

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

Неравновесная термодинамика

по направлению подготовки

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная и прикладная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Магистр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
О.Н. Чайковская

Председатель УМК
О.М. Сюсина

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ПК-1 – Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.1. Знает основные стратегии исследований в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости;

ИПК-1.2. Умеет выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики, извлекать информацию из различных источников, включая периодическую печать и электронные коммуникации, представлять её в понятном виде и эффективно использовать.

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить фундаментальные представления неравновесной термодинамики.

– Научиться применять основные принципы неравновесной термодинамики при решении практических и теоретических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, входит в модуль по выбору "Физика конденсированного состояния вещества".

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Семестр 3, экзамен.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для изучения и понимания материала данной дисциплины обучающийся должен владеть основными представлениями: Классической термодинамики, Классической механики, Основ классической теории поля, Элементов тензорного исчисления, Дифференциальных уравнений, Термодинамики фазовых равновесий, Кинетики фазовых превращений.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

– лекции: 20 ч.;

– практические занятия: 12 ч.;

в том числе практическая подготовка: 12 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Основные понятия теории поля.

Деформация. Непрерывность. Движение. Материальное и пространственное описание. Уравнение непрерывности материи и массы. Материальная и пространственная форма уравнения непрерывности. Многокомпонентный континуум.

Тема 2. Уравнения баланса.

Общее уравнение баланса. Локальные уравнения баланса. Субстанциональные уравнения баланса. Уравнение баланса массы. Уравнение баланса заряда. Уравнение движения континуума. Уравнение баланса импульса. Механическое равновесие. Уравнение баланса момента количества движения. Уравнение баланса кинетической энергии. Уравнение баланса потенциальной энергии. Уравнение баланса механической энергии.

Тема 3. Термодинамика континуума.

Локальные формы первого и второго закона термодинамики. Условия локального равновесия. Обобщенное соотношение Гиббса. Сохранение энергии и уравнение баланса внутренней энергии. Уравнение баланса энтропии и производства энтропии. Линейные кинематические конститутивные уравнения. Принцип Кюри. Соотношение взаимности Онсагера-Казимира.

Тема 4. Вариационные принципы.

Принцип минимального рассеяния энергии. Неравновесные потенциальные функции. Локальные формы принципа. Представления через потоки. Представление через силы. Универсальная локальная форма принципа. Гауссова форма локального принципа. Применение локального принципа для проблем принуждения. Частные формы принципа. Принцип минимального производства энтропии. Стационарные состояния не непрерывных систем. Формулировка принципа для непрерывных систем. Связь между принципами Онсагера и Пригожина. Стационарные состояния термодиффузионных реагирующих систем. Интегральный принцип термодинамики. Вывод уравнения Фурье. Энергетическое представление. Энтропийное представление. Обобщенное «Г»-представление. Формулировка интегрального принципа. Вывод уравнения Фика для изотермической диффузии. Вывод общего уравнения движения гидродинамики. Вывод уравнений переноса в общем виде. Соотношение между интегральным принципом и принципом Гамильтона в механике. Термодинамика в каноническом виде.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится с применением балльно-рейтинговой системы, включающей контроль посещаемости, результаты выполнения заданий по материалам курса (выступление и работа на практических занятиях), и фиксируется в форме баллов (нарастающим итогом). Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в третьем семестре проводится в письменной форме по билетам. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

На промежуточную аттестацию планируется не более 50 баллов.

Итоговая оценка по дисциплине складывается из суммы баллов, полученных по итогам текущего контроля и промежуточной аттестации.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» – <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21934>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

1. Уравнение непрерывности материи и массы.

2. Многокомпонентный континуум.

3. Уравнения баланса.

4. Условия локального равновесия. Обобщенное соотношение Гиббса.

5. Уравнение баланса энтропии и производства энтропии.

6. Неравновесные потенциальные функции.

7. Интегральный принцип термодинамики.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студента включает:

– углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке к лекционным и практическим занятиям;

– подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;

– подготовку к экзамену.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Панин В.Е. Физическая мезомеханика материалов. – Томск: Издательский дом ТГУ, 2015. – Т 1. – 460 с.

2. Панин В.Е. Физическая мезомеханика материалов. – Томск: Издательский дом ТГУ, 2015. – Т2. – 462 с.

3. Бахарева И.Ф. Нелинейная неравновесная термодинамика. – М.: Книга по требованию, 2012.

4. Базаров И.П. Заблуждения и ошибки в термодинамике. – М.: Едиториал УРСС, 2015.

б) дополнительная литература:

1. Климонтович Ю.Л. Критерий относительной упорядоченности открытых систем. Успехи физических наук, 1996, том 166, N11, с.1145-1170. Дмитренко А.В., Попов В.Г. Введение в феноменологическую неравновесную термодинамику. – М.: МАТИ, 2007. – 180 с.

2. Егорушкин В.Е. Физика неравновесных явлений. – Томск: Изд-во НТЛ, 2010. – 208 с.

3. Дьярмати И. Неравновесная термодинамика Теория поля и вариационные принципы. – М.: Мир, 1974.334С.

4. Де Гроот С., Мазур П. Неравновесная термодинамика. -М.: Мир, 1964.

5. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры устойчивости и флуктуаций. - М.: Мир, 1973.

