Рабочая программа дисциплины (модуля) «Основы ядерной физики и дозиметрии», включая оценочные материалы

1. Требования к результатам обучения по дисциплине (модулю)

1.1. Перечень компетенций, формируемых дисциплиной (модулем) в процессе освоения образовательной программы

Группа компетенций	Категория компетенций	Коды и содержание компетенций
Универсальные	-	-
Общепрофессиональные	-	ОПК-1. Способен использовать математические, естественнонаучные и инженерные знания для решения задач своей профессиональной деятельности
	-	ОПК-5. Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
Профессиональные	-	-

1.2. Компетенции и индикаторы их достижения, формируемых дисциплиной (модулем) в процессе освоения образовательной программы

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Содержание индикатора компетенции
ОПК-1	ОПК-1.2	Демонстрирует знания о физических и химических явлениях и процессах, строении и свойствах различных классов химических элементов, соединений, веществ и материалов, природе химической связи и механизмах химических реакций, процессов химической технологии и применяет при решении задач профессиональной деятельности основные законы и методы физики и химии
ОПК-5	ОПК-5.1	Применяет средства современных информационных технологий для поиска, хранения, обработки, анализа и представления информации

1.3. Результаты обучения по дисциплине (модулю)

Цель изучения дисциплины (модуля) – сформировать у обучающихся общие представления о свойствах атомного ядра и ионизирующих излучений, дать основные сведения о законах, управляющих спонтанными радиоактивными превращениями, ядерными реакциями, а также процессами, происходящими при прохождени.

В результате изучения дисциплины (модуля) обучающийся должен

знать:

- порядки физических величин в ядерной физике и дозиметрии;
- основные принципы и законы ядерной физики и дозиметрии, основные физические атомно-ядерные явления, методы наблюдения и экспериментальные исследования;
- границы применимости физических моделей атома и атомного ядра;
- принципы и основные нормы радиационной безопасности;

уметь:

- истолковать смысл физических величин и понятий, формулировать основные положения ядерной физики;
- пользоваться единицами измерения физических величин, принятыми в ядерной физике и дозиметрии;
- использовать различные методики проведения физических измерений и обработки экспериментальных данных;
- формулировать выводы по результатам физических экспериментов;
- решать стандартные задачи и задачи повышенной трудности;

владеть:

- методами проведения радиометрических и дозиметрических измерений и навыками корректной обработки их результатов.

2. Объем, структура и содержание дисциплины (модуля)

2.1. Объем дисциплины (модуля)

Виды учебной работы	*Формы обучения*
	Очная
Общая трудоемкость: зачетные единицы/часы	8/288
Контактная работа:	180
Занятия лекционного типа	72
Занятия семинарского типа	108
Консультации	0
Промежуточная аттестация: экзамен	72
Самостоятельная работа (СР)	36

2.2. Темы (разделы) дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества часов по формам образовательной деятельности

Очная форма обучения

№ п/п	Наименование тем (разделов)	Виды учебной работы (в часах)						
		Контактная работа						СР
		Занятия лекционного типа		Занятия семинарского типа				
		Л	Иные	ПЗ	С	ЛР	Иные	
1.	Ядерная физика	36	0	18	0	36	0	18
2.	Основы дозиметрии	36	0	18	0	36	0	18

Примечания:

Л – лекции, ПЗ – практические занятия, С – семинары, ЛР – лабораторные работы, СР – самостоятельная работа.

2.3. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) и видам работ

Содержание лекционного курса

№ п/п	Наименование тем (разделов)	Содержание лекционного курса
1.	Ядерная физика	1.1. Статические свойства атомного ядра. История открытия атомного ядра. Заряд ядра и атомный номер. Масса ядра и массовое число. Изотопы. Открытие нейтрона. Протонно-нейтронная теория. Размеры ядра. Расстояние и энергия в ядерной физике. Энергия связи ядра. Ядерные силы. Протонно-нейтронная диаграмма. Капельная модель ядра. Формула Вайцзеккера. Уровни энергии нуклона в центральном поле. Спин-орбитальное взаимодействие. Одночастичная модель оболочек (ОМО). Энергия симметрии в ОМО. Спин и четность основных состояний ядер в ОМО. Эффект спаривания. Магнитные моменты ядер. Электрический квадрупольный момент. Равновесные формы и возбужденные состояния ядер. Внутренняя структура нуклонов, кварки. Элементарные и фундаментальные частицы. Лептоны. Четыре вида силовых взаимодействий и стандартная модель. 1.2 Радиоактивный распад. Сущность явления радиоактивности. Основной закон радиоактивного распада. Активность. Статистический характер радиоактивного распада. Сложный распад. Последовательные и параллельные радиоактивные превращения. Радиоактивные семейства. Радионуклиды в природе. Ядерная геохронология. Прохождение альфа-частиц через потенциальный барьер и скорость альфа-распада. Правило Гейгера-Неттола. Три вида бета-распада. Слабое взаимодействие и теория Ферми. Спектр бета-частиц. Правило Сарджента. Разрешенные и запрещенные бета-переходы. Гамма-излучение ядер. Классификация фотонов. Каскадное испускание гамма-квантов. Ядерная изомерия. Внутренняя конверсия гамма-квантов. Эффект Мёссбауэра. Спонтанное деление ядер. Механизм деления. Спонтанно делящиеся изомеры. Свойства осколков деления. Атомномолекулярные последствия радиоактивного распада. 1.3. Ядерные реакции. Определение и классификация ядерных реакций. Законы сохранения при ядерных реакциях. Сечение и выход ядерной реакции. Искусственная радиоактивность.

		Получение радионуклидов в ядерных реакциях. Уравнение активации тонкой мишени. Механизмы ядерных реакций: составное ядро и прямые процессы. Функции возбуждения. Классификация нейтронов. Основные виды ядерных реакций на нейтронах. Сечение образования составного ядра в нерезонансной области Резонансные максимумы. Сечение в резонансной области и формулы Брейта–Вигнера. Ядерные реакции на протонах и альфа-частицах. Реакции дейтронов как пример прямых процессов. Реакции под действием тяжелых ионов. Термоядерные реакции. Проблема управляемого термоядерного синтеза. Перспективы использования термоядерной энергии. Источники энергии звезд и нуклеосинтез во Вселенной. Космические лучи. Фотоядерные реакции. Горячие атомы. Эффект Сцилларда–Чалмерса. 1.4. Ядерный реактор. Ускорительная техника Деление под действием нейтронов: история открытия. Энергия активации. Распределение энергии деления. Цепная реакция деления ядер. Замедление нейтронов. Гетерогенный ядерный реактор на тепловых нейтронах. Управление цепной реакцией. Роль запаздывающих нейтронов Накопление продуктов деления. Облученное ядерное топливо. Основные типы реакторов. Перспективы развития ядерной энергетики. Ускорители заряженных частиц и общие принципы их работы. Электростатический генератор. Линейный ускоритель. Циклотрон Другие типы ускорителей. Ускорители электронов как источники фотонов высоких энергий. Источники нейтронов.
2.	Основы дозиметрии	2.1. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом. Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом. Ионизация и возбуждение атомов и молекул. Классическая теория ионизационного торможения. Релятивистские эффекты при торможении. Формула Бете–Блоха и ее анализ. Композиционный закон Брэгга. Упругое рассеяние на ядрах. Пробег тяжелой заряженной частицы. Связь пробега с энергией. Эффекты перезарядки. Потери энергии осколками деления. Особенности взаимодействия быстрых электронов и позитронов с веществом. Ионизационное и радиационное торможение: сопоставление потерь энергии. Аннигиляция позитронов. Пробег монохроматических электронов и бета-частиц. Черенковское излучение. Взаимодействие гамма-квантов с веществом. Фотоэффект. Эффект Комптона. Образование электрон-позитронных пар. Коэффициент ослабления. Экспоненциальный закон поглощения гамма-квантов. 2.2. Детекторы заряженных и нейтральных частиц. Радиометрия и спектрометрия ядерного излучения. Основные характеристики детекторов ионизирующего излучения. Газовые ионизационные детекторы. Полупроводниковые детекторы. Сцинтилляционные детекторы. Черенковские счетчики. Трековые детекторы. Детекторы нейтронов. Процесс регистрации частиц счетной установкой. Измерения активности. Метод совпадений. Общие характеристики спектрометров ядерного излучения. Альфа-, бета- и гамма-спектрометрия. 2.3. Дозиметрия и радиационная безопасность. Основные дозиметрические величины. Поглощенная доза. Керма. Электронное равновесие. Экспозиционная доза. Мощность дозы. Линейная передача энергии. Флюэнс и плотность потока. Поглощенная доза заряженных частиц. Керма фотонного излучения. Керма и доза нейтронного излучения. Применение детекторов ионизирующего излучения при решении задач дозиметрии. Биологические эффекты при облучении. Эквивалентная доза. Эффективная эквивалентная доза.

		Принципы радиационной безопасности. Комплекс мероприятий по защите человека от вредного воздействия ионизирующих излучений. Категории лиц, подвергающихся облучению. Внешнее и внутреннее облучение. Допустимые и контрольные уровни облучения. Внешняя дозиметрия. Нормы радиационной безопасности.

Содержание занятий семинарского типа

№ п/п	Наименование тем (разделов)	Тип	Содержание занятий семинарского типа
1.	Ядерная физика	ПЗ	Капельная модель ядра. Энергия связи ядра и формула Вайцзеккера. Одночастичная модель нуклонных оболочек. Основной закон радиоактивного распада. Активность. Статистический характер радиоактивного распада. Последовательные и параллельные радиоактивные превращения. Радиоактивные семейства. Туннельные процессы: альфа-распад и спонтанное деление. Бета-распад: правило Сарджента, разрешенные и запрещенные бета-переходы. Изомерный переход. Расчет энергии ядер отдачи при различных типах распада. Законы сохранения при ядерных реакциях. Энергия ядерной реакции. Экзо- и эндотермические реакции. Сечение и выход ядерной реакции. Получение радионуклидов в ядерных реакциях. Уравнение активации тонкой мишени. Цепная реакция деления ядер. Накопление радиоактивных продуктов деления в облученном ядерном топливе. Получение радионуклидов реакторным способом. Получение радионуклидов на ускорителях
		ЛР	1.1. Знакомство с радиометрической аппаратурой Проверка правильности работы радиометрической аппаратуры по критерию Пирсона. Определение разрешающего времени радиометра. 1.2. Методы определения активности Относительное определение бета-активности полупроводниковыми детекторами. Абсолютное определение бета-активности детектором с фиксированным телесным углом. Абсолютное определение активности методом бета-гамма-совпадений. 1.3. Относительное определение активности неизвестного препарата полупроводниковым детектором. Определение верхней границы бета-спектров радионуклидов методом поглощения. Определение состава препарата калия и эффективности счета бета-частиц. Определение состава препарата калия и эффективности регистрации гамма-излучения
2.	Основы дозиметрии	ПЗ	Классическая теория ионизационного торможения. Формула Бете–Блоха. Пробег тяжелой заряженной частицы в веществе. Ионизационное и радиационное торможение быстрых электронов и позитронов. Взаимодействие гамма-квантов с веществом. Поглощенная доза и керма заряженных частиц. Экспозиционная доза и керма фотонного излучения. Дозиметрия нейтронов. Линейная передача энергии. Эквивалентная и эффективная эквивалентная дозы.
		ЛР	2.1. Методы идентификации радионуклидов Определение энергии альфа-частиц по длине их пробега в воздухе. Идентификация радионуклидов по верхней границе бета-спектра. Определение энергии гамма-квантов методом ослабления. Альфа-спектрометрия. Гамма-спектрометрия.

			2.2. Дозиметрические измерения и радиационный контроль Измерение радиационного фона. Природная и техногенная радиоактивность. Измерение уровней загрязненности поверхностей радионуклидами. 2.3. Гамма-спектрометрия, энергетическая калибровка детектора. Гамма-спектрометрия, идентификация неизвестного радионуклида, определение его активности и возраста. Определение энергии гамма-квантов методом поглощения. Определение энергии альфа-частиц по длине их пробега в воздухе. Альфа-спектрометрия. Определение состава смешанного препарата. Альфа-спектрометрия. Определение возраста альфа-источника. Дозиметрия. Определение содержания калия в продуктах питания

Содержание самостоятельной работы

№ п/п	Наименование тем (разделов)	Содержание самостоятельной работы
1.	Ядерная физика	Повторение лекционного материала. Подготовка к занятиям семинарского типа
2.	Основы дозиметрии	Повторение лекционного материала. Подготовка к занятиям семинарского типа

3. Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

По дисциплине (модулю) предусмотрены следующие виды контроля качества освоения:

- текущий контроль успеваемости;
- промежуточная аттестация обучающихся по дисциплине (модулю).

3.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации по дисциплине (модулю)

№ п/п	Контролируемые темы (разделы)	Наименование оценочного средства
1.	Ядерная физика	Контрольная работа
2.	Основы дозиметрии	Контрольная работа

3.1.1 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в процессе текущего контроля успеваемости

Контрольный работа

Контрольная работа № 1.

Задача 1. Используя формулу Вайцзеккера, найдите абсолютную энергию связи ядра А (МэВ). Определите, будет ли ядро А наиболее устойчивым в ряду изобаров. Какой из изобаров А’ будет наиболее устойчивым? Сколько энергии (МэВ) выделится при превращении ядра А в ядро А’?

A
60Co

Задача 2. Используя экспериментальные значения спина и чётности j^P ядра В в основном состоянии, в рамках ОМО с феноменологическим спариванием, изобразите схему заполнения нуклонных уровней. Совпадает ли последовательность заполнения с предсказаниями ОМО, использующей потенциал сферического гармонического осциллятора? Каковы окажутся спин и чётность нового ядра после «превращения» одного из протонов ядра В в нейтрон? После «превращения» одного из нейтронов ядра В в протон?

B	*jP*
47Sc	7/2-

Задача 3. Рассчитайте удельную активность *Am* (Ки/кг) соединения, содержащего радионуклид (РН) в количестве *x* атомных долей в смеси изотопов данного элемента. Какова будет удельная активность спустя время τ? Через какое время *t* активность РН уменьшится в *z* раз?

Соединение	РН ($T$1/2)	x	τ	z
H2O	^{15}O (122 с)	10-10	1 мин	10

Задача 4. Используя диаграмму радиоактивных превращений, найти активность (Бк) первого, второго и третьего радионуклидов цепочки в образце, содержавшем первоначально только первый радионуклид в количестве 1 Ки, по истечении заданного времени t. Периоды полураспада указаны на диаграмме.

	151Nd →	151Pm →	151Sm →	151Eu
t = 1 сут.	13 мин	27,5 ч	80 лет	Стаб.

Пример задания к контрольной работе № 2. Максимальная оценка 20 баллов: задача 5 – 6 баллов; задача 6 – 7 баллов; задача 7 – 7 баллов.

Задача 5. Пользуясь оболочечной моделью ядра, определите для основных состояний ядер спин и четность материнского изобара; спин и четность дочернего изобара. Разрешенным или запрещенным по спину и четности будет β-распад материнского изобара? Для запрещенного β-распада определите порядок запрета. Используя приведенное значение энергии β-распада $E\beta$ и правило Сарджента, предскажите период полураспада материнского изобара (с учетом порядка запрета). Укажите диапазон значений, выразив время в подходящих единицах.

Материнский	Дочерний	$E\beta$, МэВ
25Na	27Mg	3,834

Задача 6. Используя приведенные значения сечений реакции и периода полураспада радионуклида B, определите: а) время τmax облучения мишени, содержащей 1 г нуклида A, в потоке тепловых нейтронов $5\cdot10^{19}$ м$^{-2}\cdot$с$^{-1}$, необходимое для достижения максимальной активности продукта; б) активность продукта B к этому моменту времени (Бк). Найдите, какие значения примут при снижении плотности нейтронного потока в 10^3 раз время τmax и максимальная активность продукта B.

A	σ(n, γ), б	B	σ(n, X), б	$T$1/2
23Na	0,53	24Na	0,04	15 ч

Задача 7. Рассчитайте активность (Ки) каждого из трех радионуклидов цепочки (см. задачу 4), образующейся в реакторе указанного типа за 180 суток его непрерывной работы, а также через время T после выдержки отработанного топлива. Выход y родоначальника цепочки при делении ^{235}U тепловыми нейтронами, тип реактора и время выдержки топлива даны в таблице.

y, %	Реактор	T
0,45	ВВЭР-440	1 год

Контрольная работа № 3.

Задача 8. Какую долю энергии потеряет в веществе X тяжелая заряженная частица Y с начальной кинетической энергией T к моменту, когда ее удельные ионизационные потери достигнут максимума? Какова будет к этому моменту абсолютная величина ионизационных потерь (эВ/Å)?

X	Y	T, МэВ
C (графит)	p	10

Задача 9. Используя приведенные в таблице данные об излучении радионуклидов, рассчитайте: а) толщину слоя алюминия (мм), полностью поглощающего все β-частицы данного радионуклида; б) среднюю величину потерь энергии на единице длины пути в Al для β-частиц с максимальной по спектру начальной энергией (эВ/Å); в) величину ионизационных потерь энергии таких β-частиц в Al (эВ/Å); г) величину радиационных потерь энергии таких β-частиц в Al (эВ/Å). Указание: при расчете ионизационных потерь позитронов используйте формулу для ультрарелятивистского случая.

РН	$T$1/2	Распад	$E\beta$, МэВ	$y\beta$, %	$E\gamma$, МэВ	$y\gamma$, %
38Cl	37,2 мин	β-	4,91	100	1,60 2,17	38 47

Задача 10. Используя данные таблицы (см. задачу 9) об излучении радионуклидов, рассчитайте: а) начальную скорость адиабатического разогрева (К/с) водного раствора данного радионуклида с удельной активностью 1ГБк/кг; б) дозу (Гр), поглощенную таким раствором за 1 сутки; в) керма-постоянную данного радионуклида (аГр·м^2/(с·Бк)); г) мощность эквивалентной дозы, создаваемой точечным источником данного радионуклида с активностью 100 мКи на расстоянии 1 м. Поглощение энергии β-частиц раствором принять 100%-ным. Поглощением γ-квантов раствором пренебречь. Аннигиляцию позитронов внутри точечного источника считать 100%-ной. Вкладом тормозного излучения в керма-постоянную пренебречь.

3.1.2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в ходе текущего контроля успеваемости

Контрольная работа

Оценивается не только глубина знаний поставленных вопросов, но и умение изложить письменно.

Критерии оценивания: последовательность, полнота, логичность изложения, анализ различных точек зрения, самостоятельное обобщение материала. Изложение материала без фактических ошибок.

Оценка *«отлично»* ставится в случае, когда соблюдены все критерии.

Оценка *«хорошо»* ставится, если обучающийся твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, знает практическую базу, но допускает несущественные погрешности.

Оценка *«удовлетворительно»* ставится, если обучающийся освоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении материала, затрудняется с ответами, показывает отсутствие должной связи между анализом, аргументацией и выводами.

Оценка *«неудовлетворительно»* ставится, если обучающийся не отвечает на поставленные вопросы.

3.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

3.2.1. Критерии оценки результатов обучения по дисциплине (модулю)

Шкала оценивания	Результаты обучения	Показатели оценивания результатов обучения
ОТЛИЧНО	Знает:	- обучающийся глубоко и всесторонне усвоил материал, уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает, опираясь на знания основной и дополнительной литературы, - на основе системных научных знаний делает квалифицированные выводы и обобщения, свободно оперирует категориями и понятиями.
	Умеет:	- обучающийся умеет самостоятельно и правильно решать учебно-профессиональные задачи или задания, уверенно, логично, последовательно и аргументировано излагать свое решение, используя научные понятия, ссылаясь на нормативную базу.
	Владеет:	- обучающийся владеет рациональными методами (с использованием рациональных методик) решения сложных профессиональных задач, представленных деловыми играми, кейсами и т.д.; При решении продемонстрировал навыки - выделения главного, - связкой теоретических положений с требованиями руководящих документов, - изложения мыслей в логической последовательности, - самостоятельного анализа факты, событий, явлений, процессов в их взаимосвязи и диалектическом развитии.
ХОРОШО	Знает:	- обучающийся твердо усвоил материал, достаточно грамотно его излагает, опираясь на знания основной и дополнительной литературы, - затрудняется в формулировании квалифицированных выводов и обобщений, оперирует категориями и понятиями, но не всегда правильно их верифицирует.
	Умеет:	- обучающийся умеет самостоятельно и в основном правильно решать

		учебно-профессиональные задачи или задания, уверенно, логично, последовательно и аргументировано излагать свое решение, не в полной мере используя научные понятия и ссылки на нормативную базу.
	Владеет:	- обучающийся в целом владеет рациональными методами решения сложных профессиональных задач, представленных деловыми играми, кейсами и т.д.; При решении смог продемонстрировать достаточность, но не глубинность навыков, - выделения главного, - изложения мыслей в логической последовательности, - связки теоретических положений с требованиями руководящих документов, - самостоятельного анализа факты, событий, явлений, процессов в их взаимосвязи и диалектическом развитии.
УДОВЛЕТВО-РИТЕЛЬНО	Знает:	- обучающийся ориентируется в материале, однако затрудняется в его изложении; - показывает недостаточность знаний основной и дополнительной литературы; - слабо аргументирует научные положения; - практически не способен сформулировать выводы и обобщения; - частично владеет системой понятий.
	Умеет:	- обучающийся в основном умеет решить учебно-профессиональную задачу или задание, но допускает ошибки, слабо аргументирует свое решение, недостаточно использует научные понятия и руководящие документы.
	Владеет:	- обучающийся владеет некоторыми рациональными методами решения сложных профессиональных задач, представленных деловыми играми, кейсами и т.д.; При решении продемонстрировал недостаточность навыков - выделения главного, - изложения мыслей в логической последовательности, - связки теоретических положений с требованиями руководящих документов, - самостоятельного анализа факты, событий, явлений, процессов в их взаимосвязи и диалектическом развитии.
НЕУДОВЛЕТВО-РИТЕЛЬНО	Знает:	- обучающийся не усвоил значительной части материала; - не может аргументировать научные положения; - не формулирует квалифицированных выводов и обобщений; - не владеет системой понятий.
	Умеет:	обучающийся не показал умение решать учебно-профессиональную задачу или задание.
	Владеет:	не выполнены требования, предъявляемые к навыкам, оцениваемым «удовлетворительно».

3.2.2. Контрольные задания и/или иные материалы для проведения промежуточной аттестации

Список вопросов для устных ответов (варианты теста)

1. Фундаментальные открытия конца XIX в. в области строения материи. История открытия атомного ядра и нуклонов. Протонно-нейтронная теория. Атомный номер и массовое число. Изотопы, изотоны и изобары.
2. Методы определения массы и заряда ядра (масс-спектрометрия, закон Мозли). Радиус ядра и ядерное время. Распределение заряда в ядре. Четность, спин и магнитный момент ядра. Равновесные формы ядер и электрический квадрупольный момент.
3. Релятивистская механика: основные постулаты. Соотношения между скоростью, импульсом и энергией частицы. Классический и ультрарелятивистский пределы. Эквивалентность массы и энергии. Величина энергетического эквивалента атомной единицы массы.
4. Ядро как система связанных нуклонов. Свойства ядерных сил. Энергия связи ядра и дефект массы. Зависимость удельной энергии связи ядра от массового числа.

Принципы получения ядерной энергии. Протонно-нейтронная диаграмма и область существования ядер.

5. Капельная модель ядра. Формула Вайцзеккера для энергии связи. Физический смысл ее слагаемых. Условие устойчивости изобара в рамках капельной модели. Линия стабильности на протонно-нейтронной диаграмме. Отклонения от капельной модели. Магические ядра.
6. Основные положения оболочечной модели ядра. Самосогласованный потенциал. Спин- орбитальное взаимодействие. Квантовые числа нуклона, занимающего определенный уровень. Четность и кратность вырождения уровня. Последовательность заполнения подоболочек и магические числа.
7. Оболочечная модель и энергия симметрии. Спин и четность основных состояний ядер в одночастичной модели оболочек с феноменологическим спариванием. Магнитные ядра. Явление ядерного магнитного резонанса.
8. Ограниченность одночастичной модели оболочек. Несферические ядра и электрический квадрупольный момент. Возбужденные состояния ядер. Аналогия со спектрами возбуждения молекул: вращательные, колебательные и однонуклонные степени свободы. Поляризационные колебания.
9. Радиоактивность. История открытия. Основной закон радиоактивного распада: дифференциальная и интегральная формы. Физический смысл постоянной распада. Период полураспада. Активность и единицы ее измерения.
10. Методы определения периода полураспада. Статистический характер радиоактивного распада. Распределения, описывающие вероятность распада определенного количества ядер за промежуток времени (биномиальное, Пуассона, Гаусса). Среднее число распадов и среднеквадратичное отклонение. Относительная ошибка измерения числа распадов.
11. Параллельные и последовательные радиоактивные превращения. Активность дочернего радионуклида, образующегося при распаде материнского. Случаи: а) короткоживущий материнский и долгоживущий дочерний и б) долгоживущий материнский и короткоживущий дочерний. Вековое и подвижное радиоактивное равновесие. Время установления равновесия с заданной точностью.
12. Радиоактивные семейства. Родоначальники семейств и стабильные продукты. Правила сдвига и число альфа- и бета-распадов в семействе. Природные радионуклиды, не входящие в семейства. Принцип и основные методы ядерной геохронологии (уран- свинцовый, изотопно-свинцовый, калий-аргоновый).
13. Космические лучи: источники, состав и плотность потока первичного излучения. Преобразование первичных космических лучей в атмосфере Земли. Космогенные радионуклиды. Радиоуглеродный метод датирования объектов органического происхождения.
14. Альфа-распад. Примеры. Области альфа-радиоактивных ядер на протонно-нейтронной диаграмме. Энергия распада; ее распределение между альфа-частицей и ядром отдачи. Кулоновский потенциальный барьер и туннельный эффект. Прозрачность барьера. Закон Гейгера-Неттола и его квантовомеханическое объяснение. Тонкая структура альфа- спектров (короткопробежные и длиннопробежные альфа-частицы).
15. Бета-распад и его разновидности. Примеры. Области «бета+» и «бета–» распада на протонно-нейтронной диаграмме. Число стабильных изобаров в случае четного и нечетного массового числа. Двойной бета-распад. Слабое взаимодействие и теория Ферми.
16. Выполнение законов сохранения при бета-распаде. Гипотеза Паули и свойства нейтрино. Спектры бета-частиц и правило Сарджента. Разрешенные и запрещенные бета- переходы. Экспериментальные признаки позитронного бета-распада и электронного захвата.

17. Гамма-излучение ядер. Примеры. Переходы электрического и магнитного типа. Мультипольность перехода. Роль центробежного барьера при испускании бета-частиц и гамма-квантов. Сложный бета-распад и каскадное гамма-излучение.
18. Ядерная изомерия: история открытия и сущность явления. Острова изомерии. Внутренняя конверсия гамма-квантов (простая и парная) и испускание запаздывающих частиц. Ядра отдачи при испускании гамма-квантов. Эффект Мёссбауэра и его значение.
19. Деление ядер. Параметр деления и условие устойчивости ядра к спонтанному делению. Туннельный механизм деления. Условие устойчивости сферического ядра к малым деформациям. Ожидаемая граница периодической системы. Спонтанно делящиеся изомеры. Продукты деления. Свойства осколков.
20. Определение и классификация ядерных реакций. Примеры. Экзо- и эндотермические реакции. Пороговая энергия эндотермической реакции. Сечение и выход ядерной реакции, связь между ними. Функция возбуждения.
21. Механизмы ядерных реакций. Реакции, идущие через составное ядро. Энергия возбуждения и среднее время жизни составного ядра. Прямые реакции и их характерный признак. Реакции срыва и подхвата как пример прямых реакций. Их значение в ядерно- физических исследованиях.
22. Основные ядерные реакции на нейтронах. Примеры. Классификация нейтронов по энергиям. Функция возбуждения в нерезонансной области. Закон 1/v. Причина возникновения резонансных максимумов. Формулы Брейта-Вигнера. Форма отдельного резонансного максимума.
23. Деление ядер под действием нейтронов. История открытия. Барьер деления, энергия активации, энергия деления и ее распределение между продуктами. Делящиеся нуклиды. Цепная реакция и условия ее осуществления.
24. Необходимость замедления нейтронов. Требования к замедлителям. Зависимость среднелогарифмической потери энергии нейтрона от массового числа замедлителя. Среднее число соударений. Коэффициент замедления. Основные замедлители, используемые в ядерных реакторах.
25. Гетерогенные ядерные реакторы на тепловых нейтронах. Составляющие активной зоны. Коэффициент размножения нейтронов. Критическая масса и критические размеры. Формула четырех сомножителей.
26. Основные принципы управления ядерным реактором. Период реактора. Роль запаздывающих нейтронов. Реактивность и запас реактивности. Накопление продуктов деления. Зашлаковывание и отравление активной зоны. Йодная яма.
27. Классификация реакторов по их назначению. Ядерные реакции, лежащие в основе воспроизводства ядерного топлива. Реакторы на быстрых нейтронах: активная зона, зона воспроизводства, теплоноситель, отражатель нейтронов. Перспективы развития ядерной энергетики.
28. Основные ускорители тяжелых заряженных частиц: электростатический генератор, линейный ускоритель, циклотрон. Устройство и принципы их работы. Другие ускорители тяжелых частиц.
29. Ускорители электронов. Микротрон, бетатрон и синхротрон. Преобразование энергии электронов в энергию тормозного излучения (радиационные потери энергии). Спектр тормозных фотонов. Источники нейтронов, их сравнительные характеристики.
30. Основные ядерные реакции на заряженных частицах. Примеры. Характерные функции возбуждения для экзо- и эндотермических реакций. Конкурирующие процессы распада составного ядра. Реакции под действием тяжелых ионов.
31. История открытия искусственной радиоактивности. Уравнение активации тонкой мишени. Оптимальное время облучения. Получение радионуклидов в ядерных реакциях на нейтронах и заряженных частицах. Примеры.

32. Атомно-молекулярные последствия радиоактивного распада. Энергия ядер отдачи. Горячие атомы. Эффект Сцилларда-Чалмерса и его значение. Удержание продукта реакции. Причины первичного и вторичного удержания.
33. Термоядерные реакции. Проблемы и перспективы управляемого термоядерного синтеза. Критерий Лоусона. D-D- и D-T-синтез. Устройства для получения термоядерной энергии с удержанием плазмы в магнитном поле. Сравнение способов получения ядерной энергии путем деления и путем синтеза.
34. Источники энергии звезд. Водородный и углеродный циклы образования гелия. «Горение» гелия и дальнейший нуклеосинтез. Фотоядерные реакции. Типичные функции возбуждения. Гигантский дипольный резонанс.
35. Четыре вида взаимодействий в микромире. Интенсивность и радиус взаимодействия. Взаимодействие как обмен виртуальными частицами. Переносчики электромагнитного, сильного и слабого взаимодействий. Частицы и античастицы. Физический вакуум. Рождение и аннигиляция частиц и античастиц.
36. Кварковое строение адронов. Барионы и мезоны. Глюоны и цветной заряд. Невозможность наблюдения свободных кварков. Лептоны. Законы сохранения барионного и лептонного зарядов.
37. Ионизационное торможение тяжелых заряженных частиц. Структура треков, первичная и вторичная ионизация. Многократная перезарядка. Кривые Брэгга для протонов, альфа-частиц и осколков деления. Пробег и кривая ослабления узкого пучка тяжелых заряженных частиц.
38. Классическая теория ионизационного торможения. Формула для ионизационных потерь и ее анализ. Зависимость тормозной способности и пробега от характеристик частицы и вещества. Композиционный закон Брэгга. Релятивистские эффекты и формула Бете-Блоха.
39. Особенности прохождения быстрых электронов через вещество. Соотношение между ионизационными и радиационными потерями. Критическая энергия электрона. Кривые ослабления пучка монохроматических электронов и бета-частиц. Экстраполированный пробег. Коэффициент поглощения бета-частиц.
40. Особенности взаимодействия позитронов с веществом. Позитроний. Двух- и трехфотонная аннигиляция. Тормозное излучение заряженных частиц. Черенковское излучение.
41. Основные процессы взаимодействия жестких фотонов с веществом (фотоэффект, комптоновское рассеяние, образование пар), их особенности. Зависимость сечения каждого из трех процессов от энергии фотона и атомного номера вещества.
42. Закон ослабления узкого пучка моноэнергетических фотонов. Фактор накопления. Линейный (массовый) коэффициент ослабления и его составляющие. Сечение взаимодействия жестких фотонов с веществом в широком диапазоне энергий в случае: а) элемента с малым атомным номером; б) элемента с большим атомным номером.
43. Счетчики и трековые детекторы заряженных частиц. Основные характеристики детекторов. Газовые ионизационные детекторы: разновидности, устройство и принципы работы. Преимущества и недостатки газовых детекторов.
44. Полупроводниковые детекторы и их применение. Общие характеристики спектрометров ядерного излучения. Альфа-, бета- и гамма-спектрометрия.
45. Сцинтилляционные детекторы. Требования, предъявляемые к сцинтилляторам. Преобразование световой вспышки в электрический импульс. Черенковские счетчики.
46. Процесс регистрации частиц счетной установкой. Методы измерения активности радионуклидных источников (абсолютный, относительный, метод совпадений).
47. Детекторы нейтронов: борные счетчики, борные камеры и камеры деления. Регистрация нейтронов по протонам отдачи. Нейтронно-активационные детекторы.

48. Непосредственно и косвенно ионизирующие излучения. Поглощенная доза и керма, их единицы. Принцип электронного равновесия. Линейная передача энергии и флюэнс. Расчет поглощенной дозы при облучении заряженными частицами.
49. Керма и доза нейтронного излучения. Экспозиционная доза фотонного излучения, ее единицы и связь с кермой. Керма-постоянная радионуклида. Расчет мощности воздушной кермы для точечного источника гамма-квантов.
50. Биологические эффекты ионизирующих излучений. Относительная биологическая эффективность, ее зависимость от линейной передачи энергии. Коэффициенты качества излучений, эквивалентная доза и ее единицы. Принципы радиационной безопасности.

Тексты проблемно-аналитических и (или) практических учебно-профессиональных задач

1. Массы атомов соседних изобаров ^{7}Li и ^{7}Be равны 7,0160040 и 7,0169292 а.е.м. соответственно. Определить направление и вид бета-распада и выделяющуюся при этом энергию.
2. Определить энергии нейтрино и ядра отдачи, образующихся при электронном захвате в атоме ^{55}Fe, масса которого 54,938302 а.е.м. Масса дочернего атома ^{55}Mn равна 54,938054 а.е.м.
3. Вычислить постоянную распада, среднее время жизни и период полураспада радионуклида, активность которого уменьшается в 1,25 раза за 100 дней.
4. В урановой руде отношение числа атомов ^{238}U к числу атомов ^{206}Pb равно 2,785. Оценить возраст руды, предполагая, что весь ^{206}Pb имеет радиоактивное происхождение. Период полураспада ^{238}U равен $4{,}5\cdot10^{9}$ лет.
5. За какое время активность образца воды, содержащего 0,3 г трития (^{3}H, $T1/2$ = 12,3 года), уменьшится в 1000 раз? Сколько литров ^{3}He (н.у.) при этом образуется?
6. Период полураспада ^{226}Ra равен 1620 лет, а ^{222}Rn – 3,8 дня. Определить, через какое время накопится 50; 75; и 87,5% равновесного количества радона из радия.
7. В радиоактивном препарате происходят следующие превращения: ^{118}Cd (30 мин.) → ^{118}In (4,5 мин.) → ^{118}Sn (стабилен). Считая, что в начальный момент времени препарат содержал только ^{118}Cd, найти, во сколько раз уменьшится активность препарата через 1 ч.
8. В радиоактивном препарате происходят следующие превращения: ^{144}Ce (285 сут.) → ^{144}Pr (17,3 мин.) →^{144}Nd ($2{,}4\cdot10^{15}$ лет). Считая, что в начальный момент времени препарат содержал только ^{144}Ce, найти, во сколько раз увеличится активность препарата через 1 ч.
9. Какое количество α- и β-распадов в секунду происходит в образце минерала, содержащего 1 мг ^{232}Th ($T1/2$ = $1{,}4\cdot10^{10}$ лет)? Все продукты распада находятся в радиоактивном равновесии. Радон не улетучивается.
10. Во сколько раз увеличится активность свежеприготовленного химически чистого ^{226}RaBr2, помещенного в запаянную стеклянную ампулу, после установления равновесия со всеми продуктами распада?
11. Ядро ^{213}Po испустило α-частицу с кинетической энергией 8,34 МэВ, при этом дочернее ядро оказалось в основном состоянии. Найти полную энергию, освобождаемую в этом процессе. Какую долю этой энергии составляет кинетическая энергия дочернего ядра?
12. Изомерное ядро ^{81m}Se с энергией возбуждения 103 кэВ переходит в основное состояние, испуская γ-квант. Найти энергию ядра отдачи.
13. Изомерное ядро ^{81m}Se с энергией возбуждения 103 кэВ переходит в основное состояние, испуская конверсионный электрон с *K*-оболочки атома (энергия связи *K*-электрона 12,7 кэВ). Найти энергию ядра отдачи.
14. Ядро ^{239}Pu, захватив тепловой нейтрон, разделилось на два осколка, массовые числа которых относятся друг к другу как 2:3. Вычислить энергии этих осколков, если их суммарная кинетическая энергия равна 180 МэВ.

15. Ядро ^{10}B захватило тепловой нейтрон, после чего испустило альфа-частицу. Найти кинетические энергии альфа-частицы и ядра отдачи, если известно, что энергия, выделяющаяся в результате этой реакции, равна 2,5 МэВ.
16. При трехфотонной аннигиляции позитрония два фотона с одинаковой энергией разлетелись под углом 90° друг к другу. Найти энергии каждого из испущенных фотонов.
17. Определить активность ^{198}Au в образце золота массой 1 г, облучавшемся нейтронами, если плотность их потока составила 10^{17} м$^{-2}$·с$^{-1}$, а время облучения 30 сут. Сечение радиационного захвата нейтрона для ^{197}Au равно 10^2 б. ^{198}Au имеет период полураспада 2,7 сут., а сечение его реакции с нейтронами $2{,}6\cdot10^4$ б.
18. Через камеру, заполненную газообразным азотом (н. у.), проходит узкий пучок тепловых нейтронов с постоянной интенсивностью 10^8 с$^{-1}$. Найти сечение реакции (*n, p*), если установлено, что на 1 см траектории пучка за 0,01 с образуется 95 протонов.
19. В ядерном реакторе с выходом при делении 3,7% образуется ^{89}Sr, период полураспада которого 50,55 сут. Определить, какое количество этого радионуклида (Ки) накопится через 50 суток работы реактора с тепловой мощностью 300 МВт.
20. Поток β-частиц от источника ^{90}Sr ($E\beta$ max = 0,54 МэВ, максимальный пробег в алюминии 0,25 г/см^2) падает нормально на поверхность воды. Плотность потока φ = 10^4 частиц/(см^2·с). Определить дозу, поглощенную водой вблизи поверхности за 1 минуту.
21. На 1см^2 кожи рук человека за 1 минуту падает нормально к поверхности 100 α-частиц ^{239}Pu ($E\alpha$ = 5,15 МэВ, пробег в биологической ткани 50 мкм). Определить мощность эквивалентной дозы.
22. Какое количество α-частиц ^{239}Pu с энергией 5,15 МэВ, поглощенных в 1 г биологической ткани, соответствует эквивалентной дозе 1 мЗв?
23. Рассчитать эквивалентную дозу, созданную точечным источником ^{24}Na ($T1/2$ = 15 ч) с начальной активностью 1 мКи на расстоянии 5 см в течение суток. Керма постоянная ^{24}Na Гδ = 119,4 аГр·м^2/(с·Бк).
24. Рассчитать максимально возможную поглощенную дозу на расстоянии 1 м от точечного источника ^{42}K ($T1/2$ = 12,36 ч) с начальной активностью 1 МБк. Керма постоянная ^{42}K Гδ = 8,902 аГр·м^2/(с·Бк).
25. Рассчитать эффективность регистрации гамма-квантов ^{60}Co (два кванта на один распад), если точечный источник этого радионуклида активностью $4\cdot10^6$ Бк создает скорость счета 25 имп/с на расстоянии 2 м, а площадь счетчика равна 20 см^2.

3.2.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков в ходе промежуточной аттестации

Процедура оценивания знаний (тест)

Предлагаемое количество заданий	20
Последовательность выборки	Определена по разделам
Критерии оценки	- правильный ответ на вопрос
«5» если	правильно выполнено 90-100% тестовых заданий
«4» если	правильно выполнено 70-89% тестовых заданий
«3» если	правильно выполнено 50-69% тестовых заданий

Процедура оценивания знаний (устный ответ)

Предел длительности	10 минут
Предлагаемое количество заданий	2 вопроса
Последовательность выборки вопросов из каждого раздела	Случайная
Критерии оценки	- требуемый объем и структура - изложение материала без фактических ошибок - логика изложения - использование соответствующей терминологии - стиль речи и культура речи - подбор примеров их научной литературы и практики
«5» если	требования к ответу выполнены в полном объеме

«4» если	в целом выполнены требования к ответу, однако есть небольшие неточности в изложении некоторых вопросов
«3» если	требования выполнены частично – не выдержан объем, есть фактические ошибки, нарушена логика изложения, недостаточно используется соответствующая терминологии

Процедура оценивания умений и навыков (решение проблемно-аналитических и практических учебно-профессиональных задач)

Предлагаемое количество заданий	1
Последовательность выборки	Случайная
Критерии оценки:	- выделение и понимание проблемы - умение обобщать, сопоставлять различные точки зрения - полнота использования источников - наличие авторской позиции - соответствие ответа поставленному вопросу - использование социального опыта, материалов СМИ, статистических данных - логичность изложения - умение сделать квалифицированные выводы и обобщения с точки зрения решения профессиональных задач - умение привести пример - опора на теоретические положения - владение соответствующей терминологией
«5» если	требования к ответу выполнены в полном объеме
«4» если	в целом выполнены требования к ответу, однако есть небольшие неточности в изложении некоторых вопросов. Затрудняется в формулировании квалифицированных выводов и обобщений
«3» если	требования выполнены частично – пытается обосновать свою точку зрения, однако слабо аргументирует научные положения, практически не способен самостоятельно сформулировать выводы и обобщения, не видит связь с профессиональной деятельностью

4. Учебно-методическое и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

4.1. Электронные учебные издания

1. Бекман, И. Н. Атомная и ядерная физика: радиоактивность и ионизирующие излучения : учебник для вузов / И. Н. Бекман. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 493 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08692-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/513455.
2. Мухин, К. Н. Экспериментальная ядерная физика : учебник : в 3 томах / К. Н. Мухин. — 7-е изд, стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022 — Том 1 : Физика атомного ядра — 2022. — 384 с. — ISBN 978-5-8114-0739-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/210308. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Мухин, К. Н. Экспериментальная ядерная физика : учебник : в 3 томах / К. Н. Мухин. — 7-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022 — Том 2 : Физика ядерных реакций — 2022. — 326 с. — ISBN 978-5-8114-0740-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/210311. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Мухин, К. Н. Экспериментальная ядерная физика : учебник : в 3 томах / К. Н. Мухин. — 6-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2022 — Том 3 : Физика элементарных частиц — 2022. — 432 с. — ISBN 978-5-8114-0741-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/210137. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4.2. Электронные образовательные ресурсы

1. Электронная библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» Biblio-online.ru (ЭБС «Юрайт») [Электронный ресурс]. – URL: https://urait.ru/.
2. Электронно-библиотечная система ZNANIUM [Электронный ресурс]. – URL: https://znanium.com/.
3. Электронная библиотечная система «Консультант студента» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.studentlibrary.ru/.
4. e-Library.ru: Научная электронная библиотека [Электронный ресурс]. – URL: http://elibrary.ru/.
5. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» [Электронный ресурс]. – URL: http://cyberleninka.ru/.
6. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]. – URL: http://window.edu.ru/.
7. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов [Электронный ресурс]. – URL: http://fcior.edu.ru/.

4.3. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Обучающимся обеспечен доступ (удаленный доступ) к ниже следующим современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам:

1. Словари и энциклопедии на Академике [Электронный ресурс]. – URL: http://dic.academic.ru.
2. Система информационно-правового обеспечения «Гарант» [Электронный ресурс]. – URL: http://ivo.garant.ru/.

4.4. Комплект лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

1. Лицензионное программное обеспечение: операционная система Microsoft Windows, пакет офисных приложений Microsoft Office.
2. Свободно распространяемое программное обеспечение: свободные пакеты офисных приложений Apache Open Office, LibreOffice.
3. Программное обеспечение отечественного производства: справочно-правовая система «Гарант» (Электронный периодический справочник «Система ГАРАНТ»), образовательная платформа ЮРАЙТ (Электронная библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» Biblio-online.ru (ЭБС «Юрайт»)), электронно-библиотечная система ZNANIUM, электронная библиотечная система «Консультант студента».

4.5. Оборудование и технические средства обучения

Для реализации дисциплины (модуля) используются учебные аудитории для проведения учебных занятий, которые оснащены оборудованием и техническими средствами обучения, и помещения для самостоятельной работы обучающихся, которые оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду РХТУ им. Д.И. Менделеева. Допускается замена оборудования его виртуальными аналогами.

Наименование учебных аудиторий для проведения учебных занятий и помещений для самостоятельной работы*	**Оснащенность учебных аудиторий для проведения учебных занятий и помещений для самостоятельной работы оборудованием и техническими средствами обучения**
Учебные аудитории для проведения учебных занятий	Учебная аудитория укомплектована специализированной мебелью, отвечающей всем установленным нормам и требованиям, оборудованием и техническими средствами обучения (мобильное мультимедийное оборудование).
Помещение для самостоятельной работы	Помещение оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду РХТУ им. Д.И. Менделеева и к ЭБС.

* Номер конкретной аудитории указан в приказе об аудиторном фонде, расписании учебных занятий и расписании промежуточной аттестации.