

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



С 344.2

Б-825

19/IV-7

13 - 9391

1416/2-76

Н.С.Борисов, Ю.Ф.Киселев, В.Н.Матафонов

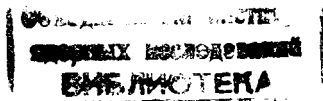
УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ
ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЯДЕР
ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ (0,8 - 4,2) К

1975

13 - 9391

Н.С.Борисов, Ю.Ф.Киселев, В.Н.Матафонов

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ
ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЯДЕР
ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ (0,8 - 4,2) К



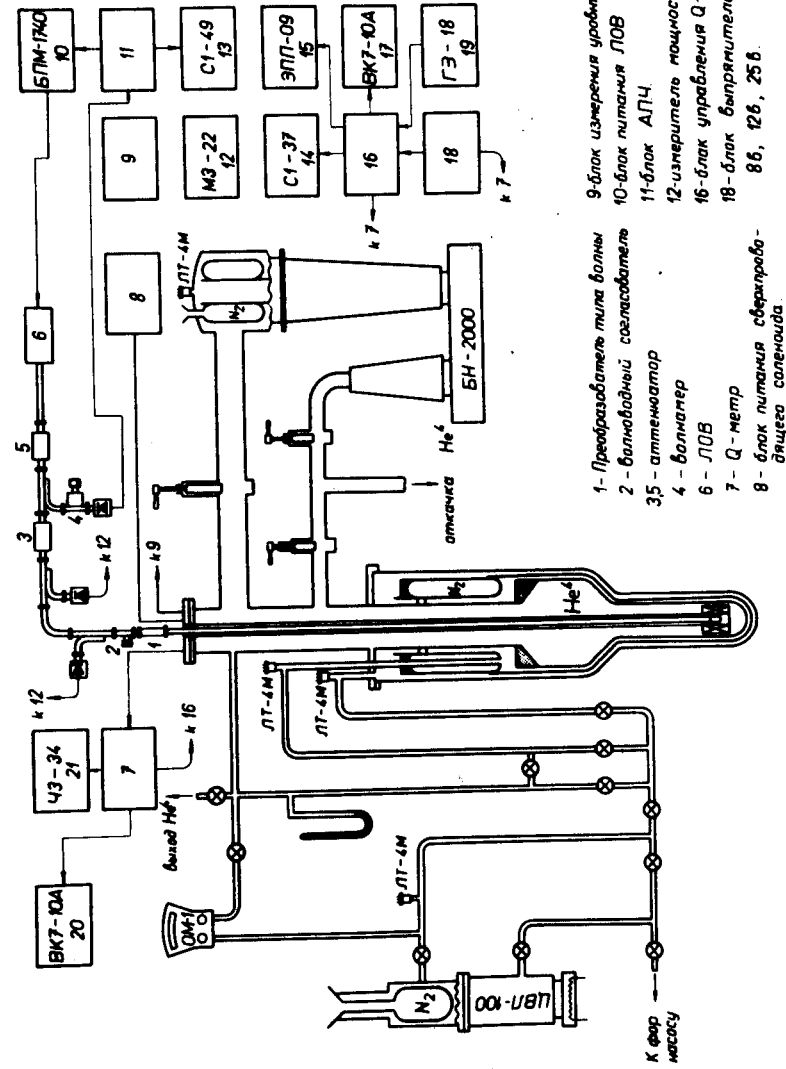
Введение

Хорошо известно, что основные параметры, определяющие качество поляризованной мишени, такие, как коэффициент усиления ядерной поляризации, времена накачки и релаксации поляризации, требуемая СВЧ мощность, зависят от многих, часто трудно контролируемых условий приготовления образца. Так, для мишеней на основе 1,2-пропандиола или этиленгликоля /см. ссылки в/1/ / с парамагнитной примесью Cr^{+V} существенно наличие примеси Cr^{+III} , качество необходимых материалов, облучение светом. С появлением мишеней с "замороженной" поляризацией процедура отбора наиболее качественных образцов усложнилась еще более, т.к. для рефрижераторов, работающих на растворении ^3He в ^4He с большими по объему мишенями /15-30 см³/, необходимы образцы для накачки поляризации которых требуется минимально возможная СВЧ мощность. Существующие установки для измерения параметров динамической поляризации ядер /ДПЯ/ в различных образцах в диапазоне температур 0,8-4,2 К не приспособлены для быстрых измерений и сравнений параметров различных образцов главным образом из-за невозможности смены исследуемого образца без отогрева криостата. В настоящей работе описана простая установка для исследования ДПЯ в диапазоне температур 0,8-4,2 К, причем смена исследуемого образца может производиться без отогрева криостата непосредственно при гелиевых температурах. Измерение параметров ДПЯ для одного образца и при одной из температур /0,9; 1,28; 4,2 К/ занимает около 3-х часов. За одну гелиевую заливку в криостат удается произвести измерения параметров трех-четырех образцов. Для определения степени ядерной

поляризации, времен накачки и релаксации применен Q-метр с жесткой автоподстройкой приемного последовательного колебательного контура. Низкочастотный сигнал обрабатывается стробоскопическим "box-car" интегратором.

Описание криогенной части установки

Устройство криостата и вспомогательного вакуумного оборудования схематично показано на рис. 1. В данной установке использован криостат с жидким ^4He , позволяющий получить с помощью насосов БН-2000 и ВН-4 температуру образца в интервале 0,8-4,2 К. Гелиевый сосуд объемом 9 л окружен медным экраном, вакуумно припаянным к ванне с жидким азотом /V = 10 л/. Охлаждение гелиевого сосуда и рабочей вставки /см. рис. 2/ до $T = 77\text{ К}$ может производиться либо непосредственной заливкой жидкого азота в сосуд с последующим удалением его, либо напуском теплообменного газа (^4He) в пространство между азотным экраном и гелиевым сосудом на время ~5 часов. В последнем случае перед гелиевым охлаждением, которое занимает около 1 часа, производится откачка теплообменного газа насосами вакуумным ВН-461 и диффузионным ЦВЛ-100. Гелиевый сосуд сообщается с верхним фланцем криостата горловиной из тонкостенной нержавеющей трубы $\phi 100\text{ мм}$, что позволило смонтировать независимую от криостата рабочую вставку /рис. 2/, включающую в себя сверхпроводящий магнит, СВЧ многомодовый резонатор 15 с СВЧ дросселем 3 и настроечным поршнем 16. Эта вставка легко вынимается из криостата и может заменяться соответствующим устройством для других экспериментов. Так, в работе ^{1/2/} использовался этот же криостат, а рабочая вставка включала в себя сверхнизкотемпературную ступень, позволяющую достигать температур порядка 0,05 К. Время непрерывной работы данного криостата при однократной заливке жидкого гелия со сменой трех-четырёх образцов составляет примерно 14 часов. Смена образцов производится после напуска атмосферы гелия в гелиевый сосуд удалением из рабочей вставки волновода 9 /рис. 2/ с укрепленной на его конце ампулой 13 с исследуемым



- 1- Преобразователь типа волны
- 2 - волноводный согласователь
- 35 - аттенуатор
- 4 - вольтметр
- 6 - ЛОБ
- 7 - Q-метр
- 8 - блок питания сферобла- динцеа солеиода
- 9-блок измерения уровня гелия
- 10-блок питания ЛОБ
- 11-блок АПЧ
- 12-измеритель мощности
- 16-блок управления Q-метром
- 18-блок выпрямителей 8Б, 12Б, 25Б.

Рис. 1. Принципиальная схема установки для ДПЯ в диапа- зоне температур 0,8-4,2 К.

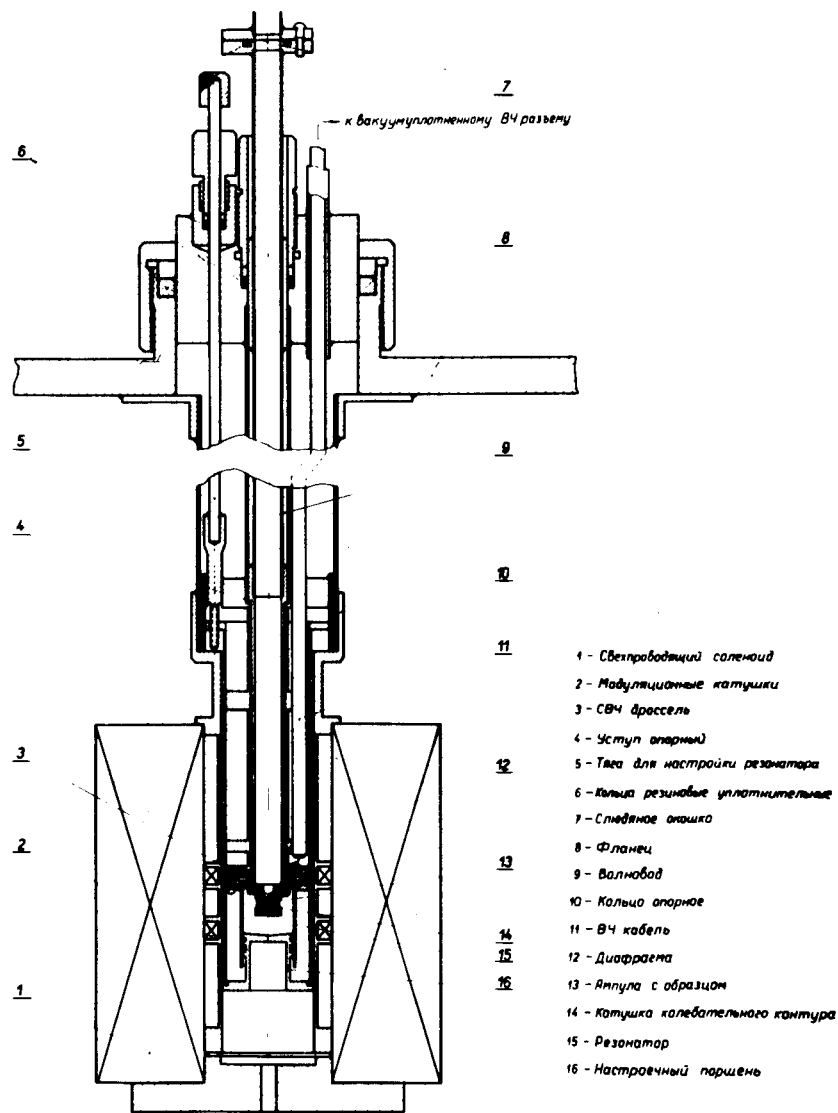


Рис. 2. Вставка в криостат для ДПЯ в диапазоне температур 0,8-4,2 К.

образом. Так как смена образца производится в течение короткого промежутка времени, то восстановление низкой температуры повторной откачкой не требует большого времени и больших затрат жидкого гелия, как при первоначальной откачке от $T = 4,2$ К. Естественно, что при этом значительно упрощается конструкция верхней части рабочей вставки, так как не требуется шлюзового устройства. Для откачки паров гелия использовались насосы БН-2000 и ВН-4. При этом в диапазоне температур 4,2-1,2 К применялся только насос ВН-4 со скоростью откачки 45 л/с, а в диапазоне температур 0,8-1,2 К - насосы БН-2000 и ВН-4, включенные последовательно, со скоростью откачки по гелию в интервале $3,6-5,5 \cdot 10^3$ л/с. Холодная нагрузка криостата, обусловленная внутренними теплопритоками /тепловыми мостами, облучением, сверхтекучей пленкой ^3He в широкой горловине, тоководами сверхпроводящего магнита и др./, составляет 150 мВт, при этой мощности в холостом режиме с помощью ВН-4 достигается давление 0,7 мм рт.ст. / $T = 1,2$ К/. Подключение высокоскоростного насоса ВН-2000 позволяет при данной холостой нагрузке достигать давления около 10^{-2} мм рт.ст., что соответствует $T = 0,8$ К. СВЧ облучение образца приводит к дополнительной тепловой нагрузке и повышению давления и температуры в гелиевом сосуде. Включение СВЧ мощности 200 мВт ведет к повышению температуры до 1,35 К / $P = 1,6$ мм рт.ст./ при работе с одним насосом ВН-4. При работе с БН-2000 включение мощности 200 мВт вызывает повышение температуры в криостате до 1 К. Дальнейшее увеличение давления приводит к срыву режима откачки из-за превышения максимально допустимой нагрузки насоса БН-2000. Таким образом, интервал температур 1-1,2 К как бы оказывается в "мертвой зоне", однако ее легко ликвидировать, уменьшая проходное сечение тракта откачки. При этом, конечно, скорость откачки и максимально допустимая СВЧ мощность остаются прежними, растет лишь давление и температура в гелиевом сосуде. Все исследования, как правило, осуществляются при определенных температурах /0,9 К; 1,26 К; 4,2 К/, причем в каждой области температуры тракт откачки позволяет поддерживать почти стационарную температуру в широком интер-

