

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

**Физический факультет
Кафедра физики ускорителей**



**Рабочая программа дисциплины
НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА ПУЧКОВ**

Направление подготовки: **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): **Физика. 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 ра- бота, не включая пе- риод сессии	Самостоятельная подготовка к проме- жуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные за- нятия			Консультации	Зачет	Дифференциро- ванный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	72	32			18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н.,

И.Б. Логашенко

Новосибирск, 2026

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

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

Дисциплина «Нелинейная динамика пучков» предназначена для обучения студентов магистратуры, которые будут в своей последующей работе использовать полученные знания об устройстве и принципах работы современных ускорителей, накопителей заряженных частиц и коллайдеров, для создания и обслуживания комплексов таких установок. Дисциплина «Нелинейная динамика пучков» имеет своей целью дать профессионально подготовленным физикам на доступном им высоком уровне актуальную информацию о технологиях создания, физических характеристиках и принципах работы компонентов современных ускорительно-накопительных комплексов.

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал лекционного курса увязывается с современными исследованиями в области физики ускорителей, накопителей и коллайдеров. При изучении курса используются материалы, изложенные в профессиональных изданиях: научных статьях, сборниках трудов конференций, монографиях ведущих специалистов.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать теоретические методы, возможности и модели нелинейной динамики в приложении к ускорителям, иметь представление об основных нелинейных явлениях, влияющих на динамику движения пучков заряженных частиц в современных ускорителях, накопителях заряженных частиц и коллайдерах, знать современные методы расчета основных характеристик нелинейного движения пучков в таких машинах. Уметь проводить расчёты основных характеристик нелинейного движения пучков в современных ускорителях, коллайдерах и накопителях заряженных частиц, использовать полученные навыки при создании современных ускорительно-накопительных комплексов и программного обеспечения для сопровождения их работы. Владеть численными и аналитическими методами расчёта нелинейной динамики в современных ускорительных установках.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Нелинейная динамика пучков» реализуется для магистрантов, обучающихся по направлению «03.04.02 Физика». Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики ускорителей. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким физическим дисциплинам как электродинамика, электронная оптика и физика пучков, а также по математике (основы математического анализа, линейная алгебра и геометрия). Дисциплина должна предшествовать выполнению выпускной квалификационной работы т.к. дает магистранту необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения исследований в области физики ускорителей в рамках ее подготовки.

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.

Трудоёмкость дисциплины составляет: 2 зачётная единица, 72 часа.

Форма промежуточной аттестации: 2/4 семестр – экзамен.

№		Вид деятельности	Семестр
			2/4
1		Лекции, ч	32
2		Практические занятия, ч	-
3		Лабораторные занятия, ч	-
4		Занятия в контактной форме, ч из них	36
5		аудиторных занятий, ч	32
6		в электронной форме, ч	-
7		консультаций, час.	2
8		промежуточная аттестация, ч	2
9		Самостоятельная работа, час.	36
10		Всего, ч	72

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

Дисциплина «Нелинейная динамика пучков» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 1 –ом и 2-м курсе магистратуры физического факультета НГУ. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачётных единицы, 72 академических часа.

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

Раздел 1. Невозмущенные одномерные колебания. (2 часа)

Невозмущенные одномерные колебания частиц, гамильтонов формализм, симплектичность, интегралы движения невозмущенных колебаний.

Раздел 2. Связанные поперечные колебания. (2 часа)

Связанные колебания, резонансы связи.

Раздел 3. Теория возмущений. (4 часа).

Теорема Лиувилля, теория возмущений, метод усреднения.

Раздел 4. Сдвиги частот. (4 часа).

Действие секступольных и октупольных полей на движение частиц в накопителе, вычисление сдвигов частот.

Раздел 5. Изолированный нелинейный резонанс (4 часа).

Изолированный нелинейный резонанс, вычисление параметров сепаратрисс, резонансных кривых, неустойчивость фазовых траекторий, динамическая апертура.

Раздел 6. Прохождение резонансов, синхробетатронные резонансы. (4 часа).

Влияние модуляций, прохождение резонансов, синхробетатронные резонансы, перекрытие резонансов.

Раздел 7. Некогерентные эффекты встречи (4 часа).

Некогерентные эффекты встречи, нелинейные резонансы бетатронных колебаний, вычисление параметров сепаратрисс, ограничение светимости за счет накопления частиц в сепаратриссах.

Раздел 8. Пересечение под углом. (4 часа).**Раздел 9. Пространственный заряд. (4 часа).**

Пространственный заряд. Кулоновский сдвиг частоты, резонансы за счет полей пространственного заряда.

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Решение задач	16
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	2
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. А.А. Коломенский, А.Н. Лебедев. Теория циклических ускорителей. ФИЗМАТГИЗ, 1962. (13 экз.)
2. Г.М. Заславский, Р.З. Сагдеев. Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса / Г. М. Заславский, Р. З. Сагдеев Москва: Наука, 1988 368 с., [2] л. ил. : ил. ; 27 см. ISBN 5-02-013822-3 (4 экз.)
3. Чириков, Борис Валерианович (1928-2008) Нелинейный резонанс: учебное пособие : [для студентов старших курсов, аспирантов вузов] / Б.В. Чириков ; М-во высшего и сред. спец. образования РСФСР, Новосиб. гос. ун-т Новосибирск : Редакционно-издательский отдел НГУ, 1977 80, [1] с. : ил ; 20 см. (2 экз.)

