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
01.07.2026
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, 01.07.2026

Утверждена на совете физико-технического факультета, протокол № 5 от 01.07.2026

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