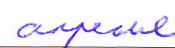


«УТВЕРЖДАЮ»



Заместитель директора ИОФ РАН
по научной работе, д.ф.-м.н.

 В.В.Глушков

«22»  2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук
на диссертационную работу Черникова Александра Николаевича
«Разработка криостатов для ядерно-физических исследований»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

На современном этапе развития физики при постановке новых научных задач особое внимание уделяется анализу возможностей экспериментального оборудования, характеристики которого во многом определяют успех планируемого эксперимента. Повышенные требования предъявляются и к криогенным установкам, которые оказываются всё более востребованными для различных применений, например, для охлаждения исследуемых образцов, различных детекторов и сверхпроводящих систем, для хранения образцов. При этом использование современных технологий и новых технических решений позволяет существенно расширить возможности криогенного оборудования.

Актуальность темы исследования.

Актуальность темы исследования А.Н.Черникова, посвященного разработке новых криостатов для криогеники, обусловлена необходимостью развития криогенной техники и создания новых установок для экспериментов в различных областях физики: в физике конденсированных сред, оптике, ядерной физике, астрофизике, а также при исследованиях на реакторах при помощи тепловых нейтронов и т.п. Сложность разработки экспериментов при низких температурах определяется техническими проблемами и задачами, связанными как с конкретными физическими исследованиями, так и с планируемыми условиями эксплуатации криогенных установок. Не менее важной составляющей также является упрощение/оптимизация криогенного оборудования. Важно подчеркнуть, что каждая конкретная задача имеет ряд своих ограничений на применение тех или иных материалов, размеры системы, использование газовых коммуникаций и криогенных жидкостей, итоговую стоимость системы и режимы эксплуатации.

Перечисленные факторы объясняют разделение направлений развития криогенной техники, подробно освещённое в диссертационной работе.

Научная новизна.

Следует отметить, что автору удалось найти **новые перспективные решения** в области разработки криостатов для ядерно-физических исследований, исследований физики поверхностей, а также для охлаждения болометров для астрофизических исследований. В частности, с использованием оригинальных решений и технологий А.Н.Черниковым разработан и создан целый ряд криостатов, демонстрирующих рекордные параметры, для различных применений. Новые криогенные системы включают:

1) Криостат с рефрижератором растворения ^3He в ^4He , объединенный теплообменником с рефрижератором откачки ^3He или ^4He . Данная система обладает рекордной холодопроизводительностью, причем вертикальный канал откачки рефрижератора испарения позволяет менять образец без отогрева и разборки криостата.

2) Криостаты с двумя автономными рефрижераторами откачки ^3He и ^4He , охлаждаемые как жидким ^4He , так и криокулерами замкнутого цикла. Данные системы отличаются от аналогов отсутствием газовых коммуникаций, рекордными простотой и временем работы при сверхнизких температурах.

3) Сверхвысоковакуумный безазотный заливной гелиевый криостат для охлаждения сканирующего туннельного микроскопа, обладающий рекордно малыми тепловыми потерями.

4) Оригинальные шахтные криостаты с диаметрами шахт 20, 70 и 120мм, охлаждаемые криокулерами замкнутого цикла, для работы в составе нейтронных спектрометров в диапазоне температур 6-300K. В разработанных системах автору удалось учесть все требования специфики нейтронных экспериментов к материалам и условиям и, при этом, достичь крайне высоких/рекордных эксплуатационных характеристик.

При непосредственном участии автора на созданном оборудовании был проведен ряд экспериментальных исследований, позволивших получить ряд новых научных результатов при низких и сверхнизких температурах, включая:

- исследование электропроводности образцов антимонида индия, легированного марганцем $p\text{-InSb(Mn)}$ с различной концентрацией Mn в зависимости от температуры и величины магнитного поля в диапазоне температур $0,04 \div 4,2 \text{ K}$;
- измерение зависимостей сопротивления от температуры пленок Ti на кремниевой подложке со сверхпроводящими контактами из Nb.

Научная и практическая значимость.

Практическая значимость полученных в работе результатов и созданных автором криогенных установок без сомнения и полностью подтверждается их активным использованием в ведущих научных центрах и институтах: ОИЯИ, РНЦ

«Курчатовский институт», ФИАН, ИОФ РАН, ИРЭ РАН, Институте ядерной физики и химии (КНР) и др. На созданном и описанном в диссертации автором оборудовании в настоящее время различными научными группами активно проводятся низкотемпературные эксперименты по различным актуальным направлениям исследований современной физики.

Кроме того, с нашей точки зрения, представленная работа является одной из редких работ, существенно и многосторонне развивающих технику криогенного эксперимента. Здесь необходимо отметить крайнюю немногочисленность квалифицированных специалистов данного профиля и соответственно работ по представленной теме, как в России, так и во всём мире. Данное обстоятельство также определяет существенную значимость данной работы как методического материала. Диссертация А.Н. Черникова может лечь в основу практического учебного курса криогеники кафедр низких температур энергетических и политехнических вузов.

Структура диссертации.

Диссертационная работа А.Н. Черникова состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем диссертации составляет 136 страниц и содержит 60 рисунков. Каждая глава освещает отдельное направления развития криогенной техники и имеет структуру самостоятельного исследования. Список используемой литературы содержит 73 наименования.

Во введении представлен обзор и систематизация методов получения низких и сверхнизких температур, приведена мотивация разработки новых криостатов.

В первой главе поставлена задача и описана разработка рефрижератора растворения ^3He в ^4He , соединённого посредством теплообменника с рефрижератором откачки ^3He или ^4He . Представленный криостат позволил проводить эксперименты в диапазоне температур $0,028 \div 4,2$ К. Для решения задач нейтронных экспериментов, обусловленных невозможностью использования ^3He в зоне образца из-за большого сечения захвата тепловых нейтронов в реакции $^3\text{He}(n,p)T$, предложен вариант ввода образца в испаритель рефрижератора откачки ^4He , дополнительно охлаждаемого рефрижератором растворения ^3He в ^4He .

Во второй главе рассмотрен принцип работы рефрижераторов с откачкой ^3He для работы при температурах до 0,3 К. Предложено использование сорбционной откачки с хранением хладагентов ^3He и ^4He в самом рефрижераторе, что существенно упростило конструкцию и эксплуатацию таких систем, а также обеспечило автономность и мобильность. Представлен ряд рефрижераторов на основе новых технических решений, удовлетворяющих различным специальным требованиям физических экспериментов. Использование криокулера замкнутого цикла в части представленных систем позволило полностью избавиться от необходимости заливки жидкого гелия в систему и дало возможность её установки

в труднодоступных местах, например, в зонах специального радиационного доступа или астрономической обсерватории.

В третьей главе представлена разработка специализированного гелиевого криостата, предназначенного для охлаждения сканирующего туннельного микроскопа и удовлетворяющего специальным требованиям: время работы сканера не менее 24 часов при соблюдении условий минимизации вибраций, шумов и минимального дрейфа гелиевой температуры. Разработанный безазотный криостат полностью удовлетворяет предъявленным требованиям и имеет рекордные параметры изоляции гелиевого объема, а его конструкция защищена патентом на полезную модель Российской Федерации.

В четвертой главе описаны новые криостаты с охлаждением криокулерами замкнутого цикла для работы при температурах выше 4.2 К в составе нейтронных спектрометров. Криостаты специализированы согласно требованиям экспериментов конкретных спектрометров тепловых нейтронов и имеют вертикальные шахты для загрузки образцов диаметрами 20, 70 и 120 мм. Особо следует отметить криостат для охлаждения массивных камер высокого давления с диаметром шахты 120 мм, определяемым размерами камер. Полученная минимальная рабочая температура камеры 6 К при условии использования криокулера с холодопроизводительностью всего 0,6 Ватт является удивительным и неожиданным результатом, раздвигающим рамки представлений о возможностях и применении подобных систем.

В заключении кратко сформулированы основные результаты работы. Наиболее важные достижения автора включают:

1. Разработку криостата с рефрижератором растворения ^3He в ^4He , объединенный теплообменником с рефрижератором откачки ^3He или ^4He . Вертикальный канал откачки рефрижератора испарения позволяет менять образец без отогрева и разборки криостата, а использование в рефрижератора испарения ^4He позволяет использовать данные криостаты в составе спектрометров тепловых нейтронов.

2. Разработку ряда криостатов с двумя автономными рефрижераторами откачки ^3He и ^4He , охлаждаемые как жидким ^4He , так и криокулерами замкнутого цикла.

3. Разработку сверхвысоковакуумного безазотного заливного гелиевого криостата, обладающего рекордно малыми тепловыми потерями, для охлаждения сканирующего туннельного микроскопа.

4. Разработку оригинальных шахтных криостатов с диаметрами шахт 20, 70 и 120 мм, охлаждаемых криокулерами замкнутого цикла, для работы в составе нейтронных спектрометров в диапазоне температур 6-300 К.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений и полностью подтверждается активным и успешным использованием систем и установок разработанных автором и описанных в данной работе в ведущих

научных центрах и институтах: ОИЯИ, РНЦ «Курчатовский институт», ФИАН, ИОФ РАН, ИРЭ РАН, Институт ядерной физики и химии (КНР) и др.

