

**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**



ПРЕДТВЕРЖДАЮ
Декан ФФ, д.ф.-м.н.
В.Е.Блинов
2022 г.

**Рабочая программа дисциплины
ПОЛЯРИЗОВАННЫЕ ПУЧКИ**

направление подготовки: **03.04.02 Физика**
направленность (профиль): **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 работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный 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, 2022

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.	6
6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	6
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	7
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.

Цель курса – дать магистрантам базовые знания, умения и навыки по основам физики пучков поляризованных частиц. В курсе рассмотрено влияние спина на взаимодействие элементарных частиц.

Особенность курса «Поляризованные пучки» заключается в том, что студентам передаются не только современные знания в данной области, но и весь накопленный многолетний опыт Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН и его вклад в общемировой уровень. Поскольку институт стоит у истоков использования поляризованных частиц, весь курс построен с учетом практических знаний, имеющихся у его коллектива. Кроме этого, студенты могут «вживую» ознакомиться с поляризационными экспериментами, ведущимися и готовящимися в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН. 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.	<p>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.</p> <p>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.</p>	<p>Знать основные физические явления, влияющие на параметры пучков поляризованных частиц; физические принципы, применяемые при измерении степени поляризации.</p> <p>Уметь проводить расчёты деполаризующих факторов в конкретных структурах накопителей; проводить расчеты полей элементов электроннооптических систем, необходимые для разработки и конструирования установок с поляризованными частицами.</p> <p>Владеть аналитическими методами расчёта и оптимизации параметров пучков заряженных частиц в ускорителях; знаниями на уровне, позволяющем проектировать современные комплексы с поляризованными пучками заряженных частиц.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Поляризованные пучки» реализуется в весеннем семестре для магистрантов, обучающихся по направлению «03.04.02 Физика». Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой 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. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный 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										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, самостоятельная работа студентов и ее контроль преподавателями с помощью заданий, консультации, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: решение задач из задания для самостоятельного решения;
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена и экзамен) – 22 часа.

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, групповые консультации, экзамен) составляет 36 часов.

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

Дисциплина «Поляризованные пучки» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 2-м курсе магистратуры физического факультета НГУ в весеннем семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Движение спина заряженных частиц в циклических ускорителях	1-3	7	4		3	
2.	Ускорение поляризованных частиц	4-6	9	6		3	
3.	Спиновые резонансы	7-9	7	4		3	
4.	Прохождение спиновых резонансов, Сибирские змейки	10-12	9	6		3	
5.	Радиационная поляризация	13-14	6	4		2	
6.	Метод резонансной деполяризации и калибровка энергии частиц	15	6	4		2	
7.	Прецизионные эксперименты с поляризованными пучками	16	6	4		2	
8.	Групповая консультация		2				2
9.	Самостоятельная подготовка обучающегося к экзамену		18				18
10	Экзамен		2				2
11	Всего		72	32		18	22

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

Раздел 1. Движение спина заряженных частиц в электромагнитном поле (4 часа)

Вывод уравнения ВМТ. Анализ уравнения движения спина. Движение спина в циклических ускорителях.

Раздел 2. Ускорение поляризованных частиц (6 часов)

Существование равновесной траектории ускорения спина. Возмущение спинового движения.

Раздел 3. Спиновые резонансы (4 часа)

Линейные спиновые резонансы. Уединенный спиновый резонанс. Резонансы с бетатронными частотами. Модуляционные резонансы. Функции спинового отклика.

Раздел 4. Прохождение спиновых резонансов (6 часов)

Формула Фруассар-Сторы. Пересечение спиновых резонансов на накопителе ВЭПП-2М. Ускорение поляризованных протонов в накопителе НИКА. Ускорение поляризованных дейтронов. Ускорение поляризованных протонов в синхротроне AGS. Сибирские змейки на основе соленидов. Сибирская змейка на установке AmPS. Спиновые ротаторы с поперечным полем. Змейки из спиральных магнитов. Частичные Сибирские змейки из спиральных магнитов.

Раздел 5. Радиационная поляризация (4 часа)

Стохастическая деполяризация. Формула Соколова-Тернова. Формула Дербенева-Кондратенко. Эксперименты на установках с низкой энергией ВЭПП-2 (измерение поляризации методом внутреннего рассеяния), ВЭПП-2М, АСО. Радиационная поляризация на высоких энергиях, эксперименты на SPEAR, DORIS, PETRA, LEP (Комптоновское рассеяние лазерных фотонов и измерение поляризации).

Раздел 6. Метод резонансной деполяризации и калибровка энергии частиц (4 часа)

Спин и высокочастотное поле. Применение радиочастотных устройств для управления степенью и направлением поляризации. Измерение энергии методом резонансной деполяризации. Разброс спиновых частот.

Раздел 7. Прецизионные эксперименты с поляризованными пучками (4 часа)

Измерение массы фи-мезона на ВЭПП-2М. Сравнение аномальных магнитных моментов электрона и позитрона на ВЭПП-2М. Прецизионные эксперименты на установках с калибровкой энергии методом резонансной деполяризации на накопителях ВЭПП-3, ВЭПП-4, SPEAR, DORIS, LEP.

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Решение задач	10
Изучение материала лекций	4
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	4
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 ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

1. Будкер Г.И., Эффективный метод для демфирования колебаний частиц в протонных и 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.

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 «Поляризованные пучки» 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 опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции, а также 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 основные физические явления, влияющие на параметры пучков поляризованных частиц; физические принципы, применяемые при измерении степени поляризации.	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 проводить расчёты деполяризующих факторов в конкретных структурах накопителей; проводить расчеты полей элементов электроннооптических систем, необходимые для разработки и конструирования установок с поляризованными частицами. Владеть аналитическими методами расчёта и оптимизации параметров пучков заряженных частиц в ускорителях; знаниями на уровне, позволяющем проектировать современные комплексы с поляризованными пучками заряженных частиц.	Опрос в начале каждой лекции, экзамен.

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

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.2	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

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

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

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 МэВ-ного мюона в воде.

Пример билета на экзамен

1. Прецизионные эксперименты с поляризованными пучками в накопителях.
2. Методы подавления резонансных гармоник спиновых резонансов.

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.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Поляризованные пучки»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного