



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
2.1.ДВ.1.2 Основы неравновесной термодинамики

Шифр и наименование группы научных специальностей

1.3. Физические науки

Шифр и наименование научной специальности

1.3.8. Физика конденсированного состояния

Форма обучения: очная

Институт: математики, естествознания и техники

Кафедра: физики, радиотехники и электроники

Трудоёмкость в ЗЕТ – 3

Трудоёмкость в часах – 108

Разработчик: к.ф.-м.н., доц. Сидоров А.В.

Общие положения

Рабочая программа дисциплины «Основы неравновесной термодинамики» разработана в соответствии с федеральными государственными требованиями, утвержденными приказом Министерства образования и науки высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины:

ознакомление аспирантов с основными представлениями, законами и методами неравновесной термодинамики, с особенностями применения понятий и законов равновесной термодинамики к открытым системам, находящимся в условиях далеких от термодинамического равновесия.

Задачи изучения дисциплины:

получение обучающимися в аспирантуре представления основных законов неравновесной термодинамики и их статистического обоснования, основных уравнений неравновесной термодинамики и неравновесной статфизики, неравновесного термодинамического подхода к решению фундаментальных и прикладных физических задач, ряда фундаментальных проблем, решение которых основано на методах неравновесной термодинамики и статистической физики.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина относится к образовательному компоненту программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

По окончании изучения дисциплины аспиранты должны:

знать:

- современные тенденции и проблематику научных исследований в области физики конденсированного состояния;
- методологические подходы к планированию и осуществлению научных исследований в области физики конденсированного состояния;
- основы оценки качества научных исследований в области физики конденсированного состояния.

уметь:

- планировать и осуществлять самостоятельную научно-исследовательскую деятельность в области физики конденсированного состояния;
- составлять и оформлять программу научного исследования, отчетную документацию по итогам проведения научно-исследовательской деятельности;

- осуществлять внедрение результатов собственной научно-исследовательской деятельности в практику в области физики конденсированного состояния.

владеть:

- навыками планирования и выполнения самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области физики конденсированного состояния;

- методикой планирования и проведения опытно-экспериментальной работы в области физики конденсированного состояния;

- навыками оформления научной работы, ее презентации и защиты в области физики конденсированного состояния.

4. СТРУКТУРА, ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Трудоёмкость в ЗЕТ – 3

Трудоёмкость в часах – 108

Лекций – 18 ч.

Практические занятия – 18 ч.

Самостоятельная работа – 72 ч.

4.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, академ. часы			
		аудиторные занятия			
		Всего часов	Лекции	практические (лабораторные)	
1	Раздел 1 Основные соотношения неравновесной термодинамики	40	10	10	20
2	Тема 1. Основные характеристики термодинамических систем. Эмпирическая температура (нулевой закон), работа, энергия и теплота (первый закон), энтальпия, парциальные молярные величины	8	2	2	4
3	Тема 2. Второй закон термодинамики, открытые системы, основное уравнение Гиббса. Теплота в открытых системах, энтропия и абсолютная температура (второй закон), химический потенциал и основное уравнение Гиббса, связь между энтропией и теплотой	8	2	2	4
4	Тема 3. Характеристические функции и фундаментальные	8	2	2	4

	уравнения Свободная энергия и свободная энтальпия, характеристические функции и фундаментальные уравнения, соотношение Гиббса — Дюгема				
5	Тема 4. Равновесие и стационарное состояние Общий критерий равновесия, равновесие в гомогенных системах, равновесие в гетерогенных (неоднородных) системах, равновесие в непрерывных системах	8	2	2	4
6	Тема 5. Неравновесные состояния, устойчивость и критические явления Термодинамические функции в неравновесных состояниях, поток энтропии и производство энтропии, феноменологические законы, соотношения взаимности Онзагера, преобразования обобщенных потоков и сил	8	2	2	4
7	Раздел 2. Применение основных положений термодинамики неравновесных процессов к различным системам	32	8	8	16
8	Тема 6. Процессы в гомогенных системах Баланс энтропии, скорости реакций и сродства, феноменологические законы и соотношения взаимности, связь двух реакций.	8	2	2	4
9	Тема 7. Процессы в гетерогенных системах Уравнения баланса массы, энергии и энтропии, диссипативные функции для состояния, близкого к равновесию Онзагера, электрокинетические эффекты, мембранные процессы в изотермических системах	8	2	2	4
10	Тема 8. Процессы в непрерывных системах Основные уравнения, выражающие законы сохранения в непрерывных системах	8	2	2	4
11	Тема 9. Характеристическая макроскопическая скорость и диффузионный поток, локальное производство энтропии, электропроводность и диффузионные явления в газах и растворах и расплавах электролитов.	8	2	2	4
12	<i>Форма отчетности зачет– 1 семестр</i>				
ИТОГО:		72	18	18	36

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1. Текущий контроль по дисциплине осуществляется в форме контрольной работы

Типовой вариант к/р

1. Запишите в дифференциальном виде для закрытой и открытой системы выражения для первого закона термодинамики и объединенное выражение для первого и второго законов в случае протекания равновесных и неравновесных процессов.
2. Выведите соотношение де Донде, связывающее функцию диссипации с потоками и силами.
3. Имеется неравновесный процесс, в котором действуют две термодинамические силы, вызывая два потока. Показать, что при

фиксированной первой силе в стационарном состоянии отсутствует второй поток.

4. Рассмотрите процесс теплообмена в прерывной системе и выведите выражение для обобщенной силы в этом процессе.

5. Получите формулу, описывающую распределение давления в газовой центрифуге.

6. В растворе на расстоянии 1 см относительный перепад концентраций некоторой субстанции равен 1. Численно оцените обобщенную диффузионную силу приложенную к 1 моль компонента раствора, приняв температуру равной 300 К.

7. Найдите возможные стационарные состояния при протекании обратимой автокаталитической реакции в закрытой системе и проанализируйте их устойчивость.

Перечень вопросов к зачету

1. Эмпирическая температура (нулевой закон)
2. Работа, энергия и теплота в открытых системах.
3. Первое начало термодинамики применительно к открытым системам.
4. Энтальпия, энтальпия в открытых системах.
5. Парциальные молярные величины и их расчет.
6. Второй закон термодинамики в открытых системах.
7. Основное уравнение Гиббса
8. Энтропия и абсолютная температура.
9. Химический потенциал и основное уравнение Гиббса.
10. Характеристические функции и фундаментальные уравнения.
11. Соотношение Гиббса — Дюгема.
12. Общий критерий равновесия, равновесие в гомогенных системах.
13. Общий критерий равновесия, равновесие в гетерогенных (неоднородных) системах.
14. Общий критерий равновесия, равновесие в непрерывных системах.
15. Неравновесные состояния, устойчивость и критические явления.
16. Термодинамические функции в неравновесных состояниях.
17. Поток энтропии и производство энтропии.
18. Феноменологические законы неравновесной термодинамики.
19. Соотношения взаимности Онзагера.
20. Преобразования обобщенных потоков и сил.
21. Баланс энтропии в гомогенных системах.
22. Скорости реакций и сродства.
23. Феноменологические законы и соотношения взаимности в гомогенных системах.
24. Связь двух реакций.
25. Уравнения баланса массы, энергии и энтропии в гетерогенных системах.
26. Диссипативные функции для состояния, близкого к равновесию Онзагера.

27. Электрокинетические эффекты.
28. Мембранные процессы в изотермических системах.
29. Основные уравнения, выражающие законы сохранения в непрерывных системах.
30. Характеристическая макроскопическая скорость и диффузионный поток.
31. Локальное производство энтропии.
32. Электропроводность растворов электролитов.
33. Диффузионные явления в газах и растворах неэлектролитов.
34. Диффузионные явления в растворах и расплавах электролитов, диффузионный потенциал.

Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

Критерии оценивания для зачета

Оценка «зачтено». Систематическое посещение занятий в течение учебного года - аспирант посетил более 75% аудиторных занятий. В процессе обучения показал заинтересованность в предмете.

Оценка «не зачтено». Пропущено значительное количество занятий без уважительной причины - аспирант посетил менее 75% аудиторных занятий. В процессе обучения не проявил интереса к предмету.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Основная литература

1. Агеев, Е.П. Неравновесная термодинамика в вопросах и ответах: в вопросах и ответах: учебное пособие / Е.П. Агеев. - Изд. 2-е, исправ. и доп. - Москва: МЦНМО, 2005. - 160 с. - ISBN 5-94057-191-3; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=63243> (Дата обращения 01.09.2022.)
2. Сивухин, Д.В. Общий курс физики: учебное пособие: в 5-х т. / Д.В. Сивухин. - 5-е изд., испр. - Москва: Физматлит, 2006. - Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика. - 544 с. - ISBN 5-9221-0601-5; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=82995> (Дата обращения 01.09.2020.).

6.2. Дополнительная литература

3. Гленсдорф, П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций / П. Гленсдорф, И. Пригожин, Б. Гинзбург; пер. с англ. под ред. Ю.А. Чизмадзе; пер. с англ. Н.В. Вдовиченко, В.А. Онищук. - Москва: Мир, 1973. - 279 с.; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=495515> (Дата обращения 01.09.2022.)

.

6.3. Электронные образовательные ресурсы

1.	www.biblioclub.ru	Электронно-библиотечная система (ЭБС) Университетская библиотека онлайн	Регистрация через любой университетский компьютер. В дальнейшем предоставляется неограниченный индивидуальный доступ из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет
2.	www.elibrary.ru	Российский информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования	Свободный доступ

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы.