

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P13-86-734

Н.С.Борисов, Э.И.Бунятова, Ю.Ф.Киселев,
М.Ю.Либург, В.Н.Матафонов, Б.С.Неганов,
А.Б.Неганов, Ю.А.Усов

МИШЕНИ С ЗАМОРОЖЕННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ
ЯДЕР ВОДОРОДА И ДЕЙТЕРИЯ

Доклад, представленный на VII Международный симпозиум по спиновым явлениям в физике высоких энергий, Протвино, 22-27 сентября 1986 г.

1986

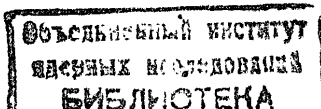
ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших элементов традиционной методики поляризационного эксперимента является поляризованная твердотельная мишень. В Лаборатории ядерных проблем разработаны ^{1,2/} и в течение ряда лет используются в экспериментах на ускорителях ИФВЭ ^{5/} и ЛЯФ ^{6/} поляризованные протонные, а в последнее время и дейтронные мишени с замороженной поляризацией ядерных спинов. Настоящий доклад посвящен изложению основных результатов работ по созданию поляризованных мишеней в ОИЯИ. Реализация нового метода получения сверхнизких температур с помощью растворения жидкого ³He в ⁴He в ОИЯИ ^{3/} стимулировала предложение о новом типе мишени - поляризованной "замороженной" мишени. Такое предложение было выдвинуто Негановым Б.С. в 1968 году ^{4/}. Основная идея "замороженной" поляризованной мишени заключается в том, что после достижения высокой поляризации с помощью динамического метода, СВЧ-поле выключается и вещество мишени охлаждается до сверхнизких температур ниже 0,05К. При этом тепловая релаксация системы ядерных спинов резко замедляется, что позволяет поместить мишень в слабое и менее однородное поле магнита, имеющего большую апертуру. Более того, это "удерживающее" поле, а вместе с ним и ядерные спины могут иметь любое фиксированное или изменяемое в эксперименте направление.

Предложение по созданию мишени "замороженного" типа вызвало комплексные исследования в области динамической поляризации ядер (ДПЯ) при сверхнизких температурах, изучение свойств жидких растворов ³He в ⁴He и разработку рефрижераторов растворения ³He в ⁴He, сочетающих большую мощность охлаждения с предельно низкими температурами. Была изготовлена специальная измерительная и СВЧ-аппаратура, опробован широкий спектр образцов и отработана технология приготовления оптимального вещества мишени. Эти исследования завершились созданием в Дубне действующей в эксперименте по измерению $\sigma_{\text{пл}}$ в р-р рассеянии с октября 1975 г. ^{7/} "замороженной" поляризованной протонной мишени средних размеров ^{1/} и мишени для серпуховского ускорителя с длиной по пучку 20 см для вторичных пучков высокой энергии в 1978 г. ^{2/}. Интерес экспериментаторов к поляризованным ядрам дейтерия стимулировал работу по созданию дейтронных поляризованных мишеней. Эта работа проводилась нами на действующих установках с 1981 г. в ИФВЭ и ЛЯФ.

I. Рефрижератор растворения ³He в ⁴He - основа ППЗМ

При создании мощных рефрижераторов растворения ³He в ⁴He для поляризованных мишеней мы столкнулись с рядом особенностей, на которых хотелось бы остановиться более подробно. Параметры рефрижератора



растворения оказывают решающее влияние на основные характеристики "замороженной" поляризованной мишени. Описание одного из первоначальных вариантов дано в работе /1/, во второй мишени (рис. 1) в устройстве ступени растворения внесены ряд серьезных изменений, обусловленных

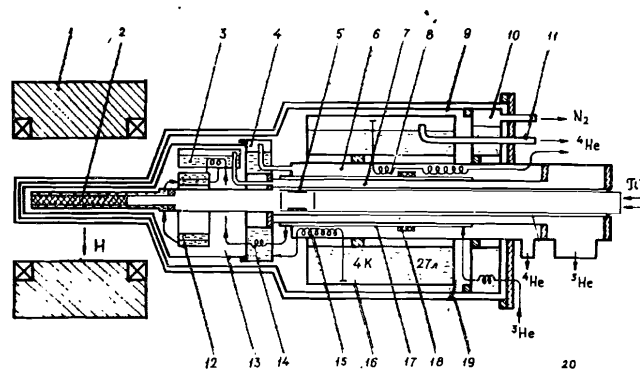


Рис. 1. Схема ШЭМ-П.

