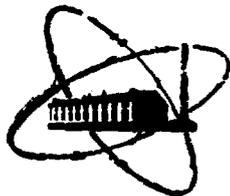


508504051

ФЭИ-1542



ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Д. И. ТАМБОВЦЕВ, Н. Н. ГОНИН, В. Н. РОДИОНОВ

**Рефрижератор растворения $^3\text{He} - ^4\text{He}$
для экспериментов с ориентированными
ядрами**

Обнинск — 1984

УДК 536.483

Д. И. Тамбовцев, Н. Н. Гонин, В. Н. Родионов.

Рефрижератор растворения ^3He — ^4He для экспериментов с ориентированными ядрами.

ФЭИ-1542. Обнинск: ФЭИ, 1984. — 16 с.

Проводится описание конструкции рефрижератора растворения ^3He в ^4He , предназначенного для экспериментов с ориентированными ядрами на ускорителе КГ-2.5. Даны основные параметры рефрижератора. При скорости циркуляции $1 \cdot 10^{-4}$ моля/сек достигнута температура на подложке образца — 0,07К. Длительность непрерывной работы рефрижератора при этой температуре — 90 часов.

В в е д е н и е

Для проведения экспериментов с ориентированными ядрами требуется достаточно мощная криогенная техника, чтобы иметь возможность охлаждать исследуемый образец до температур порядка 0.1К, или ниже. До настоящего времени для этой цели используются два наиболее разработанных метода охлаждения: а) адиабатическое размагничивание парамагнитной соли и б) процесс растворения ^3He в ^4He . Хотя оба эти метода позволяют решить задачу получения любой температуры вплоть до 0.01К или даже несколько ниже, в каждом конкретном случае выбор определяется, во-первых, условиями эксперимента (первый из методов является циклическим, тогда как второй обеспечивает поддержание достигнутой температуры, в принципе, неопределённо долго), а, во-вторых, вопросами удобства эксплуатации экспериментальной установки.

В течение длительного времени (более 10 лет) для исследования эффектов выстраивания спинов в делении ядер изотопов урана (^{233}U и ^{235}U), проводящихся на каскадном генераторе ФЭИ КГ-2.5, нами использовался криостат на адиабатическом размагничивании хромо-мариевых квасцов с использованием сверхпроводящего соленоида, находящегося в том же криостате / I /. В целом, экспериментальная установка достаточно удобна в эксплуатации: за исключением большого форвакуумного насоса, используемого для откачки паров гелия из одноградусной ванны, габариты узлов, включая криостат, невелики, а масса их умеренна, — эти обстоятельства немаловажны при монтаже криостата на пучке ускорителя.

Достигнутый в этом криостате уровень температуры (0.1К на подложке образца) является, очевидно, практически предельным, поскольку обуславливается магнитными свойствами данной парамагнитной соли, имеющей при этой температуре максимум теплоёмкости, и, кроме того, скорость отогрева соли после окончания процесса адиабатического размагничивания хотя и достаточно низка (~ 0.01 К/час), вопрос об усреднении температуры образца по времени замера, длящегося несколько часов, является достаточно сложным. Наблюдаемый нами эффект в сечении деления довольно мал по величине (2+5%), поэтому для увеличения точности и надёжности измерений его величины необходимо иметь более низкую температуру (в 2+3 раза), что обеспечило бы более высокую степень выстроенности спинов ядер, и, соответственно, больший по величине эффект.

Эти причины, в совокупности, заставляют обратиться ко второму из упомянутых выше способов охлаждения, т.е. использовать рефрижератор на растворении ^3He в ^4He . Получение всё более низкой

температуры (при сохранении высокой холодопроизводительности) в криостатах последнего типа достигается, в основном, просто за счёт дальнейшего усложнения его конструкции и более тщательной оптимизации режима его работы. Трудности принципиального характера появляются при попытках достижения температур ниже 0.01К.

Рефрижератор растворения ${}^3\text{He}$ в ${}^4\text{He}$.

