Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра электрофизических установок и ускорителей

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН ФТФ
к.ф-м.н. Корель И. И.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ПРОСТОЙ НЕКВАЛИФИЦИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
31.08.2026
Владелец: к.ф-м.н. Корель И. И.
Срок действия: не ограничен
Адрес хранения электронного документа:
https://www.nstu.ru/university/info/sveden/education

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
# Ускорители заряженных частиц

Образовательная программа: 03.03.02 Физика, профиль: Биофизика и биотехнологии

Курс: 4, семестр : 8

Физико-технический факультет,

| | | Семестр |
|---|---|---|
| № | Вид деятельности | 8 |
| 1 | Всего зачетных единиц (кредитов) | 3 |
| 2 | Всего часов | 108 |
| 3 | Всего занятий в контактной форме, час. | 90 |
| 4 | Лекции, час. | 30 |
| 5 | Практические занятия, час. | 14 |
| 6 | Лабораторные занятия, час. | 0 |
| 7 | из них в активной и интерактивной форме, час. | 0 |
| 8 | из них практической подготовки, час. | 12 |
| 9 | Аттестация, час. | 2 |
| 10 | Консультации, час. | 44 |
| 11 | Самостоятельная работа, час. | 18 |
| 12 | Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ(Р)/реферат, подготовка к контрольной работе) | контр. |
| 13 | Вид аттестации | Э |

Новосибирск 2026

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 03.03.02 Физика

ФГОС введен в действие приказом №891 от 07.08.2020 г. , дата утверждения: 24.08.2020 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, формируемая участниками образовательных отношений

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 03.03.02 Физика

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ЭФУиУ, 31.08.2026

Утверждена на совете физико-технического факультета, протокол № 6 от 31.08.2026

Заведующий кафедрой:

с.н.с., д.ф-м.н. Бурдаков А. В.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Бурдаков А. В.

## 1. Внешние требования

Таблица 1.1

| Группа | Компетенции |
|---|---|
| | Индикаторы достижения компетенций |
| Профессиональные компетенции | ПК-2.В/НА Способность проводить фундаментальные и прикладные исследования в области биофизики |
| | ПК-2.В/НА. 3 Умеет организовывать и проводить теоретические и практические занятия в области биофизики и биотехнологий |

## 2. Требования НГТУ к планируемым результатам обучения, соотнесенным с индикаторами достижения компетенций

Таблица 2.1

| Индикаторы достижения компетенций | Формы организации занятий |
|---|---|
| Результаты обучения | |
| **ПК-2.В/НА. 3 Умеет организовывать и проводить теоретические и практические занятия в области биофизики и биотехнологий** | |
| уметь проводить оценку декрементов и времен затухания из-за синхротронного излучения, учет квантовых флуктуаций, оценку фазового объема пучка и его размеров, оценку светимости встречных пучков и учет факторов, ограничивающих светимость, вывод формулы для параметра пространственного заряда, оценку эффективности инжекции пучка частиц в циклический ускоритель, оценку времени стохастического и электронного охлаждения пучка тяжелых частиц, оценку когерентного сдвига бетатронных частот из-за пространственного заряда пучка. Влияние фактора нейтрализации из-за накопления ионов в электронном пучке. Расчет оптических функций циклического ускорителя. Выбор рабочей точки на диаграмме частот. Оценка влияния погрешностей магнитных элементов на параметры ускорителя. Оценка основных характеристик магнитных элементов (дипольный магнит, квадрупольная и секступольная линзы). Расчет устойчивости поперечного движения частицы в произвольной магнитной структуре. Расчет коэффициента уплотнения орбит, частоты малых синхротронных коле | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа |

## 3. Содержание и структура дисциплины

Таблица 3.1

| Темы лекций | Часы | Из них в форме практ. подг., час. | Активные формы, час. | Индикаторы достижения компетенций | Учебная деятельность |
|---|---|---|---|---|---|
| **Семестр: 8** | | | | | |
| **Дидактическая единица: Поперечное движение заряженных частиц в ускорителе** | | | | | |
| 1. Вводная лекция. История развития ускорителей заряженных частиц. Их применение в области физики заряженных частиц и технологии. | 1 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА. 3 | Лекция |
| 2. Фокусировка заряженных частиц. Слабая и сильная фокусировка, фокусировка однородным полем, магнитной линзой, соленоидом, краевым полем. Понятие о бетатронных колебаниях. | 2 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА. 3 | Лекция |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 3. Поперечное движение частицы. Сопровождающая криволинейная система координат. Вывод уравнения движения частицы в магнитном поле. | 2 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Лекция |
| 4. Поперечное движение частицы. Матричный метод решения уравнения с периодическими коэффициентами. Матрицы перехода различных участков. Матрица оборота и критерии устойчивости. Сохранение плотности траекторий фазового пространства (теорема Лиувилля). | 2 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Лекция |
| 5. Поперечное движение частицы. Замкнутый вид решения уравнения движения. Амплитудная и фазовая бетатронные функции. Дисперсионная функция. Теорема Флоке. Движение на фазовой плоскости. Бетатронная частота. | 2 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Лекция |
| 6. Поперечное движение частицы. Связь матричного и замкнутого методов решения. Параметры Твисса. Транспортировка параметров Твисса вдоль кольца. | 1 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Лекция |
| 7. Поперечное движение частицы. Адиабатическое затухание бетатронных колебаний. Малые погрешности магнитного поля: искажение замкнутой орбиты, сдвиг бетатронной частоты. Хроматизм. Понятие о связи бетатронных колебаний и нелинейных резонансах. | 2 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Лекция |
| **Дидактическая единица: Продольное движение заряженных частиц в ускорителе** | | | | | |
| 8. Продольное движение частицы. Зависимость параметров бетатронных колебаний от энергии частицы. Коэффициент уплотнения орбит. Критическая энергия. | 2 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Лекция |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 9. Продольное движение частицы. Принцип автофазировки. Вывод уравнений синхротронных колебаний. Малые синхротронные колебания, их частота. Сепаратриса и энергетический акцептанс. Адиабатическое затухание синхротронных колебаний. | 2 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Лекция |
| **Дидактическая единица: Влияние излучения на динамику частиц** | | | | | |
| 10. Излучение. Влияние излучение на движение электронов и позитронов высоких энергий. Основные свойства СИ. Затухание бетатронных и синхротронных колебаний. Вывод выражений для декрементов затухания. | 1 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Лекция |
| 11. Излучение. Квантовая раскачка колебаний. Распределение плотности пучка частиц. Понятие фазового объема (эмиттанса) и размеров пучка. Апертурные ограничения и время жизни пучка. | 1 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Лекция |
| **Дидактическая единица: Охлаждение тяжелых частиц** | | | | | |
| 12. Охлаждение тяжелых частиц. Основные понятия охлаждения пучков частиц. Стохастическое охлаждение. | 1 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Лекция |
| 13. Охлаждение тяжелых частиц. Метод электронного охлаждения. | 1 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Лекция |
| **Дидактическая единица: Влияние пространственного заряда на динамику частиц** | | | | | |
| 14. Пространственный заряд. Влияние пространственного заряда. Когерентный сдвиг бетатронной частоты. Накопление ионов, фактор нейтрализации. Понятие о когерентных эффектах. | 2 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Лекция |
| 15. Пространственный заряд. Коллайдеры, светимость, эффекты встречи, как факторы, ограничивающие светимость. Параметр пространственного заряда. | 2 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Лекция |
| **Дидактическая единица: Инжекция и выпуск пучков заряженных частиц** | | | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 16. Инжекция и выпуск. Инжекция в продольном и поперечном фазовом пространстве. Одно- и многооборотная инжекция. Перезарядная инжекция, стэкинг. Эффективность инжекции. | 2 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Лекция |
| 17. Инжекция и выпуск. Транспортировка заряженных частиц, каналы транспортировки, оптические функции канала транспортировки. Согласование оптических функций канала транспортировки. Выпуск пучка (одно- и многооборотный). Выпуск пучка на резонансе. | 2 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Лекция |
| **Дидактическая единица: Типы ускорителей** | | | | | |
| 18. Типы ускорителей. Линейные ускорители: Кокрофта-Уолтона, генератор Ван де Графа, индукционный и высокочастотный ускоритель. | 1 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Лекция |
| 19. Типы ускорителей. Циклические ускорители. Циклотрон, бетатрон, синхрофазотрон, синхротрон, микротрон. Установки на встречных пучках. | 1 | 0 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Лекция |

