



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Практическая криогеника» для направления 03.06.01 «Физика и астрономия» профиля
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 01.04.09 «Физика низких температур»

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
"Национальный исследовательский университет
"Высшая школа экономики"**

**Программа дисциплины
«Практическая криогеника»**

для направления 03.06.01 «Физика и астрономия» профиля подготовки научно-педагогических
кадров в аспирантуре 01.04.09 «Физика низких температур»

Авторы программы: проф. К.О.Кешишев,
проф. А.И.Смирнов , e-mail: smirnov@kapitza.ras.ru

Одобрена на заседании Академического совета аспирантской школы по физике

Москва – 2017

*Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими
вузами без разрешения разработчика программы.*



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Практическая криогеника» для направления 03.06.01 «Физика и астрономия» профиля подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 01.04.09 «Физика низких температур»

1. Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к знаниям и умениям аспиранта по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» для специальности 01.04.09 «Физика низких температур» и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа разработана в соответствии с:

- Образовательным стандартом НИУ ВШЭ по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия»;
- Образовательной программой «Физика и астрономия» подготовки аспиранта.
- Учебным планом подготовки аспирантов по специальности 01.04.09 «Физика низких температур», утвержденным в 2016.

2. Цели освоения дисциплины: получение фундаментальных знаний и практических навыков в области физики криосистем и их практического использования, методах получения низких температур и проведения экспериментальных исследований при низких температурах. Освоение дисциплины должно способствовать формированию профессиональных компетенций, определяемых профилем программы аспирантуры.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- способы получения низких температур
- методы низкотемпературной термометрии
- методы проведения измерений при низких температурах.

Уметь:

- использовать полученные знания при проведении научных исследований

Иметь навыки (приобрести опыт):

- применять методологию экспериментальных исследований в области физики низких температур.

В результате освоения дисциплины аспирант осваивает следующие компетенции:

Компетенция (указываются в соответствии с ОС НИУ ВШЭ)	Код по ОС НИУ ВШЭ	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
---	----------------------	--	---

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Практическая криогеника» для направления 03.06.01 «Физика и астрономия» профиля
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 01.04.09 «Физика низких температур»

Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	УК-1	Демонстрирует способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников.
Способность осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки	УК-2	Демонстрирует способность осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников.
Готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках.	УК-4	Демонстрирует готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках.	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников.
Способность выполнять теоретические и экспериментальные исследования в области физики низких температур	ПК-1	Демонстрирует способность выполнять теоретические и экспериментальные исследования в области физики низких температур	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников.
Способность выполнять теоретические и экспериментальные исследования в области физики воздействия излучений на конденсированные вещества	ПК-2	Демонстрирует способность выполнять теоретические и экспериментальные исследования в области физики воздействия излучений на конденсированные вещества	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников
Способность выполнять теоретические и экспериментальные исследования в области физического и радиационного материаловедения	ПК-3	Демонстрирует способность выполнять теоретические и экспериментальные исследования в области физического и радиационного материаловедения	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников

Способность выполнять теоретические и экспериментальные исследования в области физических процессов при создании микроэлектроники и наноэлектроники на квантовых эффектах	ПК-4	Демонстрирует способность выполнять теоретические и экспериментальные исследования в области физических процессов при создании микроэлектроники и наноэлектроники на квантовых эффектах	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников
Способность выполнять теоретические и экспериментальные исследования в области физических процессов при создании космической электроники и радиоэлектроники	ПК-5	Демонстрирует способность выполнять теоретические и экспериментальные исследования в области физических процессов при создании космической электроники и радиоэлектроники	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников
Способность к созданию приборов наноэлектроники, основанных на новых физических принципах, таких как квантовые эффекты	ПК-7	Демонстрирует способность к созданию приборов наноэлектроники, основанных на новых физических принципах, таких как квантовые эффекты	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников
Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области теоретической и прикладной физики с использованием современных физических методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.	ОПК-1	Демонстрирует способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области теоретической и прикладной физики с использованием современных физических методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников.
Способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности.	ОПК-2	Демонстрирует способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности.	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников.

4. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина относится к дисциплинам вариативной части, обязательной для профиля «Физика низких температур».

Изучение данной дисциплины базируется на следующих базовых дисциплинах:

- Физика



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Практическая криогеника» для направления 03.06.01 «Физика и астрономия» профиля
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 01.04.09 «Физика низких температур»

- Математика
- Иностранный язык

Для освоения учебной дисциплины, аспиранты должны владеть следующими знаниями и компетенциями:

- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6).

