$ в мишени составляли ≈ 1 МэВ, а заметно больше ширины уровней составного ядра, поэтому полученные результаты являются усреднением по энергетическому интервалу и вывод о преобладании прямого механизма для указанной энергии справедлив для всех изученных переходов.

В заключении кратко сформулированы основные результаты диссертационной работы, выносимые на защиту:

1. Разработаны и реализованы методики и оборудование, электронные схемы для проведения экспериментов на циклотроне У-120 ИЯИ АН Украины по поляризации ядер ${}^{14}\text{N}$ с энергией 7.8 МэВ системой наклонных фольг и измерению угловых распределений продуктов реакций $\text{d}({}^{14}\text{N}, \alpha){}^{12}\text{C}^*$ и $\text{d}({}^{14}\text{N}, \text{p}){}^{15}\text{N}^*$.

2. Обнаружена лево-правая асимметрия в распределения углового выбитых протонов и дейтронов при их взаимодействии с ядрами ${}^{14}\text{N}$, обладающими энергией 7.8 МэВ и прошедшими через систему из трех углеродных наклонных фольг ($\alpha=60^\circ$) толщиной по ≈ 10 мкг/см² и эффективным диаметром 16 мм. В зависимости от угла рассеяния асимметрия протонов $(1.0 \pm 0.7)\% \leq \epsilon_p \leq (1.1 \pm 0.7)\%$, для дейтронов $(1.3 \pm 0.9)\% \leq \epsilon_d \leq (5.1 \pm 0.9)\%$ и возрастает с увеличением угла рассеяния дейтронов.

3. Измерены угловые распределения продуктов реакций $\text{d}({}^{14}\text{N}, \alpha){}^{12}\text{C}^*$ и $\text{d}({}^{14}\text{N}, \text{p}){}^{15}\text{N}^*$ при энергии $E_{\text{ч.н.}}=7.8$ МэВ для конечных состояний: ${}^{12}\text{C}(0^+, 0.00)$, ${}^{12}\text{C}(2^+, 4.43)$, ${}^{12}\text{C}(0^+, 7.65)$, ${}^{12}\text{C}(3^-, 9.64)$, ${}^{15}\text{N}(1/2^-, 0.00)$, (состояния ${}^{15}\text{N}(5/2^+, 5.27)$, ${}^{15}\text{N}(1/2^+, 5.30)$ не

разделены], $^{15}\text{N}(3/2^-, 6.33)$. Анализ полученной информации свидетельствует о преобладании прямого механизма для указанной энергии для всех изученных переходов и о возможности реализации различных по величине и знаку значений векторной и тензорной анализирующих способностей для анализа поляризации ионов азота или дейтронов.

4. Получены уравнения и проведены расчеты энергии уровней сверхтонкого расщепления $^4\text{S}_{3/2}^0$ -состояния ^{14}N во внешнем магнитном поле $H=0.1.0$ Тл. Приведены максимальные значения степени поляризации ядер ^{14}N при реализации различных методов поляризации .
5. Разработан формализм описания динамики спина ядра в электромагнитных полях применительно к ионным пучкам с ядерной поляризацией и произвольными эмиттантами. Разработана программа TRANSPIN, осуществляющая расчет поляризационных компонент пучка при его движении по тракту транспортировки. При использовании в тракте фильтра Вина, вращающегося вокруг оси пучка, программа определяет величину магнитного поля фильтра Вина и угла поворота фильтра Вина, при которых конкретная компонента поляризации имела бы в результате движения по заданному тракту транспортировки максимальное значение в месте проведения эксперимента.
6. Разработана схема источника поляризованных ионов азота и его установки для ускорения поляризованных тяжелых ионов ^{14}N на электростатическом перезарядном ускорителе. Приведены расчеты динамики спинов в тракте источник-ускоритель-мишень для ионов ^{14}N , движущихся по центральной и краевой траекториях и показана реальность получения необходимых спиновых условий на

мишени при незначительных деполяризационных эффектах.

7. Предложена схема струйной поляризованной мишени ядер ^{14}N модульной конструкции с толщиной мишени до 10^{14} ат/см² при размерах в 1 см². Приведены максимальные значения возможных поляризационных характеристик.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

1. Заика Н.И., Магаль М.И. Струйная поляризованная мишень высокой плотности.- Вопросы атомной науки и техники. Серия: общая и ядерная физика, 1988, вып. I(41), с.86-89.
2. Заика Н.И., Магаль М.И. Метод и программа расчетов спиновых характеристик пучка по линии транспортировки.- Тр. XI Всесоюз. совещ. по физике ускорителей, том I, Дубна, 1988, с.464.
3. Заика Н.И., Магаль М.И. Поляризация ядер ^{14}N .-Тез. докл. 37 Совещ. по ЯС и САЯ.- Ленинград, Наука, 1987, с.401.
4. Заика Н.И., Магаль М.И., Шмарин П.Л. Установка для поляризации ^{14}N наклонными фольгами.- Тез. докл. 41 Совещ. по ЯС и САЯ, Минск, 1991, с.433.
5. Заика Н.И., Магаль М.И. Методы поляризации ядер ^{14}N в атомарных и ионных пучках.- УФЖ, 1988, -33, No.7, -с.965-971.
6. Заика Н.И., Магаль М.И. Спиновые характеристики пучка ионов при прохождении электромагнитных полей.- Препринт КИЯИ-91-27, Киев, 1991, 18 с.
7. Аушев В.Е., Заика Н.И., Магаль М.И. и др. О получении и ускорении поляризованных тяжелых ионов на перезарядном электростатическом ускорителе.- Препринт КИЯИ-89-22, Киев, 1989, 19 с.
8. Аушев В.Е., Заика Н.И., Магаль М.И. Квадрупольная магнитная линза.- Авторское свидетельство СССР No. I466623, приоритет 08.04.1986 г.

ЛНБ ім. В. Стефани
АН України

МАГАЛЬ Михаил Иванович

ПОЛУЧЕНИЕ ПУЧКОВ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ЯДЕР ^{14}N
И АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ИХ СПИНОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

(Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук)

Усл.печ.л. 1.1

Тип. зак. No. 35

Подписано к печати 18.03.1993 г.

Тираж 100

Институт ядерных исследований АН Украины

252028 Киев-28, Проспект Науки, 47

468443

AB 27.072