- 1 - Сверхпроводящий салицид
- 2 - Модуляционные катушки
- 3 - СВЧ дрессель
- 4 - Уступ опорный
- 5 - Тяга для настройки резонатора
- 6 - Кольца резиновые уплотнительные
- 7 - Следящее окошко
- 8 - Фланец
- 9 - Валловод
- 10 - Кольца опорные
- 11 - ВЧ кабель
- 12 - Диафрагма
- 13 - Ятула с образцом
- 14 - Катушка колебательного контура
- 15 - Резонатор
- 16 - Настраиваемый поршень

вале СВЧ мощности. Контроль давления и температуры осуществляется с помощью двух ртутных манометров с пределами измерений 760 мм рт. ст. и 150 мм рт. ст., дифференциального мембранного манометра типа ОМ с пределом измерений до 10 мм рт. ст. и термопарного датчика типа ЛТ-4М.

Измерение параметров ДПЯ исследуемых образцов

Назначение элементов схемы /рис. 1/ для ввода в резонатор и контроля СВЧ мощности хорошо известно. Отметим лишь только, что значение мощности СВЧ, поступающей в волновод и измеряемой по разности падающей и отраженной от нагрузки мощности, еще не позволяет судить о мощности, поглощенной образцом, из-за наличия потерь как в волноводе, так и стенках резонатора. Приборы для измерения мощности /термисторная головка М5-50 и мост М3-22/ используются лишь для контроля стабильности внешних условий облучения различных образцов, что позволяет сделать заключение о сравнительных величинах поглощения СВЧ мощности различными образцами. Для измерения поляризации ядер, времен накачки и релаксации поляризации в данной работе использован новый Q-метр с жесткой автоподстройкой частоты приемного последовательного колебательного контура /3/. В этом Q-метре для стабилизации интегральной интенсивности базовой линии фона остаточной дуги нами применяется автоподстройка фазы опорного ВЧ напряжения схемы автоподстройки частоты. Рабочая частота Q-метра 112 МГц, длительность развертки частоты 2 мс, девиация частоты 500 кГц. Характерной особенностью этого прибора по сравнению с описанным в /4/ является высокая добротность приемного контура и, следовательно, большая чувствительность. Это обстоятельство позволяет работать с малым фактором заполнения (η) образца и отделить от последнего регистрирующую катушку приемного контура. Обработка низкочастотного сигнала производится, насколько нам известно, впервые с помощью стробоскопического "box-car" интегратора.

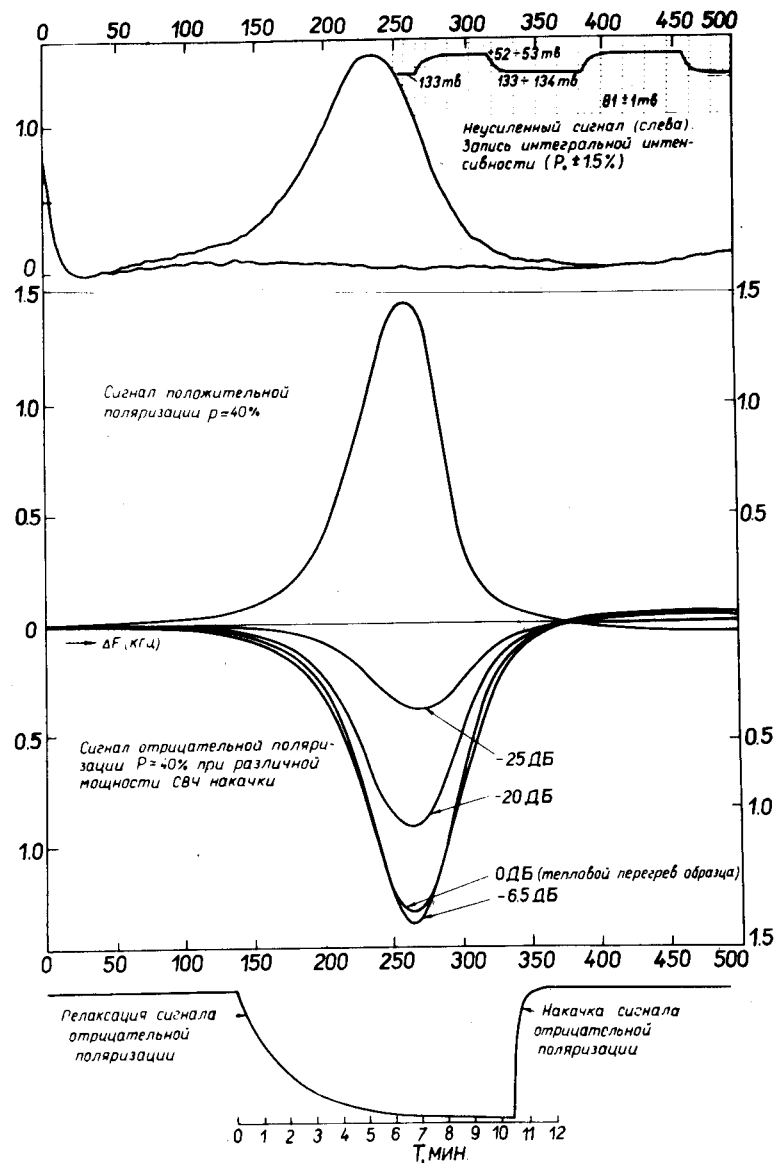


Рис. 3. Образец - 1,2-пропандиол с Cr^{+V} , концентрация $2,2 \cdot 10^{20}$ спин/см³, $T = 1$ К.

На рис. 3 вверху показана запись неусиленного сигнала при $T = 1 \text{ К} / \text{С} / \text{Ш} = 2:1$ и запись его интегральной интенсивности. Ошибка при измерении неусиленного сигнала $\pm 1,5\%$. Хорошая повторяемость результатов и стабильность Q-метра при измерении неусиленного сигнала позволяют при исследовании серии одинаковых по числу протонов в 1 см^3 и η образцов измерять неусиленный сигнал лишь у одного из них, что существенно сокращает время исследования всей серии. На рис. 3 показана характерная запись усиленного сигнала с поляризацией $\pm 40\%$ и зависимость сигнала отрицательной поляризации от СВЧ мощности накачки. Ниже показана характерная запись кривых релаксации и накачки поляризации. Все эти данные приведены для одного из произвольных образцов 1,2-пропандионала с примесью Cr^{+V} и концентрацией приблизительно $2,2 \cdot 10^{20} \text{ спин/см}^3$.

В заключение выражаем благодарность Р.Л.Хамидуллину, О.Н.Щевелеву, А.О.Орлову и И.З.Крахтинову за изготовление узлов криогенной части установки и приборов для исследования ДПЯ, Ю.А.Усову за помощь в измерениях параметров установки.

Литература

1. W. de Boer. *Nucl. Instr. and Meth.*, 107, 99-104 (1973).
2. Н.С.Борисов, Э.И.Бунятова, Ю.Ф.Киселев, Б.С.Негоснов, Л.Б.Парфенов, Э.Г.Розанцев, В.Б.Стрюков, Г.Феллер. ОИЯИ, Р6-7408, Дубна, 1973.
3. V. Petříček. *Nucl. Instr. and Meth.*, 58, 111-116 (1968).
4. W. de Boer. *Thesis Technical University Delft*, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 декабря 1975 года.