1 - электромагнит, 2 - мишень, 3 - ванна испарения ^3He , 4 - ИК-ванна ^4He , 5 - угольный насос, 6 - тракт откачки ИК-ванны ^4He , 7 - тракт откачки ^3He , 8 - змеевик для паров 4К-ванны ^4He , 9 - азотный вакуумный экран, 10 - азотная ванна, 11 - выход паров 4К-ванны, 12 - теплообменник, 13 - экран ступени растворения, 14 - змеевик охлаждения ^3He , 15 - змеевик охлаждения ^4He , 16 - 4К-ванна ^4He , 17 - газовый теплообменник ^3He , 18 - блок очистки ^3He , 19 - корпус криостата, 20 - канал для ввода мишени и пучка частиц.

необходимостью увеличить мощность охлаждения и обеспечить более низкую температуру в режиме динамической поляризации (ДПА). Модификация ступени растворения (рис. 2) позволила нам на основе базовой мишени установки "ПРОЗА" /8/ разработать дейтериевый вариант замороженной поляризованной мишени.

а) Камера растворения

В отличие от первой замороженной мишени и первоначального варианта мишени установки "ПРОЗА" ^3He вводится в камеру растворения снизу через рассеиватель - перфорированную в нижней части цилиндрическую оболочку, образующую с корпусом камеры щелевой канал для поступающего ^3He . Выбор такого способа ввода ^3He обусловлен тем, что эксперименты и анализ /9/ показали неприемлемость в режиме ДПА традиционного способа растворения "сверху-вниз" с фиксированной границей расслоения

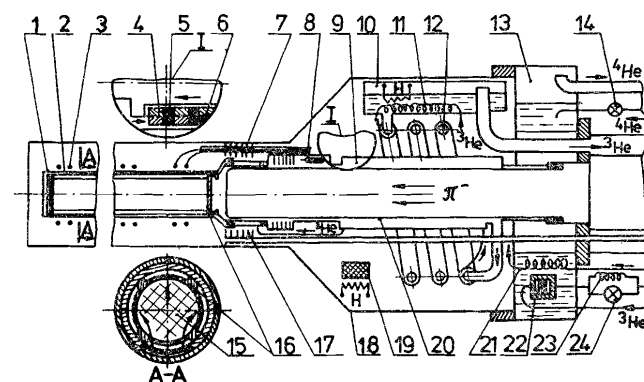


Рис. 2.

Принципиальная схема низкотемпературной части рефрижератора.

1 - корпус ванны растворения, 2 - рассеиватель ^3He , 3 - катушка РЧ-контура, 4 - спеченный медный порошок, 5 - изолирующее кольцо, 6 - разделительная стенка, 7 - коаксиальный кабель, 8 - угольные термометры, 9 - основной теплообменник, 10 - ванна испарения, 11 - змеевик охлаждения ^3He , 12 - предварительный теплообменник, 13 - ИК ванна ^4He , 14 - игольчатый вентиль, 15 - рабочее вещество мишени, 16 - перфорированный контейнер, 17 - СВЧ-дрессель, 18 - тепловой экран, 19 - угольный насос, 20 - полая пробка, 21 - змеевик ^3He , 22 - конденсатор ^3He , 23 - постоянный дроссель ^3He , 24 - игольчатый вентиль.

фаз. В первом варианте установки при верхнем вводе ^3He температура границы из-за слабой теплопроводности и невысокой скорости откачки насосов оказалась недостаточной, чтобы возбудить необходимый поток ^3He . Соответственно пропорциональная скорости растворения мощность охлаждения мишени была также невысокой. Кроме того, при старом способе распределение температуры в мишени при большой тепловой нагрузке было неоднородным, а при некоторых условиях даже наблюдалось вскипание верхней фазы с последующим срывом режима растворения.