Диссертационная работа написана хорошим языком и в целом оставляет очень хорошее впечатление. Тем не менее, доступность и общий уровень восприятия текста можно существенно улучшить дополнительной редактурой по устранению опечаток и стилистических неточностей:

1) На стр.74-75 нумерация элементов рис.2.17 не соответствует нумерации при описании в тексте.

2) На стр.68-69 в последних предложениях соседних абзацев допущено фактическое дублирование информации «Управление рефрижератором осуществляется при помощи газовых тепловых ключей» и «Управление сорбционными насосами осуществляется при помощи газовых щелевых тепловых ключей».

3) На стр.85 по-видимому допущены ошибки редактирования в предложении «Так как часть холодопроизводительности криокулера 0,5 Вт при 4,2 К, часть которой тратится на преодоление конструктивных теплопритоков, то суммарную мощность нагрева следует лимитировать 120 мВт.»

4) На стр.84 основной текст работы совместился с подписью к рис.2.23, что привело к появлению слова «3Ненагрузки» и ряду опечаток.

5) На стр.95 в предложении «Это дополняется противоречивым требованием малой продольной теплопроводности элементов соединения и вывода паров гелия.» требования являются не противоречивыми, а лишь в некоторой степени противоречащими требованиям большой механической жесткости конструкции.

6) На стр.113 ускользает смысл описания в предложении «Такое расположение нагревателя, теплообменника с одной стороны и теплопроводности стенок камеры образца с другой стороны...».

7) В тексте диссертации попеременно используются несколько вариантов обозначения « ^3He »/« ^4He » или «гелий-3»/«гелий-4».

8) В тексте диссертации полученных в работе значений параметров ПИД регуляторов не указаны единицы измерения (стр.110, 121).

9) При описании различных систем рефрижераторов в некоторых случаях не указаны основные параметры системы (объем заправочных емкостей $^3\text{He}/^4\text{He}$, время работы при сверхнизких температурах, время регенерации и т.п.).

Все отмеченные замечания касаются исключительно оформления и описания работы. Перечисленные замечания никак не влияют на качество предложенных технических решений, разработанных установок, и, таким образом, не снижают общей практической ценности диссертации. Более того, автору рекомендуется написать обзор или монографию на основе настоящей диссертационной работы с учетом выявленных замечаний, по возможности дополнив работу разделом о применении криокулеров замкнутого цикла для ожижения малых количеств гелия с целью охлаждения стандартных гелиевых

криостатов через проточную систему. Подобный методический материал, по нашему мнению, был бы крайне востребован как в России, так и во всем мире.

Заключение.

Научная и методологическая значимость изложенных в диссертации результатов не вызывает сомнений. Все результаты получены при определяющем личном вкладе А.Н.Черникова и полностью соответствуют поставленным целям. Высокая степень обоснованности положений и выводов подтверждается количеством источников в списке литературы, включающем 73 позиции, апробацией работ в докладах на 5 международных и российских конференциях, публикацией результатов в 6 статьях в журналах перечня ВАК Министерства образования и науки РФ, одном патенте, 3 сообщениях-препринтах ОИЯИ, а также успешной работой разработанных и созданных автором установок в ведущих научных центрах и институтах: ОИЯИ, РНЦ «Курчатовский институт», ФИАН, ИОФ РАН, ИРЭ РАН, Институте ядерной физики и химии (КНР) и других организациях. Содержание диссертации и содержание опубликованных работ находятся в хорошем соответствии. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа А.Н. Черникова соответствует всем требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением 842 Правительства Российской Федерации от 24 Сентября 2013 г. и предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор А.Н. Черников заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01 – «приборы и методы экспериментальной физики».

Доклад А.Н.Черникова по материалам диссертационной работы заслушан, обсужден и одобрен на семинаре отдела низких температур и криогенной техники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук (ИОФ РАН) 9 апреля 2019 года (протокол №77).

Отзыв составил старший научный сотрудник отдела низких температур и криогенной техники ИОФ РАН, к.ф.-м.н. Богач Алексей Викторович.

Старший научный сотрудник
ИОФ РАН, к.ф.-м.н.



А.В.Богач

Контакты ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук
(ИОФ РАН), 119991, ГСП-1, г. Москва, ул. Вавилова 38,
тел. +7 (499) 503-8734, e-mail: office@gpi.ru, www.gpi.ru