

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



(подпись)

И.С. Огнев

« 17 » мая 2022 г.

Рабочая программа дисциплины
«Проблемы самоорганизации наноструктур»

Направление подготовки
03.04.02 Физика

Профиль
Теоретическая физика

Программа одобрена
на заседании кафедры

от «18» апреля 2022 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК
физического факультета

протокол № 5 от « 11 » мая 2022 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина «Проблемы самоорганизации наноструктур» обеспечивает на современном уровне приобретение студентами знаний и умений теоретического и экспериментального описания самоорганизующихся систем на различных масштабах с помощью аппарата современной теории синергетики с привлечением понятий фрактальных размерностей, масштабной инвариантности, нелинейных гамильтоновых систем, самосборки и самоорганизации наносистем.

2. Место дисциплины в структуре ОП магистратуры

Дисциплина «Проблемы самоорганизации наноструктур» является факультативной дисциплиной программы и читается во втором семестре.

Дисциплина «Проблемы самоорганизации наноструктур» является важным междисциплинарным разделом блока дисциплин «Теоретическая физика», обобщающим законы экспериментальной и теоретической механики, электродинамики, квантовой механики, статистической физики, современной теории поля, теории фазовых переходов и физики и химии твердого тела на континуальные системы в конденсированных, жидких и газообразных средах с использованием основных законов вышеперечисленных дисциплин.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП бакалавриата

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Код	Формулировка	Перечень планируемых результатов
-----	--------------	----------------------------------

							ыт ан ия		
1	Общие сведения	3	2	5		1		8	Индивидуальные консультации
2	Основные понятия	3	3	5		1		8	Индивидуальные консультации
3	Основной математический аппарат	3	3	6		1		8	Задания для самостоятельной работы
4	Общие сведения о моделях синхронизации динамических систем	3	3	6		1		8	Индивидуальные консультации
5	Фрактальные размерности сложных пространств	3	3	6				8	Задания для самостоятельной работы
6	Процессы самоорганизации при наноструктурировании	3	3	6				8	Индивидуальные консультации
							0,3	4,7	Зачет
	Всего за 3 семестр		17	34		4	0,3	52,7	

Содержание разделов дисциплины:

1. Общие сведения.

1. Диссипативные, неравновесные структуры.
2. Универсальный критерий эволюции Гленсдорфа–Пригожина.
3. Справедливость критерия эволюции Гленсдорфа–Пригожина на примере явления теплопроводности.
4. Способы описания сильнонеравновесных систем. Пример – логистическое отображение. Эффективность рекламы, развитие эпидемии и др.
5. Дифференциальные модели в экологии. Модель «хищник-жертва», модель Вольтерра-Лоттки.

2. Основные понятия.

1. Фазовые пространства. Гамильтоновы системы. Теорема Лиувилля. Физическая интерпретация.
2. Линейный осциллятор в фазовом пространстве.
3. Адиабатические инварианты.
4. Переменные «действие-угол». Пример – система осциллятор.

3. Основной математический аппарат.

1. Уравнения Боголюбова-Крылова. Интегрируемые системы.
2. Расплывание фазовой капли. Пример – нелинейные маятник (часть 1, часть 2).
3. Квазипериодические колебания. Бифуркация Андронова-Хопфа.
4. Эргодическая теория и хаос. Эргодичность. Перемешивание.
5. Теория термодинамической устойчивости. Автокаталитическая реакция, брюсселятор.
6. Функция Ляпунова.

7. Нелинейные системы в фазовом пространстве.
8. Связь точечных отображений с дифференциальными уравнениями.
9. Динамические процессы: передемпфированный ангармонический осциллятор.
10. Динамика вблизи сепаратрисы. Отображение вблизи сепаратрисы.
11. Перекрывание резонансов вблизи сепаратрисы.
12. Точечные отображения. Универсальность Фейгенбаума.
13. Понятие циклов различных порядков. Устойчивые и неустойчивые циклы.
14. Бифуркация удвоения периода.
15. Точечное отображение для генератора Ван-дер-Поля. Случай квазипериодических колебаний.

4. Общие сведения о моделях синхронизации динамических систем.

1. Синхронизация в системе связанных осцилляторов. Введение. Модель Курамото. Теория среднего поля.
2. Модель Курамото. Управляющие уравнения. Параметр порядка.
3. Анализ Курамото. Моделирование. Стоящие проблемы.
4. Непрерывный предел модели Курамото.

5. Фрактальные размерности сложных пространств

1. Фракталы. Свойство самоподобия. Фрактальная размерность Хаусдорфа-Безиковича.
2. Триадная кривая Коха. Размерность подобия. Подобие и скейлинг.
3. Множества Жюлиа и множества Мандельброта.
4. Мультифрактальные меры.
5. Свертывание и «дьявольская лестница».
6. Биномиальные мультипликативный процесс. Фрактальные подмножества.
7. Показатель Липшица-Гельдера. Концентрация меры.

6. Процессы самоорганизации при наноструктурировании

1. Процессы самоорганизации при формировании наноструктур германий на кремнии. Формирование волнообразного нанорельефа при обработке поверхности потоком ионов азота, кислорода. Использование указанных процессов в современной электронике.
2. Процессы самоорганизации при электролитическом формировании наноструктур в кремнии. Экспериментальные данные по колебательным процессам в явлениях на поверхности и свойства приграничного слоя.
3. Описание процессов самоорганизации в системе электролит-полупроводник. Распределение потенциала и система уравнений для динамических переменных. Результаты решения нелинейной системы уравнений при различных значениях параметров.
4. Постановка проблемы и обоснование алгоритма компьютерного моделирования формирования пористого пространства. Масштабная инвариантность задачи.
5. Исследование закономерностей решения. Результаты компьютерного моделирования. Фрактальность границы раздела. Анализ решений.
6. Заключение и выводы. Перспективы использования закономерностей самоорганизационных процессов в различных областях физики и техники.

5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

- для формирования текстов материалов для промежуточной и текущей аттестации
- программы Microsoft Office, издательская система LaTeX;
- для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ – Автоматизированная библиотечная информационная система «БУКИ-NEXT» (АБИС «Буки-Next»).

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. М.: Мир, 2009. 464 с.
2. Кузнецов С.П. Динамический хаос. М.: Физматлит, 2006. 356 с.

б) дополнительная литература

1. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику. М.: Наука, 1992. 272 с.
2. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука, 2001. 560 с.
3. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику – от маятника до турбулентности и хаоса. М.: Наука, 1988. 367 с.
4. Биркгоф Д. Динамические системы. Изд. Удм. Университет, 1999. 408 с.
5. Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991. 254 с.
6. Мозер Ю. Интегрируемые гамильтоновы системы и спектральная теория. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 1999, 296 с.
7. Синай Я.Г. Современные проблемы эргодической теории. М.: Физматлит, 1995. 208 с.
8. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 406 с.
9. Пригожин И., Николис Г. Познание сложного. М.: Едиториал УРСС, 2003. 342 с.
10. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Наука, 1959.

914 с. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/wave.htm>

11. Кузнецова В.Л., Раков В.А. Самоорганизация в технических системах. М.: Наука, 1987. 202 с.
12. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. М.: Постмаркет, 2000. 352 с.
13. Пригожин И.Р., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986. 432 с.
14. Пригожин И.Р., Стенгерс И. Время, хаос, квант. К решению парадокса времени. М.: Едиториал УРСС, 2003. 240 с.
15. Пригожин И.Р. Неравновесная статистическая механика, М.: Мир, 1964.
16. Пайтген Х.-О., Рихтер П.Х. Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем. М.: Мир, 1993. 176 с.

в) ресурсы сети «Интернет»

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ
(http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).
2. Электронно-библиотечная система «Консультант Студента»
(<https://www.studentlibrary.ru/>)

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

Аудитории, оборудованные для проведения лекций, практических занятий и консультаций, фонд библиотеки, компьютерная техника.

Автор:

Профессор кафедры теоретической физики, д.ф.-м.н. _____ А.В. Проказников
(подпись)

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Проблемы самоорганизации наноструктур»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,
характеризующих этапы формирования компетенций**

**1.1 Контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущей аттестации**

Задания для самостоятельной работы

Самостоятельная работа № 1.

Задание 1.

Показать, что уравнение Кортевега - де Фриза

$$u_t + 6uu_x + u_{xxx} = 0$$

имеет решение в виде бегущей волны. Найти частное решение, обращающееся на бесконечности в нуль вместе со своими первой и второй производными по x .

Задание 2.

Найти решение типа уединенной бегущей волны уравнения нелинейной струны

$$u_{tt} - u_{xx} + (u^2)_{xx} + u_{xxxx} = 0.$$

Задание 3.

Эволюция поля $\psi(t, \vec{r})$ в двумерном пространстве определяется нелинейным уравнением Шредингера

$$i\psi_t + \Delta \psi + |\psi|^2 \psi = 0.$$

Доказать, что функционалы:

$$N = \int d\vec{r} |\psi|^2, \quad H = -\int d\vec{r} \left(|\nabla \psi|^2 - \frac{1}{2} |\psi|^4 \right)$$

являются интегралами движения.

Задание 4.

Эволюция поля $\psi(t, \vec{r})$ в двумерном пространстве определяется нелинейным уравнением Шредингера

$$i\psi_t + \Delta \psi + |\psi|^2 \psi = 0.$$

Доказать, что для локализованного в пространстве начального возмущения величина

$$I = \int d\vec{r} r^2 |\psi|^2,$$

удовлетворяет уравнению:

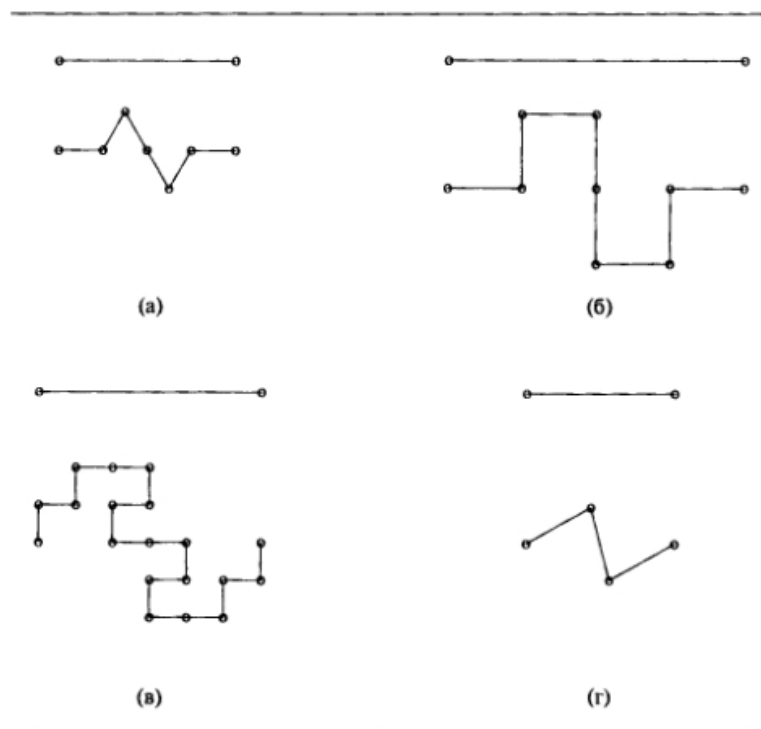
$$\frac{d^2}{dt^2} I = -8H.$$

Используя это соотношение, показать, что при положительном значении H в решении $\psi(t, \vec{r})$ за конечное время образуется сингулярность (критерий Таланова). Иными словами, существует такой момент времени t^* и точка пространства \vec{r}^* , что при $t \rightarrow t^*$, $\vec{r} \rightarrow \vec{r}^*$: $\psi(t, \vec{r}) \rightarrow \infty$

Самостоятельная работа № 2.

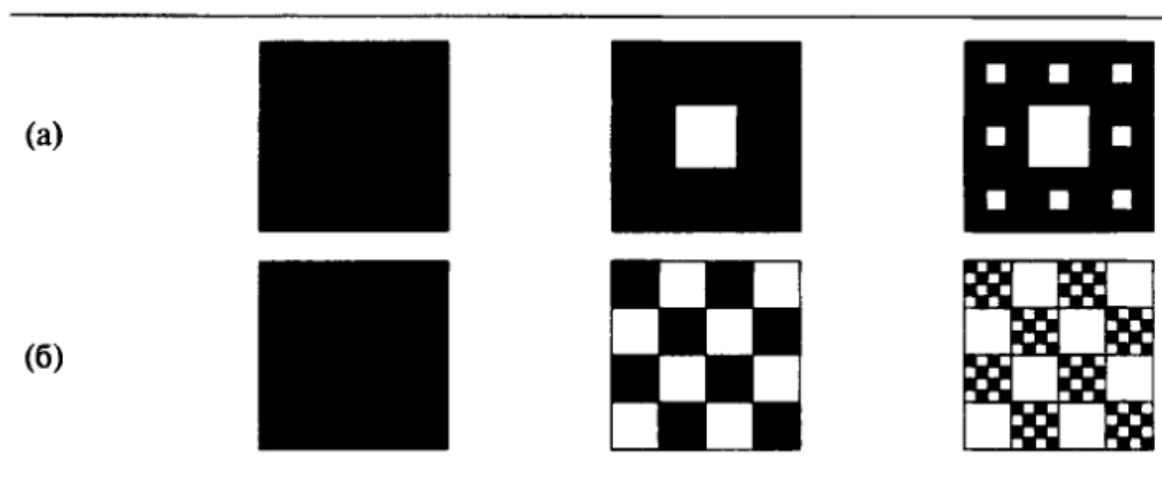
Задание 1.

Определить дробную размерность (размерность подобия) фракталов, которые строятся, как указано на следующем рисунке:



Задание 2.

Определить дробную размерность (размерность подобия) фракталов, которые строятся, как указано на следующем рисунке:



Задание 3.

Построить фрактал, отличный от фрактала на рисунке (а) к задаче 2, но той же размерности.

Задание 4.

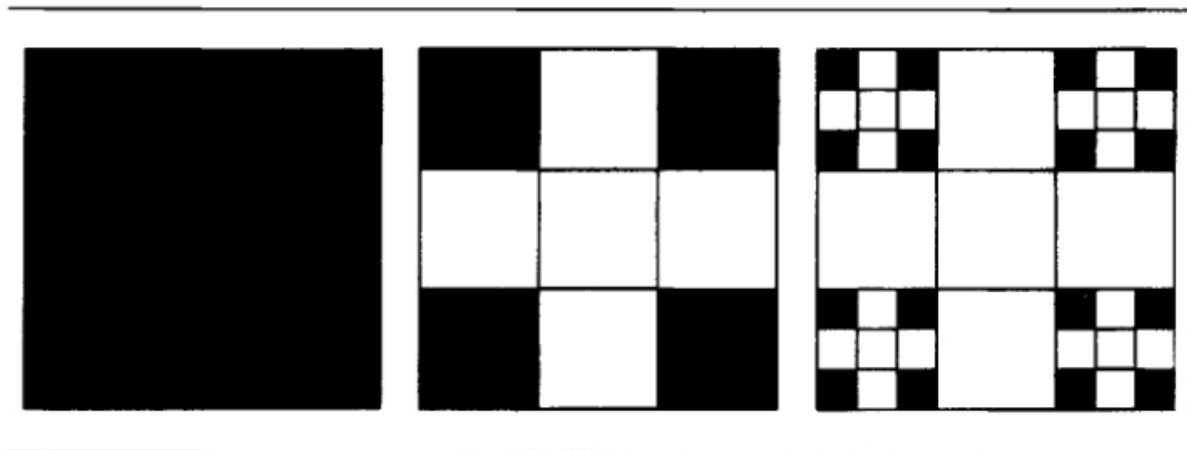
Показать, что сумма площадей треугольников, выкинутых при построении ковра Серпинского, равняется площади исходного треугольника.

Указание: воспользоваться соотношением:

$$\frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 + \dots$$

Задание 5.

Рассмотрим фрактал, который строится, как указано на рисунке:



Этот фрактал называется *пылью Серпинского*. Записать бесконечный ряд площадей частей, которые были удалены при построении. Найти сумму этого ряда.

1.2 Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Список вопросов к зачету

(зачет выставляется по результатам контрольной работы и краткого собеседования со студентом после проверки):

1. Диссипативные, неравновесные структуры.
2. Универсальный критерий эволюции Гленсдорфа–Пригожина.
3. Справедливость критерия эволюции Гленсдорфа–Пригожина на примере явления теплопроводности.
4. Способы описания сильнонеравновесных систем. Пример – логистическое отображение. Эффективность рекламы, развитие эпидемии и др.
5. Дифференциальные модели в экологии. Модель «хищник-жертва», модель Вольтерра–Лоттки.
6. Фазовые пространства. Гамильтоновы системы. Теорема Лиувилля. Физическая интерпретация.
7. Линейный осциллятор в фазовом пространстве.
8. Адиабатические инварианты.
9. Переменные «действие-угол». Пример – система осцилляторов.
10. Уравнения Боголюбова–Крылова. Интегрируемые системы.