При вводе с рассеянием ^3He снизу растворение всплывающей легкой концентрированной фазы происходит равномерно по всему объему мишени. Важно также то, что в данном случае раствор оказывается неустойчивым по отношению к тепловой конвекции, которая является гораздо более мощным механизмом теплообмена, чем обычная теплопроводность. По-видимому, оба механизма, тепловая конвекция и равномерное по объему

растворение действуют совместно, обеспечивая однородность температуры и оптимальный для данного варианта рефрижератора изотермический процесс растворения. Критерием законности этого утверждения служит совпадение величины измеренной мощности и значений, вычисленных для идеального изотермического процесса растворения

$$\dot{Q} = \dot{n}(T, T_{\text{ви}}, V) \frac{x_v(T, T_{\text{ви}}) - x_l(T)}{x^* - x_l(T)} \left[x^* \Delta H_3 + (1 - x^*) \Delta H_4 \right], \quad (1)$$

где $\dot{n}(T, T_{\text{ви}}, V)$ - молярная скорость потока циркулирующей смеси, зависящая от температуры камеры растворения T , температуры ванны испарения $T_{\text{ви}}$ и скорости откачки насосов V ; $x_v(T, T_{\text{ви}})$ - концентрация пара над раствором в ванне испарения; $x_l(T)$ - равновесная концентрация нижней фазы раствора, $x_u(T)$ - равновесная концентрация верхней фазы раствора; x^* - максимальная из величин $x_v(T, T_{\text{ви}})$ и $x_u(T)$; ΔH_3 , ΔH_4 - парциальная молярная теплота перехода ${}^3\text{He}$ в ${}^4\text{He}$ из верхней фазы в разбавленный раствор, определяемая следующими соотношениями:

$$\Delta H_3 = H_3(x_l(T), T) - H_3^0(T); \quad (2)$$

$$\Delta H_4 = \mu_4(x_l(T), T) - \mu_4^0(T) - (E_{04} + L_{04} + \frac{R}{2} T - H_4^0(T)). \quad (3)$$

В этих выражениях $H_3(x_l(T), T)$ - молярная энтальпия примесного газа квазичастиц ${}^3\text{He}$ в растворе; $H_{3,4}^0(T)$ - молярные энтальпии чистых жидких ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$, E_{04} - энергии связи ${}^4\text{He}$ в верхней фазе при абсолютном нуле температур в пределе высоких концентраций ${}^3\text{He}$; L_{04} - теплота испарения чистого ${}^4\text{He}$ при абсолютном нуле температур; $\mu_4(x_l(T), T)$, $\mu_4^0(T)$ - химические потенциалы ${}^4\text{He}$ в нижней фазе и в чистом ${}^4\text{He}$ соответственно.

Соотношение (3) основано на модели болцмановского газа примесей ${}^4\text{He}$ в ${}^3\text{He}$ с одной степенью свободы ^{/10/}. Величина энергии связи E_{04} определялась с использованием результатов работы ^{/11/}. Отметим, что применение более простого соотношения для теплоты перехода ^{/12/} в области температур выше 0,2К неравномерно, так как в нем не учитывается влияние ${}^4\text{He}$ на энтальпию верхней фазы. Экспериментальные данные для теплоты перехода в равновесных условиях ^{/13/} хорошо согласуются с (1) при x^* , равном $x_u(T)$. Обычно концентрация пара x_v меньше равновесной концентрации верхней фазы x_u , что приводит к разделению поступающей смеси. Уравнение (1) учитывает этот факт. В случае $x_v > x_u$ в уравнении (1) предполагается, что концентрация верхней фазы, поступающей в камеру растворения, совпадает с концентрацией пара в ванне испарения. Это справедливо, если поток

диффузии ${}^4\text{He}$ в несверхтекучую концентрированную фазу незначителен по сравнению с потоком поступающей жидкой смеси. Для мощных рефрижераторов растворения это условие выполняется всегда. Пренебрежение различием температуры ${}^3\text{He}$ на входе в камеру растворения и температуры раствора на выходе из нее обосновывается расчетами ^{/12/} и подтверждается экспериментально.

При подаче ${}^3\text{He}$ снизу необходимо не допускать как избытка, так и недостатка общего количества ${}^3\text{He}$, что приводит к ухудшению работы рефрижератора. Для облегчения подбора оптимального количества ${}^3\text{He}$ корпус контейнера выполнен таким образом, что образует в верхней части вместе с рассеивателем замкнутую полость, служащую балластным объемом для небольшого количества ${}^3\text{He}$. В случае избытка ${}^3\text{He}$ накапливается, а при недостатке - расходуется так, что неизбежные колебания потока ${}^3\text{He}$ в значительной степени сглаживаются. Подобный прием описан в работе ^{/14/}.

Основные конструктивные размеры камеры растворения: внутренний диаметр рабочего контейнера 19,6 мм, длина 200 мм, ширина зазора боковых кольцевых секторных каналов для выхода раствора - 1,5 мм, средняя толщина стенок корпуса, рассеивателя и контейнера - 0,7 мм. Успешная эксплуатация в многочисленных опытах показала целесообразность выбора данной конструкции камеры растворения.

б) Теплообменник

При ДПЯ и в замороженном режиме требования к теплообменнику существенно различны.

В режиме с большой мощностью охлаждения, высокой скоростью потока и сравнительно высокой для рефрижераторов растворения температурой 0,3К, большая поверхность не является необходимой. В этом можно убедиться, оценивая необходимую поверхность с помощью соотношений, приведенных в работе ^{/12/}; эксперимент также непосредственно подтверждает это заключение. Основное требование к теплообменнику в таком режиме - обеспечить перенос ${}^3\text{He}$ по каналам со сверхтекучим раствором без больших потерь осмотического давления. Особенно важным оказывается избежать возникновения турбулентности, что определяется геометрией каналов теплообменника. Оптимальным с этой точки зрения представляется или разбиение канала с раствором на множество мелких, или использование узкого кольцевого канала большого диаметра. В нашем варианте теплообменника реализованы обе возможности: предварительная секция теплообменника типа "трубка в трубке" имеет для раствора 14 каналов, основная секция - один узкий кольцевой канал шириной 1 мм и диаметром 30 мм.

В замороженном режиме при сверхнизких температурах величина площади поверхности играет основную роль. Кроме того, слишком большое поперечное сечение каналов, необходимое для обеспечения режима ДПЯ, может

существенно ухудшить характеристики теплообменника при сверхнизких температурах, так что приходится идти на известный компромисс. Критерии влияния теплопроводности изложены в работе [2]. Необходимую величину площади поверхности A можно оценить по формуле:

$$\epsilon_n \frac{[\beta T^2 \frac{\dot{Q}}{n}] [(b-a)(T_3^2 - T^2) - 2 \frac{\dot{Q}}{n}]}{[(b-a) T^2 \frac{\dot{Q}}{n}] [(b+a) T_3^2 - (b-a) T^2 + 2 \frac{\dot{Q}}{n}]} = \frac{A [2 \frac{\dot{Q}}{n} - (b-a) T^2]}{(a_3 + a_4) a \cdot b \cdot \eta} \quad (4)$$

где T — температура камеры растворения, T_3 — температура ^3He на теплоом конце теплообменника, \dot{Q} — полная тепловая нагрузка, n — скорость циркуляции ^3He , a_3 , a_4 — коэффициенты сопротивления Капицы для ^3He и раствора, $b = 107 \text{ Дж/моль}^2$, $a = 25 \text{ Дж/моль}^2$. Выражение (4) получено для идеального непрерывного теплообменника в области температур ниже 0,1 К.

Основной теплообменник представляет собой сплошную мельхиоровую тонкостенную трубку диаметром 34 мм и длиной около 500 мм с 40-кольцевыми секциями толщиной 1–2 мм и шириной около 10 мм. Секции из спеченного медного порошка диаметром 40 мкм располагаются снаружи и внутри трубки напротив друг друга, как показано на рис.2. Разрывы между секциями шириной 2 мм заполнены кольцами из тефлона. Анализ показывает, что при таком количестве изолированных секций теплообменник должен быть близок к непрерывному. Расчетная поверхность основного теплообменника равна $4 \pm 0,4 \cdot 10^4 \text{ см}^2$.

Корпус предварительного теплообменника изготовлен из нержавеющей трубки общей длиной 400 мм и диаметром 12 мм. Внутри корпуса расположены 7 пар коаксиальных трубок диаметром 3,5 и 3 мм. Зазоры между коаксиальными трубками образуют каналы ^3He , раствор заполняет внутренние трубки и каналы между внешними. Поверхность этой части теплообменника составляет около 500 см^2 . Эффективность работы предварительного теплообменника контролировалась термометрами, установленными на его холодном конце.

Данная конструкция теплообменника достаточно проста и отвечает всем необходимым требованиям и в режиме ДПЯ и в замороженном режиме.

Зависимость поглощенной мощности от температуры камеры растворения при различных значениях температуры ванны испарения изображены на рис. 3. Видно, что экспериментальные данные хорошо согласуются с расчетными кривыми, полученными из (1), вплоть до температуры 0,3К. При

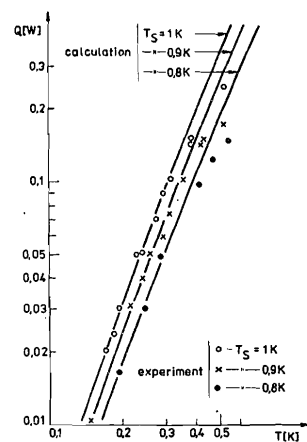


Рис. 3. Зависимость мощности охлаждения рефрижератора от температуры ванны растворения и ванны испарения.

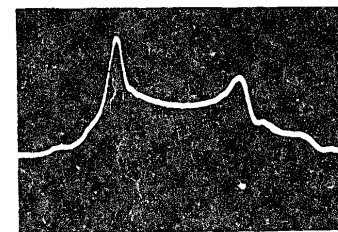


Рис. 4. Сигнал магнитного резонанса ядер дейтерия.

более высоких температурах экспериментальные значения меньше теоретических, что можно объяснить возникновением турбулентности в возвратном канале теплообменника. Это влечет за собой падение осмотического давления в ванне испарения, вследствие чего повышается содержание ^4He в циркулирующей газовой смеси. Качественно это подтверждается непосредственным измерением концентрации, которая могла уменьшаться до 50%. Однако эта область температур практически не используется, так как мощность охлаждения при 0,3 К составляет до 90 мВт, что вполне достаточно для ДПЯ мишени объемом 60 см^3 . Предельная температура, достигаемая в этой мишени, — 14,7 мК, в рабочих условиях на пучке ускорителя ИФВЭ температура раствора около 20 мК.

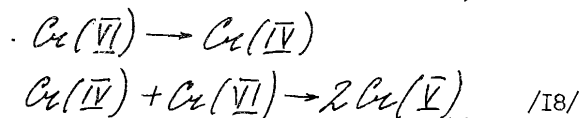
2. Вещество

Мишени с поляризованными ядрами водорода и дейтерия, разработанные в ЛЯП ОИЯИ, используются в экспериментах на пучках с интенсивностью, как правило, не превышающей величину 10^8 частиц/см 2 с. Для таких мишеней наиболее удобными веществами являются комплексные соединения пятивалентного хрома $\text{Cr}(\text{V})$, которые могут быть синтезированы в этандиоле, пропандиоле и др. спиртах [15–17]. Такого рода комплексы характеризуются достаточно узкой линией электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), практически изотропным g -фактором, при быс-

тром охлаждении образуют стекла с однородным распределением парамагнитных центров. Совокупность указанных свойств позволяет получать высокую поляризацию ядерных спинов водорода и дейтерия. Высокая поляризация достигается за относительно короткое время.

В основе метода синтеза таких комплексов лежит реакция восстановления соединений $Ce(VI)$ в среде диолов. Сложность синтеза комплексов состоит в том, что комплекс $Ce(V)$ является промежуточным продуктом. Конечный продукт реакции - парамагнитные комплексы $Ce(III)$. В образцах, которые используются в мишенях, необходимо создать высокую концентрацию $Ce(V)$ от $2,5 \cdot 10^{19}$ до $1,8 \cdot 10^{20}$ парамагнитных центров в $см^3$ ($I/см^3$) при возможно низкой концентрации $Ce(III)$, присутствие которого резко сокращает время спин-решеточной релаксации и ограничивает получение максимальной поляризации ^{16, 17/}.

