МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г.ШУХОВА»
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

УТВЕРЖДАЮ
Директор института ХТИ
_____ Р.Н. Ястребинский
«_24_» _____05_____ 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины (модуля)

Математическое моделирование радиационных процессов

направление подготовки (специальность):

01.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

Направленность программы (профиль, специализация):

Ядерная и радиационная безопасность на объектах использования ядерной энергии

Квалификация

инженер

Форма обучения

очная

Химико-технологический институт

Кафедра теоретической и прикладной химии

Белгород 2021

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – специалитет по специальности 18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 07.08.20, № 913.
- плана учебного процесса БГТУ им. В.Г. Шухова, введенного в действие в 2021 году.

Составитель: д. ф.-м. н., проф. _____ (А.В. Носков)
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой «Теоретической и прикладной химии»

Заведующий кафедрой: д.т.н. проф. _____ (В.И. Павленко)
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

«13» 05 2021 г.,

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры ТиПХ

«13» 05 2021 г., протокол № 9

Заведующий кафедрой: д.т.н. проф. _____ (В.И. Павленко)
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

«15» 05 2021 г., протокол № 9

Председатель к.т.н., доц. _____ (Л.А. Порожнюк)
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине
Общепрофессиональные компетенции	ОПК-4. Способен использовать методы математического моделирования отдельных стадий и всего технологического процесса, осуществлять теоретический анализ и экспериментальную проверку адекватности модели	ОПК-4.2. Применяет программное обеспечение для выполнения численного моделирования отдельных стадий и технологического процесса в целом с использованием прикладных программ в сфере профессиональной деятельности	**Знания:** • математических методов моделирования радиационных процессов в веществе; • радиационных процессов, возникающих в результате взаимодействия ионизирующего излучения с веществом **Умения:** • использование методов математического моделирования для моделирования радиационных процессов в веществе; • применение программного обеспечения для выполнения численного моделирования **Навыки:** • применение методов математического моделирования радиационных процессов; • использование методов описания взаимодействия ионизирующего излучения с веществом

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1. Компетенция ОПК-4. Способен использовать методы математического моделирования отдельных стадий и всего технологического процесса, осуществлять теоретический анализ и экспериментальную проверку адекватности модели

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами.

Стадия	Наименования дисциплины
1	Системы управления химико-технологическими процессами
2	Моделирование химико-технологических процессов
3	Математическое моделирование радиационных процессов

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 зач. единиц, 324 часа.

Форма промежуточной аттестации зачет, экзамен

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 9	Семестр № 10
Общая трудоемкость дисциплины, час	324	144	180
Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:	152	72	72
лекции	68	34	34
лабораторные	-	-	-
практические	68	34	34
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	8	4	4
Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:	172	72	108
Курсовой проект	-	-	-
Курсовая работа	-	-	-
Расчетно-графическое задание	-	-	-
Индивидуальное домашнее задание	-	-	-
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	136	72	72
Форма промежуточной аттестации (экзамен)	36	-	36

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Наименование тем, их содержание и объем

Курс 5 Семестр 9

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным заня-
1. Кинематика упругих столкновений частиц					
	Упругое рассеяние в лабораторной системе координат (ЛСК). Упругое рассеяние в системе центра инерции (СЦИ). Связь физических величин в ЛСК и СЦИ. Релятивистская кинематика упругого рассеяния. Кинематика упругих столкновений.	6	6	–	16
2. Сечения взаимодействия (столкновения)					

	Микроскопическое сечение взаимодействия. Дифференциальные сечения. Вычисление средних величин. Сечения рассеяния и поглощения энергии. Преобразование сечений. Макроскопические коэффициенты взаимодействия	8	8	–	16
3**. Упругое рассеяние тяжелых и легких заряженных частиц атомами**					
	Упругие столкновения заряженных частиц в классической механике. Задача двух тел. Задача Кеплера. Формула Резерфорда. Упругое кулоновское рассеяние заряженных частиц в квантовой механике. Элементы квантовой теории упругого рассеяния. Борновское приближение. Пределы применимости классического и борновского приближений. Метод парциальных волн.	10	10	–	20
4**. Неупругие столкновения заряженных частиц с атомными электронами**					
	Неупругое рассеяние заряженных частиц на атомах. Сечение ионизации атома заряженными частицами. Дельта электроны. Квазиклассическая теория потерь энергии на ионизацию и возбуждение атомов. Формула Бете-Блоха. Эффект плотности. Правило Брэгга. Торможение в веществе тяжелых многозарядных ионов. Тормозная способность медленных тяжелых заряженных частиц. Потери на столкновения легких заряженных частиц. Связь между потерями энергии и ионизацией. Трек частицы.	10	10	–	20
	Итого	34	34	–	72

