

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Минзарипов Р.Г.

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**

Причинная термодинамика и статистика М2.ДВ.3

Направление подготовки: 011200.68 - Физика

Профиль подготовки: Теоретическая и математическая физика

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Балакин А.Б.

**Рецензент(ы):**

Игнатъев Ю.Г.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Сушков С. В.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No

Казань  
2013

## **Содержание**

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Балакин А.Б. Кафедра теории относительности и гравитации Отделение физики, Alexander.Balakin@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины "Причинная термодинамика и статистика" является изучение дополнительных глав теории неравновесных процессов в релятивистских многочастичных системах, основанной на релятивистском обобщении теории Максвелла - Кельвина ? Фойгта, выполненном Каттанео ? Израэлем - Стьюартом .

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " М2.ДВ.3 Профессиональный" основной образовательной программы 011200.68 Физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 2 курсе, 3 семестр.

Дисциплина (М.2.ДВ.3) входит в вариативную часть профессионального цикла (М.2) как дисциплина по выбору. Для освоения дисциплины необходимы знания дисциплин: риманова геометрия и теория дифференцируемых многообразий, специальная теория относительности, статистическая физика. Освоение дисциплины необходимо для изучения дисциплин, связанных с физикой фундаментальных взаимодействий (в частности, с электродинамикой сплошных сред, космологией, астрофизикой и теорией плазмы), и для успешной профессиональной деятельности.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-1 (общекультурные компетенции)	способностью демонстрировать углубленные знания в области математики и естественных наук
ОК-10 (общекультурные компетенции)	способностью использовать базовые знания и навыки управления информацией для решения исследовательских профессиональных задач, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью свободно владеть фундаментальными разделами физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач (в соответствии со своей магистерской программой)
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью использовать знания современных проблем физики, новейших достижений физики в своей научно-исследовательской деятельности
ПК-7 (профессиональные компетенции)	способностью свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-8 (профессиональные компетенции)	способностью проводить свою профессиональную деятельности с учетом социальных, этических и природоохранных аспектов

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

основные понятия из теории неравновесных процессов и необратимых явлений в релятивистских многочастичных системах.

2. должен уметь:

вычислять производство энтропии, ассоциированное со столкновительными процессами, внешними силовыми воздействиями и пограничными явлениями.

3. должен владеть:

критериями локального и глобального равновесия, хаотизации, организации и относительной упорядоченности.

к анализу обобщенных уравнений эволюции и оценки степени равновесности сложных кинетических систем

#### **4. Структура и содержание дисциплины/ модуля**

Общая трудоемкость дисциплины составляет зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 3 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### **4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю**

##### **Тематический план дисциплины/модуля**

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	<p>Тема 1. Производство энтропии в многочастичных системах. Релятивистское кинетическое уравнение. Моменты функции распределения, уравнения баланса и законы сохранения. Локальное и глобальное производство энтропии. Критерии равновесия, хаотизации, организации, необратимости и относительной упорядоченности в открытых системах. Столкновительное производство энтропии. Производство энтропии под действием внешних силовых полей. Производство энтропии, связанное с пограничными явлениями. Неэкстенсивная термодинамика и статистика. Ланжевеновские стохастические источники и кинетическая теория на расширенном фазовом пространстве.</p>	3	1-3	4	4	0	домашнее задание

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов в релятивистских многочастичных системах. Уравнения баланса числа частиц, энергии-импульса и энтропии. Релятивистские формулировки первого и второго законов термодинамики. Уравнения состояния и скорость распространения звука. Релятивистские модели вязкости и теплопроводности и проблема необратимости. Ударные волны в релятивистской гидродинамике. Релятивистская магнитогидродинамика.	3	4-6	4	4	0	домашнее задание

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
3.	Тема 3. Причинная термодинамика. Законы Фурье и Катанео. Тепловой поток и распространение тепла в контексте причинной термодинамики. Деформации и напряжения. Законы Гука и Ньютона. Электродинамика деформируемых сред. Волны в анизотропных средах. Наследственная теория вязко-упругости Максвелла ? Фойгта. Проблема нелокальности взаимодействий. Среды с памятью. Нелинейное релятивистское обобщение термина вектор потока энтропии. Причинная термодинамика Израэля ? Стьюарта. Вязкие течения и теплопроводность в контексте причинной термодинамики	3	7-9	5	5	0	контрольная работа
	Итого			13	13	0	

#### 4.2 Содержание дисциплины

**Тема 1. Производство энтропии в многочастичных системах. Релятивистское кинетическое уравнение. Моменты функции распределения, уравнения баланса и законы сохранения. Локальное и глобальное производство энтропии. Критерии равновесия, хаотизации, организации, необратимости и относительной упорядоченности в открытых системах. Столкновительное производство энтропии. Производство энтропии под действием внешних силовых полей. Производство энтропии, связанное с пограничными явлениями. Неэкстенсивная термодинамика и статистика. Ланжевеновские стохастические источники и кинетическая теория на расширенном фазовом пространстве.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

1

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

1

**Тема 2. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов в релятивистских многочастичных системах. Уравнения баланса числа частиц, энергии-импульса и энтропии. Релятивистские формулировки первого и второго законов термодинамики. Уравнения состояния и скорость распространения звука. Релятивистские модели вязкости и теплопроводности и проблема необратимости. Ударные волны в релятивистской гидродинамике. Релятивистская магнитогидродинамика.**

*лекционное занятие (4 часа(ов)):*

1

*практическое занятие (4 часа(ов)):*

1

**Тема 3. Причинная термодинамика. Законы Фурье и Катанео. Тепловой поток и распространение тепла в контексте причинной термодинамики. Деформации и напряжения. Законы Гука и Ньютона. Электродинамика деформируемых сред. Волны в анизотропных средах. Наследственная теория вязко-упругости Максвелла ? Фойгта. Проблема нелокальности взаимодействий. Среда с памятью. Нелинейное релятивистское обобщение термина вектор потока энтропии. Причинная термодинамика Израэля ? Стьюарта. Вязкие течения и теплопроводность в контексте причинной термодинамики**

*лекционное занятие (5 часа(ов)):*

1

*практическое занятие (5 часа(ов)):*

1

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**



N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	<p>Тема 1. Производство энтропии в многочастичных системах. Релятивистское кинетическое уравнение. Моменты функции распределения, уравнения баланса и законы сохранения. Локальное и глобальное производство энтропии. Критерии равновесия, хаотизации, организации, необратимости и относительной упорядоченности в открытых системах. Столкновительное производство энтропии. Производство энтропии под действием внешних силовых полей. Производство энтропии, связанное с пограничными явлениями. Неэкстенсивная термодинамика и статистика. Ланжевеновские стохастические источники и кинетическая теория на расширенном фазовом пространстве.</p>	3	1-3	подготовка домашнего задания	9	домашнее задание

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
2.	Тема 2. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов в релятивистских многочастичных системах. Уравнения баланса числа частиц, энергии-импульса и энтропии. Релятивистские формулировки первого и второго законов термодинамики. Уравнения состояния и скорость распространения звука. Релятивистские модели вязкости и теплопроводности и проблема необратимости. Ударные волны в релятивистской гидродинамике. Релятивистская магнитогидродинамика.	3	4-6	подготовка домашнего задания	9	домашнее задание

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
3.	Тема 3. Причинная термодинамика. Законы Фурье и Катанео. Тепловой поток и распространение тепла в контексте причинной термодинамики. Деформации и напряжения. Законы Гука и Ньютона. Электродинамика деформируемых сред. Волны в анизотропных средах. Наследственная теория вязко-упругости Максвелла ? Фойгта. Проблема нелокальности взаимодействий. Среда с памятью. Нелинейное релятивистское обобщение термина вектор потока энтропии. Причинная термодинамика Израэля ? Стьюарта. Вязкие течения и теплопроводность в контексте причинной термодинамики	3	7-9	подготовка к контрольной работе	10	контрольная работа
	Итого				28	

### 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Использование мультимедийных средств и Интернета.

### 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

**Тема 1. Производство энтропии в многочастичных системах. Релятивистское кинетическое уравнение. Моменты функции распределения, уравнения баланса и законы сохранения. Локальное и глобальное производство энтропии. Критерии равновесия, хаотизации, организации, необратимости и относительной упорядоченности в открытых системах. Столкновительное производство энтропии. Производство энтропии под действием внешних силовых полей. Производство энтропии, связанное с пограничными явлениями. Неэкстенсивная термодинамика и статистика. Ланжевеновские стохастические источники и кинетическая теория на расширенном фазовом пространстве.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Локальное и глобальное производство энтропии. Критерии равновесия, хаотизации, организации, необратимости и относительной упорядоченности в открытых системах.

**Тема 2. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов в релятивистских многочастичных системах. Уравнения баланса числа частиц, энергии-импульса и энтропии. Релятивистские формулировки первого и второго законов термодинамики. Уравнения состояния и скорость распространения звука. Релятивистские модели вязкости и теплопроводности и проблема необратимости. Ударные волны в релятивистской гидродинамике. Релятивистская магнитогидродинамика.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Уравнения состояния и скорость распространения звука.

**Тема 3. Причинная термодинамика. Законы Фурье и Катанео. Тепловой поток и распространение тепла в контексте причинной термодинамики. Деформации и напряжения. Законы Гука и Ньютона. Электродинамика деформируемых сред. Волны в анизотропных средах. Наследственная теория вязко-упругости Максвелла ? Фойгта. Проблема нелокальности взаимодействий. Среда с памятью. Нелинейное релятивистское обобщение термина вектор потока энтропии. Причинная термодинамика Израэля ? Стьюарта. Вязкие течения и теплопроводность в контексте причинной термодинамики**

контрольная работа , примерные вопросы:

Волны в анизотропных средах.