| Темы практических занятий | Часы | Из них в форме практ. подг., час. | Активные формы, час. | Индикаторы достижения компетенций | Учебная деятельность |
|---|---|---|---|---|---|
| **Семестр: 8** | | | | | |
| **Дидактическая единица: Поперечное движение заряженных частиц в ускорителе** | | | | | |
| 1. Поперечное движение заряженных частиц в ускорителе | 4 | 2 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Решение задач на моделирование движения заряженных частиц в ускорителе |
| **Дидактическая единица: Продольное движение заряженных частиц в ускорителе** | | | | | |
| 2. Продольное движение заряженных частиц в ускорителе | 2 | 2 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Моделирование продольного движения частиц в ускорителе |
| **Дидактическая единица: Влияние излучения на динамику частиц** | | | | | |
| 3. Влияние излучения на динамику частиц | 2 | 4 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Решение задач на определение влияния излучения на динамику частиц |
| **Дидактическая единица: Влияние пространственного заряда на динамику частиц** | | | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4. Влияние пространственного заряда на динамику частиц | 2 | 2 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Моделирование влияния пространственного заряда на динамику частиц |
| **Дидактическая единица: Инжекция и выпуск пучков заряженных частиц** | | | | | |
| 5. Инжекция и выпуск пучков заряженных частиц | 4 | 2 | 0 | ПК-2.В/НА.3 | Моделирование инжекции и выпуска пучков заряженных частиц |

### 3.1 Практическая подготовка

Таблица 3.2

| № | Темы занятий | Формы организации занятий | Содержание практической подготовки (виды работ) |
|---|---|---|---|
| 1 | Поперечное движение заряженных частиц в ускорителе | Пр | Выполняет следующие виды работ: решение задач на моделирование движения заряженных частиц в ускорителе |
| 2 | Продольное движение заряженных частиц в ускорителе | Пр | Выполняет следующие виды работ: моделирование продольного движения частиц в ускорителе |
| 3 | Влияние излучения на динамику частиц | Пр | Выполняет следующие виды работ: решение задач на определение влияния излучения на динамику частиц |
| 4 | Влияние пространственного заряда на динамику частиц | Пр | Выполняет следующие виды работ: моделирование влияния пространственного заряда на динамику частиц |
| 5 | Инжекция и выпуск пучков заряженных частиц | Пр | Выполняет следующие виды работ: моделирование инжекции и выпуска пучков заряженных частиц |

### 3.2 Самостоятельная работа обучающегося

Таблица 3.3

| № | Виды самостоятельной работы | Индикаторы достижения компетенций | Часы на выполнение | Часы на консультации |
|---|---|---|---|---|
| **Семестр: 8** | | | | |
| 1 | Контрольные работы | ПК-2.В/НА.3 | 4 | 0 |
| : Иванов А. В. Динамика заряженных частиц и интенсивных пучков в стационарных полях : учебное пособие / А. В. Иванов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2011. - 209, [1] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000154505 | | | | |
| 2 | Подготовка к занятиям | ПК-2.В/НА.3 | 2 | 15 |
| : Иванов А. В. Динамика заряженных частиц и интенсивных пучков в стационарных полях : учебное пособие / А. В. Иванов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2011. - 209, [1] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000154505 | | | | |
| 3 | Дополнительная учебная деятельность | ПК-2.В/НА.3 | 6 | 11 |
| : Иванов А. В. Динамика заряженных частиц и интенсивных пучков в стационарных полях : учебное пособие / А. В. Иванов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2011. - 209, [1] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000154505 | | | | |
| 4 | Подготовка к аттестации | ПК-2.В/НА.3 | 6 | 18 |
| : Иванов А. В. Динамика заряженных частиц и интенсивных пучков в стационарных полях : учебное пособие / А. В. Иванов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2011. - 209, [1] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000154505 | | | | |

### 3.3 Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 3.4).

Таблица 3.4

| Деятельность | Информационно-коммуникационные технологии |
|---|---|
| Информирование | e-mail; Портал НГТУ; Социальные сети |
| Консультирование | e-mail; Портал НГТУ |
| Контроль | Портал НГТУ; Среда электронного обучения НГТУ |
| Размещение учебных материалов | Портал НГТУ; ЭБС |