После опубликования первых успешных попыток использования данного метода охлаждения / 2 / был выполнен большой объём исследований по принципу и параметрам рефрижератора растворения ${}^3\text{He}$ в ${}^4\text{He}$. (см., например, / 3 /). Метод основан на замечательном свойстве смеси ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$ разделяться на две фазы при охлаждении ниже 0.87К (этой температуры нетрудно достичь с помощью откачки паров ${}^3\text{He}$). При этом фаза, богатая ${}^3\text{He}$, всплывает над фазой, богатой ${}^4\text{He}$. Если, далее, создать условия, чтобы происходило растворение ${}^3\text{He}$ в ${}^4\text{He}$, то раствор начнёт охлаждаться. Эффект охлаждения возникает благодаря двум основным свойствам смеси ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$: а) энергия связи отдельного атома ${}^3\text{He}$ в ${}^4\text{He}$ больше, чем в чистом ${}^3\text{He}$, что приводит к переходу определённого их числа из концентрированной фазы ${}^3\text{He}$ в "разбавленную" фазу смеси со сверхтекучим ${}^4\text{He}$, в результате чего растворение ${}^3\text{He}$ в ${}^4\text{He}$ не прекращается даже при $T = 0$; б) процесс растворения ${}^3\text{He}$ в ${}^4\text{He}$ есть фазовый переход I-го рода, идущий с поглощением тепла. Концентрация равновесного с чистым ${}^3\text{He}$ раствора при $T=0$ равна 6.35%. Если раствор подогревать с помощью внешнего источника тепла до температуры не выше 0.6К, то ${}^3\text{He}$ интенсивно испаряется; при этом оказывается, что произведение $x \cdot T$ (x - концентрация раствора) остаётся постоянным. При этой температуре и величине x в 0.1% из раствора испаряется практически один ${}^3\text{He}$. Его пары откачиваются бустерным насосом. Таким образом, основными узлами установки на растворении изотопов гелия являются, во-первых, камера растворения, в которой ${}^3\text{He}$, предварительно охлаждённый до температуры, близкой к рабочей, непрерывно растворяется в ${}^4\text{He}$, создавая эффект охлаждения, и, во-вторых, камера испарения, в которой происходит испарение ${}^3\text{He}$ из раствора; эта камера находится при более высокой температуре, чем камера растворения. Через соединяющий их канал, заполненный сверхтекучим ${}^4\text{He}$, атомы ${}^3\text{He}$ диффундируют из камеры растворения в камеру испарения, что и обеспечивает непрерывность процесса растворения. Чтобы замкнуть кольцо циркуляции ${}^3\text{He}$, его пары необходимо затем сконденсировать при температуре

I+I. ЗК и направить в объём, заполненный концентрированной фазой жидкого ^3He . Конденсатор представляет собой медную ампулу, законтактированную с откачиваемой гелиевой ванной с помощью медного жгута; ампула имеет объём 3 см^3 , в верхней её части вставлена набивка из плотно упакованных, спечённых между собой и со стенками ампулы медных проволок для улучшения условий конденсации ^3He .

Наиболее трудной проблемой при решении этой задачи практически является поглощение поступающего с потоком ^3He тепла. Для обеспечения эффективной работы рефрижератора необходим высокоэффективный при очень низких температурах теплообменник, в котором поток идущего к камере растворения чистого ^3He охлаждался бы за счёт "запаса холода" столба раствора, в котором атомы ^3He диффундируют от камеры растворения к камере испарения. Конструкция этого теплообменника представляет серьёзную проблему при разработке рефрижератора. Существует достаточно определённый температурный уровень ($\sim 0.1\text{ К}$), при переходе через который изменяются масштабы трудностей. Если при $T > 0.1\text{ К}$ вполне удовлетворительным оказывается простейший противоточный теплообменник типа "трубка в трубке", то при температурах ниже этого уровня оптимизация теплообмена требует более сложных конструкций, причём, трудности нарастают тем быстрее, чем ниже по температуре желательно продвигаться. Связано это со специфическим тепловым сопротивлением на границе сред жидкость-стенка, обратно пропорциональным температуре в третьей степени. Компенсировать это катастрофическое ухудшение теплообмена можно лишь резким увеличением площади теплообмена на единицу объёма жидкости, поскольку простое увеличение длины теплообменника ухудшило бы его гидродинамику. Наиболее удовлетворительным в этом смысле представляется плотноупакованный пакет тонких медных проволок, спечённых между собой и со стенками медных труб, в которые также пакеты запрессовываются. Обладая низким гидродинамическим сопротивлением вследствие высокой пористости эта конструкция обладает и рекордно высокой площадью теплообмена ($\sim 1200\text{ см}^2/\text{см}^3$ жидкости) /4/. Из изготовленных таким образом модулей затем komponуется "пирамида", как показано на рис. 3, каждая ступень которой теплоизолирована от соседних перелодами из нержавеющей трубок.

Требуемую площадь теплообмена для конкретного рефрижератора можно оценить из известного потока тепла, поступающего с обратным ^3He и величин теплоёмкостей ^3He и раствора. Поскольку эти те-

плёнок различаются между собой более чем в 4 раза, фактически, к счастью, по всему теплообменнику существует большой перепад температур между встречными потоками, за исключением области, непосредственно примыкающей к камере испарения. Если, тем не менее, задать условием, чтобы этот перепад не превышал величину в 0,01К, то при температуре 0,1К требуемая площадь составляет 250см^2 ; тогда как при $T=0,01\text{К}$ уже $\sim 10^4\text{см}^2$, что и заставляет обратиться к пористым системам. Для того, чтобы рефрижератор мог работать в замкнутом цикле, необходимо устройство, кроме всего предыдущего, задача которого состоит в компенсации перепада давления между конденсатором, в котором необходимо поддерживать давление, по крайней мере, не ниже нескольких мм. Hg, соответствующее упругости паров ^3He при $T=1\text{К}$, и камерой растворения, в которой оно практически равно нулю (при $T=0,6\text{К}$ упругость пара ^3He над раствором - около $6 \cdot 10^{-3}$ тор.).

Так как термодинамические свойства жидкого ^3He и его раствора в ^4He в интересующей нас области температур хорошо известны, то холодопроизводительность ступени растворения легко вычислить, если известны скорость циркуляции ^3He в рефрижераторе и температура, при которой происходит растворение / 4 /:

$$\dot{q} = 82 \cdot T^2 \text{ дж/моль} \cdot \text{сек.}$$

Для того, чтобы определить (расчётную) температуру, необходимо, очевидно, эту величину приравнять внешнему теплопритоку к камере растворения.

В принципе, вышеизложенного объёма теоретических знаний по процессу растворения ^3He в ^4He достаточно для конструирования экспериментальной установки.

Схема экспериментальной установки.

На рис. I показан вертикальный разрез криостата. В нём имеются три главные ванны: 1. азотная (1) ёмкостью 10 л., 2. верхняя гелиевая (4), ёмкостью 4 л., имеющая температуру 4,2К и 3. нижняя гелиевая (7), ёмкостью 6,1 л., имеющая температуру 1,2К. Азотная ванна снабжена устройством для непрерывной подпитки из внешнего азотного дьюара ёмкостью 15 л.. Нижняя гелиевая ванна откачивается форвакуумным насосом НВЗ-90 производительностью 90 л/сек через нержавеющую трубку диаметром 10 мм и длиной 20 мм.

нижняя часть криостата окружена тремя концентрическими медными экранами ($\delta = 1.5$ мм), имеющими температуру 1.2К, 20К и 77К. Нижняя часть "азотного" экрана охлаждается с помощью напаянной на него медной трубки (20) диаметром 6х1 мм, через которую непрерывно протекает жидкий азот. Конец этой трубки выведен из криостата в атмосферу и снабжён клапаном, пропускающим только газообразный азот. Экран, находящийся при температуре 20К. (19), и неоткачиваемая гелиевая ванна соединены тепловым газовым мостом, поток тепла через который регулируется извне изменением в нём давления газа (гелия). Это простое устройство позволяет в довольно широких пределах изменять соотношение скоростей испарения гелия из неоткачиваемой и откачиваемой ванн.

Кожух криостата изготовлен из нержавеющей стали толщиной 2.5 мм. Азотная и обе гелиевые ванны "навешены" на расположенный по оси криостата тракт откачки ^3He , конструкция которого обеспечивает максимальную скорость откачки ^3He при минимальном теплоотводе по тракту откачки к ступени растворения. С этой целью введены два теплообменника (5), охлаждаемые потоками испаряющегося гелия.

Поток ^3He , прежде чем попасть в конденсатор (8), предварительно охлаждается в погружном теплообменнике в азотной ванне, затем в теплообменниках (3), (15), (17) и (6), в которых используется "запас холода" гелия, испаряющегося в ваннах (4) и (7), а также откачиваемого ^3He . Такая система показала при эксплуатации рефрижератора высокую эффективность, проявляющуюся в малом изменении испаряемости гелия из нижней ванны после включения циркуляции ^3He .

В стационарном режиме скорости испарения жидкого азота—0,5 л/ч, жидкого гелия из неоткачиваемой ванны—0,25 л/час, а из откачиваемой—0,03 л/час. Для уменьшения скорости испарения хладагентов внутренние поверхности в криостате покрываются металлизированной лавсановой плёнкой.

Откачка ^3He производится паромасляным бустерным насосом НВМ—0.5 производительностью при откачке гелия —1000 л/сек в комплексе с вакуумным агрегатом АВР—50 производительностью 50 л/сек. Для обеспечения герметичности агрегата корпус входящего в него форвакуумного насоса помещён в бак, заполненный вакуумным маслом. Наружный патрубок тракта откачки ^3He соединён с входным фланцем бустерного насоса с помощью трёхколенной двухстенной трубы с внутренним диаметром 100 мм с высоковакуумным зазором между внутренней и наружной трубами. При этом внутренняя труба охлаждается

парами испарившегося азота (20). Такая конструкция соединительной трубы решает сразу несколько задач: а) увеличивается пропускная способность трубы за счёт охлаждения, б) уменьшается поток излучения вниз по тракту откачки и в) тракт откачки ³Ne предохраняется от попадания в него вакуумного масла из насоса, для чего в неё вставлены две ловушки типа "жалюзи", охлаждаемые водой и парами азота. Тракт криостата с ваннами и экранами, кожух криостата, бустерный насос и соединительная труба смонтированы на нержавеющей плите размером 750x500x25 мм³ и установлены в статив на колёсах, что позволяет перемещать криостат с одного места на другое, кроме того, регулировать по высоте в пределах 500 мм.

Степень растворения.

Наиболее важные характеристики рефрижератора—пределная температура и холодопроизводительность—определяются совершенством конструкции степени растворения. Она предназначена для понижения температуры образца от ~ 1К до предельно низкой температуры за счёт эффекта растворения ³Ne в ⁴Ne. На рис. 2 в увеличенном по сравнению с рис. 1 масштабе изображена внутренняя часть криостата, включающая в себя степень растворения и камеру образца. В состав степени растворения входят: камера растворения (II), теплообменник (10), камера испарения (23) и холодопровод (12). Назначение каждого из этих узлов было указано выше. Остановимся подробнее на особенностях их конструкции. Камера испарения представляет собой толстостенную медную ванну диаметром 150 мм и высотой 10 мм, в дне которой проточены концентрические канавки, и в них уложены 4 медных капилляра диаметром 1x0.25 мм. Проходящий по ним жидкий ³Ne охлаждается до температуры камеры испарения, а затем попадает в теплообменник (10). Последний состоит из двух частей. Первая из них представляет собой пакет из семи нержавеющей капилляров диаметром 0.5x0.12 мм, плотно вставленных внутрь нержавеющей трубки диаметром 2x0.2 мм и длиной 3 м. Эта конструкция была затем свёрнута в спираль диаметром 126 мм и снабжена на обоих концах коллекторами. По капиллярам протекает раствор, а по зазорам—навстречу—³Ne. Общая площадь теплообмена в этой части теплообменника—330 см². Вторая часть теплообменника, последовательно соединённая с первой, представляет собой "пирамиду" из семи секций с пористым заполнением, как описано выше. Общая площадь теплообмена в этой части

теплообменника - $8.4 \cdot 10^3 \text{ см}^2$ (рис. 3,4). Камера растворения изготовлена из меди, её внутренний диаметр равен 50 мм, высота - 20 мм. С помощью трёх тонкостенных нержавеющей трубок диаметром 3×0.2 мм она подвешена к камере испарения. Для улучшения теплообмена раствора со стенкой в камеру растворения плотно вставлен пучок медных проволок диаметром 0.1 мм, и вся конструкция была спечена в высоковакуумной камере. Выше и ниже этого пакета в камере оставлены свободные объёмы высотой, соответственно, 3 и 1 мм. Для лучшего охлаждения подложки образца внутри холодопровода сделаны каналы для протекания раствора непосредственно к месту крепления к нему подложки. Также с целью уменьшения температурного перепада между подложкой и холодопроводом конец последнего снабжён резьбой, на которую навёртывается подложка / 6 /.

Во время работы рефрижератора жидким гелием-3 заполнены объёмы конденсатора (8), четырёх капилляров в камере испарения, одна половина теплообменника (10), а также верхняя часть камеры растворения. Общий объём необходимого для этого гелия-3 в жидком виде - около 30 см^3 , или 21 л по газу при нормальных условиях. Реально же необходимое количество газообразного ^3He для данного рефрижератора составляет 30-40 л, поскольку для его устойчивой работы частично жидким, а частично газообразным гелием-3, но имеющим температуру от ~ 1 до 4К, необходимо заполнить объёмы трубки диаметром 2×0.5 мм и длиной 12 м в теплообменнике предварительного охлаждения, а также других коммуникаций.

Дополнительное оборудование рефрижератора.

Поскольку после выхода из криостата гелий-3 проходит сложный и длинный путь, прежде чем снова попадёт внутрь криостата, необходимо достаточно много внимания уделять предотвращению возможности загрязнения его воздухом или парами масла, либо продуктами его разложения. Помимо системы маслоотстойников и фильтров после форвакуумного насоса ВН-2, как указано на рис. 3, имеется угольная ловушка, охлаждаемая жидким азотом, и ампула с набивкой из плотно упакованной медной тонкой проволоки, погружённая в дьюар с жидким гелием.

Рабочие газы - гелий-3 и гелий-4 - запасены в двух баллонах по 33 л в каждом. Третий баллон (на рисунке не показан) используется для предварительной очистки газов. Система коммуникаций, связывающая газовые баллоны, блок очистки, насосы и криостат, по-

зволяет проводить различные процедуры: напуск газов в криостат и закачку их в баллоны, очистку газов от примесей, замену блока очистки на резервный во время работы в случае необходимости и другие операции. Управление системой коммуникаций осуществляется вакуумными сильфонными вентилями, в качестве вентилей плавной регулировки в линии напуска газов в криостат и на вход агрегата АВР-50 (при проведении операции по очистке газов) используются игольчатые вентили.

Во время работы рефрижератора контролируются давления на входе в бустерный насос, на входе в насос ВН-2 и на входе в криостат обратной ветви контура ${}^3\text{He}$. Произведение давления на входе насоса ВН-2 на его производительность даёт скорость циркуляции ${}^3\text{He}$ (для нашего рефрижератора - $1 \cdot 10^{-4}$ моля/сек).

Работа рефрижератора.

Охлаждение криостата до температуры 4.2 производится стандартным путём. Обычно эта операция занимает время от двух до трёх суток. Ступень растворения при этом охлаждается с помощью напуска теплообменного газа в вакуумногерметизированный объём внутри одноградусного экрана до давления 0,2 мм Hg. После этого включается циркуляция смеси ${}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$ под давлением в обратной ветви - 760 мм Hg. Одновременно плавно начинается откачка гелия из нижней ванны и производится конденсация смеси. По мере необходимости во внутреннее пространство одноградусного экрана добавляется обменный газ для поддержания в нём давления около 0,2 Hg. После того, как температура нижней ванны достигнет величины, близкой к 1К (вентиль плавной регулировки у насоса при этом полностью открыт), циркуляция смеси прекращается (закрывается вакуумный клапан над бустерным насосом) для ускорения конденсации смеси. Процесс конденсации 100 л смеси продолжается 3-4 часа, после чего обменный газ из внутренней полости одноградусного экрана откачивается, на что уходит ещё 15-20 мин. Затем снова открывается клапан над бустерным насосом, возобновляется циркуляция смеси через криостат. Температура камеры испарения быстро понижается до 0.Ж и ниже благодаря большому количеству в ней ${}^3\text{He}$. В дальнейшем начинается охлаждение сначала теплообменника, а затем и камеры растворения. Теперь необходимо добиться, чтобы граница раздела фаз находилась в камере растворения, что и достигается с помощью регулирования давления в обратной ветви рефрижератора и включения нагревателя в камере испарения (для

большой эффективности нагреватель, представляющий собой манганиновую спираль с сопротивлением 100 ом, помещён внутри камеры испарения). Контроль за температурой в различных местах ступени растворения производится с помощью угольных сопротивлений, перекрывающих диапазон от 4.2К до температур ниже 0.1К. Калибровка их производится по двум "реперным" точкам - 4.2 и 1.2К. Экстраполяция их градуировки в область более низких температур производится по полуэмпирической формуле, связывающей их сопротивление с температурой, рекомендованной их разработчиками. Надёжность этой процедуры не очень велика, поэтому нами использовался дополнительный способ измерения температуры. Хорошо известная температурная зависимость угловой анизотропии альфа-распада ориентированных ядер актинидов может быть использована для термометрии ниже 0.1К.

Холодопровод (12) выведен из внутренней полости одноградусного экрана в вакуумный объём криостата через вакуумноплотный тепловой мост/ 5/. Последний изготовлен из тонкостенной фторопластовой трубки диаметром 10x0.4 мм и длиной 100 мм. Трубка вакуумноплотно соединяет холодопровод с одноградусным экраном (см. рис.2). Теплоприток к холодопроводу по этой трубке при температуре экрана 1.2К составляет 14 эрг/сек, что ещё приемлемо при температуре камеры растворения около 0.1К.

Минимальная температура на образце достигалась примерно через 10 часов после начала циркуляции ^3He . По наблюдаемому эффекту в альфа-излучении из образца с ^{233}U его температура оценена в 0.12К. Температура медной подложки при этом всегда меньшее значение примерно на 0.05К.

Измерение температуры поверхностного слоя образца таким способом имеет твёрдую опору на ядерно-физический эффект анизотропного испускания альфа-частиц ядром. Температура решётки однозначно определяет заселённости состояний по ориентациям ядра в пространстве. С другой стороны, практически невозможно предсказать величину температурной разницы между поверхностью образца и его подложкой. Применяемая для приклеивания образца вакуумная замазка благодаря её химической инертности по отношению к веществу образца и отсутствию поглощённого воздуха обладает, в то же время низкой теплопроводностью. Поэтому в данном рефрижераторе предусматриваются для лучшего контакта образца с холодопроводом применение обменного газа (^3He), при этом герметизация

ампулы образца осуществляется с помощью тонких (6 мк) пленок.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность Б.С.Неганову за большую помощь на начальном этапе работы, а также Л.К.Козловскому и А.Ф.Колесникову - за помощь при проведении экспериментов на установке.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Гонин Н.Н. и др. Установка для измерения эффектов выстраивания в деления изотопов урана, Препринт ФЭИ-1301, 1982.
2. Неганов Б.С. и др. Метод получения сверхнизких температур, основанный на растворении ^3He в ^4He . Препринт ОИЯИ, Р-2480, 1965.
3. Лоупасмаа О.В. Принцип и методы получения температур ниже 1К, М., 1977.
4. Неганов Б.С. О получении сверхнизких температур путем растворения ^3He в ^4He , Препринт ОИЯИ, Р13-4014, 1968.
5. *Gonin N.N. et al. Vacuum tight heat Bridge for use at temperatures below 0.1K, Cryogenics, V18, 57, 1978.*
6. Звонков А.М. и др. Теплообменник для получения сверхнизких температур, А.с. 406085, -Б.И., №45, с.141, 1973.

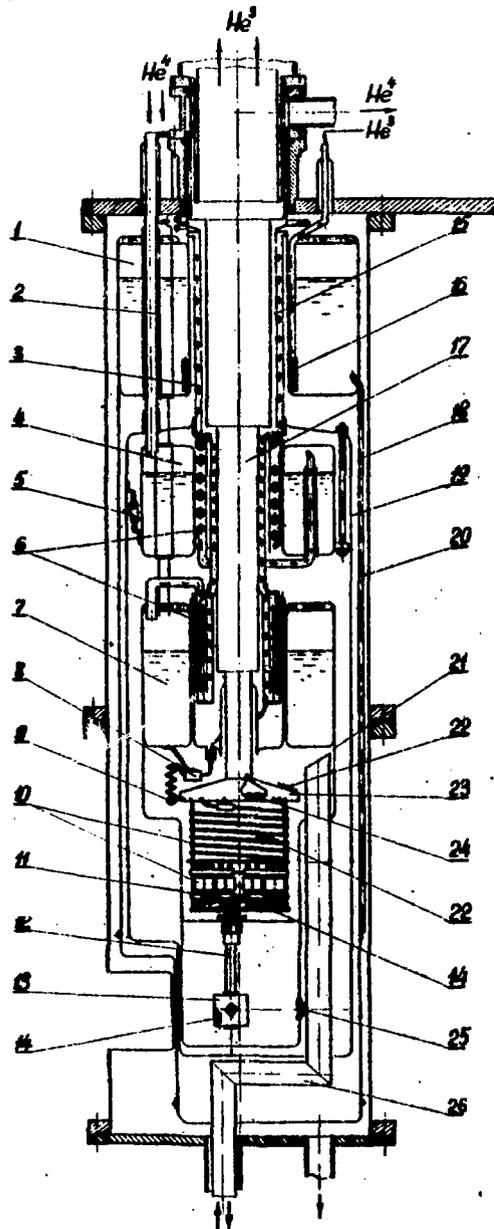


Рис. I. Криостат:

