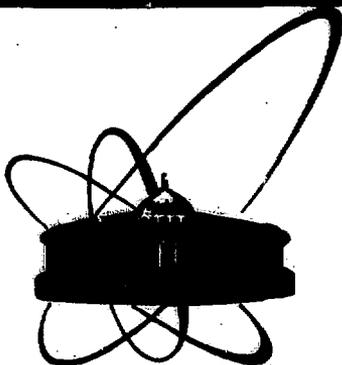


SUB 205037 V



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

13-81-722

Н.К. Жидков, А.Наврот*

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ
ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ДЕТЕКТОРОВ
И ПРЕДУСИЛИТЕЛЕЙ ВНУТРИ КАМЕРЫ
УСКОРИТЕЛЯ В СПЕКТРОМЕТРЕ
ЯДЕР ОТДАЧИ**

* Институт ядерных исследований, Варшава, ПНР.

1981

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе описывается способ охлаждения телескопов из полупроводниковых детекторов и их преусилителей, расположенных в вакуумной камере синхрофазотрона Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Начиная с 1964 года, после изобретения Гровером с сотрудниками Лос-Аламосской лаборатории тепловой трубы^{1/}, она нашла широкое применение в технике. Тепловой трубой /ТТ/ называют герметизированную конструкцию /трубу/, частично заполненную жидким теплоносителем, которая осуществляет перенос тепла при испарении жидкости в нагреваемой части ТТ /в зоне нагрева, или испарения/ и конденсации ее паров в охлаждаемой части ТТ /в зоне охлаждения, или конденсации/. Движение пара от зоны испарения к зоне конденсации происходит за счет разности давлений насыщенного пара, определяемой разностью температур в зонах испарения и конденсации. Возвращение жидкости в зону испарения осуществляется либо за счет внешних воздействий /силы тяжести, центробежной силы, рис. 1а/, либо за счет капиллярной разности давлений по капиллярной структуре /фитилю/, расположенной внутри ТТ, чаще всего на ее стенках /рис. 1б/. Фитилем могут служить различные пористые материалы /сетки, спеченные пористые структуры/, канавки на внутренней поверхности корпуса трубы, а также более сложные структуры /каналы, артерии/, способные осуществить перенос жидкости из зоны конденсации в зону нагрева за счет действия капиллярных сил^{1-3/}.

Тепловые трубы с фитилем для возврата жидкости могут работать независимо от ориентации в поле тяжести и в невесомости, поэтому они получили большое применение в космической технике^{1,3/}.

Так как изменения температуры по длине трубы происходят по линии насыщения, а давление пара при 1 атм и выше меняется незначительно, то перепад температуры пара может составлять менее 1°С на 1 м длины; таким образом, ТТ способна переносить большие тепловые мощности при малых градиентах температуры. Особенно велики переносимые мощности в ТТ с жидкометаллическими теплоносителями. Полученный поток тепла в настоящее время достигает 15 кВт/см^{2/4/}. Эффективная теплопроводность натриевой ТТ составляет $\lambda_{\text{эфф}} = 10^6$ Вт/(см°С)^{4/}. Это значение коэффициента эффективной теплопроводности в $3 \cdot 10^5$ раз выше тепло-

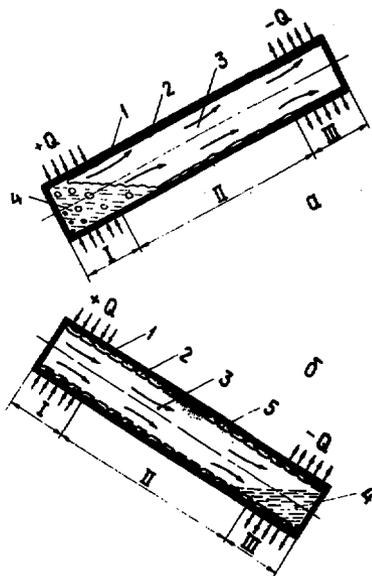


Рис. 1. Схема работы тепловой трубы: I - зона нагрева /поглощается тепло $+Q$ /; II - адиабатическая зона; III - зона охлаждения /выделяется тепло $-Q$ /. Элементы конструкции: 1 - герметичный корпус; 2 - пленка жидкого теплоносителя; 3 - движение паров теплоносителя в канале ТТ; 4 - жидкий теплоноситель; 5 - фитиль. Теплоноситель перемещается из зоны конденсации в зону нагрева под действием гравитационных сил /а/ или по фитилю, против действия гравитационных сил /б/.

проводности меди $\lambda_{Cu} = 3 \text{ Вт}/(\text{см } ^\circ\text{C})$ при $t = 1000^\circ\text{C}$ /5/. Диапазон рабочих температур определяется выбором теплоносителя и конструкционных материалов и простирается от $t = -200^\circ\text{C}$ при использовании азота до $t = 2400^\circ\text{C}$ при использовании серебра в качестве теплоносителя /4/.

2. ВЫБОР ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ

Для обеспечения передачи большого количества тепла в заданном интервале температур теплоноситель должен обладать высокой теплотой парообразования, иметь достаточно высокую плотность пара при рабочих температурах, хорошо смачивать капиллярную структуру фитиля, иметь большой коэффициент поверхностного натяжения и невысокую вязкость. Для оценки возможностей теплоносителя по теплопереносу используют /2,4/ так называемые коэффициенты переноса жидкости N_Q^* и пара N_Q^Π , определяемые следующим образом:

$$N_Q^* = \sigma_{ж} \cdot \Gamma \cdot \rho_{ж} / \eta_{ж}; \quad N_Q^\Pi = \sigma_{ж} \cdot \Gamma \cdot \rho_{\Pi} / \eta_{\Pi},$$

где $\sigma_{ж}$ - коэффициент поверхностного натяжения жидкости; Γ - скрытая теплота парообразования; $\rho_{ж}$ и ρ_{Π} - плотности жидкости и пара; $\eta_{ж}$, η_{Π} - коэффициенты вязкости жидкости и пара соответственно.

Выбирая теплоноситель для заданного интервала температур, надо стремиться к тому, чтобы теплоноситель имел наибольшие значения величин $N_Q^K(t)$ и $N_Q^П(t)$. Максимум теплопереноса у ТТ с данным теплоносителем располагается в интервале температур с границами, соответствующими максимумам кривых $N_Q^K(t)$ и $N_Q^П(t)$. Ориентировочные диапазоны рабочих температур для некоторых теплоносителей ТТ приведены в работе /2/.

Следует отметить, что в области низких температур теплоносители обладают сравнительно плохими теплопередающими свойствами. Теплоты пресобразования и коэффициенты поверхностного натяжения у них малы, а вязкости жидкостей велики. Так, например, для трех теплоносителей, работающих при различных температурах, скрытые теплоты парообразования r на линии насыщения /при давлении насыщенных паров 8,7 кг/см / очень сильно различаются по величине /6/:

- 1/ для лития (Li) $r = 18079$ кДж/кг, $t = 1730^\circ\text{C}$;
- 2/ для аммиака (NH_3) $r = 1187$ кДж/кг, $t = 20^\circ\text{C}$;
- 3/ для фреона-13 (CF_3Cl) $r = 118$ кДж/кг, $t = -30^\circ\text{C}$.

Тем не менее при низких температурах эффективность тепловой трубы значительно выше, чем у меди.

При выборе теплоносителя необходимо стремиться к тому, чтобы давление насыщенных паров было достаточно высоким для обеспечения большого переноса тепла и малого перепада температуры по длине трубы. Теплоноситель также должен иметь высокую чистоту, так как загрязнения могут снизить поверхностное натяжение, смачиваемость и ухудшить коррозионные свойства теплоносителя. В коррозионном отношении теплоноситель должен быть совместимым с материалами стенки ТТ и фитиля во всем диапазоне рабочих температур. Коррозионные свойства многих материалов приведены в работах /2,7/.

К теплоносителю могут быть предъявлены требования достаточной термической стойкости и стойкости в условиях ионизирующего излучения. Под действием нагрева или ионизирующего излучения теплоносители могут разлагаться на газообразные или твердые продукты. В первом случае вследствие появления газов в ТТ возникает неизотермическая зона /в области теплоотвода появляется газовая пробка, которая уменьшает теплоотвод/, во втором - возможна закупорка фитиля продуктами разложения.

На теплопередачу большое влияние оказывают геометрические размеры трубы, размеры зон подвода и отвода тепла, характеристики фитиля. Другие факторы, влияющие на теплопроводность ТТ, рассмотрены в /1,2,4/.

