



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.01.02 ОСНОВЫ НЕРАВНОВЕСНОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ**

**Направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия**

**Направленность (профиль): Физика конденсированного состояния**

**Квалификация (степень): исследователь, преподаватель-исследователь**

**Форма обучения: очная**

**Институт:** математики, естествознания и техники

**Кафедра:** физики, радиотехники и электроники

	<b>очная форма</b>	<b>заочная форма</b>
<b>Курс</b>	<b>2</b>	
<b>Семестр</b>	<b>4</b>	

<b>Лекции</b>	<b>18</b>	
<b>Лабораторные занятия</b>		
<b>Практические (семинарские) занятия</b>		
<b>Контроль</b>		
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>18</b>	

**Всего часов: 36**

**Трудоемкость: 1 зачетная единица.**

Разработчик рабочей программы:

кандидат физико-математических наук, доцент

А.В. Сидоров

подпись

## I. ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

**Цель изучения 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

**Место дисциплины в структуре ОПОП:** реализуется в рамках вариативной части блока Б1 «Дисциплины (модули)».

### **Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с индикаторами достижения компетенций:**

Код компетенции	Индикаторы достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1	<b>знать:</b> - 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.	<b>знает:</b> - современные тенденции и проблематику научных исследований в области физики конденсированного состояния в рамках неравновесной термодинамики; - методологические подходы к планированию и осуществлению научных исследований в области физики конденсированного состояния с учетом положений неравновесной термодинамики;
	<b>уметь:</b> - 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	<b>умеет:</b> - планировать и осуществлять самостоятельную научно-исследовательскую деятельность в области физики конденсированного состояния с учетом неравновесной термодинамики; - составлять и оформлять программу научного исследования, отчетную документацию по итогам проведения научно-исследовательской

	собственной научно-исследовательской деятельности в практику в области физики конденсированного состояния.	деятельности;
	<b>владеть:</b> - 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.	<b>владеет:</b> - навыками планирования и выполнения самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области физики конденсированного состояния в рамках неравновесной термодинамики; - методикой планирования и проведения опытно-экспериментальной работы в области физики конденсированного состояния и неравновесной термодинамики;

## II. СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу

### Очная форма обучения

№ п/п	Наименование разделов и тем	Всего	Аудиторные занятия			Сам. раб.
			ЛК	ПЗ	ЛБ	
1.	<b>Раздел 1 Основные соотношения неравновесной термодинамики</b>	<b>20</b>	<b>10</b>			<b>10</b>
2.	Тема 1. Основные характеристики термодинамических систем. Эмпирическая температура (нулевой закон), работа, энергия и теплота (первый закон), энтальпия, парциальные молярные величины	4	2			2
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	4	2			2

	энтропией и теплотой					
4.	Тема 3. Характеристические функции и фундаментальные уравнения Свободная энергия и свободная энтальпия, характеристические функции и фундаментальные уравнения, соотношение Гиббса — Дюгема	4	2			2
5.	Тема 4. Равновесие и стационарное состояние Общий критерий равновесия, равновесие в гомогенных системах, равновесие в гетерогенных (неоднородных) системах, равновесие в непрерывных системах	4	2			2
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	4	2			2
7.	<b>Раздел 2. Применение основных положений термодинамики неравновесных процессов к различным системам</b>	12	6			6
8.	Тема 6. Процессы в гомогенных системах Баланс энтропии, скорости реакций и сродства, феноменологические законы и соотношения	4	2			2

	взаимности, связь двух реакций.					
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	4	2			2
10.	Тема 8. Процессы в непрерывных системах Основные уравнения, выражающие законы сохранения в непрерывных системах,	4	2			2
11.	Тема 9. Характеристическая макроскопическая скорость и диффузионный поток, локальное производство энтропии, электропроводность и диффузионные явления в газах и растворах и расплавах электролитов.	4	2			2
12.	<i>Форма отчетности</i>	<i>зачет – 4 семестр</i>				
13.	<i>Итого за 4 семестр</i>	<b>36</b>	<b>18</b>			<b>18</b>
14.	<b>ИТОГО:</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>54</b>		<b>18</b>

**Заочная форма обучения**  
*не реализуется.*

### **III. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Текущая аттестация проводится в форме контрольной работы.

#### **Типовой вариант контрольной работы**

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

### **Вопросы к зачету ( 4 семестр, очная форма обучения)**

1. Эмпирическая температура (нулевой закон)
2. Работа, энергия и теплота в открытых системах.
3. Первое начало термодинамики применительно к открытым системам.
4. Энтальпия, энэнтальпия 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.

#### IV. ПЕРЕЧЕНЬ ОБЯЗАТЕЛЬНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

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 01.09.2020.)
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.)
3. Гленсдорф, П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций / П. Гленсдорф, И. Пригожин, Б. Гинзбург ; пер. с англ. под ред. Ю.А. Чизмаджева ; 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 01.09.2020.)

#### V. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№ пп	Ссылка на информационный ресурс	Наименование разработки в электронной форме	Доступность
1.	<a href="http://edu.ru/">http://edu.ru/</a>	Российское образование: Федеральный портал. Включает ссылки на порталы и сайты образовательных учреждений; государственные образовательные стандарты; нормативные документы; каталог экскурсий и обучающих	Свободный доступ

		программ.	
2.	<a href="http://www.profile-edu.ru">http://www.profile-edu.ru</a>	официальный сайт Министерства образования и науки; нормативно-правовое и научно-методическое сопровождение профильного обучения	Свободный доступ

## **VI. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПРАВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ**

1.	<a href="http://www.biblioclub.ru">http://www.biblioclub.ru</a>	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.	<a href="http://www.elibrary.ru">www.elibrary.ru</a>	Российский информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования	Свободный доступ

## **VII. ЛИЦЕНЗИОННОЕ И СВОБОДНО РАСПРОСТРАНЯЕМОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

При реализации учебной дисциплины применяется следующее лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Windows;
- Microsoft Office;
- LibreOffice и др.

## **VIII. ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБУЧЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Учебные занятия проводятся в аудиториях, укомплектованных специализированной мебелью, в том числе стационарными или переносными техническими средствами обучения (проектор, экран, компьютер/ноутбук).

Самостоятельная работа проводится в кабинетах, оснащенных компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.