

ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ БИОМЕДИЦИНЫ

КАФЕДРА МЕДИЦИНСКОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО НТС ИФИБ

Протокол № 3/2

от 30.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 03.04.02 Физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
1	2	72	32	16	0		24	0	3
Итого	2	72	32	16	0	0	24	0	

АННОТАЦИЯ

Настоящий курс вводится с целью ознакомления студентов, специализирующихся в области медицинской физики с возможностями использования синхротронного излучения (СИ) для исследования в различных областях науки и техники, включая биофизику и медицину. В курсе обсуждены важнейшие свойства синхротронного излучения, дан обзор развития современных источников СИ в мире и в России, приведены данные о действующих и проектируемых станциях Курчатовского источника синхротронного излучения, включая биофизические и медицинские станции. Рассмотрены различные экспериментальные методики исследования наноматериалов и биофизических объектов с использованием СИ. Дано подробное описание наиболее информативных методов в области биофизики и медицины: малоуглового рассеяния, аномальной рентгеновской дифракции, рефракционной интроскопии, маммографии, денситометрии, ангиографии и микролучевой терапии, а также методов исследования конденсированных сред и наноструктур: спектроскопии рентгеновского излучения (XAFS- спектроскопии), резонансного неупругого рентгеновского рассеяния (RIXS), рентгеновского магнитного кругового дихроизма (XMCD) и фотоэлектронной спектроскопии.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины «Синхротронное излучение в биологии и медицине» является ознакомление студентов с методами исследования биофизических объектов, конденсированных сред и наноструктур с использованием синхротронного излучения, а также применения синхротронного излучения в медицинских целях.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Логически и содержательно–методически дисциплина является частью заключительной специализации, являющейся необходимой частью знаний медицинского физика в области использования современных технологий и методов исследования, таких как спектроскопия при помощи синхротронного излучения, для анализа структуры вещества и возможностей использования данной методики в медицине и биологии.

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания общей и теоретической физики, основ биологии и биохимии.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача	Объект или	Код и наименование	Код и наименование
--------	------------	--------------------	--------------------

профессиональной деятельности (ЗПД)	область знания	профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	индикатора достижения профессиональной компетенции
проектный			
Применение результатов научных исследований в инновационной деятельности, участие в формулировке новых задач и разработке новых методических подходов в научно-инновационных исследованиях, разработка проектной документации	Результаты научной деятельности	ПК-2 [1] - Способен принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-2[1] - знать современные направления исследований в своей профессиональной области ; У-ПК-2[1] - уметь анализировать и выявлять перспективные направления в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности ; В-ПК-2[1] - владеть современными методиками и подходами в решении научноинновационных и инженернотехнологических задач в профессиональной сфере

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>1 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8		КИ-8 (25)	25	КИ-8	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
2	Второй раздел	9-16		КИ-16 (25)	25	КИ-16	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2

	<i>Итого за 1 Семестр</i>		32/16/0		50		
	Контрольные мероприятия за 1 Семестр				50	3	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	32	16	0
1-8	Первый раздел	16	8	
1	Вводная лекция. Синхротронное излучение. Определение синхротронного излучения (СИ). Основные свойства СИ. Малая расходимость. Высокая яркость. Высокая интенсивность. Когерентность СИ. Временная структура СИ. Динамика электрона, движущегося в накопительном кольце. Эмиттанс источников СИ. Обзор методов исследований с использованием синхротронного излучения.	Всего аудиторных часов		
		2		
		Онлайн		
2	2 неделя. Спектральные диапазоны электромагнитного излучения, получаемого в синхротронных центрах. Основные свойства рентгеновского излучения. Источники рентгеновского излучения. Свойства тормозного и характеристического излучения рентгеновских трубок. Волновые свойства рентгеновских лучей: преломление и отражение. Корпускулярные свойства рентгеновских лучей: упругое и неупругое рассеяние. Томсоновское – рассеяние на покоящемся электроне. Рэлеевское – рассеяние на атомах и молекулах. Неупругое комптоновское рассеяние. Обратный комптон-эффект. Поглощение рентгеновских лучей. Полное сечение поглощения. Типичные примеры спектров поглощения. Схемы возбуждения электронных оболочек атомов. Источники синхротронного излучения. Бетатроны, циклотроны, синхротроны. Синхротроны первого, второго и третьего поколений. Элементы устройства синхротрона. Курчатовский источник	Всего аудиторных часов		
		2	2	
		Онлайн		

	синхротронного излучения – КИСИ. Устройство накопительных колец «Сибирь-1» и «Сибирь-2». Описание экспериментальных станции КИСИ.			
3	3 неделя. Основные свойства релятивистских и ультра релятивистских электронов. Понятие релятивистского лоренц-фактора. Параметры накопительного кольца и характеристики синхротронного излучения. Определение критической длиной волны и критической энергии. Основные свойства СИ. Мощность СИ. Спектрально-угловое распределение мощности. Формула Шота. Поляризационные свойства СИ. Когерентность СИ. Временная структура СИ. Принципы и методы фокусировки рентгеновского излучения. Зеркала скользящего падения. Брегг-френелевские линзы. Композитные рефракционные линзы. Поликапиллярная оптика. Рентгеновские зеркала с алмазным покрытием. Фокусировка на изогнутых кристаллах.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
4	4 неделя. Европейские синхротроны 3-го поколения. Синхротрон APS (Advanced Photon Source) (Чикаго, США). Синхротронный центр Spring-8 (Япония). Эмиттанс источников СИ. Способы повышения энергии и яркости источников СИ. Специализированные магнитные устройства – шифтеры, ондуляторы и вигглеры. Форма излучения из поворотного магнита, вигглера и ондулятора. Свойства ондуляторного излучения. Угловое распределение ондуляторного излучения. Спектральный состав ондуляторного излучения. Спонтанное и/или когерентное излучение ондуляторов. Микробанчи. Детекторы рентгеновского излучения. Основные характеристики рентгеновских детекторов. Ионизационные детекторы. Полупроводниковые детекторы. Полупроводниковый флуоресцентный детектор. Сцинтилляционные детекторы. Координатные детекторы. Методы определения координат в координатно чувствительных детекторах. Телевизионные (CCD) детекторы. Координатные детекторы на pin-диодных матрицах. IP-детекторы (на пластинах с оптической памятью).	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
5	5 неделя. СИ в биологии и медицине. Рентгеновская белковая кристаллография. Аномальная рентгеновская дифракция в биологических объектах. Малоугловое рассеяние. Рефракционная интроскопия. Маммография. Денситометрия. Ангиография.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
6	6 неделя. СИ в биологии и медицине. Микрокомпьютерная томография. Микролучевая терапия. Рентгенофлуоресценция. Медицинские и биофизические станции Курчатовского источника синхротронного излучения. Преимущества синхротронного излучения.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		

7	7 неделя. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Рассеяние и поглощение рентгеновского излучения. Рентгеновские методы диагностики и исследования наноструктур с использованием синхротронного излучения. Рентгеновская дифракция. Дифракционное рассеяние рентгеновских лучей на кристаллах представляет собой процесс интерференции пучков, отраженных различными плоскостями кристаллической решетки. Закон Брэгга-Вульфа. Рентгеновская эмиссия, аномальное рассеяние, резонансное неупругое рассеяние. Комбинированные явления неупругого и аномального рассеяния. Аномальная дифракция. Парная радиальная функция распределения (PDF). Парные радиальные функции распределения (PDF) сложных оксидов $\text{Ln}_2\text{O}_3\text{-MO}_2$	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
8	8 неделя. Рентгеновская спектроскопия поглощения - XAFS – спектроскопия (X-ray Absorption Fine Structure). Основные преимущества XAFS-спектроскопии. Две области XAFS-спектроскопии: околопороговая структура рентгеновского спектра поглощения – XANES (X-Ray Absorption Near Edge Structure) и протяженная тонкая структура рентгеновского спектра поглощения – EXAFS (Extended X-Ray Absorption Fine Structure). История развития метода.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
9-16	Второй раздел	16	8	
9	9 неделя. Физические основы EXAFS- спектроскопии. Вид экспериментально определяемого коэффициента поглощения рентгеновского излучения. Понятие коэффициента поглощения «свободного атома». Физические причины возникновения осциллирующей структуры коэффициента поглощения. Теория EXAFS. Определение EXAFS- функции. Типы представлений EXAFS- функции. Последовательность шагов при извлечении EXAFS- функции из экспериментального спектра. Амплитуда и фаза обратного рассеяния фотоэлектронов, зависимость от волнового вектора. Фактор Дебая-Валлера в EXAFS- спектроскопии. Методы моделирования EXAFS- функции. Извлекаемые из EXAFS- спектров параметры локальной атомной структуры.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
10	10 неделя. EXAFS – спектроскопия высокотемпературных сверхпроводников. Локальные зарядовые и структурные неоднородности в CuO_2 плоскости ВТСП. Моделирование $\chi(k)$ в g - пространстве с помощью модельного потенциала $U(r)$. Схема взаимосвязи локальной электронной и локальной кристаллической структур в ВТСП. Двухъямный потенциал колебаний иона кислорода в CuO_2 плоскости купратных ВТСП. Критерии выбора модели для описания EXAFS- спектров. Новый метод анализа EXAFS спектров-вэйвлет анализ. Достижения XAFS-	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		

	спектроскопии при исследовании локальной структуры нанокластеров, нанотрубок и других наносистем.			
11	11 неделя. Физические основы XANES – спектроскопии - околосредовой тонкой структуры рентгеновских спектров поглощения. Электронные уровни атом и их изменение при образовании химических связей. Электронные уровни молекул. Молекулярные орбитали. Источники информации в XANES спектрах: высота предпика - координационный полиэдр, степень окисления (число вакансий); абсолютное положение основного края - степень окисления (электро-статический потенциал на ядре); высота пика на основном крае поглощения - координационное число (примешивание орбиталей лигандов). Программы обработки XANES – спектров. XANES – спектроскопия в биофизике. XANES – спектроскопия медных координационных соединений. XANES – спектроскопия углерода. XANES – спектроскопия органических соединений. XANES – спектроскопия квазикристаллов. XANES – спектроскопия свободных нанокластеров меди. XANES – спектроскопия каталитически активных нанокластеров золота. XANES – спектроскопия каталитических комплексов на основе рутения. XANES спектроскопия промежуточновалентных соединений редкоземельных элементов. XANES – методика измерения валентного состояния редкоземельных элементов. L3-XANES спектроскопия промежуточновалентных соединений редкоземельных элементов с различными типами магнитного упорядочения.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
12	12 неделя. Возможные режимы регистрации данных рентгеновской спектроскопии. Основные режимы: на пропускание; по выходу флуоресценции. Дополнительные режимы: по выходу электронов; по рентгеновскому отражению; по выходу ионов (PSID); по выходу оптической люминесценции (XEOL); по изменению электропроводности (для полупроводников); по изменению интенсивности дифракционных линий (аномальная дисперсия). Принципиальная схема дисперсионного EXAFS- спектрометра. Достижения XAFS- спектроскопии при исследовании локальной структуры нанокластеров, нанотрубок и других наносистем. Рентгеновская резонансная дифракция (RXS). Дифракционная аномальная тонкая структура (DAFS). Дифракционная аномальная спектроскопия вблизи края поглощения (DANES).	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
13	13 неделя. Резонансное неупругое рентгеновское рассеяние (RIXS). Двухмерные карты RIXS. Флуоресцентные спектры поглощения высокого энергетического разрешения	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		

	HERFD. Оценка валентности редкоземельных ионов по данным RIXS. Рентгеновский магнитный круговой дихроизм (XMCD). Разделение орбитального и спинового вкладов. Магнитный круговой дихроизм в ферромагнетиках. Магнитный круговой дихроизм в ферромагнетиках. Магнитный круговой дихроизм в антиферромагнетиках. Магнитный круговой и линейный дихроизм – зависимость от поляризации СИ. Эксперименты с временным разрешением (pump-probe). Эксперименты с фемтосекундным разрешением. Химические реакции с фемтосекундным разрешением. Магнитный рентгеновский круговой дихроизм с временным разрешением. XAFS- исследования с временным разрешением.			
14	14 неделя. Физические принципы фотоэлектронной спектроскопии. Процесс фотоэмиссии. Уравнение фотоэффекта. Способы извлечения количественной информации об энергиях связи различных уровней в результате измерения кинетической энергии вышедшего из образца фотоэлектрона. Рентгеновские и спектроскопические обозначения электронных уровней. Спин-орбитальное расщепление. Принципиальные схемы фотоэлектронных спектрометров. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS). Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия (UPS). Способы применения ФЭС для анализа поверхности и пленок. Определение толщины тонких пленок и наличие в них пор. Измерение толщины сверхтонких плёнок методом РФЭС. Использование РФЭС в нанoeлектронике. Исследования методом высокоэнергетической РФЭС. Оже-спектроскопия. Фотоэлектронная спектромикроскопия. Фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением (ARPES). Принципиальная схема установки ARPES. ARPES квазикристаллов. ARPES – высокотемпературных сверхпроводников. Инверсионная фотоэмиссионная спектроскопия (IPES). Достижения фотоэлектронной спектроскопии при исследовании электронной структуры нанокластеров, нанотрубок и других наносистем.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
15	15 неделя. Свойства терагерцового излучения. Терагерцовые лазеры на свободных электронах. Использование излучения терагерцового лазера: физика твердого тела, спектроскопия, химия, биология и медицина, визуализация, системы безопасности, микроэлектроника, оптика атмосферы, связь, промышленные применения, терагерцовая томография. Использование излучения терагерцового лазера для абляции. Терагерцовый лазер в химии и биологии: многофотонная диссоциация молекул; инициирование химических реакций; определение масс биологических нанобъектов методом субмиллиметровой лазерной абляции.	Всего аудиторных часов		
		2	1	
		Онлайн		
16	16 неделя.	Всего аудиторных часов		

	Излучение СИ является некогерентным, т.е. фазы волн, излучаемых электронами, нескоррелированы. В этом случае интенсивность излучения пропорциональна числу испускаемых квантов N . Для когерентного излучения характерно то, что складываются фазы волн, и интенсивность пропорциональна N в квадрате. Показано, что когерентность может проявляться в длинноволновой части спектра, когда длина волны излучения становится порядка длины электронного сгустка, тогда в спектре распределения мощности СИ наблюдается второй максимум, обусловленный тем, что увеличение мощности больше, чем спад кривой. Возможность получения когерентного излучения в более коротковолновой области связана с построением лазера на свободных электронах. Обычно в лазерах используются переходы между связанными уровнями, которых существуют в твердых телах и молекулярных системах. В электронном сгустке уровни квазинепрерывны, т.е. энергетическое расстояние между ними мало. Когерентное усиление электромагнитного излучения можно получить в системах с инверсной населенностью. Для этого необходимо создать когерентные сгустки электронов, сгруппированные на расстояниях меньше, чем длина излучаемой волны. При этом сгусток выступает как эффективный заряд, величина которого пропорциональна количеству электронов в сгустке. Такие сгустки могут быть созданы при взаимодействии пучка электронов с полем электромагнитной волны. Для движущихся в ондуляторе электронов переменное магнитное поле представляет собой электромагнитную волну. При этом происходит продольная группировка электронов, т.е. сгустки разбиваются на подсгустки. Механизм группировки является в какой-то мере аналогом группировки электронов в синхротроне при одновременном действии переменного магнитного и электрического полей. Роль группирующей волны также может играть «затравочная» волна спонтанного излучения. Когда электроны проходят через ондулятор большой длины, сначала излучение некогерентно, затем излучение группы электронов становится когерентным, наконец, происходит самоусиление спонтанного излучения, и вследствие интерференции мощность излучения становится пропорциональной N в квадрате. В настоящее время уже созданы лазеры на свободных электронах в терагерцовом диапазоне частот, и ведется работа по созданию лазеров в рентгеновском диапазоне.	2	1	
		Онлайн		

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
-------------	---------------------

ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс «Синхротронное излучение в биологии и медицине» представляет собой набор семинарских занятий, направленных на ознакомление студентов с основными свойствами, источниками и областями применения синхротронного излучения. Большая часть времени (24 часа) отведена на самостоятельную работу студентов. Она заключается в изучении литературы, закреплении пройденного материала и написании рефератов. На занятиях происходит обсуждение пройденных или изученных студентами самостоятельно тем и написанных рефератов.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-2	З-ПК-2	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-2	З, КИ-8, КИ-16

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал,

			исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	В	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		С	
70-74		Д	
65-69	3 – «удовлетворительно»	Е	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Оценочные средства приведены в Приложении.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Ф 45 Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2007
2. 548 Ф45 Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ : учебное пособие для вузов, Г. В. Фетисов ; ред. Л. А. Асланов, Москва: Физматлит, 2007

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Темы для самостоятельной работы студентов

«Синхротронное излучение в биологии и медицине»

Тема 1. Свойства синхротронного излучения.

Прочитать Главы 1,2, Книги Г.В.Фетисов. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ (под редакцией Л.А.Асланова), Издательство М.: Физматлит - 2007 - 672 с.

Изучить статью И.М. Тернов, Синхротронное излучение, УФН, 1995, т.165, стр.429.

Тема 2. Курчатовский источник синхротронного излучения – КИСИ.

Изучить CD-диск с описанием рабочих станций курчатовского центра синхротронных исследований и нанотехнологий (представляется лектором).

1. Тема 3. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом.

Прочитать Главу 4, Книги Г.В.Фетисов. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ (под редакцией Л.А.Асланова), Издательство М.: Физматлит - 2007 - 672 с.

Изучить разделы 4,5,6 книги А.А.Соколов, И.М.Тернов Синхротронное излучение. -М.: Наука, 1966.-228с.

2. Тема 4. Рентгеновская спектроскопия поглощения - XAFS – спектроскопия (X-ray Absorption Fine Structure).

Изучить главы 1-3 книги Д.И. Кочубей, К.И. Замараев, Р.В. Ведринский, В.Л. Крайзман, Г.Н. Кулипанов, Л.Н. Мазалов, А.Н. Скринский, В.К. Федоров, Б.Ю. Хельмер, А.Т. Шуваев, Ю.А. Бабанов Рентгеноспектральный метод изучения аморфных тел. EXAFS-спектроскопия. Новосибирск, 1988.

Прочитать статьи: В.Л.Аксенов, С.И.Тютюнников, А.Ю.Кузьмин, Ю.Пуранс “EXAFS-спектроскопия на пучках синхротронного излучения”. Физика элементарных частиц и атомного ядра Т.32, в.6, с.1299-1357 (2001), И.Б.Боровский, Р.В.Ведринский, В.Л.Крайзман, В.П.Сиченко “EXAFS- спектроскопия – новый метод структурных исследований” УФН, 149, в.2, 1986, стр. 275-320.; А.В.Солдатов “ От спектроскопии EXAFS к спектроскопии XANES; новые возможности исследования материи” Соросовский образовательный журнал, № 12, 1998 стр. 101-104.; Н.Funke, A.C.Seheinost, M.Chukalina “Wavelet analysis of extended x-ray absorption fine structure data” Phys.Rev. B 71, 2005, 094110-7.; J.J.Rehr, A.L.Ankudinov “Progress in the theory and interpretation of XANES” Coordination Chemistry Reviews 249, 2005, 131-140. (статьи предоставляются лектором в электронном виде).

Тема 5. Фотоэлектронная спектроскопия.

Изучить главы 1-4 книги Трапезников В.А., Шабанова И.Н. Рентгеноэлектронная спектроскопия сверхтонких поверхностных слоев конденсированных систем. – М.: Наука, 1988.

Изучить главы 3-6 книги Нефедов В.И. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия химических соединений. – М.: Химия, 1984.

Прочитать статьи раздела 4 сборника статей: Surface Analysis by Auger and X-ray Photoelectron Spectroscopy, Ed. By D. Briggs and J.T. Grant, IM Publications, Chichester, UK, 2003.

ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ

Промежуточная аттестация по итогам освоения данного курса представляет собой зачет.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЧЕТУ

1. Определение синхротронного излучения (СИ). Угловое распределение мощности СИ в случае нерелятивистского и релятивистского движений.
2. Основные свойства СИ: мощность, яркость, эмиттанс источника СИ.
3. Синхротроны первого, второго и третьего поколений.
4. Способы повышения энергии излучаемого СИ. Шифтеры и вигглеры.
5. Ондуляторы: свойства ондуляторного излучения; ондуляторный параметр, механизм образования когерентного излучения в ондуляторе.
6. Фокусировка рентгеновского излучения. Схемы фокусировки СИ. Многослойные зеркала. Брегг-френелевские линзы. Композитные рефракционные линзы.
7. Детекторы рентгеновского излучения.
8. Аномальная рентгеновская дифракция.
9. Рентгеновская спектроскопия поглощения. EXAFS – спектроскопия. Физические основы. Извлекаемые из EXAFS- спектров параметры локальной атомной структуры.
10. Физические основы XANES - спектроскопии. Извлекаемые из XANES - спектров параметры. Методы определения валентного состояния редкоземельных ионов.
11. Резонансная дифракция: DAFS, DANES.
12. Резонансное неупругое рентгеновское рассеяние (RIXS)
13. Рентгеновский магнитный круговой дихроизм (XMCD)
14. . Физические основы фотоэлектронной спектроскопии. Принципиальные схемы фотоэлектронных спектрометров.
15. Фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением (ARPES).
16. Оже-спектроскопия.
17. Рентгеновские лазеры на свободных электронах. Эффект самоусиления спонтанного излучения (SASE).
18. Терагерцовое излучение и его применение в биологии и медицине.
19. Малоугловое рассеяние рентгеновских лучей, применение в биологии.
20. Физические основы рентгеновской рефракционной интроскопии. Применение в биологии и медицине.
21. Физические основы рентгеновской денситометрии. Применение в биологии и медицине.
22. Маммография с использованием СИ
23. Ангиография с использованием СИ
24. Микролучевая терапия с использованием СИ.

Список рекомендуемой литературы

Основная.

- Г.В.Фетисов. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ (под редакцией Л.А.Асланова), Издательство М.: Физматлит -2007 - 672 с.
- Синхротронное излучение: из рук физиков - в руки врачей В.Г. Недорезов Природа №5, 2005 г.
- Зубавичус Я.В., Словохотов Ю.Л. Рентгеновское синхротронное излучение в физико-химических исследованиях// Успехи химии.- 2001.-Т.70,№ 5, - С.429.
- И.М.Тернов, В.В.Михайлин Синхротронное излучение. Теория и эксперимент.-М.: Энергоатомиздат, 1986.-296с.
- А.А.Соколов, И.М.Тернов Синхротронное излучение.-М.: Наука, 1966.-228с.
- Михайлин В.В. Синхротронное излучение в исследовании свойств вещества. Соросовский образовательный журнал, 1996, №9, с.100-106.

Дополнительная

1. “Генераторы когерентного излучения на свободных электронах”: сб. статей, пер. с англ. под ред. А.А. Рухадзе -М.: Мир, 1983.
2. И.Б.Боровский, Р.В.Ведринский, В.Л.Крайзман, В.П.Сиченко “EXAFS- спектроскопия – новый метод структурных исследований” УФН, 149, в.2, 1986, стр. 275-320.
3. А.В.Солдатов “ От спектроскопии EXAFS к спектроскопии XANES; новые возможности исследования материи” Соросовский образовательный журнал, № 12, 1998 стр. 101-104.
4. H.Funke, A.C.Seheinost, M.Chukalina “Wavelet analysis of extended x-ray absorption fine structure data” Phys.Rev. B 71, 2005, 094110-7.
5. J.J.Rehr, A.L.Ankudinov “Progress in the theory and interpretation of XANES” Coordination Chemistry Reviews 249, 2005, 131-140.
6. М.В.Федоров “Электрон в сильном световом поле” -М: Наука, 1991.
7. Т. Маршалл “Лазеры на свободных электронах” пер. с англ. -М:Мир, 1987
8. И.М. Тернов, Синхротронное излучение, УФН, 1995, т.165, стр.429.
9. Г.Фрейнд, Р.Паркер, Лазеры на свободных электронах. В Мире Науки 1989, вып.6,стр.42.
10. Кулипанов Г.Н., Скринский А.Н, Использование синхротронного излучения: состояние и перспективы, УФН,1977, т.122,с.369.
11. Эттвуд Д. и др. Перестраиваемое когерентное рентгеновское излучение, УФН, 1989, т.125, вып.1, с.125.
12. Surface Analysis by Auger and X-ray Photoelectron Spectroscopy, Ed. By D. Briggs and J.T. Grant, IM Publications, Chichester, UK, 2003.
13. Нефедов В.И. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия химических соединений. – М.: Химия, 1984.
14. Трапезников В.А., Шабанова И.Н. Рентгеноэлектронная спектроскопия сверхтонких поверхностных слоев конденсированных систем. – М.: Наука, 1988.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Настоящий курс вводится с целью ознакомления студентов, специализирующихся в области медицинской физики с возможностями использования синхротронного излучения (СИ) для исследования в различных областях науки и техники, включая биофизику и медицину. В курсе обсуждены важнейшие свойства синхротронного излучения, дан обзор развития современных источников СИ в мире и в России, приведены данные о действующих и проектируемых станциях Курчатовского источника синхротронного излучения, включая биофизические и медицинские станции. Рассмотрены различные экспериментальные методики исследования наноматериалов и биофизических объектов с использованием СИ. Дано подробное описание наиболее информативных методов в области биофизики и медицины: малоуглового рассеяния, аномальной рентгеновской дифракции, рефракционной интроскопии, маммографии, денситометрии, ангиографии и микроручевой терапии, а также методов исследования конденсированных сред и наноструктур: спектроскопии рентгеновского излучения (XAFS- спектроскопии), резонансного неупругого рентгеновского рассеяния (RIXS), рентгеновского магнитного кругового дихроизма (XMCD) и фотоэлектронной спектроскопии.

Целью освоения учебной дисциплины «Синхротронное излучение в биологии и медицине» является ознакомление студентов с методами исследования биофизических объектов, конденсированных сред и наноструктур с использованием синхротронного излучения, а также применения синхротронного излучения в медицинских целях.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

1 неделя.

Вводная лекция. Синхротронное излучение.

Определение синхротронного излучения (СИ). Основные свойства СИ. Малая расходимость. Высокая яркость. Высокая интенсивность. Когерентность СИ. Временная структура СИ. Динамика электрона, движущегося в накопительном кольце. Эмиттанс источников СИ.

Обзор методов исследований с использованием синхротронного излучения.

2 неделя.

Спектральные диапазоны электромагнитного излучения, получаемого в синхротронных центрах. Основные свойства рентгеновского излучения. Источники рентгеновского излучения. Свойства тормозного и характеристического излучения рентгеновских трубок. Волновые свойства рентгеновских лучей: преломление и отражение. Корпускулярные свойства рентгеновских лучей: упругое и неупругое рассеяние. Томсоновское – рассеяние на покоящемся электроны. Рэлееское – рассеяние на атомах и молекулах. Неупругое комптоновское рассеяние. Обратный комптон-эффект. Поглощение рентгеновских лучей. Полное сечение поглощения. Типичные примеры спектров поглощения. Схемы возбуждения электронных оболочек атомов. Источники синхротронного излучения. Бетатроны, циклотроны, синхротроны. Синхротроны первого, второго и третьего поколений. Элементы устройства синхротрона. Курчатовский источник синхротронного излучения – КИСИ. Устройство накопительных колец «Сибирь-1» и «Сибирь-2». Описание экспериментальных станции КИСИ.

3 неделя.

Основные свойства релятивистских и ультра релятивистских электронов. Понятие релятивистского лоренц-фактора. Параметры накопительного кольца и характеристики синхротронного излучения. Определение критической длиной волны и критической энергии.

Основные свойства СИ. Мощность СИ. Спектрально-угловое распределение мощности. Формула Шота. Поляризационные свойства СИ. Когерентность СИ. Временная структура СИ. Принципы и методы фокусировки рентгеновского излучения. Зеркала скользящего падения. Брегг-френелевские линзы. Композитные рефракционные линзы. Поликапиллярная оптика. Рентгеновские зеркала с алмазным покрытием. Фокусировка на изогнутых кристаллах.

4 неделя.

Европейские синхротроны 3-го поколения. Синхротрон APS (Advanced Photon Source) (Чикаго, США). Синхротронный центр Spring-8 (Япония). Эмиттанс источников СИ. Способы повышения энергии и яркости источников СИ. Специализированные магнитные устройства – шифтеры, ондуляторы и вигглеры. Форма излучения из поворотного магнита, вигглера и ондулятора. Свойства ондуляторного излучения. Угловое распределение ондуляторного излучения. Спектральный состав ондуляторного излучения. Спонтанное и/или когерентное излучение ондуляторов. Микробанчи. Детекторы рентгеновского излучения. Основные характеристики рентгеновских детекторов. Ионизационные детекторы. Полупроводниковые детекторы. Полупроводниковый флуоресцентный детектор. Сцинтилляционные детекторы. Координатные детекторы. Методы определения координат в координатно чувствительных детекторах. Телевизионные (CCD) детекторы. Координатные детекторы на pin-диодных матрицах. IP-детекторы (на пластинах с оптической памятью).

5 неделя.

СИ в биологии и медицине. Рентгеновская белковая кристаллография. Аномальная рентгеновская дифракция в биологических объектах. Малоугловое рассеяние. Рефракционная интроскопия. Маммография. Денситометрия. Ангиография.

6 неделя.

СИ в биологии и медицине. Микрокомпьютерная томография. Микролучевая терапия. Рентгенофлуоресценция. Медицинские и биофизические станции Курчатовского источника синхротронного излучения. Преимущества синхротронного излучения.

7 неделя.

Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Рассеяние и поглощение рентгеновского излучения. Рентгеновские методы диагностики и исследования наноструктур с использованием синхротронного излучения. Рентгеновская дифракция. Дифракционное рассеяние рентгеновских лучей на кристаллах представляет собой процесс интерференции пучков, отраженных различными плоскостями кристаллической решетки. Закон Брэгга-Вульфа. Рентгеновская эмиссия, аномальное рассеяние, резонансное неупругое рассеяние. Комбинированные явления неупругого и аномального рассеяния. Аномальная дифракция. Парная радиальная функция распределения (PDF). Парные радиальные функции распределения (PDF) сложных оксидов $\text{Ln}_2\text{O}_3\text{-MO}_2$.

8 неделя. Рентгеновская спектроскопия поглощения - XAFS – спектроскопия (X-ray Absorption Fine Structure). Основные преимущества XAFS-спектроскопии. Две области XAFS-спектроскопии: околопороговая структура рентгеновского спектра поглощения – XANES (X-Ray Absorption Near Edge Structure) и протяженная тонкая структура рентгеновского спектра поглощения – EXAFS (Extended X-Ray Absorption Fine Structure). История развития метода.

9 неделя.

Физические основы EXAFS- спектроскопии. Вид экспериментально определяемого коэффициента поглощения рентгеновского излучения. Понятие коэффициента поглощения «свободного атома». Физические причины возникновения осциллирующей структуры коэффициента поглощения. Теория EXAFS. Определение EXAFS- функции. Типы представлений EXAFS- функции. Последовательность шагов при извлечении EXAFS- функции из экспериментального спектра. Амплитуда и фаза обратного рассеяния фотоэлектронов, зависимость от волнового вектора. Фактор Дебая-Валлера в EXAFS- спектроскопии. Методы моделирования EXAFS- функции. Извлекаемые из EXAFS- спектров параметры локальной атомной структуры.

10 неделя.

EXAFS – спектроскопия высокотемпературных сверхпроводников. Локальные зарядовые и структурные неоднородности в CuO_2 плоскости ВТСП. Моделирование $\chi(k)$ в g -пространстве с помощью модельного потенциала $U(r)$. Схема взаимосвязи локальной электронной и локальной кристаллической структур в ВТСП. Двухъямный потенциал колебаний иона кислорода в CuO_2 плоскости купратных ВТСП. Критерии выбора модели для описания EXAFS- спектров. Новый метод анализа EXAFS спектров-вэйвлет анализ. Достижения XAFS- спектроскопии при исследовании локальной структуры нанокластеров, нанотрубок и других наносистем.

11 неделя.

Физические основы XANES – спектроскопии - околоразрывной тонкой структуры рентгеновских спектров поглощения. Электронные уровни атом и их изменение при образовании химических связей. Электронные уровни молекул. Молекулярные орбитали. Источники информации в XANES спектрах: высота предпика - координационный полиэдр, степень окисления (число вакансий); абсолютное положение основного края - степень окисления (электро-статический потенциал на ядре); высота пика на основном крае поглощения - координационное число (примешивание орбиталей лигандов). Программы обработки XANES – спектров. XANES – спектроскопия в биофизике. XANES – спектроскопия медных координационных соединений. XANES – спектроскопия углерода. XANES – спектроскопия органических соединений. XANES – спектроскопия квазикристаллов. XANES – спектроскопия свободных нанокластеров меди. XANES – спектроскопия каталитически активных нанокластеров золота. XANES – спектроскопия каталитических комплексов на основе рутения. XANES спектроскопия промежуточновалентных соединений редкоземельных элементов. XANES – методика измерения валентного состояния редкоземельных элементов. L3-XANES спектроскопия промежуточновалентных соединений редкоземельных элементов с различными типами магнитного упорядочения.

12 неделя.

Возможные режимы регистрации данных рентгеновской спектроскопии. Основные режимы: на пропускание; по выходу флуоресценции. Дополнительные режимы: по выходу электронов; по рентгеновскому отражению; по выходу ионов (PSID); по выходу оптической люминесценции (XEOL); по изменению электропроводности (для полупроводников); по изменению интенсивности дифракционных линий (аномальная дисперсия). Принципиальная схема дисперсионного EXAFS- спектрометра. Достижения XAFS- спектроскопии при исследовании локальной структуры нанокластеров, нанотрубок и других наносистем.

Рентгеновская резонансная дифракция (RXS). Дифракционная аномальная тонкая структура (DAFS). Дифракционная аномальная спектроскопия вблизи края поглощения (DANES).

13 неделя.

Резонансное неупругое рентгеновское рассеяние (RIXS). Двухмерные карты RIXS. Флуоресцентные спектры поглощения высокого энергетического разрешения HERFD. Оценка валентности редкоземельных ионов по данным RIXS. Рентгеновский магнитный круговой дихроизм (XMCD). Разделение орбитального и спинового вкладов. Магнитный круговой дихроизм в ферромагнетиках. Магнитный круговой дихроизм в ферромагнетиках. Магнитный круговой дихроизм в антиферромагнетиках. Магнитный круговой и линейный дихроизм – зависимость от поляризации СИ.

Эксперименты с временным разрешением (pump-probe). Эксперименты с фемтосекундным разрешением. Химические реакции с фемтосекундным разрешением. Магнитный рентгеновский круговой дихроизм с временным разрешением. XAFS- исследования с временным разрешением.

14 неделя.

Физические принципы фотоэлектронной спектроскопии. Процесс фотоэмиссии. Уравнение фотоэффекта. Способы извлечения количественной информации об энергиях связи различных уровней в результате измерения кинетической энергии вышедшего из образца фотоэлектрона. Рентгеновские и спектроскопические обозначения электронных уровней. Спин-орбитальное расщепление. Принципиальные схемы фотоэлектронных спектрометров. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS). Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия (UPS). Способы применения ФЭС для анализа поверхности и пленок. Определение толщины тонких пленок и наличие в них пор. Измерение толщины сверхтонких плёнок методом РФЭС. Использование РФЭС в нанoeлектронике. Исследования методом высокоэнергетической РФЭС. Оже-спектроскопия. Фотоэлектронная спектромикроскопия. Фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением (ARPES). Принципиальная схема установки ARPES. ARPES квазикристаллов. ARPES – высокотемпературных сверхпроводников. Инверсионная фотоэмиссионная спектроскопия (IPES). Достижения фотоэлектронной спектроскопии при исследовании электронной структуры нанокластеров, нанотрубок и других наносистем.

15 неделя.

Свойства терагерцового излучения. Терагерцовые лазеры на свободных электронах. Использование излучения терагерцового лазера: физика твердого тела, спектроскопия, химия, биология и медицина, визуализация, системы безопасности, микроэлектроника, оптика атмосферы, связь, промышленные применения, терагерцовая томография. Использование излучения терагерцового лазера для абляции. Терагерцовый лазер в химии и биологии: многофотонная диссоциация молекул; инициирование химических реакций; определение масс биологических нанообъектов методом субмиллиметровой лазерной абляции.

16 неделя.

Рентгеновские лазеры на свободных электронах.

Излучение СИ является некогерентным, т.е. фазы волн, излучаемых электронами, нескоррелированы. В этом случае интенсивность излучения пропорциональна числу испускаемых квантов N . Для когерентного излучения характерно то, что складываются фазы волн, и интенсивность пропорциональна N в квадрате. Показано, что когерентность может проявляться в длинноволновой части спектра, когда длина волны излучения становится порядка длины электронного сгустка, тогда в спектре распределения мощности СИ наблюдается второй максимум, обусловленный тем, что увеличение мощности больше, чем спад кривой. Возможность получения когерентного излучения в более коротковолновой области связана с построением лазера на свободных электронах. Обычно в лазерах

используются переходы между связанными уровнями, которых существуют в твердых телах и молекулярных системах. В электронном сгустке уровни квазинепрерывны, т.е. энергетическое расстояние между ними мало. Когерентное усиление электромагнитного излучения можно получить в системах с инверсной населенностью. Для этого необходимо создать когерентные сгустки электронов, сгруппированные на расстояниях меньше, чем длина излучаемой волны. При этом сгусток выступает как эффективный заряд, величина которого пропорциональна количеству электронов в сгустке. Такие сгустки могут быть созданы при взаимодействии пучка электронов с полем электромагнитной волны. Для движущихся в ондуляторе электронов переменное магнитное поле представляет собой электромагнитную волну. При этом происходит продольная группировка электронов, т.е. сгустки разбиваются на подсгустки. Механизм группировки является в какой-то мере аналогом группировки электронов в синхротроне при одновременном действии переменного магнитного и электрического полей. Роль группирующей волны также может играть «затравочная» волна спонтанного излучения. Когда электроны проходят через ондулятор большой длины, сначала излучение некогерентно, затем излучение группы электронов становится когерентным, наконец, происходит самоусиление спонтанного излучения, и вследствие интерференции мощность излучения становится пропорциональной N в квадрате. В настоящее время уже созданы лазеры на свободных электронах в терагерцовом диапазоне частот, и ведется работа по созданию лазеров в рентгеновском диапазоне.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Итоговая оценка по курсу «Синхротронное излучение в биологии и медицине» представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля и выставляется в соответствии с Положением о кредитно-модульной системе в соответствии со следующей шкалой:

Оценка по 5-балльной шкале Сумма баллов за разделы Оценка ECTS

- 5 – «отлично» 90-100 А
4 – «хорошо» 85-89 В
75-84 С
70-74 D
3 – «удовлетворительно» 65-69
60-64 Е
2 – «неудовлетворительно» Ниже 60 F

Для текущего контроля успеваемости в течение семестрового лекционного цикла проводится 2-3 аудиторных письменных теста. Тесты включают по 3-6 вопросов закрытого типа, длительность теста 20-30 минут.

Темы для самостоятельной работы студентов
«Синхротронное излучение в биологии и медицине»

Тема 1. Свойства синхротронного излучения.

Прочитать Главы 1,2, Книги Г.В.Фетисов. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ (под редакцией Л.А.Асланова), Издательство М.: Физматлит - 2007 - 672 с.

Изучить статью И.М. Тернов, Синхротронное излучение, УФН, 1995, т.165, стр.429.

Тема 2. Курчатовский источник синхротронного излучения – КИСИ.

Изучить CD-диск с описанием рабочих станций курчатовского центра синхротронных исследований и нанотехнологий (представляется лектором).

1. Тема 3. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом.

Прочитать Главу 4, Книги Г.В.Фетисов. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ (под редакцией Л.А.Асланова), Издательство М.: Физматлит - 2007 - 672 с.

Изучить разделы 4,5,6 книги А.А.Соколов, И.М.Тернов Синхротронное излучение. -М.: Наука, 1966.-228с.

2. Тема 4. Рентгеновская спектроскопия поглощения - XAFS – спектроскопия (X-ray Absorption Fine Structure).

Изучить главы 1-3 книги Д.И. Кочубей, К.И. Замараев, Р.В. Ведринский, В.Л. Крайзман, Г.Н. Кулипанов, Л.Н. Мазалов, А.Н. Скринский, В.К. Федоров, Б.Ю. Хельмер, А.Т. Шуваев, Ю.А. Бабанов Рентгеноспектральный метод изучения аморфных тел. EXAFS-спектроскопия. Новосибирск, 1988.

Прочитать статьи: В.Л.Аксенов, С.И.Тютюнников, А.Ю.Кузьмин, Ю.Пуранс “EXAFS-спектроскопия на пучках синхротронного излучения”. Физика элементарных частиц и атомного ядра Т.32, в.6, с.1299-1357 (2001), И.Б.Боровский, Р.В.Ведринский, В.Л.Крайзман, В.П.Сиченко “EXAFS- спектроскопия – новый метод структурных исследований” УФН, 149, в.2, 1986, стр. 275-320.; А.В.Солдатов “ От спектроскопии EXAFS к спектроскопии XANES; новые возможности исследования материи” Соросовский образовательный журнал, № 12, 1998 стр. 101-104.; H.Funke, A.C.Seheinost, M.Chukalina “Wavelet analysis of extended x-ray absorption fine structure data” Phys.Rev. B 71, 2005, 094110-7.; J.J.Rehr, A.L.Ankudinov “Progress in the theory and interpretation of XANES” Coordination Chemistry Reviews 249, 2005, 131-140. (статьи предоставляются лектором в электронном виде).

Тема 5. Фотоэлектронная спектроскопия.

Изучить главы 1-4 книги Трапезников В.А., Шабанова И.Н. Рентгеноэлектронная спектроскопия сверхтонких поверхностных слоев конденсированных систем. – М.: Наука, 1988.

Изучить главы 3-6 книги Нефедов В.И. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия химических соединений. – М.: Химия, 1984.

Прочитать статьи раздела 4 сборника статей: Surface Analysis by Auger and X-ray Photoelectron Spectroscopy, Ed. By D. Briggs and J.T. Grant, IM Publications, Chichester, UK, 2003.

ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ

Промежуточная аттестация по итогам освоения данного курса представляет собой зачет.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЧЕТУ

1. Определение синхротронного излучения (СИ). Угловое распределение мощности СИ в случае нерелятивистского и релятивистского движений.
2. Основные свойства СИ: мощность, яркость, эмиттанс источника СИ.
3. Синхротроны первого, второго и третьего поколений.
4. Способы повышения энергии излучаемого СИ. Шифтеры и вигглеры.
5. Ондуляторы: свойства ондуляторного излучения; ондуляторный параметр, механизм образования когерентного излучения в ондуляторе.
6. Фокусировка рентгеновского излучения. Схемы фокусировки СИ. Многослойные зеркала. Брегг-френелевские линзы. Композитные рефракционные линзы.
7. Детекторы рентгеновского излучения.
8. Аномальная рентгеновская дифракция.
9. Рентгеновская спектроскопия поглощения. EXAFS – спектроскопия. Физические основы. Извлекаемые из EXAFS- спектров параметры локальной атомной структуры.
10. Физические основы XANES - спектроскопии. Извлекаемые из XANES - спектров параметры. Методы определения валентного состояния редкоземельных ионов.
11. Резонансная дифракция: DAFS, DANES.
12. Резонансное неупругое рентгеновское рассеяние (RIXS)
13. Рентгеновский магнитный круговой дихроизм (XMCD)
14. . Физические основы фотоэлектронной спектроскопии. Принципиальные схемы фотоэлектронных спектрометров.
15. Фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением (ARPES).
16. Оже-спектроскопия.
17. Рентгеновские лазеры на свободных электронах. Эффект самоусиления спонтанного излучения (SASE).
18. Терагерцовое излучение и его применение в биологии и медицине.
19. Малоугловое рассеяние рентгеновских лучей, применение в биологии.
20. Физические основы рентгеновской рефракционной интроскопии. Применение в биологии и медицине.
21. Физические основы рентгеновской денситометрии. Применение в биологии и медицине.
22. Маммография с использованием СИ
23. Ангиография с использованием СИ
24. Микроручевая терапия с использованием СИ.

Автор(ы):

Менушенков Алексей Павлович, д.ф.-м.н.,
профессор