3. КРАТКИЕ СВОЙСТВА СПЕКТРОМЕТРА ЯДЕР ОТДАЧИ

В основе спектрометра ядер отдачи лежит метод многократного прохождения внутреннего пучка ускорителя через тонкую мишень, расположенную внутри камеры ускорителя /8/, и регистрации ядер, вылетающих из мишени в результате реакций упругого и неупругого рассеяния ядер пучка на ядрах мишени и фрагментации ядер мишени.

Установка собрана на одном из линейных промежутков синхрофазотрона Лаборатории высоких энергий ОИЯИ. Размеры вакуумной камеры линейного промежутка /высота ~0,5 м, ширина ~2,5 м/ позволяют разместить внутри камеры мишень и телескопы из полупроводниковых детекторов с предусилителями /рис.2/. Спектрометр содержит 4 телескопа, которые в рабочем положении располагаются в горизонтальной плоскости /на рис.2 указан только один телескоп/. Телескопы можно поворачивать вокруг вертикальной оси, проходящей через мишень, что позволяет измерять выход ядер из мишени под различными углами относительно направления пучка ускорителя. Светимость мишени составляет $\sim 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ при сбросе на нее $5 \cdot 10^{10}$ частиц/цикл; это позволяет измерять дифференциальные сечения с величинами $< 100 \text{ нБ/ср}$ и исследовать следующие процессы: упругое рассеяние ядер; фрагментацию ядер мишени; кумулятивный эффект /8/, а также поиск сверхвозбужденных состояний ядер пучка и новых изотопов типа $\text{He}^{10} /10/$.

Суммарная толщина применяемых кремниевых полупроводниковых детекторов в одном телескопе составляет ~2 см, что определяет интервал энергий регистрируемых ядер.

Схематически конструкция части спектрометра, установленной на ускорителе, показана на рис.2. Вакуумный бокс /3/ через шибер /2/ соединен с вакуумной камерой /1/ линейного промежутка. В открытом состоянии шибер имеет отверстие диаметром 380 мм, что накладывает ограничения на размеры конструкции, вводимой через него в камеру линейного промежутка.

В исходном состоянии шибер закрыт, в боксе атмосферное давление; имеется доступ к телескопам, предусилителям, системе кабелей и разъемов. Телескоп /6/, предусилители /7/ с помощью тепловой трубы /8/ подвижно крепятся к фиксатору /10/, который может перемещаться вдоль штанги /11/, которая, в свою очередь, имеет возможность перемещаться в вертикальном направлении. В исходном состоянии конец штанги вместе с деталью /9/ занимает положение /9' /.

В рабочем положении ускоренный пучок ядер /4/ проходит через мишень /5/, ядра отдачи регистрируются телескопом /6/; сигналы усиливаются предусилителями /7/ и по кабелям передаются в комнату с электронной аппаратурой.

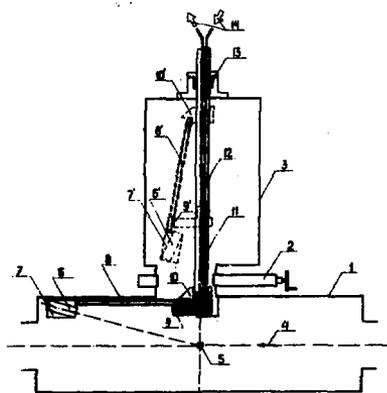


Рис. 2. Схема расположения детекторов, предусилителей и мишени спектрометра ядер отдачи на ускорителе: 1 - линейный промежуток ускорителя; 2 - вакуумный шибер; 3 - вакуумный бокс; 4 - пучок ускорителя; 5 - мишень; 6/6' - телескоп из полупроводниковых детекторов; 7/7' - предусилители; 8/8' - тепловая труба; 9/9' - деталь, охлаждаемая рассолом (KCl), неподвижно закреплена на конце штанги 11; 10/10' - фиксатор, в положении 10 он жестко фиксирует конец ТТ 8 и деталь 9; 11 - штанга /труба

из нержавеющей стали/, при движении штанги вверх элементы 6-10 занимают положение 6'-10'; 12 - магистраль с рассолом, проходит внутри штанги 11, рассол охлаждает деталь 9; 13 - вакуумное уплотнение; 14 - герметизированные ввод и вывод рассола в магистраль 12.

Для охлаждения диффузионных насосов, установленных на ускорителе, применяется рассол (KCl), охлажденный до температуры -30°C . Рассол через выходы /14/ подается в магистраль /12/ и охлаждает деталь /9/ /рис.2/. Тепло от предусилителей /7/ и детекторов /6/ с помощью ТТ /8/ отводится на деталь /9/. Всего в спектрометре ядер отдачи используется 4 набора телескопов, предусилителей и ТТ.

Применение ТТ является надежным, удобным в конструктивном отношении и безопасным для работы ускорителя способом охлаждения.

4. КОНСТРУКЦИЯ ТЕПЛОЙ ТРУБЫ

Конструкция ТТ приведена на рис. 3. Корпус ТТ выполнен из медной трубы длиной 600 мм с внешним диаметром 16 мм, толщиной стенки 2 мм, герметизированной с обеих концов медными пробками. К внутренней стенке трубы плотно прилегает фитиль, состоящий из двух слоев /витков/ сетки из нержавеющей стали с ячейками 150 меш /меш - единица измерения, указывает количество ячеек сетки, приходящихся на один дюйм/. Внутри тепловой трубы содержится ~18 г теплоносителя фреона-22 (CHF_2Cl).

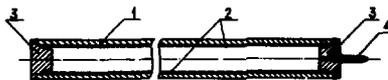
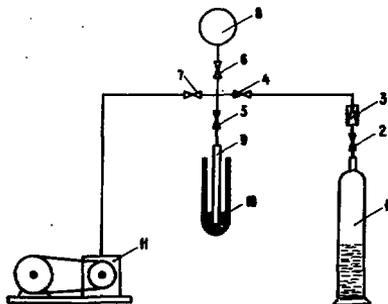


Рис.3. Конструкция тепловой трубы: 1 - труба из меди; 2 - фитиль; 3 - пробки из меди; 4 - трубка из меди диаметром 1 мм, служит для заполнения ТТ теплоносителем.

Рис.4. Схема заполнения тепловой трубы теплоносителем: 1 - баллон с жидким фреоном-22; 2,4,5,6,7 - вакуумные вентили; 3 - редуктор; 8 - мерный объем /тонкостенный резиновый шар/ для измерения количества газообразного фреона; 9 - корпус ТТ; 10 - сосуд Дьюара с жидким азотом; 11 - форвакуумный насос.



Перед сборкой ТТ все детали тщательно очищаются методом травления. Пробки припаиваются к концам трубы припоем ПСР-45. Во время пайки внутрь ТТ подается газообразный гелий, чтобы защитить внутреннюю поверхность от окисления.

Схема заполнения ТТ фреоном показана на рис.4. Вначале вся система откачивается, затем промывается фреоном. В мерный объем отмеряется ~21 г газообразного фреона при давлении ~1 атм /это ~4,8 л газа, что соответствует объему шара диаметром ~21 см/. Затем закрываются вентили /6/, /4/, открываются вентили /7/, /5/. После откачки вентиль /7/ закрывается и открывается вентиль /6/. ТТ погружается в жидкий азот в сосуде Дьюара. Газообразный фреон перетекает из мерного объема в ТТ и вымораживается на ее внутренней стенке. По окончании вымораживания труба вынимается из сосуда Дьюара и медленно отепляется на воздухе. Когда из ТТ в объем /8/ выйдет ~3 г фреона /диаметр шара ~10 см/, трубка /4/ /рис.3/ пережимается и запаивается.

В установке в рабочем состоянии ТТ находятся в горизонтальном положении /зона нагрева может располагаться ниже зоны конденсации на 0 ± 10 мм/. Изготовленные ТТ испытывались в горизонтальном положении /теплый конец находился ниже холодного на 0 ± 10 мм/ в вакууме, в интервале переданных мощностей 5 ± 40 Вт /зона нагрева 7 см/ при охлаждении зоны конденсации /с торца/ в интервале температур $0 \pm 30^\circ\text{C}$. Измерения показали, что изготовленные нами тепловые трубы имеют тепловое сопротив-

ление $0,45 \pm 0,65^\circ\text{C}/\text{Вт}$, что в 30 ± 20 раз меньше теплового сопротивления меди при данных температурах.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение тепловых труб для охлаждения детекторов и преусилителей внутри камеры ускорителя в спектрометре ядер отдачи подтвердило свою эффективность и надежность при работе спектрометра в экспериментах. При необходимости увеличения теплопроводности ТТ следует вместо фреона-22 использовать в качестве теплоносителя аммиак, который в коррозионном отношении устойчив с алюминием и нержавеющей сталью.

В случае ухудшения теплопередающих свойств ТТ при длительной эксплуатации их в радиационных условиях имеется возможность перезаправки ТТ свежим теплоносителем.

В заключение выражаем глубокую благодарность доктору физико-математических наук В.А.Никитину за внимание к работе и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тепловые трубы /сборник переводов с англ. и нем. под ред. Э.Э.Шпильрайна/. "Мир", М., 1972.
2. Ивановский М.Н. и др. Технологические основы тепловых труб. Атомиздат, М., 1980.
3. Елисеев В.Б. и др. Что такое тепловая труба? "Энергия", М., 1971.
4. Ивановский М.Н. и др. Физические основы тепловых труб. Атомиздат, М., 1978.
5. Таблицы физических величин /справочник под ред. академика И.К.Кикоина/. Атомиздат, М., 1976.
6. Теплотехнический справочник. "Энергия", М., 1975, т.1; Варгафик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. "Наука", М., 1972.
7. Сухотин А.М., Зотиков В.С. Химическое сопротивление материалов. "Химия", М., 1975.
8. Никитин В.А. и др. ЖЭТФ, 1964, 46, с.1608.
9. Балдин А.М. ЭЧАЯ, 1977, т.8, с.429.
10. Безногих Г.Г. и др. Письма в ЖЭТФ, 1979, 30, с.349.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 ноября 1981 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги,
если они не были заказаны ранее.

Д1,2-9224	IV Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1975.	3 р. 60 к.
Д-9920	Труды Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра. Дубна, 1976.	3 р. 50 к.
Д9-10500	Труды II Симпозиума по коллективным методам ускорения. Дубна, 1976.	2 р. 50 к.
Д2-10533	Труды X Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Баку, 1976.	3 р. 50 к.
Д13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
Д17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
Д6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
Д3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Р18-12147	Труды III Совещания по использованию ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1978.	2 р. 20 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
Р2-12462	Труды V Международного совещания по нелокальным теориям поля. Алушта, 1979.	2 р. 25 к.
Д-12831	Труды Международного симпозиума по фундаментальным проблемам теоретической и математической физики. Дубна, 1979.	4 р. 00 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979.	3 р. 50 к.
Д2-81-158	Труды XIV Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий, Дубна, 1980.	3 р. 50 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Жидков Н.К., Наврот А.

13-81-722

Применение тепловых труб для охлаждения детекторов и предусилителей внутри камеры ускорителя в спектрометре ядер отдачи

Кратко описан спектрометр ядер отдачи, работающий на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ. Изложен способ охлаждения телескопов из полупроводниковых детекторов и предусилителей спектрометра, расположенных внутри вакуумной камеры ускорителя, с помощью тепловых труб /ТТ/. Описаны основные свойства, особенности конструкции и технология изготовления ТТ, применяемых в спектрометре. Тепловые трубы длиной 600 мм, внутренним диаметром 12 мм, использующие в качестве теплоносителя фреон-22, имеют теплопроводность, которая в 20-30 раз выше теплопроводности меди. При эксплуатации спектрометра в экспериментах продемонстрированы надежность и эффективность работы ТТ.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1981

Zhidkov N.K., Nawrot A.

13-81-722

The Use of Heat Pipes for Cooling Detectors and Preamplifiers Inside a Vacuum Chambers of the Accelerator in the Spectrometer of Recoil Nuclei

The spectrometer of recoil nuclei operating at the Dubna synchrophasotron is briefly described. The method of cooling semiconducting detector telescopes and preamplifiers of the spectrometer, placed inside a vacuum chamber of the accelerator, by means of heat pipes (HP) is described. The HP basic properties and the peculiarities of their construction are presented. The construction and technology of making the heat pipes used in the spectrometer are described in detail. The conduction of the heat pipes (60 cm long, 12 mm in diameter, having freon-22 as a heat-transfer agent) is 20-30 times higher than that of copper. The use of the spectrometer in experiments has shown a reliable and effective operation of HP.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1981

Перевод О.С.Виноградовой.

Редактор Т.Я.Хабичкая. Макет Н.А.Киселевой.
Набор В.С.Румянцевой, Н.И.Коротковой.

Подписано в печать 11.12.81.
Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд.листов 0,74.
Тираж 425. Заказ 30509.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Дубна Московской области.