

**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 нанокompозитных материалов**

академик РАН



УТВЕРЖДАЮ
Декан ФФ
А. Е. Бондарь
« 07 » 10
2020 г.

Рабочая программа дисциплины

**ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА В МНОГОФАЗНЫХ СРЕДАХ И
НАНОЖИДКОСТЯХ**

направление подготовки: **03.04.02 Физика, Курс 2, семестр 3**
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
3	72	16	16		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них: - контактная работа 36 часов - в интерактивных формах 16 часов										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

Разработчик:
д.ф.-м.н., проф.

В.Я. Рудяк

Зам. зав. КафНKM ФФ НГУ
д.х.н., доцент

А.А. Хасин

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2020

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

Аннотация
к рабочей программе дисциплины
«Процессы переноса в многофазных средах и наножидкостях»
Направление: **03.04.02 Физика**
Направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Программа курса «Процессы переноса в многофазных средах и наножидкостях» составлена в соответствии с требованиями СУОС к уровню подготовки магистра по направлению **03.04.02 Физика**, направленность «Общая и фундаментальная физика», а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Новосибирский государственный университет (НГУ) межфакультетской кафедрой нанокompозитных материалов в качестве факультативной дисциплины. Дисциплина изучается студентами 2 курса магистратуры в третьем семестре.

Цели курса – дать магистрантам базовые знания, умения и навыки по физике дисперсных сред и процессам переноса в них. Курс является одной из дисциплин, компенсирующих у магистрантов отсутствие систематических базовых знаний физики дисперсных сред, включая новый их тип – наножидкости. Основное внимание направлено на изучение особенностей и физических закономерностей процессов переноса в таких средах, выработку умения определять их теплофизические свойства, вязкость, теплопроводность, диффузию. Завершается курс обзором методов описания динамики дисперсных жидкостей.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося **профессиональных компетенций (ПК):**

ПК-1 - способность 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:

ПК-2 - способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности:

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **знать** основы методов описания процессов переноса в газах, жидкостях, дисперсных жидкостях и наножидкостях, измерения коэффициентов переноса, типичные реологические модели неньютоновских жидкостей, основные модели, описывающие вязкость и теплопроводность дисперсных жидкостей;

- **уметь** анализировать теплофизические данные дисперсных жидкостей, включая наножидкости, уметь предсказывать их изменение в зависимости от концентрации частиц, их размера, температуры, использовать информацию о коэффициентах переноса газов, жидкостей и дисперсных жидкостей для различных расчетов;

- **владеть** аппаратом кинетической теории для расчета коэффициентов переноса, методами измерения вязкости и теплопроводности дисперсных жидкостей, основами статистической гидромеханики.

Курс рассчитан на один семестр. Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельную работу магистранта и её контроль преподавателями, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: контрольные вопросы на знание материала предыдущей лекции, коллоквиумы, контрольные работы, индивидуальные задания.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **72 часа / 2 зачетные единицы**.

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

Дисциплина нацелена на формирование у магистранта профессиональных компетенций (ПК):

в научно-исследовательской деятельности:

- способностью 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 (ПК-1):

ПК-1.1 знать основы методов описания процессов переноса в газах, жидкостях, дисперсных жидкостях и наножидкостях, измерения коэффициентов переноса, типичные реологические модели неньютоновских жидкостей, основные модели, описывающие вязкость и теплопроводность дисперсных жидкостей.

в научно-инновационной деятельности:

- способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (ПК-2).

ПК-2.2 уметь: анализировать теплофизические данные дисперсных жидкостей, включая наножидкости, уметь предсказывать их изменение в зависимости от концентрации частиц, их размера, температуры, использовать информацию о коэффициентах переноса газов, жидкостей и дисперсных жидкостей для различных расчетов.

ПК-2.3. владеть: аппаратом кинетической теории для расчета коэффициентов переноса, методами измерения вязкости и теплопроводности дисперсных жидкостей, основами статистической гидромеханики.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Курс «Процессы переноса в многофазных средах и наножидкостях» читается в третьем семестре второго курса для магистрантов, обучающихся на кафедре нанокompозитных материалов. Дисциплина «Процессы переноса в многофазных средах и наножидкостях» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору из факультативной части программы подготовки по направлению 03.04.02 Физика (профиль подготовки «Общая и фундаментальная физика»). Дисциплина должна предшествовать выполнению магистерской диссертации т.к. дает магистранту необходимые знания и навыки для выполнения на современном уровне структурных и физико-химических исследований, связанных с получением и изучением свойств нанокompозитных материалов, включая наножидкости и дисперсии с одностенными углеродными нанотрубками.

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	Са-мо-стоя-тель-	Са-мо-стоя-тель-	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
3	72	16	16		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов - в интерактивных формах 16 часов										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

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, самостоятельную работу магистранта и её контроль преподавателями, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: контрольные вопросы на знание материала предыдущей лекции, коллоквиумы, контрольные работы, индивидуальные задания.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 16 часов;
- практические занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена и экзамен) – 22 часа;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые и индивидуальные консультации, экзамен) составляет 36 часов.

Работа с обучающимися в интерактивных формах составляет 16 часов.

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

Дисциплина «Процессы переноса в многофазных средах и наножидкостях» представляет собой полугодовой курс, читаемый в магистратуре физического факультета НГУ в осеннем семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Консультации перед экзаменом (часов)	Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы	Сам. работа во время	Сам. работа во		

				Лек- ции	Прак- тиче- ские заня- тия	занятий (не включая период сессии	время промежу точной аттестаци и		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Вводная часть курса	1	3	1	1	1			
2	Методы описания систем многих частиц	2	3	1	1	1			
3	Кинетическая теория процессов переноса в газах	3	3	1	1	1			
4	Уравнения переноса и коэффициенты переноса газа Больцмана	4	3	1	1	1			
5	Статистическая термодинамика равновесных процессов	5	3	1	1	1			
6	Процессы переноса в жидкости	6	3	1	1	1			
7	Механизмы процессов переноса	7	3	1	1	1			
8	Статистическая гидромеханика	8	3	1	1	1			
9	Флуктуационно-диссипационные теоремы	9	3	1	1	1			
10	Методы измерения коэффициентов переноса	10	3	1	1	1			
11	Уравнения переноса дисперсных жидкостей. Одножидкостное описание	11	3	1	1	1			
12	Уравнения переноса дисперсных жидкостей. Многожидкостное описание	12	3	1	1	1			

13	Вязкость дисперсных жидкостей	13	3	1	1	1			
14	Теплопроводность дисперсных жидкостей	14	3	1	1	1			
15	Особенности процессов переноса наножидкостей	15	4	1	1	2			
16	Реология дисперсных жидкостей	16	4	1	1	2			
17	Групповые консультации		2					2	
18	Самостоятельная подготовка к экзамену		18				18		
19	Экзамен		2						2
Всего			72	16	16	18	18	2	2

Программа и основное содержание лекций и практических занятий (16 часов + 16 часов)

1. Вводная часть курса. Предмет и задачи теории процессов переноса дисперсных сред. Принципы классификации многофазных дисперсных сред. Характерные размеры дисперсных частиц. Наночастицы и наножидкости. Методы создания дисперсных жидкостей. Методы создания наножидкостей.

2. Методы описания систем многих частиц. Межчастичные потенциалы взаимодействия. Методы описания систем многих частиц. N-частичное ньютоновское описание. N-частичная функция распределения и полевое описание. Одночастичная функция распределения и кинетическое описание. Макроскопические наблюдаемые. Связь микро- и макроскопического описаний. Уравнения переноса.

3. Кинетическая теория процессов переноса в газах. Кинетическое уравнение Больцмана. Число Кнудсена. Свободномолекулярный режим течения. Уравнение Энскога. Кинетическая теория Боголюбова. Кинетическая теория плотных газов. Уравнения переноса. Уравнения состояния.

4. Уравнения переноса и коэффициенты переноса газа Больцмана. Концепция сплошной среды. Методы решения уравнения Больцмана. Уравнения Эйлера. Уравнения Навье-Стокса. Уравнение состояния идеального газа. Методы расчета коэффициентов переноса. О применимости уравнений Эйлера и Навье-Стокса. Нелинейные и нелокальные определяющие соотношения.

5. Статистическая термодинамика равновесных процессов. Микроканоническое и каноническое распределения. Принцип максимума энтропии. Термодинамические равенства. Эквивалентность статистических ансамблей. Конфигурационный интеграл. Радиальная функция распределения и структурный фактор.

6. Процессы переноса в жидкости. Особенности структуры жидкости. Структурные отличия плотного газа от жидкости. Вязкость жидкостей. Зависимость вязкости от температуры. Влияние

давления на вязкость жидкостей. Корреляции для расчета вязкости жидкостей. Теплопроводность жидкостей. Влияние давления и температуры на теплопроводность. Расчет теплопроводности жидкостей.

7. Механизмы процессов переноса. Диффузия броуновских частиц. Флуктуационно-диссипационная теорема. Автокорреляционная функция скорости (АКФС). Механизмы процессов переноса в разреженном газе. Диффузия молекул в плотных газах. Неклассическая диффузия молекул в жидкостях. Диффузия наночастиц. Эволюция АКФС. Линейная реакция системы на механические возмущения. Что такое диссипация?

8. Статистическая гидромеханика. Проекционные методы решения уравнения Лиувилля. Обобщенные уравнения переноса. Обобщенные определяющие соотношения. Запоздывающие и нелокальные определяющие соотношения. Переход к классическим определяющим соотношениям. Уравнения гидромеханики асимметричной (с внутренними вращениями) среды.

9. Флуктуационно-диссипационные теоремы. Ядра переноса и коэффициенты переноса. Эволюция ядер переноса. Моделирование ядер переноса для сред с памятью. Определяющие соотношения вязкоупругих жидкостей. Модельные определяющие соотношения. Ядра переноса ньютоновской жидкости. Коэффициенты переноса. Моделирование коэффициентов переноса в конденсированных средах.

10. Методы измерения коэффициентов переноса. Методы измерения коэффициентов самодиффузии и диффузии молекул. Методы измерения коэффициента диффузии наночастиц в газах. Методы измерения вязкости жидкостей и дисперсных жидкостей. Типы вискозиметров. Методы измерения теплопроводности жидкостей и дисперсных жидкостей. Методы измерения электропроводности.

11. Уравнения переноса дисперсных жидкостей. Одножидкостное описание. Уравнения сохранения смесей газов и жидкостей. Парциальные и средние макроскопические переменные. Уравнение диффузии для концентрации. Решение уравнения диффузии. Эффективные коэффициенты переноса. Определяющие соотношения одножидкостной гидродинамики дисперсных жидкостей. Граничные условия. Уравнения переноса наножидкостей.

12. Уравнения переноса дисперсных жидкостей. Многожидкостное описание. Уравнения гидродинамики разреженных газовзвесей и суспензий. Методы осреднения. Определяющие соотношения многожидкостной гидродинамики дисперсных жидкостей. Перекрестные коэффициенты переноса. Парциальные давления. Граничные условия.

13. Вязкость дисперсных жидкостей. Теория Эйнштейна вязкости крупнодисперсных жидкостей и границы ее применимости. Теории вязкости крупнодисперсных жидкостей при умеренных концентрациях частиц (Бэтчелора, Acrivos, Mooney, Krieger и др.). Существующие экспериментальные данные и их согласование с указанными теориями.

14. Теплопроводность дисперсных жидкостей. Теория Максвелла теплопроводности крупнодисперсных жидкостей и границы ее применимости. Обобщения теории Максвелла. Существующие экспериментальные данные и их согласование с указанными теориями.

15. Особенности процессов переноса наножидкостей. Существующие экспериментальные данные по измерению вязкости и теплопроводности наножидкостей. Сопоставление этих данных с соответствующими значениями для крупнодисперсных жидкостей. Моделирование коэффициентов переноса наножидкостей методом молекулярной динамики. Объяснение причин, по которым процессы переноса в наножидкостях не описываются классическими теориями.

16. Реология дисперсных жидкостей. Ньютоновские и неньютоновские жидкости. Реология крупнодисперсных жидкостей. Вязкопластические, псевдопластические и дилатантные жидкости, основные модели. Вязкоупругие жидкости. Реология наножидкостей. Влияние дисперсантов на реологические свойства наножидкостей.

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	6
Подготовка к контрольным работам	6
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	6
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Бажин Н.М. Термодинамика для химиков: учебное пособие: [в 2 ч.] / Н.М. Бажин, В.А. Иванченко, В.Н. Пармон; Новосиб. гос. ун-т, Новосибирск: Редакционно-издательский центр НГУ, НГУ, 1999 - 164 с.
2. Белиничер, В.И.. Физическая кинетика : Лекции для магистрантов: Учеб. пособие / В.И. Белиничер ; Новосиб. гос. ун-т, Новосибирск : НГУ, 1995 - 174 с.

5.2. Дополнительная литература

1. Рид, Р. К. Свойства газов и жидкостей / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд ; Пер. с англ. под ред. Б.И. Соколова. 3-е изд., перераб. и доп.Л. : Химия, 1982. 592 с.

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

1. Белиничер, В.И.. Физическая кинетика : Лекции для магистрантов: Учеб. пособие / В.И. Белиничер ; Новосиб. гос. ун-т, Новосибирск : НГУ, 1995 - 174 с.

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 используются аудитории, оборудованные всем необходимым для чтения лекций (доска, экран, компьютер, мультимедийный проектор), в том числе 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.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются следующие наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий:

- комплект лекций-презентаций по темам дисциплины.

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

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем проведения выборочных опросов и заслушивания сообщений, самостоятельно подготовленных магистрантами по заданным темам и доложенных на практических занятиях.

Преподавание учебного курса «Процессы переноса в многофазных средах и наножидкостях» ведется в виде чередования лекций и практических занятий. Лекционный курс подается в виде презентаций, используется мультимедийная техника. На экран выводятся определения, основные понятия, графические иллюстрации, помогающие наглядно представить материал. В

начале каждого занятия (начиная со второго), проводится 15-20-минутное тестирование на знание материала предыдущей лекции. Тест состоит из нескольких (от шести до пятнадцати) контрольных вопросов, часть которых предполагает ответы на вопросы терминологического характера, описание введенных понятий, другие имеют творческий характер, в частности, могут включать минизадачи. Все практические занятия проводятся в интерактивной форме и построены на практическом усвоении лекционного материала: магистрантам предлагаются задачи или упражнения различной сложности по соответствующим разделам курса. Помимо этого, магистранты выступают с минилекциями (рефератами) по разделам курса, не включенным непосредственно в лекционный. На практических занятиях также проводится разбор индивидуальных заданий, которые всегда включают элементы научных исследований. Все студенты получают на каждом занятии индивидуальные задания. Часть заданий выполняется творческими коллективами по 2-4 человека. Разработана рейтинговая система оценки знаний студентов, которая, с одной стороны, стимулирует магистранта к регулярной работе и последовательному освоению курса, а с другой, позволяет преподавателю объективно оценивать знания и умения магистрантов. С рейтинговой системой студенты знакомятся на первом занятии. В случае возникновения у магистранта трудностей с усвоением лекционного материала или решением задач предусмотрены также индивидуальные занятия и консультации во внеучебное время. Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в виде экзамена.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные компетенции ПК-1 и ПК-2 сформированы не ниже порогового уровня.

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 компетенций ПК-1 и ПК-2.

Итоговая оценка по курсу выставляется после устного экзамена с учётом оценок за работу в семестре (РС) и сдачи всех индивидуальных заданий. Итоговая оценка не может превышать более, чем на 1 балл, оценку, полученную в течение семестра за выполнение индивидуальных заданий, сдачи тестов и решение контрольных задач, и не может быть выше “3” (удовл.), если оценка за РС “2” (неуд.).

Оценка за РС учитывает активность студента на практических занятиях, оцениваемую преподавателем, посещение практических занятий, оценки за еженедельные тесты, два коллоквиума, проводимые в течение семестра, и сдачи четырех индивидуальных заданий. За РС выставляется оценка “2” (неуд.) в случае сдачи менее 75% индивидуальных заданий.

Для получения на устном экзамене оценки “3” (удовл.) либо выше необходимо:

1. Сдать три индивидуальных задания, успешно пройти не менее 50% еженедельных тестов, успешно сдать один коллоквиум.
2. Устно подготовить и сдать по выбору преподавателя два раздела программы. Незнание технических деталей и понимания ключевых вопросов в сдаваемых темах расценивается как отсутствие усваивания основных проблем сдаваемого курса. В этом случае на экзамене выставляется неудовлетворительная оценка.

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.

Устный экзамен проводится в экзаменационную сессию по экзаменационным билетам. Первая пересдача проходит в конце сессии также в форме устного экзамена по экзаменационным

билетам. Вторая пересдача (в начале следующего семестра) проводится в виде письменного экзамена. При проведении данного письменного экзамена запрещается использовать любые источники информации, включая конспекты.

Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Процессы переноса в многофазных средах и наножидкостях».

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.	Минимально допустимый уровень знаний. 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 2.2	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 2.3	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.

10.2 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Перечень индивидуальных заданий и рефератов.

1. Разработать классификацию газозвесей по соотношения внутренних структурных элементов суспензии.
2. Разработать классификацию газозвесей по плотности дисперсной фазы.
3. Подготовить реферат на тему: "Химические методы создания нанопорошков".
4. Подготовить реферат на тему: "Физические методы создания нанопорошков".
5. Подготовить реферат на тему: "Неньютоновские жидкости".

6. Подготовить реферат на тему: "Методы измерения вязкости".
7. Подготовить реферат на тему: "Методы измерения коэффициента диффузии".
8. Подготовить реферат на тему: "Методы измерения теплопроводности жидкостей".
9. Подготовить реферат на тему: "Ближний порядок в жидкости и его характеристики".
10. Подготовить реферат на тему: "Поверхностно активные вещества (дисперсанты), их применение и физическое объяснение их эффективности".
11. Подготовить реферат на тему: "Конфликт механики и термодинамики (второй закон термодинамики и обратимость уравнений механики)".
12. Феноменологический вывод уравнений гидродинамики.
13. Доказать теорему Лиувилля.
14. Вывести цепочку уравнений ББГКИ при наличии внешнего поля.
15. Классический вывод уравнения Больцмана.
16. Сделать таблицу параметров потенциала твердых сфер для разреженных газов.
17. Сделать таблицу параметров потенциала Леннар-Джонса для разреженных газов.
18. Подготовить реферат на тему: "Потенциалы взаимодействия для моделирования воды".
19. Методы измерения реологии флюидов.
20. Вывод Эйнштейна коэффициента диффузии броуновских частиц.
21. Кинетическая теория для газов с внутренними степенями свободы.
22. Кинетическая теория газов с вращательными степенями свободы.
23. Экспериментальные данные по измерению вязкости крупнодисперсных жидкостей. Обзор.
24. Экспериментальные данные по измерению теплопроводности крупнодисперсных жидкостей. Обзор.
25. Методы измерения вязкости газов и жидкостей.
26. Методы измерения теплопроводности.

Перечень задач к практическим занятиям:

1. Расчет коэффициента вязкости Ксенона в диапазоне температур от 20 до 700 °С. Использовать потенциал Леннар-Джонса. Сопоставить данные расчета с экспериментальными.
2. Расчет коэффициента теплопроводности в диапазоне температур от 20 до 700 °С. Использовать потенциал Леннар-Джонса. Сопоставить данные расчета с экспериментальными.
3. Расчет коэффициента вязкости Ксенона в диапазоне температур от 20 до 700 °С. Использовать потенциал твердых сфер. Сопоставить данные расчета с экспериментальными.
4. Расчет коэффициента взаимной диффузии Ag-Xe в диапазоне температур от 20 до 700 °С. Использовать потенциал Леннар-Джонса. Сопоставить данные расчета с экспериментальными.
5. Сопоставить формулы Эйнштейна, Бетчелора и Бринкмана для коэффициента вязкости дисперсных жидкостей с экспериментальными данными нескольких авторов для разных дисперсных жидкостей и при разных температурах.
6. Сопоставить формулы Муни с формулами Эйнштейна и Бетчелора для коэффициента вязкости дисперсных жидкостей и с экспериментальными данными нескольких авторов для разных дисперсных жидкостей и при разных температурах.
7. Сопоставить формулы Муни и Кригера Доугерти для коэффициента вязкости дисперсных жидкостей при разных значениях φ_m – объемной концентрации частиц при максимальной упаковке. Взять три значения φ_m (0.52, 0.6 и 0.74). Сопоставить во всех случаях с экспериментальными данными нескольких авторов для разных дисперсных жидкостей и при разных температурах.
8. Рассчитать и сопоставить друг с другом данные теорий Эйнштейна, Бетчелора, Муни, Кригера-Доугерти и Френкеля-Акривоса при разных значениях концентрации частиц и разных температурах. Создать базу данных по зависимости коэффициента вязкости дисперсных жидкостей для разных базовых жидкостей в максимально широком диапазоне концентраций частиц.

Перечень контрольных вопросов, используемых для тестирования (всего более 500):

1. Перечислите все виды многофазных сред, которые вы знаете.
2. Какие процессы переноса вы знаете?
3. Какой газ называется разреженным, умеренно разреженным?
4. Какой функцией описывается распределение наночастиц по размерам?
5. Что такое ближний порядок в жидкости. Как его можно охарактеризовать.
6. Что такое перемешивание?
7. Дайте определение N-частичной функции распределения.
8. Что такое кинетический уровень описания?
9. Что такое фазовое пространство системы молекул?
10. Что такое газовзвесь?
11. Что такое коэффициенты переноса?
12. Какие характерные размеры органических молекул?
13. Что такое гидродинамический бесконечно малый масштаб для жидкости. Как он определяется? Зачем он нужен?
14. Запишите потенциал твердых сфер.
15. Что такое ансамбль Гиббса.
16. Какие уровни описания жидкостей и газов вы знаете.
17. Чему равна работа потенциальной силы?
18. Какова размерность фазового пространства системы молекул?
19. Что такое суспензия?
20. Какие процессы переноса можно назвать слабо неравновесными, а какие сильно неравновесными?
21. Какие характерные размеры обычных неорганических молекул?
22. Перечислите типы суспензий в зависимости от соотношения внутренних структурных элементов суспензии.
23. Зачем используют при приготовлении наножидкостей их обработку ультразвуком? Каковы физические предпосылки этого?
24. Дайте определение s-частичной функции распределения.
25. Какие уровни описания жидкостей и газов вы знаете.
26. Описание посредством уравнений Ньютона и Гамильтона эквивалентны?
27. Можно ли строго поставить задачу Коши для воздуха в аудитории?
28. Сформулируйте, что называется наночастицами.
29. Какие жидкости называются ньютоновскими, а какие неньютоновскими?
30. Как дисперсные флюиды подразделяются по агрегатному состоянию несущего флюида?
31. Что такое длина свободного пробега молекул?
32. Запишите потенциал Леннард-Джонса.
33. Дайте определение одночастичной функции распределения.
34. Что такое сокращение описания динамической системы?
35. Какие уровни описания молекулярной системы можно выделить?
36. Меняется ли величина фазового объема системы молекул, описывающей жидкость или газ, с течением времени?
37. Уравнения Ньютона системы взаимодействующих частиц, на которые действуют и внешние силы, обратимы или нет? Обоснуйте.
38. В каких случаях возможно сокращение описания в системе?
39. Дайте определение s-частичной функции распределения.
40. Кинетический уровень описания системы, что это такое?
41. Что такое число Кнудсена?
42. Что такое число Маха?
43. Как решается уравнение Больцмана при малых числах Кнудсена?

