

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Саровский физико-технический институт -
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ:

Декан ФТФ, член корреспондент
РАН, д.ф.-м.н.

_____ А.К. Чернышев
« ____ » _____ 2023г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Теория колебаний

наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность)	<u>03.04.01 Прикладные математика и физика</u>
Наименование образовательной программы	<u>Физика живых систем</u>
Квалификация (степень) выпускника	<u>магистр</u>
Форма обучения	<u>очная</u>

Программа одобрена на заседании кафедры

Зав. кафедрой ТФ,

протокол № от 2023 г.

« ____ » _____ 2023 г.

г. Саров, 2023 г.

Программа переутверждена на 202____/202____ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202____/202____ учебный год.

Заведующий кафедрой ТФ,

Программа переутверждена на 202____/202____ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202____/202____ учебный год.

Заведующий кафедрой ТФ,

Программа переутверждена на 202____/202____ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202____/202____ учебный год.

Заведующий кафедрой ТФ,

Программа переутверждена на 202____/202____ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202____/202____ учебный год.

Заведующий кафедрой ТФ,

Программа переутверждена на 202____/202____ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ на 202____/202____ учебный год.

Заведующий кафедрой ТФ,

Семестр	В форме практической подготовки	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	КР/ КП	Форма(ы) контроля, экз./зач./ЗСО/
2	16	5	180	32	16	-	96	36	Экз.
ИТОГО	16	5	180	32	16	-	96	36	Экз.

АННОТАЦИЯ

Дисциплина "Теория колебаний" является основой профессиональной подготовки специалистов-биофизиков, поскольку колебательные процессы широко распространены в природе и находят применение во многих практических приложениях. В курсе рассматриваются наиболее общие закономерности, имеющие место в колебательных системах различной сложности. Изучаются линейные, нелинейные и автоколебательные системы с постоянными и переменными параметрами, имеющие разное число степеней свободы. При этом в каждом отдельном случае используются те из известных методов теоретического анализа, которые наиболее адекватны данной задаче. Во всех случаях теоретический анализ сопровождается качественным физическим и биологически объяснением особенностей колебательных процессов.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели курса – изучение основных моделей колебательно-волновых явлений и процессов, их приложение к конкретным физическим ситуациям и развитие общих методов исследования подобных явлений, независимо от их конкретной природы.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- знать основные методы решения нелинейных дифференциальных уравнений, качественные методы исследования колебательных систем, а также основы теории устойчивости;
- уметь применять методы теории линейных систем для анализа колебаний в нелинейных системах;
- владеть приложениями теории колебаний в биофизике и биохимии.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина «Теория колебаний» относится к вариативной части рабочего учебного плана программы «Физика живых систем» по направлению 03.04.01 «Прикладные математика и физика».

Для успешного освоения дисциплины «Теория колебаний» необходимы компетенции, формируемые в результате освоения следующих дисциплин:

- Дифференциальные уравнения
- Вычислительная математика

- Общая физика
- Химия

Изучение дисциплины «Теория колебаний» необходимо для успешного освоения следующих дисциплин:

- Математическое моделирование биологических процессов
- Молекулярная биология

ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Профессиональные компетенции (ПК)

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
Тип задачи профессиональной деятельности: научно-исследовательский			
Проведение научных и аналитических исследований в области биофизики по отдельным разделам темы в рамках предметной области по профилю специализации	Модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого	ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области в соответствии с целями программы специализированной подготовки магистра	З-ПК-3 Знать основные методы исследований, принципы работы приборов и установок в избранной предметной области У-ПК-3 Уметь выбирать необходимые технические средства для проведения экспериментальных исследований в избранной предметной области, обрабатывать полученные экспериментальные результаты В-ПК-3 Владеть навыками работы с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в из-

	производства, здравоохранения		бранной предметной области
--	----------------------------------	--	----------------------------

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ*

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ неде- ли	Виды учебной работы					
			Лекции	Практ. заня- тия/ семинары	Лаб. работы	СРС	Текущий контроль (форма)*	Макси- мальный балл (см. п. 5.3)
Семестр № 2								
1.	Название раз- дела							
1.1.	Математиче- ские модели колебательных систем	1	2	2		10		
1.2.	Динамическая модель устой- чивости	2-4	6	3		15	УО	
1.3	Метод точеч- ных отображе- ний	5-6	4	2		15	УО	
Рубежный контроль		7	Контр.					20
2.	Название раз- дела							
2.1.	Квазилиней- ные динамиче- ские системы	8-9	4	2		15		

