

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
природоподобных, плазменных и
ядерных технологий им. И.В.**

Курчатова

Т.Е. Григорьев

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Методы нейтронного рассеяния для исследований конденсированных сред
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:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 15 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: А.В. Белушкин, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры нано-, био-, информационных и когнитивных технологий
29.03.2024

Аннотация

В последние годы рассеяние нейтронов стало широко использоваться не только в физике, но и в химии, материаловедении, биологии, экологии, науках о Земле, инженерных науках. Многие из проводимых на нейтронных источниках экспериментов имеют прямое отношение к созданию новых нанотехнологий, биотехнологий, направленному изменению свойств материалов и других направлений, стратегически важных для развития современного высокотехнологичного общества.

Для проведения нейтронных исследований в США в сентябре 2009 года выведен на проектные параметры нейтронный источник нового поколения на основе протонного синхротрона. Подобный проект реализован и в Японии. В Европе на территории Швеции близится к завершению создание нейтронного источника с длинным импульсом на базе мощного линейного ускорителя протонов. В России завершается модернизация экспериментальных станций исследовательского реактора ИР-8 НИЦ "Курчатовский институт", близится выход на проектные параметры мощного стационарного исследовательского реактора «ПИК» в Санкт-Петербургском институте ядерной физики НИЦ "Курчатовский институт", успешно работает уникальный импульсный реактор ИБР-2 в Объединенном институте ядерных исследований,. При этом, естественно, данный материал не претендует на полноту изложения. Некоторые вопросы в нем совсем не рассматриваются, другие изложены коротко и схематично. По каждому из направлений имеется, как правило, обширная специализированная литература, список которой приведен ниже.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- освоение студентами базовых представлений о методиках рассеяния нейтронов и изучение основ современных экспериментальных подходов к исследованию свойств конденсированных сред с их помощью.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний о свойствах нейтронов для исследований конденсированных сред, получаемых на установках класса "мегасайенс", изучение особенностей методик нейтронного рассеяния;
- формирование базовых знаний о свойствах материалов, получаемых с использованием рассеяния нейтронов.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук

ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории и формулы, описывающие рассеяние нейтронов в конденсированных средах;
- получение, формирование и детектирование нейтронных пучков;
- теоретические основы ядерного и магнитного рассеяния нейтронов;
- методики проведения экспериментов и обработки данных по нейтронному рассеянию;
- основные методы использования нейтронов для изучения свойств вещества.

уметь:

- рассчитывать параметры элементов экспериментальных установок нейтронного рассеяния;
- применять физические теории к описанию характеристик взаимодействия нейтронов с веществом, а также соответствующие методы исследования, основанные на их использовании;
- решать основные уравнения классической и квантовой теории нейтронного рассеяния;
- эффективно использовать современные информационные технологии и ресурсы для получения необходимых знаний по интересующей научной проблеме.

владеть:

- специальной терминологией в области нейтронного рассеяния;
- методиками построения моделей к описанию взаимодействия нейтронов с веществом;
- 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	Свойства нейтрона. Дуализм волна-частица. Источники нейтронов. Нейтроны для изучения конденсированных сред.	2			5
2	Основы теории рассеяния нейтронов .	2			1
3	Квантово-механическое описание процесса рассеяния.	2			5
4	Получение, формирование и детектирование нейтронных пучков.	4		3	5
5	Малоугловое рассеяние.	2		4	1
6	Нейтронная рефлектометрия.	4		2	5
7	Дифракция нейтронов на кристаллах.	2		4	5
8	Неупругое рассеяние. Рассеяние на фононах.	2		2	1
9	Магнитное рассеяние.	2			5
10	Квазиупругое рассеяние нейтронов.	2			2
11	Нейтронное спиновое эхо.	4			5
12	Коррекция и обработка экспериментальных данных.	2			5
Итого часов		30		15	45
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Свойства нейтрона. Дуализм волна-частица. Источники нейтронов. Нейтроны для изучения конденсированных сред.

Характеристики нейтрона как частицы. Соотношения между различными кинематическими характеристиками нейтрона как частицы и как волны. Получение нейтронов. Типы исследовательских источников нейтронов. Замедление нейтронов. Спектральное распределение замедленных нейтронов. Особенности свойств нейтронов для изучения свойств конденсированных сред.

2. Основы теории рассеяния нейтронов .

Поток нейтронов. Сечение рассеяния. Сечение поглощения. Дифференциальное сечение рассеяния. Дважды дифференциальное сечение рассеяния. Ослабление нейтронного пучка за счет рассеяния и поглощения.

Волновое описание рассеяния нейтронов ядрами. Нейтронная волна. Упругое рассеяние нейтронов одиночным ядром. Рассеяние несколькими ядрами – интерференция. Когерентное и некогерентное сечения рассеяния. Некогерентное рассеяние за счет относительных ориентаций спинов нейтрона и ядер. Некогерентное рассеяние на ядрах за счет изотопного беспорядка.

3. Квантово-механическое описание процесса рассеяния.

Начальное и конечные состояния. Плотность состояний. Основное уравнение рассеяния. Упругое рассеяние на одном и нескольких ядрах. Неупругое рассеяние нейтронов.

Полное сечение рассеяния от системы ядер. Экспериментальные соображения. Когерентное упругое рассеяние от многих ядер. Квантовое описание сечения рассеяния.

4. Получение, формирование и детектирование нейтронных пучков.

Коллиматоры. Нейтроноводы. Монохроматоры. Прерыватели пучка и селекторы скоростей. Поляризующие фильтры. Поляризующие зеркала. Поляризующие монохроматоры. Спин-флипперы. Газовые и сцинтилляционные детекторы.

5. Малоугловое рассеяние.

Сечение рассеяния от наноразмерных объектов. Структурный фактор. Малоугловое приближение. Малоугловое рассеяние от наночастиц в растворе. Форм-фактор твердой сферы и других простых форм. Полидисперсность. Взаимодополняемость нейтронов и СИ. Формула Дебая. Приближение Гинье. Закон Порода.

6. Нейтронная рефлектометрия.

Коэффициент преломления. Квантовомеханическое рассмотрение процесса отражения. Отражение от гладких плоских поверхностей. Полное отражение. Отражение как процесс рассеяния. Отражение от слоистых наноструктур. Шероховатые и волнистые поверхности.

7. Дифракция нейтронов на кристаллах.

Элементарные ячейки. Обратная решетка. Позиции атомов в элементарной ячейке. Заселенности позиций. Группы симметрии. Закон Брэгга. Фактор Дебая-Валлера. Интеграл сечения рассеяния при дифракции. Мозаичность. Экстинкция. Дифракция по Лауэ. Дифракция на порошках. Дифракция на наночастицах.

8. Неупругое рассеяние. Рассеяние на фононах.

Теория рассеяния на колебаниях ядер. Классическое описание колебательной динамики кристаллов. Квантовомеханическое описание. Однофононное сечение рассеяния. Трехосный спектрометр. Спектрометры по времени пролета.

9. Магнитное рассеяние.

Магнитное взаимодействие нейтрона с атомом. Магнитный матричный элемент. Матричный элемент для неполяризованных нейтронов. Основное уравнение магнитного рассеяния. Магнитный форм-фактор. Магнитная дифракция. Неупругое магнитное рассеяние.

10. Квазиупругое рассеяние нейтронов.

Непрерывная диффузия. Модель прыжковой диффузии. Модель вращательной диффузии. Спектрометры для исследования процессов диффузии.

11. Нейтронное спиновое эхо.

Эффект спинового эха. Спиновое эхо при неупругом рассеянии. Спин-эхо спектрометр.

12. Коррекция и обработка экспериментальных данных.

Экспериментальное измерение дважды дифференциального сечения рассеяния. Учет не зависящего от образца фона. Самоэкранировка и ослабление нейтронного пучка. Многократное рассеяние. Калибровка нейтронного спектрометра.

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

учебная аудитория, ноутбук, проектор, меловая доска, мел.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Кристаллография [Текст] : учеб. пособие для вузов / М. П. Шаскольская .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 1984 .— 375 с.

Фонд литературы кафедры

1. Физическая энциклопедия, М.: “Советская энциклопедия”, 1990, статьи: “Нейтрон”, “Замедление нейтронов”.
2. Ю.А. Александров, “Фундаментальные свойства нейтрона”, Энергоатомиздат, Москва, 1984.
3. Е.П.Шабалин, “Импульсные реакторы на быстрых нейтронах” , - М. : Атомиздат, 1976
4. Динамические свойства твердых тел и жидкостей, под ред. С.Лавси и Т.Шпрингера, М.: «Мир», 1980.
5. Ю.А.Изюмов, Н.А.Черноплеков. Нейтронная спектроскопия. М.; Энергоатомиздат, 1983
6. Ю.А.Изюмов, Р.П.Озеров Магнитная нейтронография, М., Наука, 1966
8. “Рассеяние тепловых нейтронов” под ред. П.Игелстаффа, Атомиздат, М. 1970
9. Никитенко Ю.В., Рефлектометрия поляризованных нейтронов / Никитенко Ю.В., Сыромятников В.Г. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2013.
10. К.Клайнкнехт. Детекторы корпускулярных излучений, М.: Мир, 1990
11. Д.И.Свергун, Л.А.Фейгин. Рентгеновское и нейтронное малоугловое рассеяние, М.: Наука, 1986
12. Под. Ред. М.А. Вайнштейна, современная кристаллография. Т1. Симметрия кристаллов. Методы структурной кристаллографии, М: Наука, 1979.

Дополнительная литература

Фонд литературы кафедры

1. Ч.Киттель, Введение в физику твердого тела, М.: «Наука», 1978
2. Н.Ашкрофт, Н.Мермин, Физика твердого тела, М.: «Мир», 1979
3. Ю.М.Останевич, И.Н.Сердюк. УФН т.137, вып.1, 1982, с.85
4. К.Уиндзор, Рассеяние нейтронов от импульсных источников, М.: Энергоатомиздат, 1985
5. С.В.Малеев, Исследование конденсированных сред поляризованными нейтронами, препринт ПИЯФ 2083, Гатчина, 1995

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

1. <http://www.ipmt-hpm.ac.ru/labs/xray/ru/main.html>
2. <http://www.lightsources.org/cms/?pid=1000098>
3. <http://www.lightsources.org/cms/?pid=1000103>
4. <http://www.xfel.eu/>
5. <http://nrd.npi.spb.ru/reaktorPIK/pik.html>

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

1. <http://flnph.jinr.ru/ru/>
2. <http://nrd.pnpi.spb.ru/reaktorPIK/pik.html>
3. <https://nmi3.eu/>
4. <https://www.ill.eu/neutrons-for-society/neutron-techniques/>

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:	1
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	А.В. Белушкин, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Методы нейтронного рассеяния для исследований конденсированных сред» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории и формулы, описывающие рассеяние нейтронов в конденсированных средах;
- получение, формирование и детектирование нейтронных пучков;
- теоретические основы ядерного и магнитного рассеяния нейтронов;
- методики проведения экспериментов и обработки данных по нейтронному рассеянию;
- основные методы использования нейтронов для изучения свойств вещества.

уметь:

- рассчитывать параметры элементов экспериментальных установок нейтронного рассеяния;
- применять физические теории к описанию характеристик взаимодействия нейтронов с веществом, а также соответствующие методы исследования, основанные на их использовании;
- решать основные уравнения классической и квантовой теории нейтронного рассеяния;
- эффективно использовать современные информационные технологии и ресурсы для получения необходимых знаний по интересующей научной проблеме.

владеть:

- специальной терминологией в области нейтронного рассеяния;
- методиками построения моделей к описанию взаимодействия нейтронов с веществом;
- 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.

3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков

Промежуточная аттестация по дисциплине «Основы рассеяния нейтронов в конденсированных средах» осуществляется в форме дифференцированного зачета. Дифференцированный зачет проводится в устной форме.

Перечень контрольных вопросов:

- 1) определите полное, дифференциальное и дважды дифференциальное сечение рассеяния.
- 2) Покажите, что сечение рассеяния нейтронов изолированным ядром равно $4\pi b^2$.
- 3) Почему водородсодержащие вещества эффективно замедляют нейтроны?
- 4) Какими причинами вызывается наличие некогерентного сечения рассеяния
- 5) В чем состоит приближение малоуглового рассеяния.
- 6) Что такое вариация контраста?
- 7) Напишите выражение формулы Дебая для малоуглового рассеяния.
- 8) Запишите формулу коэффициента преломления нейтронной волны.
- 9) Запишите формулу Френеля.
- 10) К каким эффектам ведет шероховатость поверхности при отражении нейтронов?
- 11) Запишите основное уравнение рассеяния нейтронов.
- 12) Что такое квазиупругое нейтронное рассеяние?
- 13) Принцип действия спектрометра спин-эхо.
- 14) В чем влияние фактора Дебая-Валлера на картину дифракции.
- 15) Принцип работы газового пропорционального счетчика.

Примеры тестовых заданий:

1. свободный нейтрон распадается на:

А) отрицательный мюон, позитрон и гамма квант

В) не распадается, поскольку это стабильная частица

Б) протон, электрон и электронное антинейтрино

Г) положительный мюон, электрон и электронное антинейтрино

2. Структурный фактор для дифракции нейтронов описывается формулой:

А) $\sum b_i \exp(i\mathbf{qr}_i)$; где b_i -произвольные весовые коэффициенты, \mathbf{r}_i – координаты атомов в элементарной ячейке

В) $\sum b_i \exp(\mathbf{qr}_i)$; где b_i -когерентные длины рассеяния нейтронов ядрами, \mathbf{r}_i – координаты атомов в элементарной ячейке

Б) $\sum b_i \exp(i\mathbf{qr}_i)$; где b_i -когерентные длины рассеяния нейтронов ядрами, \mathbf{r}_i – координаты узлов элементарной ячейки

Г) $\sum b_i \exp(i\mathbf{qr}_i)$; где b_i -когерентные длины рассеяния нейтронов ядрами, \mathbf{r}_i – координаты атомов в элементарной ячейке

3. Условие дифракции по Лауэ состоит в том, что

А) угол падения нейтронов на образец равен углу отражения

В) вектор рассеяния нейтронов равен вектору обратной решетки кристалла

Б) длина волны нейтрона примерно равна межатомным расстояниям в кристалле

Г) взаимодействие нейтрона с атомами описывается псевдопотенциалом Ферми

4. С ростом атомного номера элемента сечение рассеяния нейтронов:

А) Увеличивается

В) Не изменяется

Б) Уменьшается

Г) Может как увеличиваться, так и уменьшаться

6. Формула Дебая в малоугловом рассеянии применима если:

А) длина волны нейтронов больше

В) частицы изотропно распределены в

- характерного размера рассеивающих частиц растворе по расстояниям и ориентациям
- Б) рассеяние носит неупругий характер Г) всегда применима
7. Критическим углом скольжения при отражении нейтронов называется:
- А) максимальный угол, при котором В) угол, которым нейтрон не может быть
выполняется условие полного внешнего отражен от поверхности
отражения
- Б) угол, при котором начинают играть роль Г) максимальный угол, до которого атомное
неупругие процессы строение вещества не оказывает роли на
процессы отражения
8. В экспериментах по изучению вращательной диффузии молекул в спектре рассеяния нейтронов наблюдается
- А) только квазиупругая компонента В) упругая и неупругая компонента
- Б) только упругая компонента Г) упругая и квазиупругая компонента
9. Адиабатическое изменение магнитного поля в экспериментах по рассеянию поляризованных нейтронов означает
- А) скорость изменения направления В) ведущее магнитное поле слабо меняется
ведущего магнитного поля в пространстве по величине за время пребывания нейтрона
меньше скорости нейтрона в поле
- Б) угловая скорость изменения направления Г) на величину и направление магнитного
вектора ведущего магнитного поля в поля не влияют внешние факторы
пространстве много меньше ларморовской
частоты прецессии спина нейтрона

Примеры задач:

- 1) Для нейтронов, имеющих скорость 2200 м/с, оценить расстояние, на котором интенсивность нейтронного пучка уменьшится в два раза за счет конечного времени жизни нейтрона.
- 2) Лучший в мире стационарный реактор в Гренобле генерирует нейтронный поток $1.5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Читаю скорость нейтронов равной 2200 м/с, оценить плотность нейтронов и давление воздуха, которое будет отвечать такой же плотности.
- 3) Пластика образца расположена перпендикулярно пучку нейтронов. Показать, что ослабление пучка будет описываться формулой $I(z) = I_0 \exp(-\mu z)$, где z – расстояние от поверхности образца, μ – линейный коэффициент ослабления.
- 4) Имеется два замедлителя нейтронов: один при 300 К, второй при 30 К. Для каждого из замедлителей рассчитать отношение интенсивностей нейтронного потока для длины волны 4 Å и 20 Å.
- 5) Для малоуглового рассеяния на однородной сферической частице показать, что форм-фактор равен $F^2(Q) = \left(\frac{3 \sin QR - QR \cos QR}{Q^3 R^3} \right)^2$
- 6) Для нейтронного цилиндрического сечения, изготовленного из материала с критическим углом скольжения γ_c , оценить телесный угол, в пределах которого все нейтроны пройдут через нейтронный вод.

7) Показать, что для прямого нейтроновода длиной L прямоугольного сечения ($a \times b$) максимальное число отражений нейтронов от стенок нейтроновода равно

$$n_{\max} = \gamma_c \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) L.$$

8) Определите угол рассеяния 2θ нейтронов энергией 5 мэВ от пиролитического графита с вектором обратной решетки 1.8734 \AA^{-1} .

9) Показать, что энергетическая плотность конечных состояний для нейтронов после рассеяния выражается формулой $\frac{V k_f m_n}{2\pi^2 \hbar^2}$

10) Для малоуглового рассеяния рассчитать Фурье-образ и интенсивность рассеяния для двух точечных частиц, находящихся на расстоянии R друг от друга

Примеры билетов (заданий, тестов и др. материалов, используемых для проведения дифференцированного зачета):

Билет № 1

1. Поток нейтронов. Сечение рассеяния. Сечение поглощения. Дифференциальное сечение рассеяния. Дважды дифференциальное сечение рассеяния. Ослабление нейтронного пучка за счет рассеяния и поглощения.
2. Основные принципы нейтронной рефлектометрии. Коэффициент преломления нейтронной волны. Критический угол скольжения. Формула Френеля. Отражение от тонкой пленки на гладкой подложке.
3. Бериллиевый фильтр имеет ГПУ структуру с параметром ячейки $a = 2.27 \text{ \AA}$. он используется для выведения из пучка нейтронов с длиной волны меньше некоторой критической за счет эффектов дифракции. Рассчитать эту длину волны и соответствующую энергию нейтронов.

Билет № 2

1. Нейтронные детекторы. Газовые пропорциональные счетчики. Коэффициент газового усиления. Сцинтилляционные детекторы. Мониторы пучка.
2. Малоугловое рассеяние. Сечение рассеяния от наноразмерных объектов. Структурный фактор. Малоугловое приближение. Малоугловое рассеяние от наночастиц в растворе. Форм-фактор твердой сферы и других простых форм. Полидисперсность. Взаимодополняемость нейтронов и СИ. Формула Дебая. Приближение Гинье.
3. Предполагаем, что нейтронный селектор скоростей имеет длину 0.25 метров, число поглощающих пластин 68, угол разворота пластин от входа до выхода составляет 48.3° . Рассчитать скорость вращения селектора для выделения из спектра нейтронов с длиной волны 10 \AA .

Билет № 3

1. Квантово-механическое описание процесса рассеяния. Начальное и конечные состояния. Плотность состояний. Основное уравнение рассеяния. Упругое рассеяние на одном и нескольких ядрах. Неупругое рассеяние нейтронов.
2. Квазиупругое рассеяние нейтронов. Непрерывная диффузия. Модель прыжковой диффузии. Модель вращательной диффузии. Спектрометры для исследования процессов диффузии.
3. Какой толщины должен быть слой ^{10}B , чтобы поглотить 99% падающего пучка тепловых нейтронов? Сечение захвата тепловых нейтронов ядром ^{10}B около $4000 \times 10^{-24} \text{ см}^2$. Плотность бора составляет 2.4 г/см^3 .

Билет № 4

1. Полное сечение рассеяния от системы ядер. Экспериментальные соображения. Когерентное упругое рассеяние от многих ядер. Квантовое описание сечения рассеяния.
2. Получение, формирование и детектирование нейтронных пучков. Коллиматоры. Нейтроноводы. Монохроматоры. Прерыватели пучка и селекторы скоростей. Поляризующие фильтры. Поляризующие зеркала. Поляризующие монохроматоры. Спин-флипперы. Газовые и сцинтилляционные детекторы.
3. Детектор нейтронов на основе He^3 имеет толщину 1.5 см. сечение захвата нейтронов атомами He^3 для длины волны нейтронов 1.8 \AA равно $5333 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$ и линейно растет с ростом длины волны. Рассчитать эффективность регистрации нейтронов таким детектором для длин волн 0.9 и 1.8 \AA если давление газа в счетчике равно 4 атм.

Билет № 5

1. Свойства нейтрона. Дуализм волна-частица. Источники нейтронов. Нейтроны для изучения конденсированных сред. Характеристики нейтрона как частицы. Соотношения между различными кинематическими характеристиками нейтрона как частицы и как волны. Получение нейтронов. Типы исследовательских источников нейтронов. Замедление нейтронов. Спектральное распределение замедленных нейтронов. Особенности свойств нейтронов для изучения свойств конденсированных сред.
2. Нейтронное спиновое эхо. Эффект спинового эха. Спиновое эхо при неупругом рассеянии. Спин-эхо спектрометр.
3. Имеется нейтроновод длиной 20 метров, покрытие никелем, $m=1$, сечением $50 \times 50 \text{ мм}^2$, которое освещается замедлителем $d^2=150 \times 150 \text{ мм}^2$, расположенным на расстоянии $L=1.5 \text{ м}$. Сравнить нейтронный поток на выходе нейтроновода для нейтронов с длиной волны 4 \AA с аналогичным по геометрическим параметрам коллиматором, стенки которого полностью поглощают нейтроны.

4. Критерии оценивания

Оценка	Баллы	Критерии
отлично	10	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.
	9	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.
	8	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 недочетами.
хорошо	7	Выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.
	6	Выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.
	5	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.
удовлетворительно	4	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.
	3	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.
неудовлетворительно	2	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.

	1	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

Для устного дифференцированного зачета:

При проведении устного дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется не менее 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.

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