44. Чем метод Чепмена-Энскога отличается от метода Гильберта?
45. Каким кинетическим уравнением описывается динамика газа при $Kn \rightarrow \infty$?
46. Что такое свободномолекулярный режим течения газа?
47. Что такое гидродинамический физически бесконечно малый масштаб? Чему он равен для газа?
48. Сформулируйте принцип эквивалентности микроскопических состояний.
49. Флуктуации каких величин допускает большой канонический ансамбль?
50. Что такое термодинамический предел?
51. Чему пропорциональны флуктуации энергии в каноническом ансамбле?
52. Каков физический смысл радиальной функции распределения?
53. Нарисуйте радиальную функцию распределения разреженного газа.
54. Запишите вириальное уравнение состояния.
55. Какие макроскопические переменные могут изменяться в микроканоническом распределении?
56. Микроканонический, канонический и большой канонический ансамбли эквивалентны или нет? Если да, то в каком смысле. Если нет, то почему.
57. Что такое термодинамический предел?
58. Чему пропорциональны флуктуации энергии в каноническом ансамбле?
59. Каков физический смысл радиальной функции распределения?
60. Нарисуйте радиальную функцию распределения разреженного газа.
61. Запишите вириальное уравнение состояния.
62. Что такое механика сплошной среды? Сформулируйте. Какие среды и процессы она описывает?
63. Запишите энтропию Гиббса.
64. Каковы, на ваш взгляд, главные достижения кинетической теории газов?
65. Уравнение Лиувилля обратимое или необратимое?
66. Обобщенные определяющие соотношения локальные или нелокальные?
67. Обобщенные определяющие соотношения запаздывающие или нет?
68. Закон Ньютона, определяющий тензор напряжений флюида содержит запаздывание или нет?
69. Определяющие соотношения на ваш взгляд должны быть запаздывающими или нет? Объясните.
70. Что такое пара сил?
71. Чему равен момент пары сил?
72. Дайте определение момента силы относительно точки.
73. Дайте определение момента силы относительно оси.
74. Какие дополнительные процессы переноса появляются для сред с внутренними вращениями?
75. Что такое гидродинамический физически бесконечно малый масштаб? Чему он равен для газа?
76. Что такое флуктуационно-диссипационная теорема?
77. Что такое автокорреляционная функция скорости? Запишите ее.
78. Как связаны между собой коэффициенты переноса и соответствующие корреляционные функции.
79. Корреляционные функции, определяющие коэффициенты переноса, затухающие или нет? Почему вы так решили?
80. Как релаксируют корреляционные функции динамических переменных в разреженном газе?
81. Что такое платовое значение?
82. Какие процессы называются слабо неравновесными?
83. Что называют формулами Грина-Кубо? Приведите пример формулы Грина-Кубо.
84. Какими динамическими переменными молекул определяется коэффициент вязкости разреженного газа? Объясните.
85. Оцените число соударений броуновской частицы за время ее взаимодействия с молекулой несущей среды.

