

**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 элементарных частиц**

УТВЕРЖДАЮ
Декан ФФ
А. Е. Бондарь
«07» 10 2020 г.

академик РАН



Рабочая программа дисциплины

ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННАЯ ТОМОГРАФИЯ

направление подготовки: **03.04.02 Физика, курс 1, семестр 2**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения

Очная

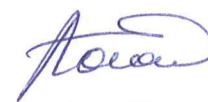
Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	36	32			2				2	
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

Разработчик:
инженер первой категории

Зав. кафедрой элементарных частиц
д.ф.-м.н.,

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

 Л. В. Романов

 И. Б. Логашенко

 И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2020

Содержание

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

Аннотация
к рабочей программе дисциплины
«Позитронно-эмиссионная томография»
Направление: **03.04.02 Физика**
Направленность (профиль): Общая и фундаментальная физика

Программа дисциплины «Позитронно-эмиссионная томография» составлена в соответствии с требованиями СУОС к уровню подготовки магистра по направлению **03.04.02 Физика, «Общая и фундаментальная физика»**, а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на физическом факультете федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ) кафедрой физики элементарных частиц в качестве факультативной дисциплины. Дисциплина изучается студентами магистратуры физического факультета в весеннем семестре.

Цель курса – познакомить студентов-физиков с устройством, принципом действия и применением в медицине ПЭТ-систем и современными технологиями, применяемыми при их создании. Курс раскрывает общие принципы ПЭТ, типы изотопов и детекторов, описание пространства распадов, пространства линий отклика, их взаимодействие через матрицу отклика системы, методы реконструкции объекта, NEMA протокола для оценки ПЭТ, примеры действующих систем.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

способности самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта (**ПК-1**);

способности свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (**ПК-2**).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- общие принципы ПЭТ, типы изотопов, применяемых в ПЭТ, методы описания пространства распадов, пространства линий отклика, важнейшие свойства матрицы отклика системы;
- методы реконструкции объекта, NEMA протокол для оценки ПЭТ, типичные характеристики действующих систем.

Уметь:

- определять отношение между изображением пространства откликов и пространством распадов для точечного источника;
- выбирать оптимальные режимы для ПЭТ-измерений в соответствии с задачами измерения.

Владеть:

- навыками визуальной оценки качества полученных данных с помощью синограмм;
- статистическими методами оценки качества реконструкции.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, самостоятельная работа студента, дифференцированный зачёт.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: опрос по материалу предыдущей лекции.

Промежуточная аттестация: дифференцированный зачёт.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **1** зачётную единицу/**36** академических часов.

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

Дисциплина «Позитронно-эмиссионная томография» представляет собой начальный курс предназначен для обучения специалистов, которые будут в своей последующей работе использовать знание об устройстве и принципе работы технологически сложных ПЭТ-систем как для клинической диагностики, так и в исследовательских целях.

Целью освоения курса является ознакомление студентов с 1) определением принципов ПЭТ 2) типами изотопов и детекторов 3) описанием пространства распадов, пространства линий отклика, 4) их взаимодействия через матрицу отклика системы 5) основные разновидности итерационной реконструкции 6) описание NEMA протокола для оценки характеристик ПЭТ 7) примеры действующих клинических систем.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

способности самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта (**ПК-1**);

способности свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (**ПК-2**).

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал лекционного курса увязывается с современными исследованиями в области ПЭТ. Указываются темы, активно обсуждающиеся в текущей профессиональной научной литературе.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:**
 - общие принципы ПЭТ, типы изотопов, применяемых в ПЭТ, методы описания пространства распадов, пространства линий отклика, важнейшие свойства матрицы отклика системы (ПК 1.1);
 - методы реконструкции объекта, NEMA протокол для оценки ПЭТ, типичные характеристики действующих систем (ПК 2.1).
- **Уметь:**
 - определять отношение между изображением пространства откликов и пространством распадов для точечного источника (ПК 1.2);
 - выбирать оптимальные режимы для ПЭТ-измерений в соответствии с задачами измерения (ПК 2.2).
- **Владеть:**
 - навыками визуальной оценки качества полученных данных с помощью синограмм (ПК 1.3);
 - статистическими методами оценки качества реконструкции (ПК 2.3).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Факультативная дисциплина «Позитронно-эмиссионная томография» реализуется в весеннем семестре 1-го курса магистратуры, для обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики элементарных частиц.

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	36	32			2				2	
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, дифференцированный зачёт.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: опрос по материалу предыдущей лекции.

Промежуточная аттестация: дифференцированный зачёт.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 1 зачётную единицу.

- лекционные занятия – 32 часа;
- самостоятельная работа в течение семестра, не включая период сессии – 2 часа;
- промежуточная аттестация (дифференцированный зачёт) – 2 часа;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (лекционные занятия, дифференцированный зачёт) составляет 34 часа.

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачётную единицу, 36 академических часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)					Консультации перед экзаменом (часов)	Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции	Практические занятия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Томография в медицине	1	2	2					
2.	Принципы лучевой томографии;	2-4	6	6					
3.	Специфика <i>PET</i> , обусловленная свойствами позитрона. Используемые изотопы.	5	2	2					
4.	Регистрация гамма, связь техпараметров с качеством результатов.	6	2	2					
5.	Взаимодействие гамма-частиц с объектом; NEC современных систем	7-9	6	6					
6.	Основы современной 3D реконструкции	10-11	4	4					
7.	Дополнительные возможности реконструкции	12	2	2					
8.	Количественные аспекты в ПЭТ	13-14	4	4					
9.	Состояние индустрии	15-16	6	4		2			
10.	Дифференцированный зачёт		2						2
Всего			36	32		2			2

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

Раздел 1. Томография в медицине. (2 часа)

Введение: определение томографии, эволюция подхода. Понятие о модальностях, взаимоотношение модальностей. Актуальность *PET-CT*. Современная индустрия.

Раздел 2. Принципы лучевой томографии. (6 часов)

Представления пространства откликов *LOR* и *3D* пространства распадов. Преобразование пространства проекций в *3D* объект. Целочисленные представления и пространства распадов и пространства откликов (псевдосинограммы). Прямая и обратная проекция. Матрица прямой проекции.

Раздел 3. Специфика *PET*, обусловленная свойствами позитрона. Используемые изотопы. (2 часа)

Пробег позитрона в объекте. Неколлинеарность гамма-распада. Комптоновское рассеяние в детекторе. Используемые изотопы. Вытекающие из свойств позитрона ограничения на пространственное разрешение.

Раздел 4. Регистрация гамма, связь техпараметров с качеством результатов. (2 часа)

Сцинтилляторы и фотоприемники. Типичная структура детекторного блока. Диапазон параметров современных детекторов. Связь технических параметров детектора с качеством ПЭТ системы. *ToF* и *Non-ToF* подход.

Раздел 5. Взаимодействие гамма-частиц с объектом; *NEC* современных систем. (6 часов)

Комптоновское рассеяние в объекте. Три типа совпадений в ПЭТ системе. *Noise Equivalent Counts (NEC)*. Измерение *NEC* с помощью цилиндрического фантома. Счетные характеристики современных систем на примерах.

Раздел 6. Основы современной *3D* реконструкции. (4 часа)

Non-ToF MLEM-итерации. Учет комптоновского рассеяния в объекте и случайных совпадений—два подхода. Понятие об *OSEM*.

Раздел 7. Дополнительные возможности реконструкции. (2 часа)

ToF MLEM-итерации. *List*-мода. Методы регуляризации: распределенный отклик (*PSF*), *Maximum a posteriori (MAP)* подход, сглаживание.

Раздел 8. Количественные аспекты в ПЭТ. (4 часа)

Количественная оценка качества *PET*-систем — *NEMA* протокол. Другие фантомы и протоколы. Количественные аспекты в клинической *PET* диагностике — *SUV*

Раздел 9. Состояние индустрии. (4 часа)

Разновидности коммерческих и исследовательских систем. Роль инфраструктуры. Главные «игроки». Перспективы

Самостоятельная работа студентов (2 часа)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	2

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Фетисов Г.В. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ. Под ред. Л. А. Асланова. Физматлит, Москва, 2007.

5.2. Дополнительная литература

2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. Серия «Теоретическая физика», т.2.

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

3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. Серия «Теоретическая физика», т.2.

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 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

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные компетенции ПК-1 и ПК-2 сформированы не ниже порогового уровня.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на дифференцированном зачёте. Он проводится в конце семестра по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенций ПК-1 и ПК-2.

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.

Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Позитронно-эмиссионная томография».

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 ПК 2.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. 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 ПК 2.2	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 задачи 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 1.3 ПК 2.3	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.

10.2. Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Вопросы на дифференцированный зачёт

На проверку сформированности компетенции ПК-1:

Тема №1 Основы современной томографии

- 1.1. Определение томографии,
- 1.2. Понятие о модальностях,
- 1.3. Связь модальностей ПЭТ и КТ
- 1.4. Представления пространства откликов *LOR* и *3D* пространства распадов.

Тема №2 Физика ПЭТ

- 2.1. Перечислить фундаментальные факторы, определяющие пространственное разрешение.
- 2.2. Изотопы, применяемые в ПЭТ, их свойства.
- 2.3. Сцинтилляторы, применяемые в ПЭТ, их свойства.
- 2.4. Фотоумножители, их свойства
- 2.5. SiPM – принципы, свойства, ограничения.

Тема №3 Практические аспекты индустрии

- 3.1. Разновидности коммерческих и исследовательских систем.
- 3.2. Производство и распределения трэйсеров

На проверку сформированности компетенции ПК-2:

Тема №4 Принципы лучевой томографии

- 4.1. Целочисленные представления и пространства распадов и пространства откликов (псевд-осинограммы).
- 4.2. Методы определения фона случайных совпадений
- 4.3. Методы определения фона комптоновского рассеяния
- 4.4. Формула NEC-R. Основное свойство— вывод. Качественная зависимость от активности.
- 4.5. NEMA IQ фантом. Конструкция, алгоритмы, формулы контраста.
- 4.6. Вклад DOI (параллакса) в пространственное разрешение
- 4.7. Формула NEC-R. Основное свойство— вывод. Качественная зависимость от активности.

Тема №5 Реконструкция объектов

- 5.1. Матрица системы, ее составляющие
- 5.2. Базовые MLEM итерации. Алгоритм, формула, вывод
- 5.3. OSEM итерации. Мотивация, алгоритм, формула
- 5.4. Реконструкция в LIST -моду. Метод, формула
- 5.5. Дополнительные методы для улучшения качества реконструкции
- 5.6. NEMA фантом пространственного разрешения, алгоритмы, ограничения при продвинутом методах реконструкции.

Пример билета на дифференцированный зачёт

1. Пространство откликов и его связь с пространством распадов (на компетенцию ПК-1).
2. Формула NEC-R. Основное свойство— вывод. Качественная зависимость от активности (на компетенции ПК-1, ПК-2).
3. SiPM – принципы, свойства, ограничения (на компетенцию ПК-2).

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 «Позитронно-эмиссионная томография»
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