

**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
ХОЛОДНЫЕ ПУЧКИ ЧАСТИЦ**

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	1
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	3
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.	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
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	5
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.	6

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

Дисциплина «Холодные пучки частиц» нацелена на освоение студентами знаний по различным методам охлаждения пучков. ИЯФ СО РАН является пионером по использованию в ускорителях систем охлаждения для управления фазовыми размерами пучков в ускорителях. Получение малых размеров пучков во многом определяет возможности встречных пучков, плотности синхротронного излучения, возможности работы со внутренними мишенями в накопителях, методы накопления частиц и античастиц.

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 основы различных методов охлаждения пучков заряженных частиц для разных сортов частиц, и их пределы применимости; особенности конструкций установок для охлаждения пучков заряженных частиц. Уметь качественно рассчитывать времена охлаждения и равновесные параметры пучков; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач при создании и эксплуатации установок электронного охлаждения. Владеть навыками постановки и решения задач в области физики охлаждения пучков заряженных частиц; знаниями на уровне, позволяющем проектировать современные комплексы электронного охлаждения пучков заряженных частиц.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Холодные пучки частиц» реализуется в весеннем семестре 1-го и 2- курса 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 обучающемуся 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 зачётные единицы, 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 «Холодные пучки частиц» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 1-м и 2 –м курсе магистратуры физического факультета НГУ в 1/3 семестре. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часа.

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

Раздел 1. Введение (4 часа)

Понятие температуры для частиц высоких энергий: разброс продольных импульсов в пучке, разброс поперечных импульсов, продольный и поперечный эмитанс. Встречные пучки, светимость, охлаждение и получение плотных сгустков частиц. Потери энергии и теорема Лиувилля о сохранении фазового объема. Накопление редких частиц: позитроны, антипротоны, редкие изотопы. Способы инжекции в ускорители.

Раздел 2. Ионизационное охлаждение (4 часа)

Потери энергии при движении частиц в веществе. Рассеяние и флуктуации ионизационных потерь. Мюонные коллайдеры. Медленные мюоны, позитроны и их применения.

Раздел 3. Радиационное охлаждение (4 часа)

Потери электронов при движении в магнитном поле. Особенности магнитных структур для получения минимальных эмиттансов.

Раздел 4. Электронное охлаждение (4 часа)

Идея электронного охлаждения. Обнаружение быстрого электронного охлаждения. Сила трения. Внутрипучковое рассеяние. Мечты о пучковых кристаллах. Конструктивные особенности низковольтных и высоковольтных установок электронного охлаждения.

Раздел 5. Стохастическое охлаждение. (4 часа)

Раздел 6. Лазерное охлаждение. (4 часа)

Раздел 7. Источники «нагрева»: вибрации и дрейфы элементов ускорителей. (4 часа)

Раздел 8. Эффекты больших интенсивностей в охлаждении. (4 часа)

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение материала лекций, подготовка к занятиям	18
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Диканский Н.С., Пестриков Д.В. "Физика интенсивных пучков в накопителях", Новосибирск, НАУКА, СО РАН, 1989. ISBN 5-02-028641-9. (6 экз.)
2. А.А. Коломенский, А.Н. Лебедев. Теория циклических ускорителей. ФИЗМАТГИЗ, 1962. (13 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся

Самостоятельная работа студентов поддерживается учебными пособиями:

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

1. Будкер Г.И., Эффективный метод для демфирования колебаний частиц в протонных антипротонных кольцах, Атомная Энергия, т.22, стр.346-348, 1967.
2. Дербенев Я.С., Скринский А.Н., Кинетика электронного охлаждения пучков в накопителях тяжелых ионов, Particle Acceleration, v.8 1-20, 1977.
3. Будкер Г.И., Скринский А.Н. Электронное охлаждение и новые перспективы в физике элементарных частиц, Успехи Физических Наук, 124, стр. 561- ,1978.
4. Скринский А.Н., Пархомчук В.В. Методы охлаждения пучков заряженных частиц, Физика Элементарных Частиц и Атомного Ядра, т. 12 сс. 557-613 1981.

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 используется.

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 «Холодные пучки 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 путем опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции, а также проведения коротких самостоятельных работ.

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 основы различных методов охлаждения пучков заряженных частиц для разных сортов частиц, и их пределы применимости; особенности конструкций установок для охлаждения пучков заряженных частиц.	Опрос в начале каждой лекции, 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 качественно рассчитывать времена охлаждения и равновесные параметры пучков; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач при создании и эксплуатации установок электронного охлаждения. Владеть навыками постановки и решения задач в области физики охлаждения пучков заряженных частиц; знаниями на уровне, позволяющем проектировать современные комплексы электронного охлаждения пучков заряженных частиц.	Опрос в начале каждой лекции, экзамен.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Холодные пучки частиц».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Шкала оценивания
Экзамен: – 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>

Экзамен: – 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>
Экзамен: – 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>
Экзамен: – 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

Примеры задач для самостоятельного решения

1. Протоны с энергией 65 МэВ в кольце с периметром 75 м, охлаждаются электронным потоком 1 А, длина пучка 2 м, диаметр 2 см. Найти время охлаждения.
2. Найти коэффициент усиления для получения 10 сек времени охлаждения протонного пучка 65 МэВ системой стохастического охлаждения.
3. Время охлаждения поперечных колебаний протонов 65 МэВ на газовой мишени ионизационным охлаждением.
4. Предельное значение тока 65 МэВ протонного пучка в накопителе периметром 75 м.
5. Время радиационного охлаждения электронного пучка с энергией 1 ГэВ в накопителе периметром 50 м.
6. Вычислить длину торможения 100 МэВного мюона в воде.

Примеры вопросов к экзамену

1. Ионизационное охлаждение. Схема работы и декременты затухания.
2. Радиационное охлаждение, схема и декременты
3. Электронное охлаждение
4. Стохастическое охлаждение
5. Лазерное охлаждение время охлаждения и минимальные температуры
6. Источники «нагрева»: вибрации и дрейфы элементов ускорителей

Пример экзаменационного билета

1. Встречные пучки, светимость, охлаждение и получение плотных сгустков частиц.
2. Найти время уменьшения энергии электрона с 100 МэВ до 99 МэВ если он движется в воздухе

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.