86. Оцените время взаимодействия молекул.
87. Оцените время взаимодействия молекулы несущей среды с броуновской частицей.
88. Запишите уравнение Ланжевена, описывающее динамику броуновской частицы.
89. Чем определяется временная зависимость коэффициентов переноса?
90. Сформулируйте основные гипотезы, использованные при построении модели разреженного газа.
91. Коэффициенты переноса разреженного газа зависят от конфигурационных (пространственных) переменных молекул или нет?
92. Время релаксации разреженного газа порядка
93. Какого порядка время свободного пробега разреженного газа при нормальных условиях.
94. Однозначно или нет определяется время свободного пробега молекул числом Кнудсена?
95. Каков механизм процессов переноса, разреженного и умеренно плотного газа?
96. Каковы механизмы процессов переноса плотного газа?
97. Какой формулой определяется автокорреляционная функция разреженного газа?
98. Что такое газ Энскога?
99. Какой формулой определяется автокорреляционная функция плотного газа?
100. Нарисуйте качественно автокорреляционную функцию скорости молекул жидкости.
101. Что такое сила Стокса?
102. Как была выведена сила Стокса и чему она равна?
103. Какие силы надо учитывать при нестационарном обтекании частицы?
104. Сила, действующая на сферическую частицу, больше или меньше действующей на эллипсоидальную? Почему?
105. Из каких соображений было выведено выражение для эффективного коэффициента вязкости дисперсных жидкостей?
106. Чему равен коэффициент вязкости Эйнштейна, от чего он зависит и какова область его применимости?
107. Какой формулой можно представить эффективный коэффициент вязкости при умеренных концентрациях частиц?
108. Коэффициент вязкости наногазовзвеси всегда больше соответствующего значения для базовой жидкости?
109. Какие жидкости называются псевдопластическими?
110. Какие жидкости называются вязкопластическими?
111. Какие жидкости называются дилатантными?
112. Запишите определяющее соотношение для степенной жидкости.
113. Запишите определяющее соотношение для жидкости Бингама.
114. Запишите определяющее соотношение для жидкости Хершеля-Балкли.
115. Какие жидкости называются вязкоупругими?

Перечень задач и вопросов на контрольных работах и экзамене:

Задача 1. Определить время взаимодействия молекул разреженного и плотного газа. Оно одинаково или нет?

Задача 2. Вычислить длину свободного пробега молекул разреженного газа. Сделать расчет для воздуха при (а) нормальных условиях, (б) на высоте 30 км от поверхности Земли.

Задача 3. Вычислить время свободного пробега молекул разреженного газа. Сделать расчет для воздуха при (а) нормальных условиях, (б) при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Задача 4. Определить являются ли обратимыми следующие уравнения: $\dot{y} = \int_0^a y(t)dt$, $\dot{y} = \int_0^a t y(t)dt$, $\dot{y} = \int_0^t y(t)dt$.

Задача 5. Рассчитать коэффициент вязкости воды при температуре 20 °С, используя метод Томаса.

Задача 6. Рассчитать коэффициент взаимной диффузии Ag-Хе при температуре 20 °С, считая газы разреженными. Использовать потенциал Леннар-Джонса.

Задача 7. Рассчитать коэффициент вязкости ксенона в диапазоне температур от 20 до 700 °С при нормальном давлении. Использовать потенциал твердых сфер.

Задача 8. Что такое гидродинамический физически бесконечно малый масштаб для жидкостей? Дайте его оценку. Чему он равен для воды при нормальных условиях?

Задача 9. Что такое гидродинамический физически бесконечно малый масштаб? Дайте его оценку для газов. Чему он равен для воздуха при нормальных условиях?

Задача 10. Как определить среднее расстояние между частицами, зная их числовую плотность? Найти среднее расстояние между молекулами воздуха при нормальных условиях.

Перечень вопросов, выносимых на экзамен:

1. Кинетическая теория вязкости разреженных газов.
2. Классификация дисперсных жидкостей.
3. Методы создания наножидкостей.
4. Физика влияния поверхностно активных веществ (дисперсантов) на взаимодействие дисперсных частиц.
5. Вязкость крупнодисперсных жидкостей.
6. Методы измерения вязкости крупнодисперсных жидкостей.
7. Флуктуационно-диссипационные теоремы.
8. Механизмы процессов переноса.

Примечание. В каждый билет входит теоретических вопроса и одна задача по темам практических занятий.

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

<p style="text-align: center;">МИНОБРНАУКИ РОССИИ</p> <p style="text-align: center;">Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования</p> <p style="text-align: center;">«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</p> <p style="text-align: center;">Физический факультет</p>

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____

1.
2.
3.

Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/
(подпись)

« ____ » _____ 20 ____ г.

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
дисциплины «Процессы переноса в многофазных средах и наножидкостях»
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