

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра физики неравновесных процессов**



Рабочая программа дисциплины

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА В ТУРБУЛЕНТНЫХ
ТЕЧЕНИЯХ**

направление подготовки: **03.04.02 Физика**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	108	22	14		50	18	2			2
Всего 108 часов /3 зачётные единицы, из них: - контактная работа 40 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	5
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	8
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	9

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Моделирование процессов переноса в турбулентных течениях» имеет своей целью обучение студентов магистратуры основам теории турбулентности с точки зрения статистических и динамических подходов.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> <p>ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Знать методы и способы постановки и решения задач физики турбулентных течений, принципы действия, функциональные и метрологические возможности современной аппаратуры для физических исследований, возможности, методы и системы компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований; базовые разделы физики турбулентных течений: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы физики турбулентных течений и способы их использования при решении научно-инновационных задач.</p> <p>Уметь самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области физики турбулентных течений с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий; уметь решать типовые учебные задачи по основным разделам физики турбулентных течений; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий; применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения специальных разделов физики турбулентных течений, необходимых в профессиональной деятельности; определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		<p>разделов физики турбулентных течений для решения научно-инновационных задач; применять знания физики турбулентных течений для анализа и обработки результатов физических экспериментов; проводить анализ научной и технической информации в области физики турбулентных течений и смежных дисциплин.</p> <p>Владеть навыками постановки и решения задач научных исследований в области физики турбулентных течений с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований; навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам физики турбулентных течений; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов физики турбулентных течений; навыками решения базовых задач по физике турбулентных течений; основными методами научных исследований; навыками использования теоретических основ базовых разделов физики турбулентных течений при решении научно-инновационных задач; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в области турбулентных течений и смежных дисциплин.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина реализуется в осеннем семестре 2-го курса для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики неравновесных процессов. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким физическим дисциплинам как электродинамика, а также по математике (основы математического анализа, дифференциальное и интегральное исчисления). Он должен предшествовать выполнению квалификационной работы студента по данной специализации, так как дает ему необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения научных исследований в рамках подготовки его квалификационной работы

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	108	22	14		50	18	2			2
Всего 108 часов /3 зачётные единицы, из них: - контактная работа 40 часов										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: опрос по материалам лекций;
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 22 часа;
 - практические занятия – 14 часов;
 - самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 50 часов;
 - промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа.
- Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 40 часов.

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Дисциплина представляет собой полугодовой курс, читаемый на 1-м курсе магистратуры физического факультета НГУ в 1-м семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы, 108 академических часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Всего	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Промежуточная аттестация (в часах)
				Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Ламинарный и турбулентный режимы течения жидкости. Характер-	1–3	12	6		6	

	ные особенности турбулентного движения. Детерминистический и статистический методы описания структуры турбулентных течений						
2	Уравнения Навье-Стокса. Диссипация энергии в вязкой жидкости. Качественная схема развития турбулентности	4–8	18	8	2	8	
3	Масштабная инвариантность. Оценка масштабов турбулентности. Спектр турбулентных пульсаций. Спектральные функции. Гипотезы Колмогорова об автомодельности. Гипотезы о спектральном переносе энергии	9	9	1	2	6	
4	Уравнение для завихренности. Механизм растяжения вихревых трубок. Вейвлет-представление. Каскад энергии турбулентности по вейвлетам	10	9	1	2	6	
5	Прямое численное моделирование (DNS-метод)	11	9	1	2	6	
6	LES-метод. Операция фильтрации. Модели подсеточного моделирования	12–14	11	3	2	6	
7	Метод статистических моментов. Функция распределения турбулентных пульсаций. Статистические моменты и кумулянты. Понятие об эргодичности. Статистическая формулировка основной задачи теории турбулентности	15	9	1	2	6	
8	Моделирование турбулентного переноса тепла и вещества. Уравнения переноса тепла и вещества. Численная реализация моделей турбулентности. Основные методы и подходы. Пакеты прикладных программ для описания структуры турбулентных течений	16	9	1	2	6	
9	Групповая консультация		2				2
10	Самостоятельная подготовка обучающегося к экзамену		18				18
11	Экзамен		2				2
	Всего		108	22	14	50	22

Программа и основное содержание лекций (22 часа)

Данный курс знакомит с современными методами моделирования процессов переноса в турбулентных течениях, что позволяет привести качество подготовки научных работников и инженеров-конструкторов к мировым стандартам. Полученные в рамках курса знания и навыки могут применяться в научных исследованиях и инженерно-инновационной деятельности.

Содержание тем курса:

1. Введение. Ламинарный и турбулентный режимы течения жидкости. Характерные особенности турбулентного движения. Детерминистический и статистический методы описания структуры турбулентных течений (6 час)
2. Уравнения Навье-Стокса. Диссипация энергии в вязкой жидкости. Качественная схема развития турбулентности (8 час)
3. Масштабная инвариантность. Оценка масштабов турбулентности. Спектр турбулентных пульсаций. Спектральные функции. Гипотезы Колмогорова об автомодельности. Гипотезы о спектральном переносе энергии (1 час)
4. Уравнение для завихренности. Механизм растяжения вихревых трубок. Вейвлет-представление. Каскад энергии турбулентности по вейвлетам (1 час)
5. Прямое численное моделирование (DNS-метод) (1 час)
6. LES-метод. Операция фильтрации. Модели подсеточного моделирования (3 час)
7. Метод статистических моментов. Функция распределения турбулентных пульсаций. Статистические моменты и кумулянты. Понятие об эргодичности. Статистическая формулировка основной задачи теории турбулентности (1 час)
 - a) Уравнения Рейнольдса. Проблема замыкания.
 - b) Условия реализуемости.
 - c) Стратегия замыкания высших моментов.
 - d) Параметризации двухточечных корреляций, модель Ротта. Учет "эффекта стенки".
 - e) Уравнения для линейного масштаба турбулентности, временного масштаба и скорости диссипации энергии турбулентности.
 - f) Иерархия моделей статистических моментов.
8. Моделирование турбулентного переноса тепла и вещества. Уравнения переноса тепла и вещества. Численная реализация моделей турбулентности. Основные методы и подходы. Пакеты прикладных программ для описания структуры турбулентных течений (1 час)

Программа практических занятий (14 часов)

1. Уравнения Навье-Стокса. Диссипация энергии в вязкой жидкости. Качественная схема развития турбулентности. (2 часа)
2. Механизм растяжения вихревых трубок. Вейвлет-представление. Каскад энергии турбулентности по вейвлетам. (4 часа)
3. LES-метод. Операция фильтрации. Модели подсеточного моделирования (4 часа)
4. Масштабная инвариантность. Спектральные функции. Гипотезы Колмогорова об автомодельности. (4 часа)

Самостоятельная работа студентов (68 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение материала лекций, подготовка к практическим занятиям	36
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	14
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Б.Б.Илюшин, «Моделирование процессов переноса в турбулентных течениях», Новосибирск, НГУ, 2006., 77 с. : ил. ; 20 см. ISBN 5-94356-447-0 (7 экз.)

2. А.С. Монин, А.М. Яглом "Статистическая гидромеханика" (часть 1,2), М: Наука 1967 (1ч-4 экз, 2ч-27 экз)
3. А.Ф. Курбацкий "Физико-математическое моделирование турбулентности", Новосибирск: НГУ, 1987 (2 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:
Б.Б.Илюшин, «Моделирование процессов переноса в турбулентных течениях», Новосибирск, НГУ, 2006.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется

согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем опроса в начале каждой лекции и практического занятия по пройденным материалам.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области кристаллографии и рентгеноструктурного анализа в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации. Критерии и шкалы оценивания индикаторов достижения результатов обучения отражены в Таблице 10.2.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать методы и способы постановки и решения задач физики турбулентных течений, принципы действия, функциональные и метрологические возможности современной аппаратуры для физических исследований, возможности, методы и системы компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований; базовые разделы физики турбулентных течений: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы физики турбулентных течений и способы их использования при решении научно-инновационных задач.	Опрос в начале каждой лекции, экзамен.

<p>ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Уметь самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области физики турбулентных течений с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий; уметь решать типовые учебные задачи по основным разделам физики турбулентных течений; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий; применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения специальных разделов физики турбулентных течений, необходимых в профессиональной деятельности; определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов физики турбулентных течений для решения научно-инновационных задач; применять знания физики турбулентных течений для анализа и обработки результатов физических экспериментов; проводить анализ научной и технической информации в области физики турбулентных течений и смежных дисциплин.</p> <p>Владеть навыками постановки и решения задач научных исследований в области физики турбулентных течений с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований; навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам физики турбулентных течений; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов физики турбулентных течений; навыками решения базовых задач по физике турбулентных течений; основными методами научных исследований; навыками использования теоретических основ базовых разделов физики турбулентных течений при решении научно-инновационных задач; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в области турбулентных течений и смежных дисциплин.</p>	<p>Опрос в начале каждой лекции, экзамен.</p>
---	--	---

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Моделирование процессов переноса в турбулентных течениях».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.2	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

10.3 Примеры билетов к экзамену

Билет 1

1. Ламинарный и турбулентный режимы течения жидкости. Характерные особенности турбулентного движения.
2. Детерминистический и статистический методы описания структуры турбулентных течений

Билет 2

1. Уравнения Навье-Стокса. Диссипация энергии в вязкой жидкости.

2. Качественная схема развития турбулентности.

Билет 3

1. Масштабная инвариантность. Оценка масштабов турбулентности. Спектр турбулентных пульсаций. Спектральные функции.
2. Гипотезы Колмогорова об автомодельности. Гипотезы о спектральном переносе энергии

Билет 4

1. Уравнение для завихренности. Механизм растяжения вихревых трубок.
2. Вейвлет-представление. Каскад энергии турбулентности по вейвлетам

Билет 5

1. Прямое численное моделирование (DNS-метод).
2. Оценка параметров численного разрешения метода DNS

Билет 6

1. LES-метод. Операция фильтрации.
2. Модели подсеточного моделирования.

Билет 7

1. Метод статистических моментов. Функция распределения турбулентных пульсаций. Статистические моменты и кумулянты.
2. Понятие об эргодичности. Статистическая формулировка основной задачи теории турбулентности.

Билет 8

1. Моделирование турбулентного переноса тепла и вещества.
2. Уравнения переноса тепла и вещества

Билет 9

1. Численная реализация моделей турбулентности. Основные методы и подходы.
2. Пакеты прикладных программ для описания структуры турбулентных течений

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

<p>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</p> <p><i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p>Физический факультет</p>
<p>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____</p> <p>1. 2.</p> <p>Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/ (подпись)</p> <p>« ____ » _____ 20 ____ г.</p>

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Моделирование процессов переноса в турбулентных течениях»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного