Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ТАШКЕНТСКИЙ ФИЛИАЛ НИЯУ МИФИ (ТФ НИЯУ МИФИ)

ОДОБРЕНО

УМС ТФ НИЯУ МИФИ

Протокол № 1 от 04.02.2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ И КОНТРОЛЯ СВЕРХЧИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДЕТЕКТОРОВ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ И НЕЙТРИНО

Направление подготовки (специальность) [1] 14.04.02 Ядерные физика и технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки, час.	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
1	3	108	32	16	0		24	0	Э
Итого	3	108	32	16	0	0	24	0	

АННОТАЦИЯ

Основной целью освоения учебной дисциплины «Методы создания и контроля сверхчистых материалов для детекторов темной материи и нейтрино» является понимание физических процессов и методов необходимых для создания сверхчистых материалов с ультранизким уровнем радиоактивности.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Главной целью освоения учебной дисциплины «Методы создания и контроля сверхчистых материалов для детекторов темной материи и нейтрино» является понимание методов создания детекторов темной материи и нейтрино, основываясь на:

- современных знаниях о природе темной материи и физике нейтрино;
- понимании природы фоновых процессов в детекторах темной материи и нейтрино;
- понимании методов контроля фоновых процессов, используя вспомогательные сверхчувствительные детекторы источников фоновых событий;
- знакомстве с методами очистки и контроля чистоты материалов, включая их производство в защищенных подземных лабораториях;
- знакомстве с результатами достигнутыми в современных детекторах по поиску двойного безнейтринного двойного бета распада, детекторах Солнечных нейтрино и установках по поиску сигналов темной материи. Большое внимание уделяется также возможному эффекту от применения сверхчистых материалов и методик поиска редких процессов в низкофоновых детекторах для прикладных целей в медицине, сельском хозяйстве, при создании квантовых компьютеров и в производстве микросхем высокой плотности. .

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Данный курс позволяет получить представление о новой физике за пределами Стандартной модели элементарных частиц.

Он позволят узнать о текущих проектах направленных на изучение новых свойств материи, методах создания детекторов для регистрации редких событий, а также методиках отбора, производства и контроля сверхчистых материалов.

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 профессиональной деятельности (ЗПД)	**Объект или область знания**	**Код и наименование профессиональной компетенции;**	**Код и наименование индикатора достижения**

		Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	**профессиональной компетенции**
научно-исследовательский			
применение детекторов и установок в области физики элементарных частиц, их разработка и оптимизация;	атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками;	ПК-38.2 [1] - Способен работать с детекторами и установками в области физики элементарных частиц, над их разработкой и оптимизацией; *Основание:* Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-38.2[1] - Знать методы работы с детекторами и установками в области физики элементарных частиц, а так же методы их разработки и оптимизации;; У-ПК-38.2[1] - Уметь применять детекторы и установки в области физики элементарных частиц, а так же разрабатывать их и оптимизировать;; В-ПК-38.2[1] - Владеть методами работы с детекторами и установками в области физики элементарных частиц, а так же методами их разработки и оптимизации;
проектный			
проведение расчетов и проектирование физических установок и приборов с использованием современных информационных технологий;	математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики; ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы,	ПК-38.5 [1] - Способен проводить проектирование детекторов и установок, а также на концептуальном уровне самих экспериментов в области физики высоких энергий, космофизики и астрофизики; *Основание:* Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-38.5[1] - Знать методы проектирования детекторов и установок, а также на концептуальном уровне самих экспериментов в области физики высоких энергий, космофизики и астрофизики;; У-ПК-38.5[1] - Уметь проводить проектирование детекторов и установок, а также на концептуальном уровне самих экспериментов в области физики

			высоких энергий, космофизики и астрофизики;; В-ПК-38.5[1] - Владеть методами проектирования детекторов и установок, а также на концептуальном уровне самих экспериментов в области физики высоких энергий, космофизики и астрофизики;
экспертный			
оценка соответствия предлагаемого решения достигнутому мировому уровню;	разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине;	ПК-38.7 [1] - Способен провести общую проверку предлагаемому решению, гипотезе в области экспериментальной ядерной физики и космофизики; *Основание:* Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-38.7[1] - Знать методы проверки предлагаемых решений, гипотез в области экспериментальной ядерной физики и космофизики;; У-ПК-38.7[1] - Уметь проводить общую проверку предлагаемого решения, гипотезы в области экспериментальной ядерной физики и космофизики;; В-ПК-38.7[1] - Владеть методами проверки предлагаемых решений, гипотез в области экспериментальной ядерной физики и космофизики;
анализ технических и расчетно-теоретических разработок, учет их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии и безопасности и	разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду,	ПК-38.8 [1] - Способен провести проверку детекторов и специализированных приборов, выбрав необходимые средства, на их соответствие заявленным физико-техническим	З-ПК-38.8[1] - Знать методы проверки детекторов и специализированных приборов на их соответствие заявленным физико-техническим характеристикам, методы проведения их

другим нормативным актам;	радиационные технологии в медицине;	характеристикам, провести их экспертное сравнение; *Основание:* Профессиональный стандарт: 40.011	экспертного сравнения;; У-ПК-38.8[1] - Уметь провести проверку детекторов и специализированных приборов, выбрав необходимые средства, на их соответствие заявленным физико-техническим характеристикам, провести их экспертное сравнение;; В-ПК-38.8[1] - Владеть методами проверки детекторов и специализированных приборов на их соответствие заявленным физико-техническим характеристикам, методами проведения их экспертного сравнения;
производственно-технологический			
разработка технологии применения приборов и установок для анализа веществ в научных, экологических и промышленных целях;	разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ;	ПК-38.9 [1] - Способен к наладке и эксплуатации, а также готовность к модернизации ядернофизических и космофизических установок и приборов, и контрольно-измерительных систем; *Основание:* Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-38.9[1] - Знать методы наладки и эксплуатации, а также модернизации ядернофизических и космофизических установок и приборов, и контрольно-измерительных систем;; У-ПК-38.9[1] - Уметь осуществлять наладку и эксплуатацию, а также модернизацию ядернофизических и космофизических установок и приборов, и контрольно-измерительных систем;; В-ПК-38.9[1] - Владеть методами

			наладки и эксплуатации, а также модернизации ядернофизических и космофизических установок и приборов, и контрольно-измерительных систем;

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
	1 Семестр						
1	Первый раздел	1-8	16/8/0		25	КИ-8	З-ПК-38.2, У-ПК-38.2, В-ПК-38.2, З-ПК-38.5, У-ПК-38.5, В-ПК-38.5, З-ПК-38.7, У-ПК-38.7, В-ПК-38.7, З-ПК-38.8, У-ПК-38.8, В-ПК-38.8, З-ПК-38.9, У-ПК-38.9, В-ПК-38.9
2	Второй раздел	9-16	16/8/0		25	КИ-16	З-ПК-38.2, У-ПК-38.2, В-ПК-38.2, З-ПК-38.5, У-ПК-38.5, В-ПК-38.5, З-ПК-38.7, У-ПК-38.7, В-ПК-38.7, З-ПК-38.8, У-ПК-38.8, В-ПК-38.8, З-ПК-38.9, У-ПК-38.9, В-ПК-38.9

	Итого за 1 Семестр		32/16/0		50		
	Контрольные мероприятия за 1 Семестр				50	Э	З-ПК-38.2, У-ПК-38.2, В-ПК-38.2, З-ПК-38.5, У-ПК-38.5, В-ПК-38.5, З-ПК-38.7, У-ПК-38.7, В-ПК-38.7, З-ПК-38.8, У-ПК-38.8, В-ПК-38.8, З-ПК-38.9, У-ПК-38.9, В-ПК-38.9

* – 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
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	**Темы занятий / Содержание**	**Лек., час.**	**Пр./сем., час.**	**Лаб., час.**
	1 Семестр	32	16	0
1-8	**Первый раздел**	16	8	0
1 - 2	**Распределение энергии во вселенной. Темная материя.** Распределение энергии во Вселенной. Обычная материя. Темная материя, ее свойства. Роль темной материи в формировании звезд и галактик. Основные доказательства существования темной материи, гравитационные линзы. Галактики Млечный Путь, M33, M31. Видимая материя, атомарный водород, гало темной материи, профиль Navarro-Frenk-White. Скорость вращения спиральных галактик. Измерение скорости вращения облаков атомарного водорода (линия 21 см), эффект Доплера. Предполагаемые типы темной материи. Слабо взаимодействующие массивные частицы (WIMP). Предполагаемые сигналы от темной материи в детекторах: ядра и электроны отдачи. Взаимодействие ядер и электронов отдачи с веществом детектора. Фон от нейтрино в детекторах темной материи, "нейтринный пол". Пример формирования сигнала в сцинтилляционных детекторах типа Borexino, KamLAND. Сходства и отличия	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	сигналов от нейтрино и частиц темной материи. Сезонная модуляция сигнала от частиц темной материи и потока нейтрино от Солнца. Эксперимент по поиску темной материи DAMA. Стандартная модель элементарных частиц. Физика за пределами Стандартной Модели, масса нейтрино. Сечения реакций с участием нейтрино. Взаимодействие низко-энергетичных нейтрино с веществом. Эксперименты по регистрации потока нейтрино от Солнца, когерентного упругого рассеяния нейтрино на ядрах (CEνNS),), поиску двойного безнейтринного β-распада (0ν2β). Чувствительность эксперимента по поиску 0ν2β распада при наличии и отсутствии фона.			
3 - 4	**Поиск слабых сигналов, роль фона. Основные источники фона в детекторах нейтрино и темной материи.** Поиск слабых сигналов, роль фона. Метод построения доверительных интервалов Фельдмана-Казинса. Основные источники фона в детекторах нейтрино и темной материи. Спектр частиц в космических лучах. Вторичные космические лучи. Мюоны, взаимодействие мюонов с веществом. Поток мюонов в подземных лабораториях. Быстрые и медленные нейтроны. Нейтронный спектр около уровня моря, модель Гордона. Нейтронный поток на разных высотах. Программа для расчета спектров космических лучей EXPACS. База данных ядерных реакций EXFOR. Программа ACTIVIA (C++). Нейтронная активация материалов детекторов, библиотека RNAL. Первичные (primordial) радионуклиды, цепочки распада урана-238 и тория-232. Естественный фон, шахта Камиока, Япония. Спектр детектора из сверх-чистого Ge (HPGe) без защиты. Радон-222 и продукты его распада. Оседание дочерних продуктов распада радона на поверхности твердых тел. Пример регистрации Po-214 и Po-218 кремниевым фотодиодом, энергетический спектр α-частиц. Имплантация ядер полония в поверхностный слой твердых тел, программа SRIM. Особенности загрязнения твердых тел, объемное и поверхностное загрязнение. Карты радиоактивного загрязнения территории Японии после аварии на атомной станции Фукусима. Пример загрязнения детектора по поиску двойного безнейтринного распада Xe-136 KamLAND-Zen изотопом Ag-110m после аварии на атомной станции Фукусима. Миграция радиоактивных осадков в США, данные о наличии радиоактивного следа от разрушенных японских реакторов в Калифорнии измеренные с помощью детектора из сверх-чистого Ge в марте 2011г. Загрязнение стали кобальтом-60. Естественные радиоизотопы образованные в атмосфере под действием космических лучей (Ar-37, Ar-39, Ar-42). Результаты измерений активности Ar-39 в детекторах темной материи WARP, DEAP-3600. Сечения реакций	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	2 0	0 0

	образования Ar-39 под действием быстрых нейтронов. Радиоактивные продукты атомного энертетического цикла (Kr-85).			
5 - 6	**Методы контроля чистоты материалов и источников фона.** Детекторы радона в воздухе и газах. Детектор радона с Si PIN фотодиодом разработанный коллаборацией Super Kamiokande (1998г). Установка с Si PIN детектором для измерения активности радона в жидком сцинтилляторе и азоте (коллаборация KamLAND, 2007г). Установка по измерению скорости эманации радона с поверхности твердых тел (коллаборация SuperNEMO, 2013г). Улучшенная версия детектора радона с Si PIN фотодиодом разработанная коллаборацией Super Kamiokande (2013г). Ионная ионизационная камера для прямой регистрации распада радона в воздухе (Баксан, KamLAND 2018г). Детекторы α-частиц. Низкофоновые ULTRA-AS Si детекторы большой площади для α-спектроскопии (ORTEC, США). Пример измерения α-активности образца с помощью ULTRA-AS Si детектора до и после очистки поверхности. Низкофоновый счетчик α-частиц UltraLo-1800. Пример измерений активности образца меди, Kamioka, XMASS. γ-детекторы из сверх-чистого германия (HPGe). 260-см3 детектор из сверх-чистого Ge, Камиока: защита детектора, подавление фона пассивной защитой, калибровка с использованием долгоживущих изотопов лантана и лютеция, примеры моделей GEANT 4 для расчета эффективности детектора. Примеры измерений образцов для проекта KamLAND-Zen 800. Нейтронно-активационный анализ. Использование детекторов из сверх-чистого Ge для анализа активированных образцов. Активация образцов в легководных исследовательских реакторах с целью увеличения чувствительности измерений K-40, Th-232, U-238. Двойные детекторы из сверх-чистого Ge в университете Милана и лаборатории TUNL. Примеры измерения радиочистоты образцов из акрила и сапфира.	Всего аудиторных часов 3 | 2 | 0 Онлайн 0 | 0 | 0		
6	**Подземные лаборатории. Поток нейтронов в подземных лабораториях.** Подземные лаборатории. Поток нейтронов в подземных лабораториях, источники нейтронов под землей, (α,n) реакции, спонтанное деление урана. Пример детектора тепловых нейтронов для подземных лабораторий (KamLAND). Подземные лаборатории в Европе, Азии, Северной Америке, и в южном полушарии. Текущий статус, перспективы дальнейшего развития. Примеры: лаборатории Gran Sasso (Италия), LSM (Франция), Kamioka (Япония).	Всего аудиторных часов 1 | 0 | 0 Онлайн 0 | 0 | 0		
7 - 8	**Чистые комнаты, установки по удалению радона из воздуха.** Чистые комнаты, их классификация и устройство. Стандартный вид промышленной чистой комнаты.	Всего аудиторных часов 4 | 2 | 0 Онлайн 0 | 0 | 0		

	Источник загрязнения воздуха в чистой комнате. Оборудование для чистых комнат, HEPA/ULPA фильтры, специальная одежда для персонала. Методики работы для персонала. Контроль за чистотой воздуха, счетчики частиц.Чистая комната на поверхности NOA (Gran Sasso). Особенности чистых комнат в подземных лабораториях, ограничения на площадь, используемую мощность, теплоотвод, контроль содержания радона, кислорода и углекислого газа. Чистые комнаты для проекта MAJORANA в подземной лаборатории SURF. Чистая комната для HPGe детектора, KamLAND. Очистка воздуха от радона. Движение атомов радона через хроматографическую колонну с адсорбирующим материалом. Пример установки по удалению радона из воздуха: LSM (Франция), Super Kamiokande (Япония).			
9-16	**Второй раздел**	16	8	0
9	**Методы очистки воды** Примеси в воде, проводимость чистой воды. Методы очистки воды: мембраны обратного осмоса, ионный обмен. Закон Генри, удаление растворенных газов. Полу-промышленные установки по очистке воды для экспериментов Borexino, SuperKamiokande, KamLAND. Удаление радона. Портативные коммерческие установки для производства 18.2 MΩ·см сверх-чистой воды	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	**Использования свинца в детекторах** Свеже-добытый и старый свинец, сравнение активности образцов с использованием детектора из сверх-чистого Ge. Пример устройства свинцовой защиты сверх-низкофонового Ge детектора в подземной лаборатории Камиока, Япония. Методы удаления поверхностного загрязнения со свинцовых блоков. Примеры использования свинца в детекторах по поиску двойного безнейтринного β-распада в качестве пассивной защиты, эксперименты MAJORANA (SURF), CUORE (Gran Sasso). Преимущества использования свинца в качестве активного вещества детектора нейтрино от вспышки сверхновой. Криогенные калориметры на кристаллах PbWO4. Эксперимент RES-NOVA (Gran Sasso). Производство и проверка прототипов детекторов арxPbWO4 из очищенного археологического свинца. Археологический свинец: методы очистки и контроля содержания радионуклидов	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	**Использование меди в детекторах нейтрино и темной материи.** Медь, как базовая часть пассивной защиты низкофоновых детекторов. Метод электролитического осаждения меди. Лабораторная установка по производству меди (Canfranc), схема установки, состав электролита, параметры для оптимизации процесса. Изготовление медных частей	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	детекторов темной материи для эксперимента ANIAS, Canfranc. Анализ образцов меди детектором из сверх-чистого Ge и методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Эксперимент по поиску частиц легкой темной материи DAMIC-M (Modane). Договор о производстве наиболее чувствительных деталей детектора DAMIC-M из электро-химической меди в лаборатории Canfranc, методика производства медных деталей и их машинная обработка. Научное обоснование использования электро-химической меди в эксперименте (MAJORANA), подавление фона в энергетическом диапазоне сигнала от двойного безнейтринного бета распада Ge-76. Установки по производству электро-химической меди в подземной лаборатории SURF. Проверка качества образцов меди, методы механической обработки меди, защита от поверхностного загрязнения. Медные компоненты детекторов. Сверх-низкофоновый предусилитель на основе электрохимической меди. Радио-чистота электро-химической меди. Поведение дочерних продуктов распада радона на поверхности меди. Химическое травление поверхности меди, "методика MAJORANA". Повторное осаждение полония из раствора на поверхность меди в процессе химического травления. Электро-полировка медной поверхности, случай с выской активностью полония. Контроль за процессом удаления дочерних продуктов распада радона с поверхности меди с использованием сверх-чувствительного альфа детектора XIA UltraLo-1800. Сигнал от Po-210 осевшего на поверхность меди из воздуха. "Динамическая"методика химического травления. Удаление Po-210 с поверхности методом электро-полировки меди, случай с низкой активностью полония. Форма α-пика Po-210 в зависимости от глубины залегания в меди (GEANT 4). Измерение объемной активности полония в меди (XMASS). Источники загрязнения Pb-210 в промышленной меди.			
13	**Детекторы из обогащенного Ge-76.** Чувствительность эксперимента по поиску 0ν2β распада. Число ожидаемых событий для сигнала/фона в эксперименте по поиску 0νββ Ge-76. Эксперимент GERDA. Производство сверх-чистых детекторов из обогащенного Ge-76, основные технологические этапы создания детекторов от обогащенного диоксида Ge до детекторов типа BEGe. Транспортировка германия в специальных контейнерах для защиты от космических лучей. Метод зонной плавки. Проверка чистоты Ge. Первичная очистка обогащенного германия до уровня чистоты 6N (99.9999%), дальнейшая очистка методом зонной плавки до чистоты 11N. Выращенные монокристаллы Ge (содержанием примесей на уровне 12N). Структура детектора BEGe (Broad Energy Ge).	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Движение зарядов внутри BEGe. Удаление фона методом PSD (Pulse-Shape Discrimination). Эффективность химического травления для очистки поверхности Ge. Сравнение эффективности химического травления для разных материалов (Cu, Fe, Ge)			
14	**Нержавеющая сталь. Припой.** Процедура очистки образцов нержавеющей стали (GERDA). Измерение активности образцов нержавеющей стали. Сравнение радиочистоты нержавеющей стали в различных экспериментах. Химическое травление поверхности нержавеющей стали. Электрополировка нержавеющей стали. Очистка стальных поверхностей с низкой активностью дочек радона. Удаление тонкого слоя нержавеющей стали электрополировкой. Зависимость активности Po-210 от глубины удаленного слоя. Коммерческий припой без примесей свинца, проблема высокой активности Pb-210. Создание припоя на базе сверх-чистого олова и старого свинца.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	**Кристаллы** Кристалл TeO2, как болометр при температуре близкой к абсолютному нулю (CUORE). NTD Ge термисторы, их использование в качестве датчиков около абсолютного нуля. Строение детектора в эксперименте CUORE (Gran Sasso). Методика очистки поверхности меди коллаборацией CUORE. Выращивание кристаллов TeO2, метод Бридгмана. Два последовательных цикла выращивания кристаллов TeO2 в Shanghai Institute of Ceramics, (Китай). Типичные результаты измерений чистоты материалов для выращивания кристаллов TeO2. Использование роботов для сборки детекторов TeO2 (CUORE) Основные меры по улучшению чистоты кристаллов TeO2. Результат эксперимента CUORE. Световыход в кристалле сцинтилляторе болометре для разных типов частиц, коэффициент Биркса. Эксперимент CUPID-Mo. Выращивание оптически чистых кристаллов Li2MoO4 методом Чохральского (Институт неорганической химии им. А.В.Николаева СО РАН). Проект CUPID: 1 тонна сцинтиллирующих болометров Li2MoO4 . Детекторы света для CUPID из пластин Ge, Эффект Неганова Трофимова Люка. Выращивание кристаллов Li2MoO4 в Shanghai Institute of Ceramics (Китай). Выращивание кристаллов Cs2ZrCl6 (Queen's University). Измерения с кристаллами Cs2ZrCl6 в пассивной защите бывшего эксперимента DAMA, Gran Sasso. Измеренная активность радионуклидов в кристаллами Cs2ZrCl6.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
16	**Другие области применения сверх-чистых материалов** Использование низко-фоновых Ge детекторов для определения географического происхождения продуктов сельского хозяйства. Борьба с фальсификацией продуктов питания.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Определение возраста колекционных вин. Зависимость активности цезия-137 в вине от года сбора винограда. Примеры фальсификации колекционных вин. Радио-биологические эксперименты в глубоких подземных лабораториях. Влияние радиации на ДНК стволовых клеток в процессе хранения. Защита стволовых клеток от космических лучей и природной радиоактивности при длительном хранении. Влияние ионизирующей радиации на сверхпроводящие квантовые кубиты. Уменьшение влияния радиоактивности на квантовые цепи в глубоких подземных лабораториях. Ужесточение требований к уровню α-активности материалов используемых для производства микросхем. Припой, как источник α-частиц.			

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

Проводится постоянный контроль знаний студентов по освоению материалов предыдущих занятий. С учетом результатов письменных тестовых работ корректируется содержание и глубина подачи нового материала. На всех занятиях используются компьютерные презентации содержащие материалы из научных статей и докладов на международных конференциях наиболее подходящих к теме конкретного занятия. Даются ссылки на ресурсы в виде международных баз данных, на источники профессионального программного обеспечения, на первоисточники в виде статей и их образы в доступных архивах данных.

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-38.2	З-ПК-38.2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-38.2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-38.2	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-38.5	З-ПК-38.5	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-38.5	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-38.5	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-38.7	З-ПК-38.7	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-38.7	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-38.7	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-38.8	З-ПК-38.8	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-38.8	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-38.8	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-38.9	З-ПК-38.9	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-38.9	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-38.9	Э, 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:

<table>
<tr><th>Сумма баллов</th><th>Оценка по 4-х балльной шкале</th><th>Отметка о зачете</th><th>Оценка ECTS</th></tr>
<tr><td>90-100</td><td>5 – «отлично»</td><td rowspan="7">«зачтено»</td><td>A</td></tr>
<tr><td>85-89</td><td rowspan="3">4 – «хорошо»</td><td>B</td></tr>
<tr><td>75-84</td><td>C</td></tr>
<tr><td>70-74</td><td rowspan="2">D</td></tr>
<tr><td>65-69</td><td rowspan="2">3 – «удовлетворительно»</td></tr>
<tr><td>60-64</td><td>E</td></tr>
<tr><td>ниже 60</td><td>2 – «неудовлетворительно»</td><td>«не зачтено»</td><td>F</td></tr>
</table>

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

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

1. Курс содержит некоторые сведения из более ранних курсов по ядерной физике, взаимодействию излучения с веществом, детекторам частиц.
2. Рекомендуется обращаться к материалам международных конференций: Low Radioactivity Techniques (2006-2024гг)
3. Желательно просматривать первоисточники статей указанные в лекциях опубликованные в журналах: Reviews of Modern Physics, Annual Review of Nuclear and Particle Science и др.
4. Рекомендуется использовать архив доступных статей arxiv.org
5. Рекомендуется изучить онлайн ресурсы приведенные в лекциях
6. Рекомендуется использовать базу данных изотопов https://www.nndc.bnl.gov/nudat3/

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Данный курс представляет собой краткое введение в область физики занятой поисками сверх-редких процессов в глубоких подземных лабораториях. Основной акцент делается на методах подавления фона за счет применения сверхчистых материалов для создания детекторов темной материи и нейтрино низких энергий. Курс требует знаний в области современной физики за пределами Стандартной модели, навыков постройки детекторов элементарных частиц, знания практических методик отбора, очистки и создания сверхчистых материалов.

Автор(ы):

Козлов Александр Анатольевич