- 1- азотная ванна
- 2- трубка заливки ^4He
- 3- обратный поток ^4He
- 4- ванна гелиевая неоткачиваемая
- 5- тепловой ключ
- 6- теплообменники
- 7- ванна гелиевая откачиваемая
- 8- конденсатор
- 9- дроссель
- 10- теплообменники
- 11- камера растворения
- 12- холодопровод
- 13- подложка с образцом
- 14- угольное сопротивление
- 15- линия откачки ^4He
- 16- обратный поток ^3He
- 17- откачка ^3He
- 18- экран 77K
- 19- экран 20K
- 20- азотная петля
- 21- экран 1.2K
- 22- угольное сопротивление
- 23- камера испарения
- 24- нагреватель
- 25- детектор
- 26- линия откачки обменного газа

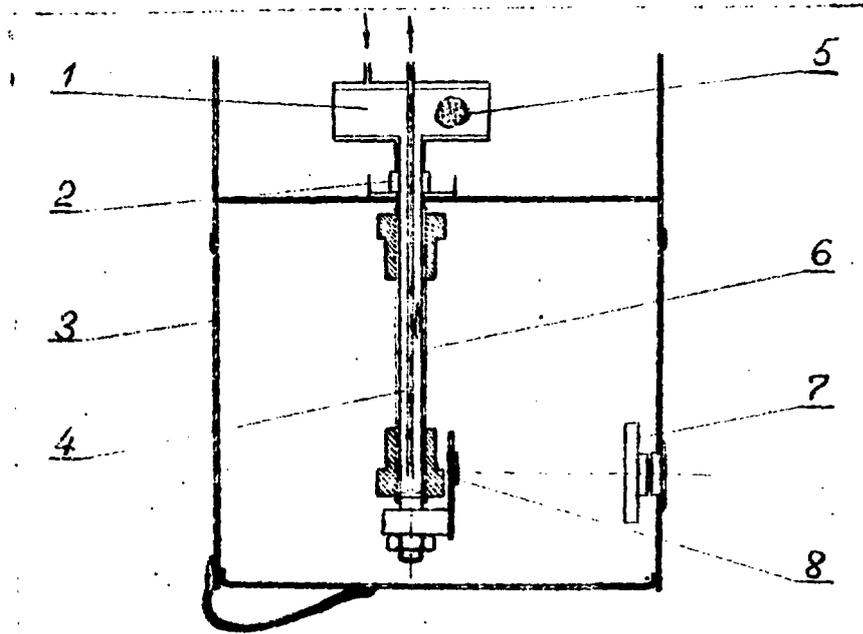


Рис. 2. Камера образца:

1- камера растворения, 2- тефлоновая звёздочка, 3- экран I.2h, 4- холодопровод, 5- спечённые медные проволоки, 6- тефлоновая трубка, 7- полупроводниковый детектор, 8- медная подложка с образцом.

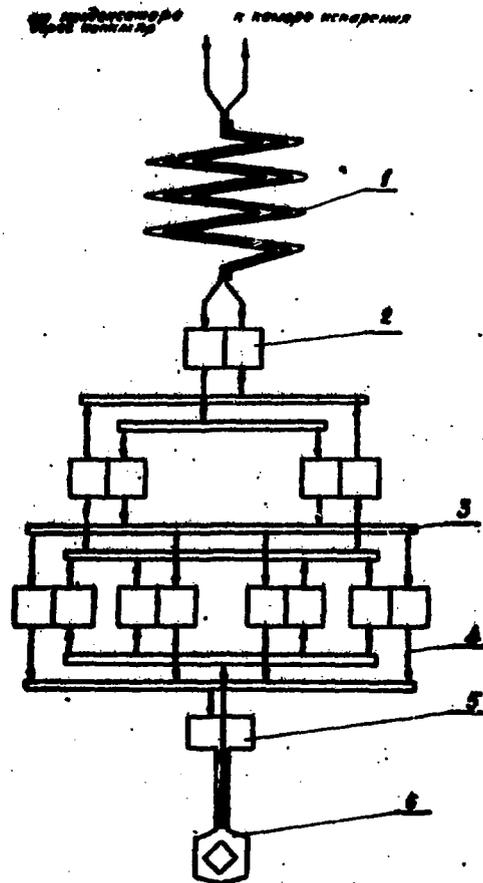


Рис. 3. Схема теплообменника:

1- теплообменник непрерывный ("трубка в трубке"), 2- элемент ступенчатого теплообменника. 3- коллектор медный, 4- капилляры нержавеющей, 5- камера растворения, 6- медная подложка с образцом

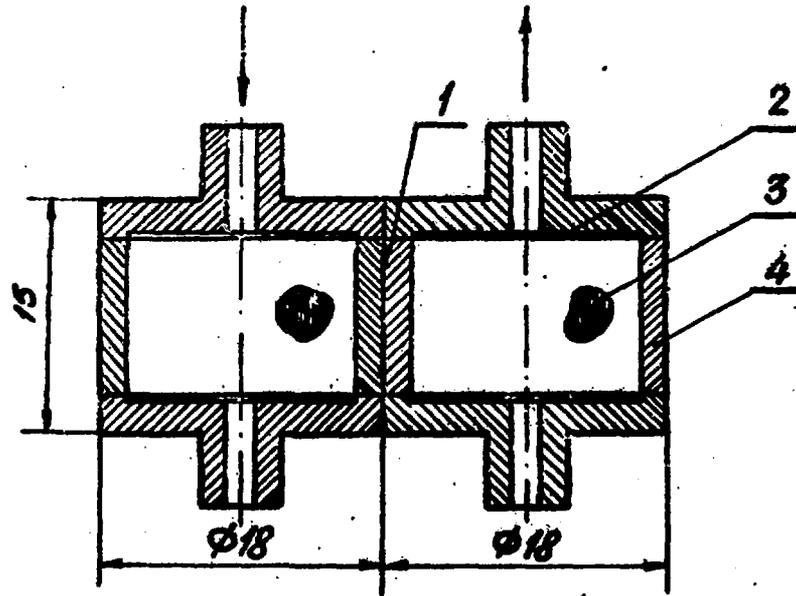


Рис.4. Элемент ступенчатого теплообменника:
1- паяное соединение модулей серебряным припоем, 2- коллектор, 3- набивка из медных проволок, 4- медный корпус.

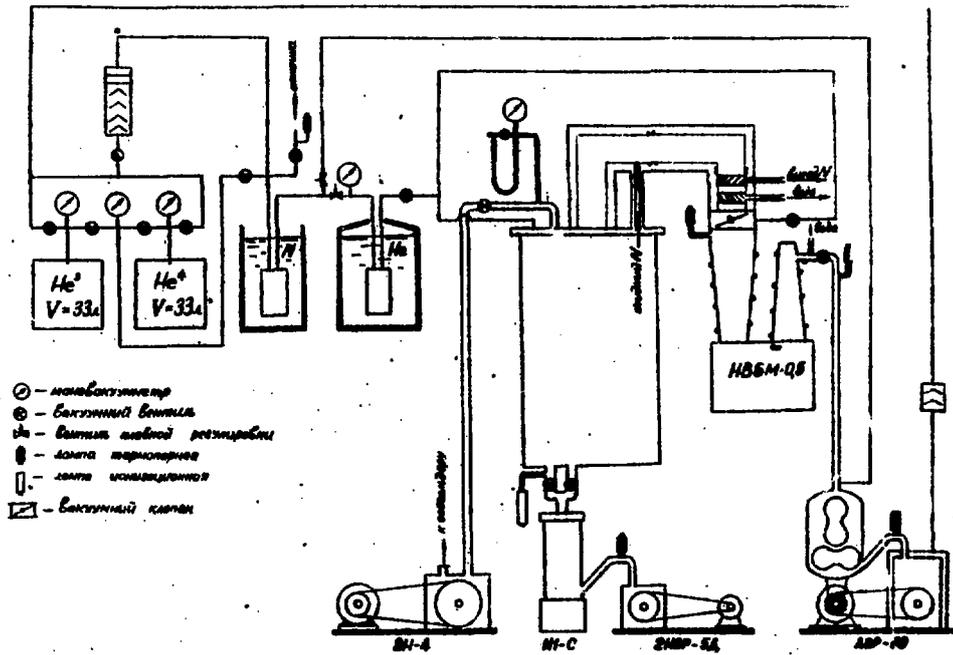


Рис. 5. Схема газовых и вакуумных коммуникаций рефрижератора.

Технический редактор Н.И.Герасимова.

Подписано к печати 22.03.1984 г. Т-08814 Формат 60x90 1/16

Офсетная печать Усл.п.л. I Уч.-изд.л. 0,7 Тираж 88 экз.

Цена II коп. ФЭИ-1542 Индекс 3624 594

Отпечатано на ротационте ФЭИ, г. Обнинск.

11 коп.

Индекс 3624

Рефрижератор растворения ^3He — ^4He для экспериментов с ориентированными ядрами.
ФЭИ-1542, 1984, 1-16.