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин: -

5. Тематический план учебной дисциплины

1. Материалы для криогенных систем
2. теплоизоляция
3. методы ожижения газов
4. методы получения низких температур
5. Рефрижератор растворения
6. Адиабатическое размагничивание
7. Низкотемпературная термометрия
8. Сверхпроводящие соленоиды
9. Оптические криостаты

6. Формы контроля знаний аспирантов

Текущий контроль: контрольные работы

Итоговый контроль: экзамен

6-1. Примеры задач контрольной работы

1. Произвести расчет паразитного теплоподвода за счет излучения в низкотемпературном микроволновом спектрометре волноводного типа.
2. Оценить предельную температуру при адиабатическом размагничивании ядер.
3. Оценить тепловыделение в спектрометре магнитного резонанса токами Фуко при введении магнитного поля со скоростью 0.05 Т в минуту в медном резонаторе диаметром 16 и высотой 10 мм с толщиной стенок 0.5 мм.
4. Произвести измерение уровня гелия в транспортном дьюаре.

6-2. Примеры вопросов экзамена

1. Холодильные циклы.
2. Магнитная термометрия
3. Схема рефрижератора растворения.

7. Содержание дисциплины

1. Конструкционные материалы, используемые в низкотемпературной технике[^]
Применение металлов, сплавов, пластмасс, стекла, композиционных материалов, их механические и теплофизические свойства при низких температурах. Влияние холода на характеристики сварных, паяных, клеевых соединений..
2. Низкотемпературная теплоизоляция. Вакуумная изоляция. Газонаполненная и вакуумно-порошковая, экранно-вакуумная и многослойная теплоизоляция.
3. Методы ожижения газов и холодильные циклы. Дросселирование и эффект Джоуля-Томсона, инверсионные условия. Изоэнтропическое расширение с использованием детандеров. Цикл Линде и цикл Клода. Диаграммы состояния. Газовый холодильный цикл Стирлинга. Ожижение гелия.
4. Теплообменная аппаратура. Определение коэффициента теплоотдачи. Теплопроводность, конвективный теплообмен. Теплоотдача при кипении жидкости, пузырьковый и пленочный режимы. Особенности теплообмена в жидком гелии. Граничное сопротивление Капицы. Конструкции теплообменников
5. Хранение сжиженных газов. Сосуды Дьюара для азота и гелия. Основные принципы конструирования. Примеры конструкций современных гелиевых криостатов для исследовательских целей. Преимущества и недостатки конструкций, использующих вспомогательное азотное охлаждение. Безазотные гелиевые криостаты. Использование больших сверхпроводящих соленоидов
6. Методы получения температур в интервале 4,2 К - 0,3 К. Охлаждение путем откачки паров гелия-4 и гелия-3. Типичные конструкции приборов. Принципиальные схемы вакуумного оборудования. Методы получения температур выше 4,2 К.
7. Рефрижераторы растворения Диаграмма состояния растворов ^3He - ^4He . Осмотическое давление, Энтальпия ^3He и разбавленных растворов. Основные элементы конструкции и принцип работы рефрижератора. Однократный и непрерывный режим. Расчет непрерывных теплообменников. Использование энтальпийных диаграмм для анализа работы многоступенчатых теплообменников. Предельные параметры рефрижераторов растворения. Рефрижераторы с циркуляцией He . Рефрижераторы с криогенным циклом, использование адсорбционных и конденсационных насосов»
8. Метод адиабатической кристаллизации ^3He Эффект Померанчука. Фазовая и энтропийная диаграммы ^3He . Основные термодинамические соотношения. Холодопроизводительность метода и предельная температура. Конструкции кристаллизационных криостатов.
9. Метод адиабатического размагничивания Размагничивание парамагнитных солей. Энтропийная диаграмма и основные термодинамические соотношения. Свойства



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Программа дисциплины «Практическая криогеника» для направления 03.06.01 «Физика и астрономия» профиля
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 01.04.09 «Физика низких температур»

парамагнитных солей. Ядерное размагничивание. Термодинамика метода. Взаимодействие между ядерными спинами и электронами проводимости. Влияние внешнего теплопритока. Выбор рабочего вещества. Примеры криостатов для ядерного охлаждения.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для преподавания дисциплины требуется лекционная аудитория с проектором и экраном.