Для того, чтобы получить комплексы $Ce(V)$, был выбран процесс термического восстановления $Ce(VI)$ при пониженном давлении ^{1/}. Последнее необходимо для удаления из реакционной смеси воды, которая образуется при окислении диола и приводит к увеличению концентрации $Ce(III)$ ^{16-18/}. При исследовании образцов, приготовленных методом термического восстановления, на спектрометре ЭПР с чувствительностью 10^{11} $I/см^3$ присутствия $Ce(III)$ замечено не было. Возможность получения высокой концентрации комплексов $Ce(V)$ в диолах в значительной мере обязана применению в качестве окислителей бихроматов, в которых оба атома хрома расположены рядом в бидерном комплексе. Внутримолекулярное взаимодействие четырех- и шестивалентного хрома может происходить через кислородный мостик, и реализуется механизм



Для протонной поляризованной мишени синтезируется комплексное соединение $Ce(V)$ в пропандиоле - 1,2. Повышение концентрации комплекса до $1,6 \cdot 10^{20}$ - $1,8 \cdot 10^{20}$ $I/см^3$ достигается концентрированием реакционной массы ^{1/}.

Комплексы с дейтерийсодержащими лигандами для мишени с поляризованными ядрами дейтерия синтезируются в этандиоле и пропандиоле как частично, так и полностью дейтерированных с концентрацией комплекса от $2,5 \cdot 10^{19}$ до $7 \cdot 10^{19}$ $I/см^3$ ^{19-22/}.

В рабочих образцах мишеней получены высокие значения поляризации

с большим временем релаксации поляризованных протонов и дейтронов (таблицы I, 2).

Таблица I

Установка	Мишень средних размеров	Мишень для вторичных частиц пучков. высоких энергий
Место эксплуатации	ОИЯИ, ЛЯФ	ИФВЭ
Размер мишени	$\phi 2,8$ см; $l = 2,5$ см; $V = 15$ $см^3$	$\phi 1,96$ см; $l = 20$ см; $V = 60$ $см^3$
Максимальная поляризация	$\pm (98 \pm 3)\%$	$+(90 \pm 3)\%$ $-(94 \pm 3)\%$
Магнитное поле	2,69 Т	2,08 Т
Время накачки до $0,8 P_{max}$	50 мин	40 мин
Режим динамической поляризации	$T = 0,3$ К, мощность СВЧ = 12 мВт, $V = 70$ ГГц, $n_3 = 3,6 \times 10^{-3}$ моль/с	$T = 0,3$ К, мощность СВЧ = 90 мВт, $V = 56$ ГГц, $n_3 = 3 \cdot 10^{-2}$ моль/с
Замороженный режим	$T = 0,035$ К, $n_3 = 10^{-3}$ моль/с	$T = 0,02$ К, $n_3 = 2 \cdot 10^{-3}$ моль/с
Время релаксации в замороженном режиме	$T_1 \approx 1000$ ч	$T_1 \approx 1200$ ч $T_2 \approx 800$ ч
Магнитное поле	2,69 Т	0,45 Т
Потребление жидкого гелия режим динамической поляризации	1,1 л/ч	2 л/ч
Замороженный режим	0,7 л/ч	0,5 л/ч

Таким образом, мы полагаем, что синтезированные комплексные соединения являются оптимальными для мишеней с "замороженной" поляризацией ядер водорода и дейтерия.

3. Измерение поляризации дейтронов

В мишени для ускорителя в ИФВЭ для измерения поляризации был использован \mathcal{Q} -метр с параллельным измерительным колебательным контуром. Центральная частота \mathcal{Q} -метра 13,6 МГц, девиация частоты ± 200 кГц. Для выделения сигнала из шума и помех была разработана система регистрации периодических сигналов ЯМР ядер дейтерия с накоплением и последующим усреднением.

