

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке
Кружаев В.В.
«__» _____ 2017 г.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ТЕРМОДИНАМИКА НЕОБРАТИМЫХ ПРОЦЕССОВ

Направление	Направленность (профиль) программы аспирантуры	Квалификация
Физика и астрономия	Теплофизика и теоретическая теплотехника	Исследователь, преподаватель-исследователь

СОГЛАСОВАНО
УПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ
КАДРОВ ВЫСШЕЙ
КВАЛИФИКАЦИИ

Екатеринбург 2017

Программа дисциплины составлена авторами:

№	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Кафедра	Подпись
1	В.Г. Черняк	д.ф.-м.н., профессор	Профессор	физики конденсированного состояния и наноразмерных систем	

**Рекомендовано учебно-методическим советом
Института естественных наук и математики**

Председатель учебно-методического совета
Протокол № 1 от 26.09.2017 г.

Е.С. Буянова

Согласовано:

Начальник ОПНПК

О.А. Неволина

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ

Программа дисциплины составлена в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования

Шифр направления	Название направления/направленности	Реквизиты приказа Министерства образования и науки Российской Федерации об утверждении и вводе в действие ФГОС ВО	
		Дата	Номер приказа
03.06.01	Физика и астрономия/теплофизика и теоретическая теплотехника	30.07.2014 (4.2015 № 464)	867

1.1. Цели дисциплины

Целью дисциплины «Термодинамика необратимых процессов» является приобретение универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций в ходе углубленного изучения проблем и вопросов, стоящих перед научными работниками в настоящее время в области теплофизики.

1.2. Место дисциплины в структуре учебной деятельности и основной образовательной программы

Дисциплина «Термодинамика необратимых процессов» относится к разделу Б.1 вариативной части ООП направления аспирантуры и направлена на подготовку к сдаче кандидатского минимума.

В результате освоения данной дисциплины студент должен овладеть следующими компетенциями:

универсальные компетенции:

- способностью 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);
- способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);

общепрофессиональные компетенции:

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);
- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-2);

- профессиональные компетенции:

научно-исследовательская деятельность:

- способностью осуществлять сбор, обработку, анализ и систематизацию информации по теме исследования, выбор методов и средств решения задач исследования (ПК-1);
- способностью использовать знания теоретических и экспериментальных методов научных исследований, принципов организации научно-исследовательской деятельности (ПК-2);
- готовностью использовать современные достижения науки и передовых технологий в научно-исследовательских работах в области теплофизики (ПК-3);

2. СТРУКТУРА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ

Наименования дисциплины	Семестр	Объем времени, отведенный на освоение дисциплины						
		Аудиторные занятия час.				Самост. работа час.	Аттестация по дисциплине (зачет, экзамен)	Всего час/з.е
		Всего	лекции	практические занятия	лабораторные работы			
Термодинамика необратимых процессов	5	4	4			104	Зачёт, 5 семестр	108/3
Всего на освоение		4	4			104		108/3

3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Объем и содержание дисциплины

№ п/п	Тема, раздел	Трудоемкость	
		Час.	Зач. ед.
1	Раздел 1. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов Термодинамическое описание равновесных и неравновесных систем. Принцип локального равновесия. Уравнение баланса энтропии. Феноменологические законы сохранения. Обобщенные потоки и обобщенные термодинамические силы. Принцип Кюри. Кинетические коэффициенты и соотношения симметрии Онзагера. Принцип минимального производства энтропии для слабо неравновесных стационарных состояний (Теорема Пригожина).	28	
2	Раздел 2. Примеры применения теории Онзагера в прикладных задачах Эффект Пельтье. Эффект Зеебека. Эффект Холла. Эффект Эттинггаузена.	10	
3	Раздел 3. Термодинамика необратимых процессов и кинетическая теория газов Кинетическая теория и принцип Онзагера. Уравнение баланса энтропии в первом приближении Чепмена -Энскога. Метод Чепмена – Энскога и	28	

	неравновесная термодинамика. Термодиффузия (эффект Соре) и эффект Дюфура.		
4	Раздел 4. Прерывные системы. Законы сохранения в открытых системах. Закон энтропии и баланс энтропии. Феноменологические уравнения и соотношения взаимности Онзагера. Термомолекулярное давление и механокалорический эффект. Доказательство симметрии кинетических коэффициентов при произвольных граничных условиях. Диффузионный бароэффект в бинарных газовых смесях. Бародиффузионное и термодиффузионное разделение газовых смесей в капиллярах.	42	
	ИТОГО	108	3

3.2. Распределение объема учебного времени дисциплины по темам и видам работ

№ п/п	Тема, раздел дисциплины	Объем учебного времени, отведенный на освоение дисциплины з/е/час					
		Аудиторные занятия				Самостоят. работа	Всего по разделам и темам
		всего	в т.ч. лекции	В т.ч. семинар/практич. занятия	В т.ч. лаб. раб		
1	Раздел 1. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов	2	2			26	28
2	Раздел 2. Примеры применения теории Онзагера в прикладных задачах					10	10
3	Раздел 3. Термодинамика необратимых процессов и кинетическая теория газов	2	2			26	28
4	Раздел 4. Прерывные системы					42	42
Итого по дисциплине		4	4			104	108

3.3. Самостоятельная работа аспирантов

Разделы и темы рабочей программы самостоятельного изучения	Перечень заданий для самостоятельной работы (рефераты, доклады, переводы, расчеты, планирование эксперимента и т.п.)	Трудоемкость	
		Час.	Зач. ед.
Раздел 1. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов	Работа с рекомендованной литературой, электронными источниками с учетом содержания раздела (написание конспекта).	26	
Раздел 2. Примеры применения теории Онзагера в прикладных задачах	Работа с рекомендованной литературой, электронными источниками с учетом содержания раздела (написание конспекта или подготовка доклада).	10	
Раздел 3. Термодинамика необратимых процессов и кинетическая теория газов	Работа с рекомендованной литературой, электронными источниками с учетом содержания раздела (написание конспектов или подготовка доклада).	26	
Раздел 4. Прерывные системы	Работа с рекомендованной литературой, электронными источниками с учетом содержания раздела. Доказательство симметрии кинетических коэффициентов в проблеме движения бинарной газовой смеси в капилляре (написание конспектов или подготовка доклада).	42	
ИТОГО		104	

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНИВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Объективная оценка уровня соответствия результатов обучения требованиям к освоению ОП обеспечивается системой разработанных критериев (показателей) оценки освоения знаний, сформированности умений и опыта выполнения профессиональных задач.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
Знания	Аспирант демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществ-	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систе-	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия реше-

	лять самостоятельно ре-продуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	матизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	ний в новых и нестандартных ситуациях.
Умения	Аспирант умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
Личностные качества	Аспирант имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Аспирант имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Аспирант имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

5. ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ

1. Изменение энтропии открытой термодинамической системы.
2. Уравнение баланса энтропии. Производство энтропии.
3. Уравнения неразрывности, движения и сохранения энергии.
4. Формула Гиббса. Принцип локального равновесия.
5. Явное выражение для производства энтропии.
6. Обобщенные потоки и обобщенные силы.
7. Линейная связь между потоками и силами. Прямые и перекрестные эффекты.
8. Условия, которым должны удовлетворять феноменологические коэффициенты.
9. Принцип Кюри.
10. Соотношения взаимности Онзагера.
11. Принцип минимального производства энтропии для слабо неравновесных стационарных состояний (Теорема Пригожина).
12. Эффект Пельтье.
13. Эффект Зеебека.
14. Эффект Холла.
15. Эффект Эттингаузена.
16. Вывод уравнения баланса энтропии из уравнения Больцмана.
17. Производство энтропии в разреженных газах в первом приближении Чепмена – Энскога.
18. Симметрия кинетических коэффициентов.
19. Термодиффузия (эффект Соре) и диффузионный теплоперенос (эффект Дюфура).

20. Баланс энтропии в прерывных системах.
21. Механизмы производства энтропии в прерывных системах.
22. Выражение кинетических коэффициентов через функцию распределения молекулярных скоростей.
23. Термомолекулярное давление и механокалорический эффект.
24. Симметрия кинетических коэффициентов при произвольных граничных условиях.
25. Бародиффузионное разделение газовых смесей и диффузионный бароэффект.
26. Соотношения взаимности Онзагера при изотермическом движении бинарной газовой смеси в капилляре.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1 Рекомендуемая литература

6.1.1 Основная литература

1. С. де-Гроот, П. Мазур. Неравновесная термодинамика. М.: Мир, 1964 – 456 с.
2. Черняк В.Г. Кинетика разреженного газа. СПб: Изд-во Лань, 2018 – 540 с.
3. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. М.: ИЛ, 1960 - 127 с.
4. Гроот С. Термодинамика необратимых процессов. М.: Гостехиздат.1956. –280 с

6.1.2 Дополнительная литература

1. Гуров. К. П. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов: физ. основы . - М. : Наука, 1978. - 128 с
2. Журавлев В.А. Термодинамика необратимых процессов в задачах и решениях. Ижевск: Удмурский университет, 1998. - 151 с.

6.2. Электронные образовательные ресурсы

Все аспиранты имеют полный доступ к перечисленным ресурсам, в т.ч. через авторизованный доступ из сети интернет:

1. Международный индекс научного цитирования Scopus компании Elsevier B.V.
2. Международный индекс научного цитирования Web of Science компании Clarivate Analytics
3. Журналы издательства Wiley
4. Электронная библиотека IEEEEXPLORE Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
5. Журналы American Physical Society (Американского физического общества)
6. Журналы Royal Society of Chemistry (Королевского химического общества)
7. MathSciNET - реферативная база данных American Mathematical Society (Американского математического общества)
8. Патентная база компании QUESTEL
9. Журнал Science Online
10. Журнал Nature
11. Журналы издательства Oxford University Press
12. Журналы издательства SAGE Publication
13. Журналы Американского института физики
14. Журналы Института физики (Великобритания)
15. Журналы Оптического общества Америки
16. Материалы международного общества оптики и фотоники (OSA)
17. Журналы издательства Cambridge University Press
18. Научные журналы по химии Thieme Chemistry Package компании Georg Thieme Verlag KG
19. База данных Annual Reviews Science Collection
20. База данных CASC- Коллекция компьютерных и прикладных наук компании

EBSCO Publishing

21. База данных INSPEC на платформе компании EBSCO Publishing
 22. База данных Association for Computing Machinery (ACM)
 23. База диссертаций ProQuest Dissertations & Theses Global Журнальные базы данных мировой научной информации Freedom Collection компании Elsevier
 24. Информационно-аналитическая система управления научными исследованиями Pure компании Elsevier B. V.
 25. Наукометрическая база данных Scival компании Elsevier B. V.
 26. Аналитическая и информационная база данных REAXYS компании Elsevier,
 27. Научные базы данных компании EBSCO Publishing: Business Source Complete и Academic Search Complete, Информационно-поисковая система EBSCO Discovery Service, IEEE All- Society Periodicals Package,
 28. Базы данных компании East View,
 29. Электронная библиотека диссертаций РГБ;
- Информационно-аналитическая система FIRA PRO компании ООО«Первое Независимое Рейтинговое

6.3. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Платформа Springer Link
2. Платформа Nature
3. База данных Springer Materials
4. База данных Springer Protocols
5. База данных zbMath
6. База данных Nano
7. База данных Кембриджского центра структурных данных CSD Enterprise