## 4. Правила аттестации обучающихся по дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставлять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

| Оцениваемые виды деятельности обучающихся | Мин. балл | Максимальный балл |
|---|---|---|
| **Семестр: 8** | | |
| *Контрольные работы:* | 40 | 80 |
| *Экзамен:* | 20 | 40 |

В таблице 4.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 4.2

| Коды компетенций | Индикаторы достижения компетенций | Формы контроля | |
|---|---|---|---|
| | | Контр. раб. | Экзамен |
| **ПК-2.В/НА** | ПК-2.В/НА 3. Умеет организовывать и проводить теоретические и практические занятия в области биофизики и биотехнологий | + | + |

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

## 5. Литература

*Основная литература*

**1.** Иванов, А. В. Динамика заряженных частиц и интенсивных пучков в стационарных полях : учебное пособие / А. В. Иванов. — Новосибирск : НГТУ, 2020. — 248 с. — ISBN 978-5-7782-4139-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/152154 (дата обращения: 19.12.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

**2.** Левичев Е. Б. Лекции по нелинейной динамике частиц в циклическом ускорителе : [учебное пособие] / Е. Б. Левичев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2009. - 222 с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000113734. - Парал. тит. л. англ..

*Дополнительная литература*

**1.** Кузнецов, С. И. Ускорители заряженных частиц. Курс физики с примерами решения задач : учебное пособие / С. И. Кузнецов, Г. Н. Дудкин, В. Н. Забаев. — Томск : ТПУ, 2011. — 45 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/10273 (дата обращения: 19.12.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

**2.** Комплексы для инспекции элементного состава грузов на основе линейных ускорителей электронов : учебное пособие / А. А. Завадцев, Д. А. Завадцев, В. И. Каминский, С. В. Куцаев. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2011. — 148 с. — ISBN 978-5-7262-1471-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/75724 (дата обращения: 19.12.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

**3.** Мультипакторный разряд в сверхвысокочастотных узлах и элементах ускорителей заряженных частиц : учебное пособие / М. А. Гусарова, В. И. Каминский, М. В. Лалаян, Н. П. Собенин. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2011. — 124 с. — ISBN 978-5-7262-1554-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/75725 (дата обращения: 13.03.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

*Интернет-ресурсы*

**1.** Ускоритель РФ : интернет портал. – 2011 – 2019. – URL: https://xn--e1affgmmemd2h.xn--p1ai/ (дата обращения : 06.06.2023). – Текст : электронный.

**2.** 107.Разработки ИЯФ СО РАН по промышленным ускорителям / Глухова Е., Демкина Ю., Свидунович А., Коваленко Э., Мезенцева А., Беленко В.Е., Шафферт Е. А. / Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН : сайт. – Новосибирск. – URL: https://www.inp.nsk.su/sites/promusk/ (дата обращения: 06.06.2023). – Текст : электронный.

## 6. Методическое и программное обеспечение, информационные технологии

### *6.1 Методическое обеспечение*

**1.** Иванов А. В. Динамика заряженных частиц и интенсивных пучков в стационарных полях : учебное пособие / А. В. Иванов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2011. - 209, [1] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000154505

**2.** Дудкина М. П. Организация самостоятельной работы студентов Новосибирского государственного технического университета : учебно-методическое пособие / М. П. Дудкина, Ю. В. Никитин ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2022.- 61, [1] с. : табл.- Текст : непосредственный.- Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=223022

### *6.2 Специализированное программное обеспечение*

**1** Пакет офисных приложений Microsoft Office

**2** пакет программ для численного анализа данных и научной графики OriginLab Corporation Origin

### *6.3 Информационные технологии*

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине применяются элементы дистанционных образовательных технологий, а также синхронного и асинхронного взаимодействия в электронной информационно-образовательной среды НГТУ.

## 7. Материально-техническое обеспечение

Презентационное оборудование

| № | Наименование | Назначение |
|---|---|---|
| 1 | Презентационное оборудование (мультимедиа-проектор, экран, компьютер для управления) | Для проведения лекционных и практических занятий |