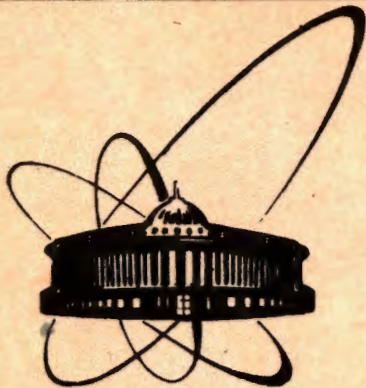


92-238



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P8-92-238

Н.С.Борисов, В.В.Куликов, А.Б.Неганов,
Ю.А.Усов

МОЩНЫЙ РЕФРИЖЕРАТОР РАСТВОРЕНИЯ
 ^3He В ^4He ДЛЯ МИШЕНИ
С ЗАМОРОЖЕННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ ЯДЕР

Направлено в "Cryogenics"

1992

1. Введение

Важность проведения поляризационных исследований в физике элементарных частиц в настоящее время признается специалистами. Скептицизм, существовавший в начале 70-х годов, практически исчез в течение последующих 15 лет в результате выполнения цикла экспериментов по спиновым явлениям на крупнейших современных ускорителях. Одним из важнейших элементов традиционной методики поляризационного эксперимента является поляризованная твердотельная мишень. В 1966 году с момента стационарного получения сверхнизких температур [1] при помощи принципиально нового метода охлаждения, основанного на растворении ^3He в ^4He , возникла идея создания поляризованных мишеней "замороженного" типа. В таких мишенях после достижения высокой ядерной поляризации с помощью динамического метода, СВЧ-поле выключается и вещество мишени охлаждается до сверхнизких температур ниже 0,05 К. 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. Кроме этого, мишени "замороженного" типа позволяют за счет низкой температуры накачки поляризации получать для ряда веществ предельную поляризацию. Стабильная во времени поляризация "замороженных" мишеней повышает точность измеряемых в поляризационных экспериментах величин. Тем не менее, следует отметить, что создание таких мишеней до сих пор является чрезвычайно сложной методической задачей. Есть еще одно ограничение в применении мишеней "замороженного" типа - величина интенсивности используемого пучка. Для этих мишеней в мировой литературе предельная интенсивность пучка определена $\approx 10^8$ част./с [2]. При повышении этой величины температуру мишени начинает все в большей степени определять интенсивность пучка, а не температура рефрижератора.

Физический институт
Ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Поэтому при больших интенсивностях используемых пучков рефрижератор растворения ^3He в ^4He выполняется в упрощенном варианте и минимальная температура в таких мишенях составляет около 0,05 К. Таким образом, проигрывая в минимальной температуре и, соответственно, - резко во времени релаксации, в этих установках появляется возможность работать в высокоинтенсивных пучках и поляризовать большие объемы веществ.

В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ разработаны и в течение ряда лет используются в экспериментах на ускорителях ИФВЭ, ЛЯП, ЛЯФ, КУ Прага^[3] поляризованные протонные, а в последнее время - и дейтронные, мишени, с "замороженной" поляризацией ядерных спинов^[4]. Настоящая работа посвящена описанию нового мощного рефрижератора растворения для большой (объем $\approx 120 \text{ см}^3$) поляризованной "замороженной мишени".

II. Описание установки

Основная часть установки (рис. 1) - вертикальный криостат рефрижератора растворения ^3He в ^4He (5), обеспечивающий охлаждение вещества мишени при динамической поляризации и в замороженном режиме. Горизонтальный "хвост" криостата, в котором находится вещество мишени (9) размещается в зазоре стального электромагнита (8) с подвижными полюсами. В режиме динамической поляризации ядер полюса магнита сводятся до положения, в котором магнитопровод замкнут. При этом индукция магнитного поля достигает значения 2,5 Т с однородностью не хуже 10^{-4} в объеме мишени. При разомкнутых полюсах магнитное поле составляет 0,4 Т в зазоре 20 см с однородностью 10^{-2} . Этот электромагнит создан сотрудниками ИФВЭ. Детальное описание устройства и характеристик аналогичного магнита приведено в работе^[5]. Выбор вертикального расположения криостата обусловлен необходимостью размещения на минимальном расстоянии пучкового детектора от вещества мишени, а также достижения более стабильной работы всех криогенных систем установки.

Внешняя часть системы циркуляции ^3He показана на рис.1 и включает в себя насосную группу (11), дистанционный пульт управления и контроля (7) с емкостями хранения смеси ^3He ^4He и ловушку предварительной очистки (10). Кроме этого, в подготовительных и испытательных работах используется вакуумный пульт (6). Насосная группа циркуляции ^3He состоит из двухторных насосов WS-2000,

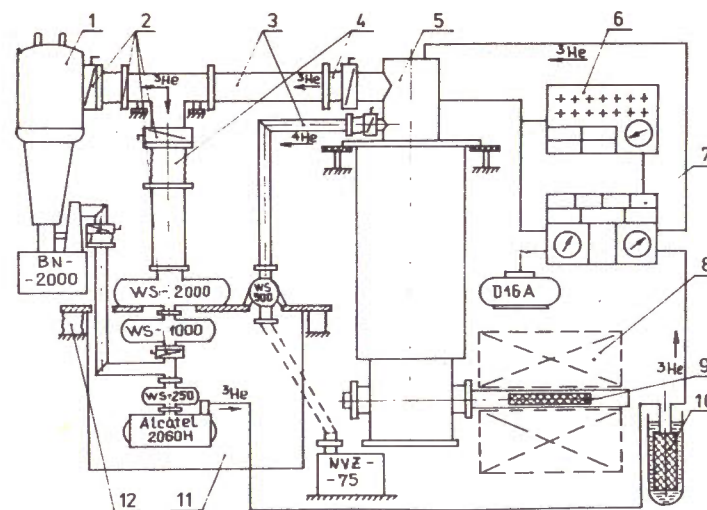


Рис.1.

WS-500, WS-250 фирмы Leybold - Heraeus, бустерного парамасляного насоса БН-2000 и механического форвакуумного насоса Alcatel-2060H. С помощью шиберов (2) насосная группа может включаться двумя различными способами: в режиме большой скорости циркуляции (2×10^{-2} моль/с) используются насосы WS-2000, WS-500, WS-250, 2060H. Использование БН-2000 с масляной ловушкой (1) в режиме малой циркуляции (2×10^{-3} моль/с) преследует две цели: во-первых, отключение этих насосов существенно снижает уровень вибраций, способствуя достижению предельно низких температур в "замороженном" режиме; во-вторых, так как время эксплуатации мишени в режиме малой циркуляции во много раз превосходит время работы при большой циркуляции, то такая схема увеличивает срок службы насосов WS-2000 и WS 500. Вибрационная развязка насосной группы и криостата достигается при помощи системы резиновых демпферов (4), установленных на газовых трубопроводах (3), в свою очередь, насосная группа установлена на общей раме, которая связана с фундаментом через мягкую пневматическую подвеску (12). На этой же раме установлен второй насос WS-500 для откачки паров ^4He из гелиевой ванны. Последовательно включенный с ним насос НВЗ-75 (75 л/с), создающий высокий уровень вибраций, вынесен за пределы зоны расположения установки. Дистанционный пульт служит для контроля и управления за режимом работы рефрижератора растворения ^3He в ^4He . Газовая система

дистанционного пульта позволяет осуществлять все необходимые операции со смесью ^3He и ^4He , а также производить периодическую подливку жидкого гелия в криостат. Для контроля давления в различных частях установки на пульт выведены показания датчиков. В блок управления рефрижератором растворения входит также прибор питания нагревателей внутренних узлов рефрижератора. Для непрерывного измерения температуры в характерных точках рефрижератора, используется специально разработанный многоканальный автоматический омметр переменного тока^[6]. Прибор позволяет последовательно измерять сопротивление любых шести угольных термометров с записью результата на ленту многоканального самописца КСП-4 и с одновременным выводом показаний на цифровой дисплей. Термометры позволяют регистрировать все изменения теплового режима рефрижератора. Уровень гелия в криостате измеряется при помощи емкостных датчиков. Для специальных операций с ^3He используется герметичный форвакуумный насос D16A фирмы Leybold - Heraeus.

На рис.2 показан общий вид криостата рефрижератора растворения ^3He в ^4He .

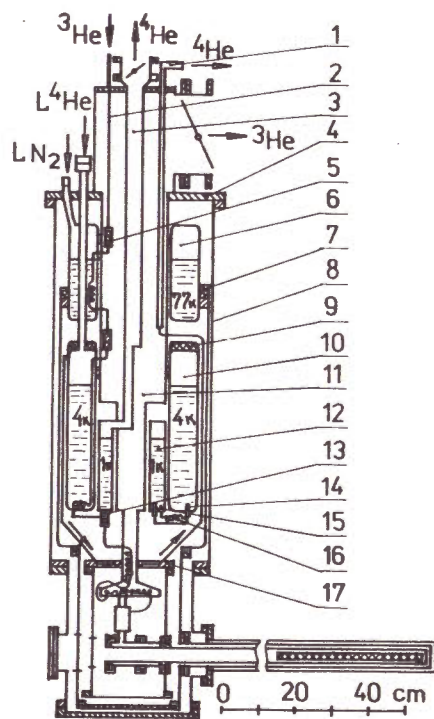


Рис.2.

Криостат рефрижератора служит для обеспечения работы ступени растворения ^3He в ^4He , устройство которой подробно описано в следующей главе настоящей работы.

Газообразный ^3He поступает в криостат по капилляру (2) через охлаждаемые угольные ловушки (5), в азотный бак (6) и далее охлаждается в емкости жидкого гелия (10). Откачиваемая ванна (12) с жидким ^4He при $T \approx 1\text{K}$ обеспечивает конденсацию охлажденного и очищенного ^3He в специальном конденсаторе (13). Откачка паров ^3He и ^4He осуществляется через тракты откачки (3) и (11), соответственно. Поток жидкого гелия, поступающего в 1K-ванну через медный порошковый фильтр (14), определяется постоянным дросселем (16) (нержавеющий капилляр $\varnothing_{\text{внутр.}} = 0,2\text{мм}$; $L=100\text{мм}$) и холодным вентилем (15). Холодные пары гелия, испаряющегося в 4K-ванне, охлаждают наружный кожух (17) низкотемпературной ступени рефрижератора и через трубку (1) выходят из криостата. Основные несущие конструкции криостата крепятся на верхнем фланце (4), разборка криостата легко осуществляется путем снятия наружного кожуха (8) и охлаждаемых экранов. Высокий вакуум в криостате после предварительной откачки поддерживается охлаждаемыми угольными насосами (7) и (9), установленными на азотном и гелиевом баках, соответственно. Надежная работа криостата подтверждается многочисленными запусками установки и полученными параметрами.

III. Ступень растворения ^3He в ^4He

Ступень растворения схематично показана на рис.3. Так как основные принципы и расчеты, заложенные при конструировании ванны растворения, теплообменников и ванны испарения, подробно описаны ранее в работах^[3,7] мы здесь остановимся только на основных особенностях настоящего рефрижератора. Сконденсированный в одноградусной ванне ^3He поступает в теплообменник (6) ванны испарения (3), представляющий собой медный капилляр $3 \times 0,5$ мм общей длиной 2,5 м. Далее ^3He поступает в предварительный теплообменник (2), представляющий собой мельхиоровую трубку $\varnothing 33$ мм и длиной около 90 мм с напеченным на обеих сторонах медным порошком. По наружной и внутренней поверхности теплообмена сделаны проточки, заполненные тефлоновыми изоляторами, тем самым образованы три теплоизолированные секции в одном корпусе. Таким образом, в этом варианте вместо обычной конструкции "трубка в трубке" мы использовали в качестве предварительного теплообменника один элемент, аналогичный шести другим составляющим основной. Температура ^3He после предварительного теплообменника контролируется угольным термометром Speer 100 Ом,

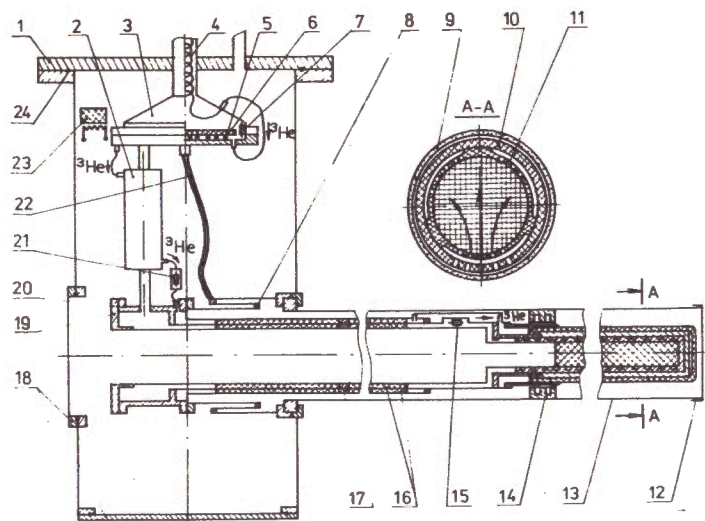


Рис. 3.

расположенным в специальном контейнере (21). Окончательно доохлаждается ^3He , в основном, в порошковом противоточном теплообменнике. Зазор между корпусом теплообменника и медным порошком для ^3He составляет около 0,2 мм. Далее ^3He поступает в камеру растворения, образованную стеклянным корпусом (9), промежуточной тефлоновой оболочкой (10), являющейся рассеивателем ^3He , и перфорированным тефлоновым контейнером (11) с рабочим веществом мишени. На виде А-А показано сечение камеры растворения с направлениями движения потоков ^3He . После перехода в раствор, сопровождающегося поглощением тепла, ^3He под действием перепада осмотического давления переносится через возвратные каналы противоточных теплообменников в ванну испарения и удаляется из раствора посредством откачки.

Уплотнительная пробка (19), служащая для отделения камеры растворения от канала пучка частиц используется также для загрузки контейнера с рабочим веществом мишени. Кроме этого, пробка вместе с внутренней поверхностью теплообменника образует возвратный кольцевой канал ^3He ($b \approx 1,3$ мм). Температура раствора на выходе камеры растворения измеряется с помощью угольных термометров сопротивления Speer 10, 100, 220 Ом, размещенных в измерительной ячейке (15). Охлаждение узлов ступени растворения от комнатной до гелиевой температуры осуществляется с помощью теплообменного газа, который после выполнения этой операции поглощается управляемой с помощью

нагревателя адсорбционной ловушкой (23). Герметизация корпуса газового теплообменника (1) и разборных узлов ступени растворения осуществляется при помощи индиевых прокладок (24). Доступ к низкотемпературным узлам рефрижератора осуществляется через крышки (18). Высокая циркуляция ^3He поддерживается специальным объемным нагревателем (5), а температура в ванне испарения контролируется термометром (7). Основной порошковый теплообменник укреплен на корпусе газового теплообменника посредством теплового моста (8), а для уменьшения теплоподвода к охлажденному ^3He промежуточный корпус (20) зашунтирован теплопроводом (22) на корпус ванны испарения. Основной теплообменник, имеющий расчетную поверхность около $5 \cdot 10^4$ см², спаян из шести секций и имеет общую длину 550 см. Каждая секция представляет собой мельхиоровую трубку $\varnothing 40$ мм длиной 100 мм с напеченным на внутренней и внешней поверхностях медным порошком средним размером 40 мкм (16). Разрывы между секциями заполнены кольцевыми тефлоновыми изоляторами (17). Резонатор мишени образован стенками хвостовой части гелиевого экрана (13), торцевой крышкой (12) и высокочастотным дросселем (14).

IV. Основные характеристики рефрижератора

Процесс охлаждения установки от комнатной до гелиевой температуры занимает около 10 час. Конденсация смеси ^3He в ^4He и подготовка рефрижератора растворения к работе занимает не более двух часов. Общий расход жидкого гелия в "замороженном" режиме составляет около 0,8 л/час при объеме гелиевого бака криостата 36л. Минимальная температура раствора при циркуляции 2×10^{-3} моль/с составила 20 мк. Мощность охлаждения рефрижератора при $T=0,3\text{K} \approx 100$ мВт. Температура измерялась калиброванным угольным термометром, любезно предоставленным сотрудником ИЯИ АН СССР Г.М.Гуревичем. Скорости циркуляции измерялись с помощью датчиков давления, подключенных в различных точках системы откачки ^3He , после калибровки специальным газгольдером. Концентрация ^3He в циркулирующей газовой смеси определялась с помощью течеискателя ПТИ-7А. Экспериментальные результаты по измерению зависимости холодопроизводительности от температуры были получены при помощи специального объемного нагревателя, помещенного в ванну растворения.

Для эффективности "замораживания" поляризации, полученной при ДПЯ необходимо, чтобы время перехода в область сверхнизких температур было коротким. Для данного рефрижератора время охлаждения от 0,3К до 0,05К составляет 4 мин.

Полученные параметры рефрижератора удовлетворяют необходимым требованиям, предъявляемым к установкам подобного типа.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить признательность члену-корреспонденту АН СССР В.П. Желепову и профессорам Ю.М. Казаринову и С.Б. Нурушеву за всестороннюю помощь и поддержку в работе, доктору физико-математических наук Б.С. Неганову за плодотворные дискуссии и помощь в работе, М.Ю. Либургу и В.Н. Матафонову за помощь в проведении экспериментов. Авторы благодарят Р.Л. Хамидулина, Н.А. Петухова, А.О. Орлова, О.Н. Шевелева, В.Г. Коломийца за качественное изготовление узлов и приборов мишени.

Литература

1. Неганов Б.С., Борисов Н.С., Либург М.Ю., ЖЭТФ, 50, 1445 (1966)
Hall H.E., Ford P.J., Thompson K., Cryogenics, 6,8 (1966).
2. J.Ball, P.Chaumette, J.Deregel, J.Fabre, Proc. of the 1980 Int. Workshop on Polarized Target Materials and Techniques, Bonn 1984.
3. Борисов Н.С. и др. ОИЯИ, P13-86-734, Дубна, 1986.
4. Борисов Н.С. и др. P1-85-292, Дубна, 1985.
Борисов Н.С. и др. ЖЭТФ, 1984, 87, С. 2234.
5. Бурхин М.М. и др. ИФВЭ, ОЭФ, 79-94, Серпухов, 1979.
6. Неганов А.Б. ОИЯИ, 8-85-291, Дубна, 1985.
7. O.V.Lounasmaa, Experimental Principles and Methods Below 1K (Academic Press, 1974).
R.Radebaugh. NBS, Technical Note, 362, December 29 (1967).
Wheatley J.C., Rapp R.E., Johnson R.T., J.Low Temp. Phys., 4,1 (1971).
W. de Boer and T.O. Niinikoski, Nucl. Instr. and Meth. 114, 495 (1974).
Борисов Н.С. и др. ОИЯИ, 13-10253, 13-10257, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 июня 1992 года.

Борисов Н.С. и др. P8-92-238
Мощный рефрижератор растворения
 ^3He в ^4He для мишени
с замороженной поляризацией ядер

Описаны устройство и конструкция мощного рефрижератора растворения ^3He в ^4He . Минимальная температура, полученная в непрерывном режиме, была 20 К. Типичная мощность охлаждения составляла около 100 мВт при 0,3 К. Рефрижератор предварительно предназначается для охлаждения замороженной мишени большого размера.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1992

Перевод авторов.

Borisov N.S. et al. P8-92-238
Powerful ^3He - ^4He Dilution Refrigerator
for a Target with Frozen Polarization
of Nuclei

The design and construction of the powerful ^3He - ^4He dilution refrigerator are described; the lowest temperature in continuous operation was 20 mK. Typical cooling power was about 100 mW at 0.3 K. The refrigerator is primarily intended for cooling large frozen polarized targets.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1992