11. Расплавление фазовой капли. Пример – нелинейные маятник (часть 1, часть 2).
12. Квазипериодические колебания. Бифуркация Андронова-Хопфа.
13. Эргодическая теория и хаос. Эргодичность. Перемешивание.
14. Теория термодинамической устойчивости. Автокаталитическая реакция, брюсселятор.
15. Функция Ляпунова.
16. Нелинейные системы в фазовом пространстве.
17. Связь точечных отображений с дифференциальными уравнениями.
18. Динамические процессы: передемпфированный ангармонический осциллятор.
19. Динамика вблизи сепаратрисы. Отображение вблизи сепаратрисы.
20. Перекрывание резонансов вблизи сепаратрисы.
21. Точечные отображения. Универсальность Фейгенбаума.
22. Понятие циклов различных порядков. Устойчивые и неустойчивые циклы.
23. Бифуркация удвоения периода.
24. Точечное отображение для генератора Ван-дер-Поля. Случай квазипериодических колебаний.
25. Синхронизация в системе связанных осцилляторов. Введение. Модель Курамото.
26. Модель Курамото. Управляющие уравнения. Параметр порядка.
27. Анализ Курамото. Моделирование. Стоящие проблемы.
28. Непрерывный предел модели Курамото.
29. Фракталы. Свойство самоподобия. Фрактальная размерность Хаусдорфа-Безиковича.
30. Триадная кривая Коха. Размерность подобия. Подобие и скейлинг.
31. Множества Жюлиа и множества Мандельброта.
32. Мультифрактальные меры.
33. Свертывание и «дьявольская лестница».
34. Биномиальные мультипликативный процесс. Фрактальные подмножества.
35. Показатель Липшица-Гельдера. Концентрация меры.
36. Процессы самоорганизации при формировании наноструктур германий на кремнии. Формирование волнообразного нанорельефа при обработке поверхности потоком ионов азота, кислорода. Использование указанных процессов в современной электронике.
37. Процессы самоорганизации при электролитическом формировании наноструктур в кремнии. Экспериментальные данные по колебательным процессам в явлениях на поверхности и свойства приграничного слоя.
38. Описание процессов самоорганизации в системе электролит-полупроводник. Распределение потенциала и система уравнений для динамических переменных. Результаты решения нелинейной системы уравнений при различных значениях параметров.
39. Постановка проблемы и обоснование алгоритма компьютерного моделирования формирования пористого пространства. Масштабная инвариантность задачи.
40. Исследование закономерностей решения. Результаты компьютерного моделирования. Фрактальность границы раздела. Анализ решений.
41. Заключение и выводы. Перспективы использования закономерностей самоорганизационных процессов в различных областях физики и техники.

2. Перечень компетенций, этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкалы оценивания

2.1 Шкала оценивания сформированности компетенций и ее описание

Оценивание уровня сформированности компетенций в процессе освоения дисциплины осуществляется по следующей трехуровневой шкале:

Пороговый уровень - предполагает отражение тех ожидаемых результатов, которые определяют минимальный набор знаний и (или) умений и (или) навыков, полученных студентом в результате освоения дисциплины. Пороговый уровень является обязательным уровнем для студента к моменту завершения им освоения данной дисциплины.

Продвинутый уровень - предполагает способность студента использовать знания, умения, навыки и (или) опыт деятельности, полученные при освоении дисциплины, для решения профессиональных задач. Продвинутый уровень превосходит пороговый уровень по нескольким существенным признакам.

Высокий уровень - предполагает способность студента использовать потенциал интегрированных знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, полученных при освоении дисциплины, для творческого решения профессиональных задач и самостоятельного поиска новых подходов в их решении путем комбинирования и использования известных способов решения применительно к конкретным условиям. Высокий уровень превосходит пороговый уровень по всем существенным признакам.

3. Методические рекомендации преподавателю по процедуре оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Целью процедуры оценивания является определение степени овладения студентом ожидаемыми результатами обучения (знаниями, умениями, навыками и (или) опытом деятельности).

Процедура оценивания степени овладения студентом ожидаемыми результатами обучения осуществляется с помощью методических материалов, представленных в разделе «Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций»

3.1 Критерии оценивания степени овладения знаниями, умениями, навыками и (или) опытом деятельности, определяющие уровни сформированности компетенций

Пороговый уровень (общие характеристики):

- владение основным объемом знаний по программе дисциплины;
- знание основной терминологии данной области знаний, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы без существенных ошибок;
- владение инструментарием дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках рабочей программы дисциплины;
- усвоение основной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины;
- знание базовых теорий, концепций и направлений по изучаемой дисциплине;
- самостоятельная работа на практических и лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, достаточный уровень культуры исполнения заданий.

Продвинутый уровень (общие характеристики):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме программы дисциплины;
- использование основной терминологии данной области знаний, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно решать сложные задачи (проблемы) в рамках рабочей программы дисциплины;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических и лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

Высокий уровень (общие характеристики):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам дисциплины;
- точное использование терминологии данной области знаний, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- безупречное владение инструментарием дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные задачи (проблемы) в рамках рабочей программы дисциплины;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- активная самостоятельная работа на практических и лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

3.2 Описание процедуры выставления оценки

В зависимости от уровня сформированности каждой компетенции по окончании освоения дисциплины студенту выставляется оценка. Для дисциплин, изучаемых в течение нескольких семестров, оценка может выставляться не только по окончании ее освоения, но и в промежуточных семестрах. Вид оценки («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно», «зачтено», «не зачтено») определяется рабочей программой дисциплины в соответствии с учебным планом.

Оценка «отлично» выставляется студенту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована на высоком уровне.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, у которого каждая компетенция

(полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована не ниже, чем на продвинутом уровне.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована не ниже, чем на пороговом уровне.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, у которого хотя бы одна компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована ниже, чем на пороговом уровне.

Оценка «зачет» выставляется студенту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована не ниже, чем на пороговом уровне.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, у которого хотя бы одна компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована ниже, чем на пороговом уровне.

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Проблемы самоорганизации наноструктур»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине «Проблемы самоорганизации наноструктур» являются лекции, причем в достаточно большом объеме. Это связано с тем, что в основе интегральных преобразований лежит особый математический аппарат, с помощью которого можно решить довольно сложные и громоздкие задачи. По большинству тем предусмотрены практические занятия, на которых происходит закрепление лекционного материала путем применения его к конкретным физическим задачам и отработка навыков работы с математическим аппаратом интегральных преобразований.

Для успешного освоения дисциплины очень важно решение достаточно большого количества задач, как в аудитории, так и самостоятельно в качестве домашних заданий. Примеры решения задач разбираются на лекциях и практических занятиях, при необходимости по наиболее трудным темам проводятся дополнительные консультации. Основная цель решения задач – помочь усвоить фундаментальные понятия и основы интегральных преобразований. Для решения всех задач необходимо знать и понимать лекционный материал. Поэтому в процессе изучения дисциплины рекомендуется регулярное повторение пройденного лекционного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз прорабатывать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях, практических занятиях или из учебной литературы.

Большое внимание должно быть уделено выполнению домашней работы. В качестве заданий для самостоятельной работы дома студентам предлагаются задачи, аналогичные разобранным на лекциях и практических занятиях или немного более сложные, которые являются результатом объединения нескольких базовых задач.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретенных практических навыков работы с аппаратом интегральных преобразований и проведения вычислений, в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в виде двух контрольных работ и самостоятельных работ (в аудитории) в течении семестра изучения дисциплины. Также проводятся консультации (при необходимости) по разбору заданий для самостоятельной работы, которые вызвали затруднения.

В конце семестра изучения дисциплины студенты сдают зачет. Зачет по итогам первого семестра выставляется по итогам самостоятельных работ и краткого собеседования по их результатам.

Освоить вопросы, излагаемые в процессе изучения дисциплины «Проблемы самоорганизации наноструктур», самостоятельно студенту достаточно сложно. Это связано со сложностью изучаемого материала и большим объемом курса. Поэтому посещение всех аудиторных занятий является совершенно необходимым. Без упорных и регулярных занятий в течение семестра сдать зачет по итогам изучения дисциплины студенту практически невозможно.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине

Для самостоятельной работы особенно рекомендуется использовать учебную литературу, с подробно разобранными решениями задач по интегральным преобразованиям. К таким можно отнести следующие издания:

1. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. М.: Мир, 2009. 464 с.

2. Кузнецов С.П. Динамический хаос. М.: Физматлит, 2006. 356 с.
3. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику. М.: Наука, 1992. 272 с.
4. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука, 2001. 560 с.
5. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику – от маятника до турбулентности и хаоса. М.: Наука, 1988. 367 с.
6. Биркгоф Д. Динамические системы. Изд. Удм. Университет, 1999. 408 с.
7. Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991. 254 с.
8. Мозер Ю. Интегрируемые гамильтоновы системы и спектральная теория. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 1999, 296 с.
9. Синай Я.Г. Современные проблемы эргодической теории. М.: Физматлит, 1995. 208 с.
10. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 406 с.
11. Пригожин И., Николис Г. Познание сложного. М.: Едиториал УРСС, 2003. 342 с.
12. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Наука, 1959. 914 с.
13. Кузнецова В.Л., Раков В.А. Самоорганизация в технических системах. М.: Наука, 1987. 202 с.
14. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. М.: Постмаркет, 2000. 352 с.
15. Пригожин И.Р., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986. 432 с.
16. Пригожин И.Р., Стенгерс И. Время, хаос, квант. К решению парадокса времени. М.: Едиториал УРСС, 2003. 240 с.
17. Пайтген Х.-О., Рихтер П.Х. Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем. М.: Мир, 1993. 176 с.

Также для подбора учебной литературы рекомендуется использовать широкий спектр интернет-ресурсов:

Электронно-библиотечная система «Консультант Студента» (<https://www.studentlibrary.ru/>) - электронная библиотека, обеспечивающая доступ к наиболее востребованным материалам-первоисточникам, учебной, научной и художественной литературе ведущих издательств (*регистрация в электронной библиотеке – только в сети университета. После регистрации работа с системой возможна с любой точки доступа в Internet.).

- **Электронная библиотека** – является крупнейшим в российском сегменте Интернета хранилищем полнотекстовых версий учебных, учебно-методических и научных материалов с открытым доступом. Библиотека содержит более 30 000 материалов, источниками которых являются более трехсот российских вузов и других образовательных и научных учреждений. Основу наполнения библиотеки составляют электронные версии учебно-методических материалов, подготовленные в вузах, прошедшие рецензирование и рекомендованные к использованию советами факультетов, учебно-методическими комиссиями и другими вузовскими структурами, осуществляющими контроль учебно-методической деятельности.

- **Интегральный каталог образовательных интернет-ресурсов** содержит представленные в стандартизированной форме метаданные внешних ресурсов, а также содержит описания полнотекстовых публикаций электронной библиотеки. Общий объем каталога превышает 56 000 метаописаний (из них около 25 000 - внешние ресурсы). Расширенный поиск в "Каталоге" осуществляется по названию, автору, аннотации, ключевым словам с возможной фильтрацией по тематике, предмету, типу материала, уровню образования и аудитории.

- **Избранное.** В разделе представлены подборки наиболее содержательных и

полезных, по мнению редакции, интернет-ресурсов для общего и профессионального образования.

- **Библиотеки вузов.** Раздел содержит подборки сайтов вузовских библиотек, электронных каталогов библиотек вузов и полнотекстовых электронных библиотек вузов.

Для самостоятельного подбора литературы в библиотеке ЯрГУ рекомендуется использовать:

1. Личный кабинет (http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_login.php) дает возможность получения on-line доступа к списку выданной в автоматизированном режиме литературы, просмотра и копирования электронных версий изданий сотрудников университета (учеб. и метод. пособия, тексты лекций и т.д.) Для работы в «Личном кабинете» необходимо зайти на сайт Научной библиотеки ЯрГУ с любой точки, имеющей доступ в Internet, в пункт меню «Электронный каталог»; пройти процедуру авторизации, выбрав вкладку «Авторизация», и заполнить представленные поля информации.

2. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ (http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php) содержит более 2500 полных текстов учебных и учебно-методических материалов по основным изучаемым дисциплинам, изданных в университете. Доступ в сети университета, либо по логину/пароллю.

3. Электронная картотека «Книгообеспеченность» (http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_bookreq_find.php) раскрывает учебный фонд научной библиотеки ЯрГУ, предоставляет оперативную информацию о состоянии книгообеспеченности дисциплин основной и дополнительной литературой, а также цикла дисциплин и специальностей. Электронная картотека «Книгообеспеченность» доступна в сети университета и через Личный кабинет.