Примерные вопросы к экзамену:

**БИЛЕТЫ К ЭКЗАМЕНАМ**

Билет 1.

1. Локальное и глобальное производство энтропии. Критерии равновесия, хаотизации, организации, необратимости и относительной упорядоченности в открытых системах.
2. Релятивистские формулировки первого и второго законов термодинамики.

Билет 2.

1. Релятивистское кинетическое уравнение. Моменты функции распределения, уравнения баланса и законы сохранения.
2. Релятивистские модели вязкости и теплопроводности и проблема необратимости..

Билет 3.

1. Неэкстенсивная термодинамика и статистика.
2. Ударные волны в релятивистской гидродинамике.

Билет 4.

1. Ланжевеновские стохастические источники и кинетическая теория на расширенном фазовом пространстве.
2. Уравнения баланса числа частиц, энергии-импульса и энтропии.

Билет 5.

1. Деформации и напряжения. Законы Гука и Ньютона.
2. Столкновительное производство энтропии.

Билет 6.

1. Уравнения состояния и скорость распространения звука.
2. Производство энтропии под действием внешних силовых полей.

Билет 7.

1. Релятивистская магнитогидродинамика..
2. Производство энтропии, связанное с пограничными явлениями.

Билет 8.

1. Законы Фурье и Катанео. Тепловой поток и распространение тепла в контексте причинной термодинамики.
2. Электродинамика деформируемых сред. Волны в анизотропных средах.

Билет 9.

1. Нелинейное релятивистское обобщение термина вектор потока энтропии. Причинная термодинамика Израэля - Стьюарта.
2. Проблема нелокальности взаимодействий. Среды с памятью.

Билет 10.

1. Наследственная теория вязко-упругости Максвелла - Фойгта.
2. Вязкие течения и теплопроводность в контексте причинной термодинамики.

### 7.1. Основная литература:

1. Можен Ж.А. Механика электромагнитных сплошных сред. М.: Мир , 1991. - 560 с.
2. Де Гроот С., ван Леувен В., ван Верт Х. Релятивистская кинетическая теория. М.: Мир, 1983. - 422 с.
3. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. - 512 с.
4. Трусделл К. Первоначальный курс рациональной механики сплошных сред. М.: Мир, 1975. - 592 с.
5. Стратонович Р.Л. Нелинейная неравновесная термодинамика. М.: Наука, 1985. - 479с.
6. Климонтович Ю.Л. Турбулентное движение и структура хаоса. М.: Наука, 1990.-318с.
7. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985.-419с.

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Maartens R. Causal thermodynamics in relativity. ArXiv:astro-ph/9609119.
2. Jou D., Casas-Vazquez J., Lebon G. Extended irreversible thermodynamics. Springer. 1996.- 388 p.
3. Israel W., Stewart J. // Ann. Phys., V. 118, p341.

### 7.3. Интернет-ресурсы:

- А. Б. Балакин Введение в релятивистскую электродинамику сплошных сред - [http://www.ksu.ru/f6/bin\\_files/balakinress%2136.pdf](http://www.ksu.ru/f6/bin_files/balakinress%2136.pdf)
- А. Б. Балакин Классические ортогональные полиномы - <http://toig-kazan.narod.ru/education/V/minipoly.pdf>
- А. Б. Балакин Классические тесты теории гравитации - [http://www.ksu.ru/f6/bin\\_files/balakineooto%2135.pdf](http://www.ksu.ru/f6/bin_files/balakineooto%2135.pdf)
- А. Б. Балакин Релятивистская теория многочастичных систем. Часть II. Релятивистская гидродинамика (Конспект лекций) - [http://www.ksu.ru/f6/k6/bin\\_files/1minihydro%213.pdf](http://www.ksu.ru/f6/k6/bin_files/1minihydro%213.pdf)
- А. Б. Балакин Три лекции по теории функций Бесселя - [http://www.ksu.ru/f6/bin\\_files/balakinbessel%2134.pdf](http://www.ksu.ru/f6/bin_files/balakinbessel%2134.pdf)

Архив электронных публикаций по физике - [www.arxiv.org](http://www.arxiv.org)

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану**

Освоение дисциплины "Причинная термодинамика и статистика" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "КнигаФонд", доступ к которой предоставлен студентам. Электронно-библиотечная система "КнигаФонд" реализует легальное хранение, распространение и защиту цифрового контента учебно-методической литературы для вузов с условием обязательного соблюдения авторских и смежных прав. КнигаФонд обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям новых ФГОС ВПО.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011200.68 "Физика" и магистерской программе Теоретическая и математическая физика .

Автор(ы):

Балакин А.Б. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Игнатьев Ю.Г. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Лист согласования

<b>N</b>	<b>ФИО</b>	<b>Согласование</b>
1	Сушков С. В.	
2	Прошин Ю. Н.	
3	Таюрский Д. А.	
4	Чижанова Е. А.	
5	Соколова Е. А.	
6	Тимофеева О. А.	