

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ФИЛИАЛ МГУ В Г. ДУБНЕ



УТВЕРЖДАЮ
И.о. директора
филиала МГУ в г. Дубне
/ Э.Э. Боос /
«14» 09 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Необратимые процессы в мягком веществе

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Фундаментальная и прикладная ядерная физика

Форма обучения: Очная форма обучения

Дубна 2022 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки программы магистратуры 03.04.02 «Физика».

Год (годы) приема на обучение _____

Авторы–составители:

1. доктор физ.-мат. наук, Тропин Тимур Васильевич, почасовик МГУ

Руководитель магистерской программы:

Доктор физ.-мат. наук, академик РАН Г.В. Трубников, по совместительству заведующий кафедрой физического факультета МГУ

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Необратимые процессы в мягком веществе»

В курсе содержатся базовые знания о современных теоретических методах, применяемых в физике конденсированного состояния вещества. В рамках курса студенты познакомятся с основными положениями квантовой теории твердого тела, а также одним из наиболее эффективных методов в теории многих тел – методом двухвременных функций Грина. Во время курса студентам демонстрируется приложение этого метода на примере основных моделей квантовой теории к необратимым процессам в мягком веществе. Курс является обязательной Дисциплиной магистерской программы

Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Формат обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Необратимые процессы в мягком веществе» реализуется на 2-ом курсе в 3-ем семестре магистратуры и входит в состав профессионального блока вариативной части.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Базовые знания в области общей и теоретической физики в объеме классических университетских курсов.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
МПК-2 Способен ставить, формализовать и решать задачи в области фундаментальной и прикладной ядерной физики	ИМПК-2.4 Знает основные и перспективные направления фундаментальной и прикладной ядерной физики	Знать: основные термины и приближения, используемые для описания процессов в жидкостях, полимерах и иных веществах. Уметь: в общих чертах описывать процессы в полимерах, жидких кристаллах, жидкостях и иных веществах. Владеть: знанием о базах данных и иных источниках информации, связанных с физикой процессов в мягком веществе, и уметь их использовать.
МПК-3 Способен самостоятельно (или) в составе научного коллектива применять математические методы для исследования физических явлений и процессов в области фундаментальной и прикладной ядерной физики при решении задач профессиональной деятельности.	ИМПК-3.1 Способен самостоятельно (или) в составе научного коллектива применять математические методы для исследования физических явлений и процессов в области фундаментальной и прикладной ядерной физики при решении задач профессиональной деятельности	Знать: основные математические методы описания процессов в мягком веществе. Уметь: использовать основные методы для описания процессов в мягком веществе. Владеть: практическими умениями математики и программирования, необходимыми для успешного описания и анализа процессов в мягком веществе.

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Фазовые переходы в мягком конденсированном веществе.

Переходы в бинарных жидкостях. Теория регулярных растворов. Кинетика разделения фаз. Спинодальный распад. Нуклеация. Поздние стадии роста. Переход жидкость – твердое тело. Гомогенная и гетерогенная нуклеация.

Тема 2. Переход жидкость-стекло.

Феноменология перехода жидкость-стекло. Релаксация переохлажденной жидкости. Формулы Аррениуса и Фогеля-Фульчера-Таммана для времени релаксации системы. Типы систем, в которых наблюдается стеклование, классификация. Методы исследования стеклования. Феноменологические методы описания стеклования. Теория Адама-Гиббса. Теория взаимодействующих мод. Однопараметрические и многопараметрические модели. Современные вопросы физики стеклования и релаксации переохлажденных жидкостей.

Тема 3. Коллоидные системы.

Силы взаимодействия коллоидных частиц. Теория ДЛФО. Устойчивость коллоидных систем. Типы коллоидных систем. Типы коллоидных растворов. Примеры коллоидных систем. Общие методы получения коллоидных систем. Коллоидные растворы углеродных наночастиц. Кинетическая теория нуклеации. Исследования кинетики агрегации коллоидных систем. Описание кинетики агрегации коллоидных систем.

Тема 4. Полимеры.

Полимеры. Строение и классификация полимеров. Некоторые характеристики полимерных цепочек. Фазовые состояния полимерных систем. Статистические модели полимерных цепочек. Идеальная полимерная цепь. Вязкоупругие свойства полимерных расплавов. Высокоэластичность. Особенности стеклования полимеров.

Тема 5. Жидкие кристаллы.

Типы жидких кристаллов. Нематические жидкие кристаллы. Сметические жидкие кристаллы. Переход нематик-изотропная жидкость. Теория Майера-Заупе. Электрические и магнитных свойства жидких кристаллов. Жидкие полимерные кристаллы. Переход в системе идеальных стержней. Теория Онзагера.

7. **Объем дисциплины**

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоемкость	в том числе ауд.занятий			Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	

						я	
Необратимые процессы в мягком веществе	2	72	36	18	18		36

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Необратимые процессы в мягком веществе» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; семинарские занятия, предусматривающие углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ тем ы		Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Са мо ст оя те ль на я ра бо та	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Вс его ча со в	Л е к ц и и	С е м и н а р ы	Учебно- практичес кие занятия (лаборато рные или практичес кие занятия)			
1	Фазовые переходы в мягком конденсированном веществе	10	2	2		6	Оп	
2	Переход жидкость-стекло	14	4	4		6	КР	
3	Коллоидные системы	14	4	4		6	КР	
4	Полимеры	14	4	4		6	Оп	
5	Жидкие кристаллы	14	4	4		6	Оп	
	Промежуточная аттестация	6				6	экзамен	
ИТОГО:		72	18	18		36		

ДЗ- домашнее задание, Оп- опрос, КР- контрольная работа, Т- тестирование

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Необратимые процессы в мягком веществе» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний аспиранта по изученной теме.	Образцы тестов
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к экзамену
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ зачтено	5/ зачтено
ЗНАТЬ: основные термины и приближения, используемые для описания процессов в жидкостях, полимерах и иных веществах. ИМПК-2.4 З-1	Отсутствие знаний основных терминов и приближений, используемых для описания процессов в жидкостях, полимерах и иных веществах.	В целом успешные, но не систематические знания основных терминов и приближений, используемых для описания процессов в жидкостях, полимерах и иных веществах.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных терминов и приближений, используемых для описания процессов в жидкостях, полимерах и иных веществах.	Успешные и систематические знания основных терминов и приближений, используемых для описания процессов в жидкостях, полимерах и иных веществах.
ЗНАТЬ: основные математические методы описания процессов в мягком веществе. ИМПК-3.1 З-1	Отсутствие знаний основных математических методов описания процессов в мягком веществе.	В целом успешные, но не систематические знания основных математических методов описания процессов в мягком веществе.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных математических методов описания процессов в мягком веществе.	Успешные и систематические знания основных математических методов описания процессов в мягком веществе.
УМЕТЬ: в общих чертах описывать процессы в полимерах, жидких кристаллах, жидкостях и иных веществах. ИМПК-2.4 У-1	Отсутствие умения в общих чертах описывать процессы в полимерах, жидких кристаллах, жидкостях и иных веществах.	В целом успешное, но не систематическое умение в общих чертах описывать процессы в полимерах, жидких кристаллах, жидкостях и иных веществах.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение в общих чертах описывать процессы в полимерах, жидких кристаллах, жидкостях и иных веществах.	Успешное и систематическое умение в общих чертах описывать процессы в полимерах, жидких кристаллах, жидкостях и иных веществах.
УМЕТЬ: использовать основные методы для описания процессов в мягком веществе. ИМПК-3.1 У-1	Отсутствие умения использовать основные методы для описания процессов в мягком веществе.	В целом успешное, но не систематическое умение использовать основные методы для описания процессов в мягком веществе.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение использовать основные методы для описания процессов в мягком веществе.	Успешное и систематическое умение использовать основные методы для описания процессов в мягком веществе.
ВЛАДЕТЬ: знанием о базах данных и иных	Отсутствие/фрагментарное владение базами данных и	В целом успешное, но не систематическое	В целом успешное, но содержащее	Успешное и систематическое владение базами

источниках информации, связанных с физикой процессов в мягком веществе, и уметь их использовать. ИМПК-2.4 В-1	иных источниках информации, связанных с физикой процессов в мягком веществе, и уметь их использовать.	владение базами данных и иных источниках информации, связанных с физикой процессов в мягком веществе, и уметь их использовать.	отдельные пробелы владения базами данных и иных источниках информации, связанных с физикой процессов в мягком веществе, и уметь их использовать.	данных и иных источниках информации, связанных с физикой процессов в мягком веществе, и уметь их использовать.
ВЛАДЕТЬ: практическими умениями математики и программирования, необходимыми для успешного описания и анализа процессов в мягком веществе. ИМПК-3.1 В-1	Отсутствие/фрагментарное владение практическими умениями математики и программирования, необходимыми для успешного описания и анализа процессов в мягком веществе.	В целом успешное, но не систематическое владение практическими умениями математики и программирования, необходимыми для успешного описания и анализа процессов в мягком веществе.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владения практическими умениями математики и программирования, необходимыми для успешного описания и анализа процессов в мягком веществе.	Успешное и систематическое владение практическими умениями математики и программирования, необходимыми для успешного описания и анализа процессов в мягком веществе.

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Пример:

Вопросы по теории:

1. Гомогенная нуклеация – основные понятия.
2. Основы теории Адама-Гиббса стеклования.
3. Модель идеальной полимерной цепочки.
4. Переход нематик-изотропная жидкость, теория Майера-Заупе

Задачи:

1. Пусть кристаллическая структура твердого тела задана кубической решеткой, а межмолекулярный потенциал взаимодействия равен:

$$U(r) = \frac{A}{r^n} - \frac{B}{r^m}$$

Найдите a – равновесное расстояние между узлами, ϵ – глубину потенциальной ямы, и получите выражение для модуля Юнга системы (в рамках модели, рассмотренной в Глав).

2. Пусть вязкость и время релаксации системы описываются законом Фогеля-Фульчера-Таммана с энергией активации $A/R=710\text{K}$ и параметром $T_0=50^\circ\text{C}$. Ответьте на вопросы:
 - a. Во сколько раз отличается время релаксации жидкости при $T=100^\circ\text{C}$ и $T=140^\circ\text{C}$?
 - b. Пусть при эффективном времени эксперимента $\tau_{\text{eff}}=1000\text{c}$ получена температура стеклования $T_g=101.4^\circ\text{C}$. Какая температура стеклования будет получена при $\tau_{\text{eff}}=10^5\text{c}$?
 - c. При тех же условиях, какое время эксперимента должно быть, чтобы получить T_g на 10 градусов выше T_0 ?

3. Для раствора коллоидных частиц в воде рассчитайте толщину диффузного слоя для добавок соли в 10^{-5} , 10^{-4} , 10^{-3} и 10^{-2} моль/дм³.
4. Для полистирола со степенью полимеризации 10^4 и 10^5 , и шага цепи $a=0.67$ нм. Рассчитайте:
 - а. Среднеквадратичный радиус клубка полистирола в расплаве.
 - б. Среднеквадратичный радиус клубка полистирола в разбавленном растворе, с параметром взаимодействия $\chi=0$.

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Экзамен проводится в письменной форме с последующим устным собеседованием.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к экзамену:

1. Фазовые переходы. Регулярный раствор.
2. Спинодальный распад. Нуклеация.
3. Релаксация переохлажденной жидкости – основные выражения и характерные свойства.
4. Формулы Аррениуса и Фогеля-Фульчера-Таммана. Классификация стеклообразующих систем.
5. Теория Адама-Гиббса стеклования.
6. Микроскопические теории стеклования.
7. Силы взаимодействия коллоидных частиц. Типы коллоидных систем.
8. Теория ДЛФО. Устойчивость коллоидных систем.
9. Кинетическая теория нуклеации и агрегации наночастиц.
10. Строение и классификация полимеров.
11. Статистические модели полимерных цепочек.
12. Идеальная полимерная цепь.
13. Вязкоупругие свойства полимерных расплавов
14. Типы жидких кристаллов
15. Теория Майера-Заупе.
16. Переход в системе идеальных стержней. Теория Онзагера

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

Основная литература

1. В.Л. Аксенов, Т.В. Тропин, Лекции по теории конденсированного состояния, ФФ МГУ – 2020.
2. Клеман М., Лаврентович О. Д. Основы физики частично упорядоченных сред, М.: ФИЗМАТЛИТ – 2007.

Дополнительная литература

1. R.A.L. Jones, Soft Condensed Matter, Oxford UP, 2002.
2. J.N. Israelachvili, Intermolecular and Surface Forces, Academic Press - 2011.
3. П. де Жен, Физика жидких кристаллов, Москва: Мир - 1977.
4. А.Ю. Гросберг, А.Р. Хохлов, Статистическая физика макромолекул, М.: Наука - 1989.
5. А.Ю. Гросберг, А.Р. Хохлов, Полимеры и биополимеры с точки зрения физики, ИД Интеллект - 2010.
6. П. Флори, Статистическая механика цепных молекул, Мир - 1971.

7. Т.В. Тропин, Ю.В.П. Шмельцер, В.Л. Аксенов, Современные аспекты кинетической теории стеклования, Успехи Физических Наук. 186 (2016) 47–73.
8. J.W.P. Schmelzer, I.S. Gutzow “Glasses and the Glass Transition”, Wiley-VCH, Germany - 2011.

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Операционная система Astra Linux (<https://astralinux.ru/>) или аналог, с офисным пакетом.

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. База данных РИНЦ (российский индекс научного цитирования) <http://www.elibrary.ru> .
2. Интерактивная среда разработки CodeBlocks;
3. Программное обеспечение Origin Pro v.4 от OriginLab и выше

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика», курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.