6. Хакен Г. Синергетика. - М.: Мир, 1980.

7. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. - М.: Мир, 1979.

8. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику. - М.: Наука, 1990.

9. Берже П., Помо И., Видаль. Порядок в хаосе. - М.: Мир, 1991.
10. Николис Дж. Динамика иерархических систем. - М.: Мир, 1989.
11. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса.- М.: Мир, 1986.
12. Кадомцев Б.Б. Динамика и информация. Успехи физических наук, 1994, том 164, № 5, с. 449-530.

в) ресурсы сети Интернет:

1. Издательство «Лань» [Электронный ресурс] : электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – СПб., 2010- . – URL: <http://e.lanbook.com/>
2. Издательство «Юрайт» [Электронный ресурс] : электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – М., 2013- . URL: <http://www.biblio-online.ru/>
3. Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс] / Научно-издательский центр Инфра-М. – Электрон. дан. – М., 2012- . URL: <http://znanium.com/>
4. Электронно-библиотечная система Консультант студента [Электронный ресурс] / ООО «Политехресурс». - М, 2012- . – URL: <http://www.studentlibrary.ru/>
5. Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс] . – Электрон. дан. – Томск, 2011-. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
6. Электронный каталог [Электронный ресурс] / НИ ТГУ, Научная библиотека ТГУ. – Электрон. дан. – Томск, 2008-2016. – URL: <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?theme=system>
7. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2000- . – URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp?>
8. КонсультантПлюс [Электронный ресурс]: справ. правовая система. – Электрон. дан. – М., 1992- . – Доступ из локальной сети Науч. б-ки Том. гос. ун-та.
9. Гарант [Электронный ресурс] : информ.-правовое обеспечение / НПП «Гарант-Сервис». – Электрон. дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети Науч. б-ки Том. гос. ун-та.
10. ScienceDirect [Electronic resource] / Elsevier B.V. – Electronic data. – Amsterdam, Netherlands, 2016. – URL: <http://www.sciencedirect.com/>
11. SpringerLink [Electronic resource] / Springer International Publishing AG, Part of Springer Science+Business Media. – Electronic data. – Cham, Switzerland, [s. n.]. – URL: <http://link.springer.com/>
12. ProQuest Ebook Central [Electronic resource] / ProQuest LLC. – Electronic data. – Ann Arbor, MI, USA, [s. n.]. – URL: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tomskuniv-ebooks/home.action>
13. https://www.youtube.com/playlist?list=PLgEpoT7yAl9VZFY1jhpv_64K15BxbrXkr – курс видеолекций ФИАН по курсу «Неравновесные системы»
14. http://www.vixri.com/d/Orlov%20V.A.%20%20_Ravnovesnaja%20i%20neravnovesnaja%20termodynamika.pdf – равновесная и неравновесная термодинамика (учебное пособие)
15. <https://www.youtube.com/watch?v=tfxVCJ5JTUQ> – видеолекция С.К. Годунова «Термодинамика и уравнения математической физики»
16. <https://www.youtube.com/watch?v=zcRxBmYeiRE> – видеолекция "Явления переноса в термодинамически неравновесных системах"
17. <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/779.html> - обзорная статья Соросовского образовательного журнала, часть 2 «Неравновесная термодинамика»
18. <http://www.imp.uran.ru/sites/default/files/mono/files/bikkinlyapilin.pdf> - неравновесная термодинамика и физическая кинетика (учебное пособие)
19. <http://www.myshared.ru/slide/729130/> - презентация «Доклассическая термодинамика, классическая термодинамика, современная термодинамика»
20. http://sharifulin.pstu.ru/27_yaf.pdf - лекция «Основы термодинамики неравновесных процессов»

21. https://fen.nsu.ru/posob/phys_ch/neravnoves.pdf - лекции по термодинамике неравновесных процессов для химиков (учебное пособие)

13. Перечень информационных технологий

- а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook); системы компьютерной вёрстки LaTeX; системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica, Waterloo Maple;
 - публично доступные облачные технологии (GoogleDocs, Яндекс диск и т.п.).

- б) информационные справочные системы:
- Электронный каталог [Электронный ресурс] / НИ ТГУ, Научная библиотека ТГУ. – Электрон. дан. – Томск, 2008-2016. – URL: <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?theme=system>
 - Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс] . – Электрон. дан. – Томск, 2011. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
 - ЭБС Издательство «Лань» [Электронный ресурс]:/ – Электрон. дан. – СПб., 2010. – URL: <http://e.lanbook.com/>
 - ЭБС Консультант студента [Электронный ресурс] / ООО «Политехресурс». – М, 2012. – URL: <http://www.studentlibrary.ru/>
 - Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
 - ЭБС Znanium.com [Электронный ресурс] / Научно-издательский центр Инфра-М. – Электрон. дан. – М., 2012. – URL: <http://znanium.com/>
 - ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешанном формате, оснащенные системой «Актру».

Все виды материально-информационной базы Научной библиотеки ТГУ.

Мультимедийное оборудование физического факультета ТГУ.

Программное обеспечение курсов, предшествующих изучению представленной дисциплины.

15. Информация о разработчиках

Кузнецов Владимир Михайлович, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра общей и экспериментальной физики физического факультета ТГУ.