Тем не менее надежно выделить термически равновесный сигнал ЯМР дейтерия при температуре 0,5 - 1 К, пригодный для калибровки поляри-

Таблица 2

Вещество	Этанциол	Пропандиол
Содержание дейтерия в % по весу	17,6	19,0
Максимальная поляризация	$\pm(37\pm 3)\%$	$+(37\pm 2,5)\%$ $-(40\pm 2,5)\%$
Время релаксации поляризации в замороженном режиме	$\tau_+ \approx 500$ час $\tau_- \approx 300$ час	$\tau_+ \approx 1500$ час $\tau_- \approx 750$ час
Удерживающее магнитное поле в замороженном режиме	0,45 Т	0,53 Т
1. Размеры мишени: δ 1,96 см, l = 20 см, V = 60 см ³		
2. Режим динамической поляризации: T = 0,3К, мощность СВЧ = 90 мВт, V = 56 ГГц, $n_3 = 3 \cdot 10^{-2}$ моль/с, время накачки поляризации до 0,8 P_{max} = 35 мВт.		
3. Замороженный режим: T = 0,02К, $n_3 = 2 \cdot 10^{-3}$ моль/с.		

зации, не представилось возможным, хотя он и регистрировался. Поэтому метод измерения поляризации, с успехом применяемый для протонов и основанный на сравнении интенсивностей сигналов ЯМР от системы ядерных спинов с динамически усиленной и равновесной поляризацией в условиях ядерно-физического эксперимента, в наших установках не является подходящим для дейтронов.

Для измерения поляризации ядер дейтерия в диолах используется другая возможность, связанная с формой спектра сигнала магнитного резонанса дейтерия ^{124/}. Наличие взаимодействия квадрупольного момента дейтрона с градиентом электрического поля молекулы диода приводит к тому, что уровни энергии дейтрона в магнитном поле становятся неэквидистантными. В связи с этим, спектр резонансного поглощения состоит из двух широких линий с хорошо разрешенными максимумами, каждая из которых соответствует переходу с изменением магнитного квантового числа на единицу (рис. 4). Очень важным обстоятельством является то, что тензор градиента электрического поля молекул диолов обладает аксиальной симметрией, в силу чего эти линии совпадают при симметричном отображении относительно центральной частоты с линейным увеличением или уменьшением ординат одной из линий в R раз. Этот коэффициент, называемый параметром асимметрии спектра ДМР, однозначно связан с поляризацией P и выражается как A :

$$P_D = \frac{R^2 - 1}{R^2 + R + 1}, \quad (5)$$

$$A = \frac{(R - 1)^2}{R^2 + R + 1}. \quad (6)$$

Таким образом, при определении поляризации ядер дейтерия в мишени основная задача заключается в определении спектра сигнала ДМР и величины асимметрии этого спектра ^{121,22/}.

В случае дейтериевого варианта мишени установки "ПРОЗА" предварительная обработка полученных сигналов производилась аппаратурой в стандарте КАМАК под управлением микро-ЭВМ КМ-001, выполненной на базе микропроцессора INTEL-8080. Накопленный и усредненный цифровой эквивалент аналогового сигнала записывается на магнитную ленту кассетного накопителя и в дальнейшем обрабатывался на более мощной ЭВМ. Пакет программ для вычисления поляризации включает выполнение следующих основных процедур:

1. устранение аппаратурных искажений при записи спектров;
2. вычисление параметра R , на этом этапе полный спектр разделяется на две линии, для чего используется симметрия и монотонность обеих функций формы линий на участках вне максимумов;
3. учет систематических погрешностей R -метра.

В мишени средних размеров для ускорителя в ЛИЯФ при регистрации спектра была применена оригинальная методика накопления и усреднения периодических сигналов ДМР с помощью цифрового вольтметра и амплитудного анализатора, которые управлялись мини-ЭВМ. Обработка спектров и определение величины поляризации производилась также с помощью этой же ЭВМ, непосредственно после измерения ^{120/}.

Заключение

В таблицах 1 и 2 приведены основные параметры мишеней, используемых в ИФВЭ и ЛИЯФ. Следует отметить большое время релаксации поляризованных дейтронов мишени ИФВЭ. Мы связываем это не только с низкой температурой рефрижератора, но и с применением в качестве рабочего вещества мишени комплексного соединения $Cu(\sqrt{V})$, синтезированного в полностью дейтерированных этанциоле и пропандиоле.