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	№ неде- ли	Виды учебной работы					
			Лекции	Практ. заня- тия/ семинары	Лаб. работы	СРС	Текущий контроль (форма)*	Макси- мальный балл (см. п. 5.3)
2.2.	Разрывные ко- лебания и дифференци- альные урав- нения с малы- ми параметра- ми при стар- ших производ- ных	10-11	4	3		15	УО	
2.3	Качественная теория много- мерных дина- мических си- стем	12-13	4	2		13	УО	
2.4	Синхронизация и стохастич- ность	14-15	4	2		13	УО	
Рубежный контроль		16	Контр.					25
Промежуточная атте- стация		Экзамен					36	0 - 50
Посещаемость								5
Итого:								100

*Сокращение наименований форм текущего, рубежного и промежуточного контроля:

УО – устный опрос

Контр. – контрольная работа

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

Лекционный курс

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	Название раздела 1	
1.1.	Математические модели колебательных систем	Понятие динамической системы. Классификация динамических систем. Автоколебательные системы. Типовые нелинейности. Фазовый портрет динамической системы. Понятие устойчивости движения. Системы первого порядка. Консервативные системы второго порядка. Особые точки на фазовой плоскости. Классификация простых особых точек. Параметрический портрет линейной системы на плоскости. Классификация положений равновесия в n-мерном фазовом пространстве.
1.2.	Динамическая модель устойчивости	Математическая модель локальной устойчивости. Устойчивость состояний равновесия. Критерии линейной устойчивости. Прямой метод Ляпунова исследования устойчивости. Исследование устойчивости негрубого положения равновесия прямым методом Ляпунова. Предельные циклы и автоколебания. Фазовый портрет грубой динамической системы второго порядка
1.3.	Метод точечных отображений	Сведение рассмотрения поведения фазовых траекторий к точечному отображению прямой в прямую и плоскости в плоскость. Динамические системы, описываемые дифференциальными уравнениями с разрывной правой частью. Скользящие движения. Точечное отображение сдвига.
2.	Название раздела 2	
2.1.	Квазилинейные динамические системы	Автономные динамические системы с одной степенью свободы. Автономные динамические системы с двумя степенями свободы.
2.2.	Разрывные колебания и дифференциальные уравнения с малыми параметрами при старших производных	Рассмотрение вырожденных систем с помощью гипотезы скачка. Уточнение математической модели. Быстрые и медленные движения. Теория бифуркаций. Динамика бифуркации Хопфа в непрерывных системах. Бифуркация удвоения периода. Бифуркация рождения тора.
2.3.	Качественная теория	Структура разбиения фазового пространства. Локальное изуче-

	многомерных динамических систем	ние состояний равновесия и периодических движений. Динамические системы с простейшими установившимися движениями. Метод вспомогательных отображений. Гомоклинические структуры.
2.4.	Синхронизация и стохастичность	Синхронизация, десинхронизация и многопериодическая стохастичность. Притягивающие гомоклинические структуры и стохастические колебания. Неавтономные системы, близкие к автономным.

Практические/семинарские занятия

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	Название раздела 1.	
1.1.	Математические модели колебательных систем	Системы с полной диссипацией энергии. Свойство грубости динамической системы. Бифуркации динамических систем второго порядка. Осциллятор с заданной энергией. Линейный осциллятор с вязким трением. Динамика химического реактора.
1.2.	Динамическая модель устойчивости	Геометрическая интерпретация свойств функций Ляпунова первого рода двух переменных. Теоремы Ляпунова об устойчивости. Индексы Коши. Критерий Рауса. Критерий Гурвица.
1.3.	Метод точечных отображений	Диаграмма и "лестница" Ламерея. Теорема Кенигса. Модели одномерных точечных отображений. Взаимно-неоднозначные точечные отображения. Странные аттракторы в трехмерных системах. Локальная теория многомерных отображений.
2.	Название раздела 2.	
2.1.	Квазилинейные динамические системы	Неавтономные квазилинейные динамические системы с одной степенью свободы. Неавтономные динамические системы с двумя степенями свободы.
2.2.	Разрывные колебания и дифференциальные уравнения с малыми параметрами при старших производных	Общие принципы получения бифуркационной диаграммы. Структура центрального многообразия. Сведение динамической системы на центральное многообразие. Принцип подчинения.
2.3.	Качественная теория многомерных динамических систем	Преобразование прямой в прямую. Отображение окружности в окружность. Критерии существования неподвижной точки многомерного точечного отображения.
2.4.	Синхронизация и стоха-	Синхронизмы разных порядков. Стохастический синхронизм.

	стичность	Бифуркации синхронизмов. Бифуркация от сепаратрисы седла.
--	------------------	---

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

5.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Раздел	Темы занятий	Компетенция	Индикаторы освоения	Текущий контроль, неделя
Семестр 6				
Раздел 1	1.1. Математические модели колебательных систем	ПК-3	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	
	1.2. Динамическая модель устойчивости			УО - 3
	1.3. Метод точечных отображений			УО - 5
Рубежный контроль		ПК-3	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	Контр -7
Раздел 2	2.1. Квазилинейные динамические системы	ПК-3	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	
	2.2. Разрывные колебания и дифференциальные уравнения с малыми параметрами при старших производных			УО – 11
	2.3. Качественная теория многомерных динамических систем			УО – 13
	2.4. Синхронизация и стохастичность			УО – 15

Рубежный контроль	ПК-3	3-ПК-3;У-ПК-3; В-ПК-3	Контр – 16
Промежуточная аттестация	ПК-3	3-ПК-3;У-ПК-3; В-ПК-3	Экзамен

5.2. Примерные контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

5.2.1. Оценочные средства для текущего контроля (УО)

1. Классификация динамических систем.
2. Автоколебательные системы.
3. Типовые нелинейности.
4. Фазовый портрет динамической системы.
5. Понятие устойчивости движения.
6. Системы первого порядка.
7. Консервативные системы второго порядка.
8. Особые точки на фазовой плоскости.
9. Классификация простых особых точек.
10. Системы с полной диссипацией энергии.
11. Свойство грубости динамической системы.
12. Бифуркации динамических систем второго порядка.
13. Устойчивость состояний равновесия.
14. Критерии линейной устойчивости.
15. Прямой метод Ляпунова исследования устойчивости.
16. Геометрическая интерпретация свойств функций Ляпунова первого рода двух переменных.
17. Теоремы Ляпунова об устойчивости.
18. Индексы Коши.
19. Критерий Рауса.
20. Критерий Гурвица.
21. Метод точечных отображений.
22. Диаграмма и "лестница" Ламерея.

23. Теорема Кенигса.
24. Быстрые и медленные движения.
25. Бифуркация Хопфа.
26. Гомоклинические структуры.
27. Синхронизация и стохастичность.

5.2.2. Оценочные средства для рубежного контроля (вопросы для письменной контрольной работы)

1. Понятие динамической системы. Классификация динамических систем. Автоколебательные системы. Типовые нелинейности.
2. Фазовый портрет динамической системы. Понятие устойчивости движения. Системы первого порядка. Консервативные системы второго порядка.
3. Особые точки на фазовой плоскости. Классификация простых особых точек. Параметрический портрет линейной системы на плоскости.
4. Системы с полной диссипацией энергии. Свойство грубости динамической системы. Бифуркации динамических систем второго порядка.
5. Математическая модель локальной устойчивости. Устойчивость состояний равновесия. Критерии линейной устойчивости.
6. Прямой метод Ляпунова исследования устойчивости. Исследование устойчивости негрубого положения равновесия прямым методом Ляпунова.
7. Предельные циклы и автоколебания. Геометрическая интерпретация свойств функций Ляпунова первого рода двух переменных.
8. Теоремы Ляпунова об устойчивости. Индексы Коши. Критерий Рауса. Критерий Гурвица.
9. Сведение рассмотрения поведения фазовых траекторий к точечному отображению прямой в прямую и плоскости в плоскость.
10. Динамические системы, описываемые дифференциальными уравнениями с разрывной правой частью.
11. Диаграмма и "лестница" Ламерея.
12. Модели одномерных точечных отображений. Взаимно-неоднозначные точечные отображения.
13. Автономные динамические системы с одной степенью свободы.
14. Автономные динамические системы с двумя степенями свободы.
15. Разрывные колебания и дифференциальные уравнения с малыми параметрами при старших производных.

16. Быстрые и медленные движения. Теория бифуркаций. Динамика бифуркации Хопфа в непрерывных системах. Бифуркация удвоения периода. Бифуркация рождения тора.
17. Общие принципы получения бифуркационной диаграммы. Структура центрального многообразия. Принцип подчинения.
18. Структура разбиения фазового пространства. Локальное изучение состояний равновесия и периодических движений. Динамические системы с простейшими установившимися движениями. Метод вспомогательных отображений. Гомоклинические структуры.
19. Преобразование прямой в прямую. Отображение окружности в окружность.
20. Синхронизация, десинхронизация и многопериодическая стохастичность. Синхронизмы разных порядков. Стохастический синхронизм. Бифуркации синхронизмов.

5.2.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации (примерные вопросы к экзамену)

1. Математические модели колебательных систем. Понятие динамической системы. Классификация динамических систем. Автоколебательные системы. Типовые нелинейности.
2. Фазовый портрет динамической системы. Понятие устойчивости движения. Системы первого порядка. Консервативные системы второго порядка.
3. Особые точки на фазовой плоскости. Классификация простых особых точек. Параметрический портрет линейной системы на плоскости. Классификация положений равновесия в n -мерном фазовом пространстве.
4. Системы с полной диссипацией энергии. Свойство грубости динамической системы. Бифуркации динамических систем второго порядка.
5. Осциллятор с заданной энергией.
6. Линейный осциллятор с вязким трением.
7. Динамика химического реактора.
8. Математическая модель локальной устойчивости. Устойчивость состояний равновесия. Критерии линейной устойчивости.
9. Прямой метод Ляпунова исследования устойчивости. Исследование устойчивости негрубого положения равновесия прямым методом Ляпунова.
10. Предельные циклы и автоколебания. Фазовый портрет грубой динамической системы второго порядка.

11. Геометрическая интерпретация свойств функций Ляпунова первого рода двух переменных. Теоремы Ляпунова об устойчивости.
12. Индексы Коши. Критерий Рауса. Критерий Гурвица.
13. Метод точечных отображений. Сведение рассмотрения поведения фазовых траекторий к точечному отображению прямой в прямую и плоскости в плоскость.
14. Динамические системы, описываемые дифференциальными уравнениями с разрывной правой частью. Скользящие движения. Точечное отображение сдвига.
15. Диаграмма и "лестница" Ламерея. Теорема Кенигса.
16. Модели одномерных точечных отображений. Взаимно-неоднозначные точечные отображения. Странные аттракторы в трехмерных системах. Локальная теория многомерных отображений.
17. Квазилинейные динамические системы. Автономные динамические системы с одной степенью свободы.
18. Автономные динамические системы с двумя степенями свободы.
19. Неавтономные квазилинейные динамические системы с одной степенью свободы.
20. Неавтономные динамические системы с двумя степенями свободы.
21. Разрывные колебания и дифференциальные уравнения с малыми параметрами при старших производных. Рассмотрение вырожденных систем с помощью гипотезы скачка. Уточнение математической модели. Быстрые и медленные движения.
22. Теория бифуркаций. Динамика бифуркации Хопфа в непрерывных системах. Бифуркация удвоения периода. Бифуркация рождения тора.
23. Общие принципы получения бифуркационной диаграммы. Структура центрального многообразия. Сведение динамической системы на центральное многообразие. Принцип подчинения.
24. Качественная теория многомерных динамических систем. Структура разбиения фазового пространства. Локальное изучение состояний равновесия и периодических движений.
25. Динамические системы с простейшими установившимися движениями. Метод вспомогательных отображений. Гомоклинические структуры.
26. Преобразование прямой в прямую. Отображение окружности в окружность. Критерии существования неподвижной точки многомерного точечного отображения.
27. Синхронизация, десинхронизация и многопериодическая стохастичность. Притягивающие гомоклинические структуры и стохастические колебания. Неавтономные системы, близкие к автономным.

28. Синхронизмы разных порядков. Стохастический синхронизм. Бифуркации синхронизмов. Бифуркация от сепаратрисы седла.

5.3. Шкалы оценки образовательных достижений

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется

	<i>тельно»</i>		ется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.
--	----------------	--	--

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ЛИТЕРАТУРА:

1. Пелюхова Е.Б., Фрадкин Э.Е. Синергетика в физических процессах. Самоорганизация физических систем. СПб, "Лань", 2011.
2. Бабаков И.М. Теория колебаний. Гос. изд. технико-теоретической литературы. Москва, 1958.
3. Бутенин Н.В., Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А. Введение в теорию нелинейных колебаний. Москва, "Наука", 1987.

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При чтении лекционного материала используется электронное сопровождение курса: справочно-иллюстративный материал воспроизводится и озвучивается в аудитории с использованием проектора и переносного компьютера в реальном времени.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с ОС НИЯУ МИФИ (ФГОС) и учебным планом основной образовательной программы (программ).

Автор(ы): Докукина И.В., к. ф.-м.н., доцент кафедры высшей математики

Рецензент(ы):