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

1. Д. В. Пестриков. Нелинейные эффекты в динамике циркулирующих пучков. Учебное пособие, НГУ, 2002.
2. Е.Б. Левичев, Лекции по нелинейной динамике частиц. Новосибирск: НГТУ, 2009

Самостоятельная работа студентов поддерживается учебными пособиями:

<http://accel.inp.nsk.su/refs/accel-literature.html>

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

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

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

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

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

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

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

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

Для реализации дисциплины «Нелинейная динамика частиц» используются специальные помещения:

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

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

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

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

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным

программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

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

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости осуществляется в ходе семестра путем проведения коротких самостоятельных работ с решением типовых задач.

Промежуточная аттестация

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

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

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

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать теоретические методы, возможности и модели нелинейной динамики в приложении к ускорителям, иметь представление об основных нелинейных явлениях, влияющих на динамику движения пучков заряженных частиц в современных ускорителях, накопителях заряженных частиц и коллайдерах, знать современные методы расчета основных характеристик нелинейного движения пучков в таких машинах.	Проведение самостоятельных работ, экзамен.

ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Уметь проводить расчёты основных характеристик нелинейного движения пучков в современных ускорителях, коллайдерах и накопителях заряженных частиц, использовать полученные навыки при создании современных ускорительно-накопительных комплексов и программного обеспечения для сопровождения их работы. Владеть численными и аналитическими методами расчёта нелинейной динамики в современных ускорительных установках.	Проведение самостоятельных работ, экзамен.
---	---	---

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Нелинейная динамика пучков».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Шкала оценивания
<u>Дифференцированный зачет:</u> – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся мог допустить не принципиальные неточности.	<i>Отлично</i>
<u>Дифференцированный зачет:</u> – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок, – наличие полных ответов на дополнительные вопросы с возможным присутствием ошибок.	<i>Хорошо</i>
<u>Дифференцированный зачет:</u> – самостоятельность и осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, а также затруднений при формулировке собственных суждений, – корректность применения терминов и понятий, с множественными ошибками, – наличие неполных и/или содержащих существенные ошибки ответов на дополнительные вопросы.	<i>Удовлетворительно</i>

<u>Дифференцированный зачет:</u> – отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, – отсутствие ответов на дополнительные вопросы.	<i>Неудовлетворительно</i>
--	----------------------------

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

Задачи для самостоятельного решения

1. Частота осциллятора изменяется от времени как $\omega = \omega_0 e^{\lambda t}$. Вычислить адиабатический инвариант, нарисовать фазовые траектории частиц.
2. Осциллятор Ван дер Поля: $x'' + \gamma x' \left(\frac{x^2}{a^2} - 1 \right) + \omega^2 x = 0$. Используя метод усреднения найти изменение действия, точки равновесия, построить и исследовать фазовые траектории.
3. Двумерный осциллятор в магнитном поле.
4. Рассчитать сдвиги частот в случае секступольного возмущения во втором порядке теории возмущения.
5. Найдите зависимость роста амплитуды от времени в случае параметрического резонанса.
6. Исследуйте резонансные возмущения октуполей, резонанс $1/4$.
7. Пучок длиной L производит вторичные частицы, например, при ионизации остаточного газа. Предполагая, что число вторичных частиц пропорционально плотности заряда пучка, рассчитайте зависимость сдвига частоты бетатронных колебаний вдоль пучка.
8. Вычислить сдвиги частот в схеме с компенсированными встречными пучками.

Примеры вопросов к экзамену

1. Теорема Лиувилля. Теорема о сумме декрементов.
2. Невозмущенные бетатронные колебания. Симплектичность. Переменные действие-фаза.
3. Теория возмущений. Метод усреднения.
4. Линейные связанные колебания. Резонансы связи.
5. Действие секступольных и октупольных полей на движение частиц в накопителе.
6. Нелинейный изолированный резонанс, резонансная кривая, сепаратриса.
7. Влияние трения на движение вблизи нелинейного изолированного резонанса.
8. Резонансные возмущения секступолями.
9. Пространственный заряд, кулоновский сдвиг частоты.
10. Резонансы за счет полей пространственного заряда.
11. Пересечения под углом.
12. Протяженные сгустки.
13. Встречные пучки, самосогласованные β -функции.
14. Светимость установки со встречными пучками.
15. Встречные пучки, сдвиг частоты.
16. Встречные пучки, нелинейные резонансы.

Пример билета на экзамен

1. Теорема Лиувилля. Теорема о сумме декрементов.
2. Пространственный заряд, кулоновский сдвиг частоты.
3. Вычислить сдвиги частот в схеме с компенсированными встречными пучками.

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.