Мишень с замороженной поляризацией дейтронов в полностью дейтерированном пропандиоле была использована в июне 1986 года в экспериментах по измерению асимметрии образования нейтральных мезонов при

соударении π^+ , K^- и асимметрии вылета протонов на 90° в лабораторной системе $\pi^- D \rightarrow p^+$ при импульсе 40 ГэВ/с.

Литература

1. Борисов Н.С. и др. ПТЭ, 1978, 2, 32.
2. Борисов Н.С. и др. ОИЯИ, I-80-98, Дубна, 1980.
3. Неганов Б.С. и др. ЖЭТФ, 1966, 50, 1445.
4. Неганов Б.С., Вестник АН СССР, 1968, 12, 49.
5. Аввакумов И.А. и др. Препринт ИФВЭ, 80-94, Серпухов, 1980.
6. Борисов Н.С. и др. Препринт ЛИЯФ, 553, Ленинград, 1980.
7. Борисов Н.С. и др. ЖЭТФ, 1977, 72, 405.
8. Аввакумов И.А. и др. Препринт ИФВЭ, 81-15, Серпухов, 1981.
9. Борисов Н.С. и др. В кн.: Труды международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий, ОИЯИ, Д1, 2-82-27, Дубна, 1982, с.199.
10. Жарков В.Н., Силин В.Д. ЖЭТФ, 1959, 37, 143.
11. De Bruyn Ouboter et al., Physica, 1960, 26, 853.
12. Radebaugh R. NBS Technical Note 362, 1967.
13. Гладун А., Пешков В.П. ЖЭТФ, 1972, 62, 1853.
14. Niinkoski T.O. and Reubland S.M. In: Proc. of the IX Int. Cryogenic Engineering Conf., Kobe, Japan, 1982, p. 580.
15. Гарифьянов Н.С. и др. ДАН СССР, 1968, 178, 808.
16. Glattli H. et al. Phys.Lett., 1969, 29A, 250.
17. De Boer W. Nucl.Instr.and Meth., 1973, 107, 99.
18. Boutchev P.R. et al., Inorg.Chem.Acta, 1972, 6, 499.
19. Vanyatova E.I., Bubnov N.N. Nucl.Instr.and Meth., 1984, 219, 297.
20. Kiselev Yu.F. et al. Nucl.Instr.and Meth., 1984, 220, 399.
21. Борисов Н.С. и др. ЖЭТФ, 1984, 87, 2234.
22. Борисов Н.С. и др. ОИЯИ, PI-85-292, Дубна, 1985.
Borisov N.S. et al. JINR, E1-86-75, Dubna, 1986.
23. Матафонов В.Н. ОИЯИ, I3-85-146, Дубна, 1985.
24. Borghini M. and Scheffler K. Nucl.Instr.and Meth., 1971, 95, 93.

Рукопись поступила в издательский отдел
II ноября 1986 года.

Борисов Н.С. и др.

P13-86-734

Мишени с замороженной поляризацией
ядер водорода и дейтерия

Изложены основные принципы и характеристики мишеней с замороженной поляризацией ядер водорода и дейтерия, используемых в экспериментах на ускорителях ИФВЭ и ЛИЯФ. В качестве вещества мишеней применяются комплексные соединения Cr(V) в диолах. Обсуждается устройство и даются важнейшие характеристики мощных рефрижераторов растворения ^3He в ^4He , кратко описана система измерения поляризации. Отличительной особенностью представляемых мишеней является достижение большого времени релаксации ядер дейтерия ~ 1000 ч в магнитных полях около 0,5 Т.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Borisov N.S. et al.

P13-86-734

Targets with a Frozen Polarization
of Hydrogen and Deuterium Nuclei

The basic principles and characteristics of the frozen spin proton and deuterium target used in IHEP and LNPI accelerators are described. The complex Cr(V) compounds in diols are used as target operating material. The structure and important characteristics of $^3\text{He}/^4\text{He}$ powerful delution refrigerators are discussed, the system of polarization measurement is described. A characteristic feature of these targets is a long relaxation time (~ 1000 h) of deuterium nuclei in magnetic fields of about 0.5 T.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986