

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор института нано-, био-,
информационных, когнитивных
и социогуманитарных наук и
технологий**

Т.Е. Григорьев

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Экспериментальные методы в нейтронной физике
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Синхротронные и нейтронные методы исследований Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра нано-, био-, информационных и когнитивных технологий
курс:	2
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Н.М. Чубова, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры нано-, био-, информационных и когнитивных технологий
18.03.2022

Аннотация

Курс является практикоориентированным и имеет своей целью ознакомление слушателей с примерами применения излучения нейтронов в фундаментальных и прикладных исследованиях, со свойствами нейтронного излучения, с разными типами источников нейтронов и механизмами генерации нейтронов, с перспективами развития нейтронных исследований и исследовательской инфраструктуры в России и в мире. Это позволит сформировать основные представления о нейтронных методах исследований и техники, которая при этом используется, а следовательно научить студента ориентироваться в возможностях различных методов нейтронного рассеяния и дифракции.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- научить студента ориентироваться в возможностях различных методов нейтронного рассеяния и дифракции.

Задачи дисциплины

- показать особенности различных методик применяемых в области исследований конденсированных сред, материаловедения, наук о жизни, технологии, медицины;
- формирование базовых знаний об экспериментальных установках и применяемых на них методиках нейтронного рассеяния.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.2 Владеет навыком руководства малым коллективом в сфере своей профессиональной деятельности
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории и формулы, описывающие рассеяние нейтронов;
- основные методики исследования с использованием нейтронов;
- иметь общее представление об основных тенденциях и направлениях развития исследований с применением нейтронного рассеяния;
- принципы работы современных источников нейтронов;
- принципы работы экспериментальных станций с использованием нейтронов.

уметь:

- применять нейтронные методики для извлечения необходимой информации о структуре исследуемого объекта;
- эффективно использовать современные информационные технологии и ресурсы для получения необходимых знаний по интересующей научной проблеме в рамках исследований проводимых с использованием нейтронов.

владеть:

- специальной терминологией в области нейтронного рассеяния;
- методиками построения моделей к описанию свойств синхротронного излучения; основными методами применения нейтронного рассеяния.

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

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение.	3			5
2	Виды источников нейтронов.	3			5
3	Основные современные мегаустановки для исследований с нейтронами.	3			5
4	Нейтронные методы исследований.	3			5
5	Метод дифракция нейтронов в применении к исследованию вещества.	3			5
6	Метод рефлектометрии нейтронов в применении к исследованию вещества.	3			5
7	Метод малоуглового рассеяния нейтронов в применении к исследованию вещества.	3			10
8	Метод нейтронной спин-эхо спектроскопии в конденсированных средах.	3			5
9	Ядерная медицина.	3			5
10	Работа с данными: обработка и интерпретация.	3			10
Итого часов		30			60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 3 (Осенний)

1. Введение.

Основные понятия: строение атома и атомного ядра, история открытия нейтрона, основные свойства нейтрона, возможности использования нейтрона в физических исследованиях, радиоактивность.

Открытие нейтрона. Особенности строения ядра с учётом нейтронографии. Первые реакторы. Современный научный ландшафт. Ионизирующее излучение. Природа нейтронного излучения. Основные направления применения нейтронов.

2. Виды источников нейтронов.

Мировые источники нейтронов. Виды источников нейтронов: - (α, n), (d, n), (p, n) реакции; нейтронные источники на основе испарительно-скалывающей реакции (spallation) и мишеней из тяжелых ядер; реакции (γ, n); ядерные реакторы; замедление нейтронов.

3. Основные современные мегаустановки для исследований с нейтронами.

Реактор ИЛЛ, реактор ПИК, импульсные источники нейтронов SNS, SINQ, ESS, ИБР-2.

4. Нейтронные методы исследований.

Типы экспериментальных установок для исследования метаматериалов: установка малоугловой дифракции нейтронов; установка рефлектометрии поляризованных нейтронов.

5. Метод дифракция нейтронов в применении к исследованию вещества.

Основы дифракция нейтронов. Исследование метаматериалов методом малоугловой дифракции нейтронов. Поляризованные и неполяризованные нейтроны. Особенности исследования магнитных наноструктур. Три вклада в интенсивность нейтронного рассеяния: ядерный, магнитный, ядерно-магнитная интерференция. Примеры.

6. Метод рефлектометрии нейтронов в применении к исследованию вещества.

Исследование пленочных нанокомпозитов на основании магнитных, полупроводниковых и диамагнитных метаматериалов методами рефлектометрии нейтронов. Рефлектометрия на немагнитных системах. Примеры.

7. Метод малоуглового рассеяния нейтронов в применении к исследованию вещества.

Принципы МУРН. МУРН на магнитных материалах, биологических объектах и фракталах. Примеры.

8. Метод нейтронной спин-эхо спектроскопии в конденсированных средах.

Интерференция нейтронов. Режим многоволновой интерференции нейтронов с использованием метода спинового эхо. Режимы нейтронного спинового эхо: "классический" и "резонансный". Примеры.

9. Ядерная медицина.

Основные принципы. Производство изотопов для медицинских целей. Протонная терапия.

10. Работа с данными: обработка и интерпретация.

Знакомство с типовыми программами обработки экспериментальных данных.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Рефлектометрия поляризованных нейтронов [Текст]/Ю. В. Никитенко, В. Г. Сыромятников, -М., Физматлит, 2013

2. А.Н. Пирогов, М.А. Сёмкин, Структурная и магнитная нейтронография, учеб. пособие / А.Н. Пирогов, М.А. Сёмкин ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина.—Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2020.
3. А.М. Балагуров, НЕЙТРОНОГРАФИЯ: ЗАДАЧИ И СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ, Природа. 2012. № 7 (1163). С. 14-25.
4. В.Б. Злоказов, математическая обработка экспериментальных данных нейтронного рассеяния в визике низких энергий, учеб. пособие/Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Науч.-исслед.ин-т ядерной физики им. Д. В. Скобельцына, Каф. нейтронографии, Москва, 2007
5. Никитенко Ю.В., Рефлектометрия поляризованных нейтронов / Никитенко Ю.В., Сыромятников В.Г. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2014.

Дополнительная литература

1. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель ; под общ. ред. А. А. Гусева ; пер. с 4-го амер. изд. А. А. Гусева, А. В. Пахнева - М.Наука,1978
2. Физика твердого тела [Текст] : в 2 т. Т. 1 / Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; пер. с англ. А. С. Михайлова ; под ред. М. И. Каганова .— М. : Мир, 1979 .— 399 с.
3. Магнитная нейтронография [Текст]/Ю. А. Изюмов, Р. П. Озеров, -М., Наука, 1966
4. Рассеяние тепловых нейтронов [Текст]/под ред. П. Игелстаффа , -М., Атомиздат, 1970

Фонд литературы кафедры

5. Ю.М.Останевич, И.Н.Сердюк. УФН т.137, вып.1, 1982, с.85
6. К.Уиндзор, Рассеяние нейтронов от импульсных источников, М.: Энергоатомиздат, 1985
7. С.В.Малеев, Исследование конденсированных сред поляризованными нейтронами, препринт ПИЯФ 2083, Гатчина, 1995
8. Дифракция медленных нейтронов на слоистых структурах”. В.Ф. Турчин. АЭ 1967 т.22,12 с 119.
9. Summer School on Neutron Scattering and Reflectometry from Submicron Structures NIST Center for Neutron Research June 3-7, 2002.
10. “A SANS study of Corax N330” Е. Hoinkis, HMI report 2002 Е.П.Шабалин, “Импульсные реакторы на быстрых нейтронах” , - М. : Атомиздат, 1976
11. Динамические свойства твердых тел и жидкостей, под ред. С.Лавси и Т.Шпрингера, М.: «Мир», 1980.
12. Ю.А.Изюмов, Н.А.Черноплеков. Нейтронная спектроскопия. М.; Энергоатомиздат, 1983
13. К.Клайнкнехт. Детекторы корпускулярных излучений, М.: Мир, 1990
14. Д.И.Свергун, Л.А.Фейгин. Рентгеновское и нейтронное малоугловое рассеяние, М.: Наука, 1986

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://ctem.web.cmu.edu/>
2. www.matter.org.uk/tem/
3. <http://www.cmca.uwa.edu.au/access/training>
4. <http://www.microscopy.info/Microscopy/Guide>
5. database.iem.ac.ru/mincryst/descript.htm
6. www.crystallography.net
7. <http://lib.mipt.ru>— электронная библиотека Физтех.
8. <http://www.Sci-lib.com> — Большая научная библиотека.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств как Mathcad, Mathlab для решения физических задач и моделирования изучаемых процессов на компьютере.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Для успешного освоения курса, помимо посещения лекций, от студентов требуется самостоятельная работа в объеме не менее чем те часы, которые указаны для каждого раздела программы. В основном, это время отводится на самостоятельное повторение материала лекций, чтения рекомендованной литературы и подготовку к промежуточным тестированиям, которые проводятся для текущего контроля за усвоением материала. Всего предполагается провести за семестр одну промежуточную контрольную, а также ряд проверочных работ. Студенты, успешно прошедшие данную форму промежуточного контроля, допускаются к сдаче дифференцированного зачета по дисциплине.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Синхротронные и нейтронные методы исследований Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра нано, био, информационных и когнитивных технологий
курс:	2
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	Н.М. Чубова, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.2 Владеет навыком руководства малым коллективом в сфере своей профессиональной деятельности
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Экспериментальные методы в нейтронной физике» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории и формулы, описывающие рассеяние нейтронов;
- основные методики исследования с использованием нейтронов;
- иметь общее представление об основных тенденциях и направлениях развития исследований с применением нейтронного рассеяния;
- принципы работы современных источников нейтронов;
- принципы работы экспериментальных станций с использованием нейтронов.

уметь:

- применять нейтронные методики для извлечения необходимой информации о структуре исследуемого объекта;
- эффективно использовать современные информационные технологии и ресурсы для получения необходимых знаний по интересующей научной проблеме в рамках исследований проводимых с использованием нейтронов.

владеть:

- специальной терминологией в области нейтронного рассеяния;
- методиками построения моделей к описанию свойств синхротронного излучения;
- основными методами применения нейтронного рассеяния.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

В целях текущего контроля успеваемости предусмотрен краткий опрос по темам предыдущих занятий по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Открытие нейтрона. Особенности строения ядра с учётом нейтронографии.
2. Первые реакторы. Современный научный ландшафт. Ионизирующее излучение. Природа нейтронного излучения.
3. Виды источников нейтронов. Мировые источники нейтронов.
4. Основные современные мегаустановки для исследований с нейтронами.
5. Типы экспериментальных установок для исследования метаматериалов.
6. Основы дифракция нейтронов.
7. Исследование пленочных нанокомпозитов на основании магнитных, полупроводниковых и диамагнитных метаматериалов методами рефлектометрии нейтронов.

8. Принципы МУРН. МУРН на магнитных материалах, биологических объектах и фракталах.
9. Интерференция нейтронов. Режим многоволновой интерференции нейтронов с использованием метода спинового эхо.
10. Производство изотопов для медицинских целей.
11. Работа с данными: обработка и интерпретация.

Примеры билетов:

Билет №1

1. Основы дифракция нейтронов.
2. Первые реакторы. Современный научный ландшафт. Ионизирующее излучение. Природа нейтронного излучения.

Билет №2

1. Основные современные мегаустановки для исследований с нейтронами
2. Работа с данными: обработка и интерпретация.

Критерии оценивания

Оценка "отлично" (10 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (9 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (8 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочётами.

Оценка "хорошо" (7 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка "хорошо" (6 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка "хорошо" (5 баллов) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка "удовлетворительно" (4 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка "удовлетворительно" (3 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка "неудовлетворительно" (2 балла) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка "неудовлетворительно" (1 балл) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 40 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на дифференцированном зачете не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, конспектами лекций, а также любой справочной литературой.