Курс 5 Семестр 10

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным
5. Математическое моделирование излучения заряженных частиц, движущихся в веществе					
	Тормозное излучение заряженных частиц. Классическая теория тормозного излучения. Результаты квантовой теории тормозного излучения. Потери энергии на тормозное излучение. Полные потери энергии. Радиационная единица длины. Влияние среды на тормозное излучение. Тормозное излучение из толстых мишеней. Излучение Вавилова-Черенкова. Переходное излучение. Эффект аннигиляции.	10	10	-	18
6. Математическое моделирование потерянной энергии, пробегов, коэффициентов пропускания и отражения заряженных частиц					
	Статистический разброс потерь энергии на столкновения. Флуктуации в потерях энергии на излучение. Пробеги заряженных частиц в веществе. Коэффициенты пропускани. Коэффициенты отражения (альбедо).	6	6	–	18
7. Математическое моделирование взаимодействия электромагнитного излучения с веществом					

	Рассеяние электромагнитных волн на свободных зарядах. Формула Томсона. Рассеяние электромагнитных волн связанными зарядами. Рассеяние электромагнитных волн системой зарядов. Когерентное и некогерентное рассеяние. Эффект Комптона. Фотоэффект. Эффект образования электронно-позитронных пар. Рассеяние фотонов на ядрах. Фотоядерные реакции. Резонансное поглощение фотонов. Эффект Мессбауэра. Полное сечение взаимодействия фотонов. Альбедо фотонов	10	10	–	18
8. Математическое моделирование взаимодействия нейтронов с веществом					
	Упругое рассеяние нейтронов. Неупругое рассеяние нейтронов. Радиационный захват нейтронов. Неупругие реакции поглощения нейтронов с вылетом заряженных частиц и нейтронов. Деление ядер. Полное сечение взаимодействия нейтронов. Использование нейтронных сечений. Альбедо нейтронов.	8	8	–	18
	Итого	34	34	–	72

4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
семестр № 9				
1	Кинематика упругих столкновений частиц (ОПК-4)	Упругое рассеяние в лабораторной системе координат (ЛСК). Упругое рассеяние в системе центра инерции (СЦИ). Релятивистская кинематика упругого рассеяния.	6	6
2	Сечения взаимодействия (столкновения) (ОПК-4)	Микроскопическое сечение взаимодействия. Дифференциальные сечения. Сечения рассеяния и поглощения энергии. Преобразование сечений.	8	8
3	Упругое рассеяние тяжелых и легких заряженных частиц атомами (ОПК-4)	Задача двух тел. Задача Кеплера. Формула Резерфорда. Упругое кулоновское рассеяние заряженных частиц в квантовой механике. Борновское приближение. Пределы применимости классического и борновского приближений. Метод парциальных волн.	10	10
4	Неупругие столкновения заряженных частиц с атомными Электронами (ОПК-4)	Неупругое рассеяние заряженных частиц на атомах. Сечение ионизации атома заряженными частицами. Формула Бете-Блоха. Эффект плотности. Правило Брэгга. Потери на столкновения легких заряженных частиц. Связь между потерями энергии и иони-	10	10

		зацией. Трек частицы.		
		ИТОГО:	34	34
семестр № 10				
5	Математическое моделирование излучения заряженных частиц, движущихся в веществе (ОПК-4)	Классическая теория тормозного излучения. Потери энергии на тормозное излучение. Полные потери энергии. Влияние среды на тормозное излучение. Тормозное излучение из толстых мишеней. Излучение Вавилова-Черенкова. Переходное излучение. Эффект аннигиляции.	10	10
6	Математическое моделирование потерянной энергии, пробегов, коэффициентов пропускания и отражения заряженных частиц (ОПК-4)	Статистический разброс потерь энергии на столкновения. Коэффициенты пропускани. Коэффициенты отражения (альбедо).	6	6
7	Математическое моделирование взаимодействия электромагнитного излучения с веществом (ОПК-4)	Рассеяние электромагнитных волн на свободных зарядах. Формула Томсона. Рассеяние электромагнитных волн связанными зарядами. Рассеяние электромагнитных волн системой зарядов. Когерентное и некогерентное рассеяние. Эффект Комптона. Фотоэффект. Эффект образования электронно-позитронных пар. Рассеяние фотонов на ядрах.	10	10
8	Математическое моделирование взаимодействия нейтронов с веществом (ОПК-4)	Упругое рассеяние нейтронов. Неупругое рассеяние нейтронов. Деление ядер. Полное сечение взаимодействия нейтронов. Использование нейтронных сечений. Альбедо нейтронов.	8	14
		ИТОГО:	34	34
		ВСЕГО:	68	68

4.3. Содержание лабораторных занятий

Лабораторные занятия при изучении дисциплины не предусмотрены учебным планом.

4.4. Содержание курсового проекта/работы

Курсовые работы и курсовые проекты при изучении дисциплины не предусмотрены учебным планом.

4.5. Содержание расчетно-графического задания, индивидуальных домашних заданий

Расчетно-графическое задание и индивидуальные домашние задания при изучении дисциплины не предусмотрены учебным планом.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1. Реализация компетенций

1 Компетенция ОПК-4. Способен использовать методы математического моделирования отдельных стадий и всего технологического процесса, осуществлять теоретический анализ и экспериментальную проверку адекватности модели

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ОПК-4.2. Применяет программное обеспечение для выполнения численного моделирования отдельных стадий и технологического процесса в целом с использованием прикладных программ в сфере профессиональной деятельности	Экзамен, зачет, разноуровневые задачи, собеседование, выполнение и защита практических работ.

5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

5.2.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий) для экзамена, зачета

Промежуточная аттестация в конце 9 семестра осуществляется в форме **зачета** после изучения всех разделов дисциплины «Математическое моделирование радиационных процессов». К экзамену допускаются студенты, выполнившие все требования, предъявляемые к изучению дисциплины: выполнение и защита лабораторных работ.

Перечень контрольных вопросов (типовых заданий) для зачета

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1.	Кинематика упругих столкновений частиц (ОПК-4)	Упругое рассеяние в лабораторной системе координат (ЛСК).
		Упругое рассеяние в системе центра инерции (СЦИ).
		Связь физических величин в ЛСК и СЦИ.
		Релятивистская кинематика упругого рассеяния.
		Кинематика упругих столкновений.
2.	Сечения взаимодействия (столкновения) (ОПК-4)	Микроскопическое сечение взаимодействия.
		Дифференциальные сечения.
		Вычисление средних величин.
		Сечения рассеяния и поглощения энергии.
		Преобразование сечений.
		Макроскопические коэффициенты взаимодействия
3.	Упругое рассеяние тяжелых и легких заряженных частиц атомами (ОПК-4)	Упругие столкновения заряженных частиц в классической механике.
		Задача двух тел. Задача Кеплера.
		Формула Резерфорда.
		Упругое кулоновское рассеяние заряженных частиц в кван-

		товой механике.
		Борновское приближение. Метод парциальных волн.
		Пределы применимости классического и борновского приближений.
		Метод парциальных волн.
4.	Неупругие столкновения заряженных частиц с атомными электронами (ОПК-4)	Неупругое рассеяние заряженных частиц на атомах.
		Сечение ионизации атома заряженными частицами.
		Дельта электроны.
		Квазиклассическая теория потерь энергии на ионизацию и возбуждение атомов.
		Формула Бете-Блоха. Эффект плотности. Правило Брэгга.
		Торможение в веществе тяжелых многозарядных ионов.
		Тормозная способность медленных тяжелых заряженных частиц.
		Потери на столкновения легких заряженных частиц.
		Связь между потерями энергии и ионизацией. Трек частицы.

Промежуточная аттестация в конце 10 семестра осуществляется в форме **экзамена** после изучения всех разделов дисциплины «Математическое моделирование радиационных процессов». К экзамену допускаются студенты, выполнившие все требования, предъявляемые к изучению дисциплины: выполнение и защита лабораторных работ.

Перечень контрольных вопросов (типовых заданий) для экзамена

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1.	Математическое моделирование излучения заряженных частиц, движущихся в веществе (ОПК-4)	Тормозное излучение заряженных частиц.
		Классическая теория тормозного излучения.
		Результаты квантовой теории тормозного излучения.
		Потери энергии на тормозное излучение. Полные потери энергии.
		Радиационная единица длины.
		Влияние среды на тормозное излучение.
		Тормозное излучение из толстых мишеней.
		Излучение Вавилова-Черенкова.
		Переходное излучение. Эффект аннигиляции.
2.	Математическое моделирование потерянной энергии, пробегов, коэффициентов пропускания и отражения заряженных частиц (ОПК-4)	Статистический разброс потерь энергии на столкновения.
		Флуктуации в потерях энергии на излучение.
		Пробеги заряженных частиц в веществе.
		Коэффициенты пропускания.
		Коэффициенты отражения (альбедо).
3.	Математическое моделирование взаимодействия электромагнитного излучения с веществом (ОПК-4)	Рассеяние электромагнитных волн на свободных зарядах.
		Формула Томсона.
		Рассеяние электромагнитных волн связанными зарядами.
		Рассеяние электромагнитных волн системой зарядов.
		Когерентное и некогерентное рассеяние.
		Эффект Комптона.
		Фотоэффект.

		Эффект образования электронно-позитронных пар.
		Рассеяние фотонов на ядрах.
		Фотоядерные реакции.
		Резонансное поглощение фотонов.
		Эффект Мессбауэра.
		Полное сечение взаимодействия фотонов.
		Альбедо фотонов.
4.	Математическое моделирование взаимодействия нейтронов с веществом (ОПК-4)	Упругое рассеяние нейтронов.
		Неупругое рассеяние нейтронов.
		Радиационный захват нейтронов.
		Неупругие реакции поглощения нейтронов с вылетом заряженных частиц и нейтронов.
		Деление ядер.
		Полное сечение взаимодействия нейтронов.
		Использование нейтронных сечений.
		Альбедо нейтронов.

5.2.2. Перечень контрольных материалов для защиты курсового проекта/ курсовой работы

Курсовые работы и курсовые проекты при изучении дисциплины не предусмотрены учебным планом.

5.3. Типовые контрольные задания (материалы) для текущего контроля в семестре

Текущий контроль в течение девятого и десятого семестра осуществляется в форме выполнения и защиты практических работ, решение задач по каждой теме на практических занятиях. Защита практических работ возможна после проверки правильности их оформления и выполнения. Защита проводится в устной форме в течение занятия.

Перечень контрольных вопросов (типовых заданий) для защиты практических работ

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1.	Кинематика упругих столкновений частиц (ОПК-4)	Дать определения упругим и неупругим столкновениям, привести примеры.
		Дать определение центра инерции. Нарисовать ЛСК и СЦИ. Какова картина упругого рассеяния в этих системах координат?
		Как связаны между собой скорости и импульсы частиц до и после столкновения в СЦИ?
		Нарисовать совместную диаграмму скоростей в ЛСК и СЦИ
		Как строится векторная диаграмма импульсов в случае упругого рассеяния двух частиц в нерелятивистском случае? Какую информацию о результатах столкновения частиц можно получить из этой диаграммы?

		Как в нерелятивистском случае связаны между собой кинетические энергии системы частиц в ЛСК и СЦИ?
		Как зависит величина переданной энергии при упругом столкновении двух частиц от соотношения их масс в нерелятивистском и релятивистском случаях?
		Записать в матричном виде преобразование Лоренца для энергии-импульса.
		Какова масса составной частицы в релятивистском случае, с какой скоростью она двигается?
		Как изменятся импульсы частиц в СЦИ после упругого рассеяния в релятивистском случае?
		Как отличаются векторные диаграммы импульсов в нерелятивистском и релятивистском случаях?
		Какие реакции называют экзоэнергетическими, а какие эндоэнергетическими? Что происходит с энергией покоя и кинетической энергией частиц в этих реакциях?
		Что необходимо сделать, чтобы осуществить эндоэнергетическую реакцию?
		Как соотносится величина пороговой кинетической энергии налетающей частицы с энергией эндоэнергетической реакции?
		Как отличаются пороговые кинетические энергии в нерелятивистском и релятивистском случаях?
		В чем преимущество метода встречных пучков?
2.	Сечения взаимодействия (столкновения) (ОПК-4)	Назвать физический смысл микроскопического сечения взаимодействия. От чего зависит величина сечения?
		Что такое дифференциальное сечение взаимодействия, как оно связано с полным сечением, как с его помощью вычислить средние характеристики частиц после взаимодействия?
		Дать определение и физический смысл сечения рассеяния и поглощения энергии.
		Привести примеры формул для преобразования сечений.
		Какое излучение называют нерассеянным?
		Дать определение физического смысла макроскопического сечения. Как оно связано с микроскопическим сечением?
		Что такое тормозная способность вещества?
		Объяснить фразу «пробег в приближении непрерывного замедления».
		Назвать макроскопические коэффициенты взаимодействия частиц с веществом и объяснить их физический смысл.
		Чем отличается ЛПЭ от тормозной способности вещества?
3.	Упругое рассеяние тяжелых и легких заряженных частиц атомами (ОПК-4)	Какие взаимодействия испытывают заряженные частицы при движении в веществе?
		Какие силы называют центральными? Как выглядит траектория тела, движущегося под действием центральной силы?
		Какое движение называют финитным, а какое инфинитным? Как выглядит эффективная потенциальная энергия

		для таких траекторий?
		Какие типы траекторий возможны в задаче Кеплера?
		По какой траектории и почему движутся быстрые заряженные частицы в кулоновском поле ядра?
		Почему при экспериментальной проверке формулы Резерфорда рассеивающее вещество должно быть в виде тонкой фольги?
		Как зависит сечение упругого рассеяния от заряда налегающей частицы и от заряда ядра?
		Как зависит сечение упругого рассеяния от угла рассеяния и от потерянной энергии?
		Как зависит угол рассеяния частицы от прицельного параметра и от ее энергии?
		Формула Резерфорда описывает угловое распределение частиц в СЦИ. Как получить угловое распределение падающих частиц в ЛСК?
		Как вычисляется величина плотности потока частил в квантовой механике?
		Как выглядит общая схема вычисления дифференциального сечения в квантовой механике и чему оно равно?
		Как и к какому равнению в квантовой механике сводится уравнение Шредингера в задаче о рассеянии двух частиц? Записать это уравнение.
		Записать граничное условие для волновой функции в задаче о рассеянии.
		Каков физический смысл борновского приближения?
		Как в борновском приближении найти волновую функцию рассеянных час тиц?
		Записать уравнение Д'Аламбера, что оно описывает?
		Записать в борновском приближении выражение для амплитуды рассеяния.
		Записать условие применимости борновского приближения и пояснить его физический смысл.
		Каков физический смысл метода парциальных волн? Записать разложение волновой функции для метода парциальных волн.
		Чему равны собственные значения оператора квадрат момента импульса?
		Записать уравнение Шредингсра в сферической системе координат в центральном поле с учетом собственных значений орбитального момента.
		Каковы математический и физический смыслы фазы рассеяния?
		Записать выражение для прицельного параметра через длину волны налетающей частицы и объяснить, как рассеиваются частицы низких энергий?
		Какова область применимости фазовой теории рассеяния?
		Что такое прямая и обратная задачи теории рассеяния?
		Записать выражение для потенциальной энергии кулоновского поля атома.
		Что такое атомный формфактор? Записать его выражение в борновском приближении.
		Записать выражение для дифференциального сечения рассеяния с учетом формфактора. Нарисовать графики дифференциального сечения с учетом к без учета экрани-

		рования. В чем причина расходимости сечения Резерфорда?
		Записать выражение для потенциала Бора. Как он ведет себя на маленьких и больших расстояниях от центра потенциала?
4.	Неупругие столкновения заряженных частиц с атомными электронами (ОПК-4)	Дать определение энергии ионизации атома.
		Как вычисляется сечение ионизации атома в модели Томсона?
		Изобразить графически зависимость сечения ионизации от энергии электрона и тяжелой заряженной частицы.
		Какие электроны называют дельта-электронами?
		Как зависит число дельта-электронов, которые образует частица на единице пути в веществе, от ее массы и энергии (в нерелятивистской области)?
		Изобразить графически зависимость длины свободного пробега между ионизационными столкновениями от энергии частицы.
		Перечислить приближения, сделанные при вычислении тормозной способности классическим способом.
		Как зависит тормозная способность на столкновения от характеристик частицы и вещества
		Как отличаются тормозные способности некоторого вещества для протонов и альфа-частиц: а) при одной скорости частиц; б) при одной энергии?
		Нарисовать зависимость тормозной способности по формуле Бете-Блоха от энергии частицы. Указать физические причины такой зависимости. Что такое эффект плотности? Для каких энергий частиц его надо учитывать?
		Написать правило Брэгга.
		В чем особенность торможения в веществе тяжелых многозарядных ионов по сравнению с протонами?
		Как и почему меняется тормозная способность медленных частиц с уменьшением их энергии?
		Чем отличаются первичная, вторичная и полная ионизации вещества? Что та□кое удельная ионизация? Какова связь между удельной ионизацией и тормоз□ной способностью?
		Что такое трек частицы? Как зависят его характеристики от энергии частицы и вещества?
5.	Математическое моделирование излучения заряженных частиц, движущихся в веществе (ОПК-4)	Какое излучение называется тормозным излучением?
		ак (и почему) интенсивность тормозного излучения зависит от массы частицы?
		Каков спектр и угловое распределение тормозного излучения?
		В чем различие тормозных способностей легких и тяжелых заряженных частиц?
		Изобразить графически потери энергии на столкновения и излучение для электронов. Что такое критическая энергия?
		Что такое радиационная единица длины?
		Что такое продольный эффект плотности и когда его необходимо учитывать?
		Укажите основные особенности эффекта Ландау-Померанчука-Мигдала.

		Когда возникает излучение Вавилова-Черенкова? Каков его спектральный со□став и угловое распределение?
		Перечислить принципиальные отличия тормозного и черенковского излучений.
		Опишите механизм возникновения переходного излучения. Где и как оно используется? Как устроен детектор переходного излучения?
		В чем заключается эффект аннигиляции? Каково энергетическое и угловое распределение аннигиляционных гамма-квантов?
6.	Математическое моделирование потерянной энергии, пробегов, коэффициентов пропускания и отражения заряженных частиц (ОПК-4)	Почему заряженные частицы с одной энергией, пройдя в веществе одинаковый путь, имеют разную энергию?
		Нарисовать спектр частиц, прошедших некоторый слой вещества, и показать на рисунке характеристики спектра, которые используются при анализе энергетического распределения частиц.
		Как меняется форма спектра частиц с увеличением пути, проходимого ими в веществе?
		При каких условиях спектр частиц, прошедших некоторый путь в веществе, можно описать нормальным распределением? Как эти условия выполняются для легких и тяжелых частиц?
		Когда можно использовать распределение Ландау?
		В чем проявляется различие между потерями на излучение и потерями на столкновения? Когда важен учет флуктуации потерь энергии на излучение?
		Написать формулу для расчета среднего пробега заряженных частиц. Что такое экстраполированный пробег и как его определяют? Что такое максимальный пробег заряженных частиц?
		Что такое коэффициенты пропускания частиц? Нарисовать коэффициенты пропускания по числу частиц для электронов и протонов. В чем физическая причина такого различия?
		Что понимают под альбедо и квазиальбедо ионизирующих излучений?
		Как отличаются альбедо тяжелых и легких заряженных частиц? В чем причина этого отличия?
		Как зависит величина альбедо электронов от их энергии, угла падения на отражающее вещество и от атомного номера вещества? Дать физическое объяснение этим закономерностям.
7.	Математическое моделирование взаимодействия электромагнитного излучения с веществом (ОПК-4)	Перечислить процессы, в которых образуется электромагнитное излучение.
		Записать силы, действующие на частицу в поле электромагнитной волны.
		Как в классической электродинамике описывается процесс рассеяния электромагнитного излучения? Записать общий вид дифференциального сечения рассеяния электромагнитного излучения.
		Показать на рисунке все углы, которые необходимо учитывать при вычислении дифференциального сечения рассеяния поляризованного электромагнитного излучения.
		Описать переход от поляризованного излучения к неполяризованному при вычислении дифференциального се-

		чения рассеяния.
		Записать дифференциальное и полное сечение томсоновского рассеяния.
		Перечислить силы, которые необходимо учитывать при вычислении сечения рассеяния электромагнитных волн связанными зарядами. Записать уравнение Ньютона для этого случая.
		Изобразить на графике полное сечение рассеяния в зависимости от частоты падающего излучения. Провести анализ.
		Дать определения когерентного и некогерентного излучения. Какова зависимость сечений этих процессов от Z.
		В чем состоит эффект Комптона? Показать, как меняется угловое распределение рассеянных фотонов с изменением энергии первичного излучения. Как и почему влияет учет связи атомных электронов на сечение комптоновского рассеяния?
		Перечислить основные особенности фотоэффекта. Записать выражения для энергии ХРИ и оже-электрона.
		Перечислить основные закономерности эффекта образования электронно-позитронных пар.
		Что такое фотоядерная реакция и в чем особенность сечений фотоядерных реакций? Как зависит выход фотонейтронов от Z вещества?
		Изобразить графически зависимость сечений основных процессов взаимодействия фотонов с веществом от их энергии.
		В чем заключается эффект Мессбауэра? В чем причина широкого использования этого эффекта в физике и химии?
		Опишите основные закономерности альбедо фотонов: энергетическое распределение, зависимость от угла падения, угла отражения, энергии источника, атомного номера отражателя и его толщины.
8.	Математическое моделирование взаимодействия нейтронов с веществом (ОПК-4)	Перечислить основные свойства нейтрона.
		Привести энергетические группы, на которые делят нейтроны по величине их кинетической энергии.
		Каким образом взаимодействуют нейтроны с атомами вещества? В чем особенность этих взаимодействий?
		Что такое упругое рассеяние? Какие типы упругого рассеяния испытывают нейтроны? В чем особенность упругого рассеяния нейтронов на ядрах водорода?
		Что такое летаргия нейтрона? Где ее используют?
		Перечислить основные характеристики упругого потенциального рассеяния нейтронов.
		В чем отличие упругого резонансного рассеяния от потенциального? Как ведет себя сечение упругого резонансного рассеяния?
		Неупругое рассеяние нейтронов: основные закономерности процесса и отклонения от них, спектр и угловое распределение рассеянных нейтронов, зависимость сечения от энергии нейтрона. Что такое спектр испарения?
		Радиационный захват нейтронов: как протекает реакция, соотношение с упругим рассеянием, вид сечения вблизи резонанса, зависимость сечения от энергии нейтронов и

		массового числа, свойства возникающего гамма-излучения. Где используется реакция радиационного захвата?
		Описать основные особенности реакций поглощения нейтронов с вылетом заряженных частиц и нейтронов.
		Деление ядер: причина и механизм деления, спонтанное и вынужденное деление, зависимость сечения от энергии нейтронов, характеристики вторичных продуктов, возникающих при делении. Что такое запаздывающие нейтроны?

Пример типового экзаменационного билета

БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. В.Г. ШУХОВА

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ ХИМИИ
Дисциплина "Математическое моделирование радиационных процессов",
направление 18.05.02

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №

1. Рассеяние электромагнитных волн связанными зарядами и системой зарядов.
2. Неупругие реакции поглощения нейтронов с вылетом заряженных частиц и нейтронов.
3. Изобразить графически зависимость сечений основных процессов взаимодействия фотонов с веществом от их энергии.

Одобрено на заседании кафедры "__" _____ 202__ г, протокол №

Зав. кафедрой _____ Павленко В.И.

5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

При промежуточной аттестации в форме зачета используется следующая шкала оценивания: зачет проходит в виде контрольной работы, 50% выполненных заданий – зачтено.

При промежуточной аттестации в форме экзамена используется следующая шкала оценивания: 2 – неудовлетворительно, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5 – отлично.

Критериями оценивания достижений показателей являются:

Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине	Критерий оценивания
Знания	Знание математических методов моделирования радиационных процессов в веществе.
	Знание радиационных процессов, возникающих в результате взаимодействия ионизирующего излучения с веществом.
Умения	Умение использовать методы математического моделирования для моделирования радиационных процессов в веществе.
	Умение применять программное обеспечение для выполнения численного моделирования и расчетов.
Навыки	Применение методов математического моделирования радиационных процессов
	Использование методов описания взаимодействия ионизирующего излучения с веществом

Оценка преподавателем выставляется интегрально с учётом всех показателей и критериев оценивания.

Оценка сформированности компетенций по показателю Знания.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Знание математических методов моделирования радиационных процессов в веществе.	Не знает математических методов моделирования радиационных процессов в веществе.	Частично знает математические методы моделирования радиационных процессов в веществе.	По существу, знает математические методы моделирования радиационных процессов в веществе.	Исчерпывающе, последовательно, четко и логически излагает математические методы моделирования радиационных процессов в веществе.
Знание радиационных процессов, возникающих в результате взаимодействия ионизирующего излучения с веществом.	Не знает процессы, возникающие в результате взаимодействия ионизирующего излучения с веществом.	Частично знает процессы, возникающие в результате взаимодействия ионизирующего излучения с веществом.	По существу знает процессы, возникающие в результате взаимодействия ионизирующего излучения с веществом, может их описывать.	Исчерпывающе, последовательно, знает процессы, возникающие в результате взаимодействия ионизирующего излучения с веществом, может их описывать.

Оценка сформированности компетенций по показателю Умения.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Умение использовать методы математического моделирования для моделирования радиационных процессов в веществе.	Не может использовать методы математического моделирования для моделирования радиационных процессов в веществе.	Допускает неточности и ошибки при математическом моделирование радиационных процессов в веществе.	Правильно, но с небольшими неточностями проводит математическое моделирование радиационных процессов в веществе.	Квалифицированно, грамотно и без ошибок проводит математическое моделирование радиационных процессов в веществе.
Умение применять программное обеспечение для выполнения численного моделирования и расчетов.	Не может применять программное обеспечение для выполнения численного моделирования и расчетов.	Допускает неточности и ошибки при проведении численного моделирования и расчетов.	Правильно, но с небольшими неточностями проводит численное моделирование и расчеты.	Квалифицированно, грамотно и без ошибок проводит численное моделирование и расчеты..

Оценка сформированности компетенций по показателю Навыки.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Работа с современными пакетами компьютерной математики для моделирования радиационных процессов возникающих при взаимодействии ионизирующего излучения с веществом.	Не владеет современными пакетами компьютерной математики для моделирования радиационных процессов возникающих при взаимодействии ионизирующего излучения с веществом.	С дополнительной помощью владеет современными пакетами компьютерной математики для моделирования радиационных процессов.	Владеет современными пакетами компьютерной математики для моделирования радиационных процессов, но допускает небольшие неточности.	Квалифицированно владеет современными пакетами компьютерной математики для моделирования радиационных процессов.
Описание взаимодействия ионизирующего излучения с веществом. Получение выражений описывающих данный про-	Не владеет навыками описания взаимодействия ионизирующего излучения с веществом и получение выражений описывающих данный процесс.	С дополнительной помощью владеет навыками описания взаимодействия ионизирующего излучения с веществом и получение выражений описывающих данный про-	Владеет необходимыми навыками описания взаимодействия ионизирующего излучения с веществом и получение выражений описывающих данный процесс, но до-	Квалифицированно владеет навыками описания взаимодействия ионизирующего излучения с веществом и получение выражений описывающих

цесс.		цесс.	пускает небольшие неточности.	данный процесс.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Материально-техническое обеспечение

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1.	Читальный зал библиотеки для самостоятельной работы	Специализированная мебель, компьютерная техника, подключенная к сети интернет и имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду
2.	Учебная аудитория для проведения лекционных, практических и лабораторных занятий, консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации, самостоятельной работы	Специализированная мебель, мультимедийный проектор, компьютер, экран с электроприводом, информационные стенды для проведения лекционных занятий.
3.	Методический кабинет	Специализированная мебель, мультимедийный проектор, переносной экран, компьютер
4.	Учебные химические лаборатории	Лабораторные столы, вытяжные шкафы, сушильный шкаф, термостат, аналитические весы, электролизер, электрические плитки, фотоколориметр, pH–метр

6.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

№	Перечень лицензионного программного обеспечения.	Реквизиты подтверждающего документа
1.	Microsoft Windows 10 Корпоративная	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023). Договор поставки ПО 0326100004117000038-0003147-01 от 06.10.2017
2.	Microsoft Office Professional Plus 2016	Соглашение Microsoft Open Value Subscription V6328633. Соглашение действительно с 02.10.2017 по 31.10.2023
3.	Kaspersky Endpoint Security «Стандартный Russian Edition»	Сублицензионный договор № 102 от 24.05.2018. Срок действия лицензии до 19.08.2020 Гражданско-правовой Договор (Контракт) № 27782 «Поставка продления права пользования (лицензии) Kaspersky Endpoint Security от 03.06.2020. Срок действия лицензии 19.08.2023г.
4.	Google Chrome	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения
5.	Mozilla Firefox	Свободно распространяемое ПО согласно условиям лицензионного соглашения

6.3. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

1. Беспалов, В. И. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб и доп. - Томск: Дельтаплан. 2006. - 368 с. ил.
2. Мухин КН. Экспериментальная ядерная физика Т. I. Физика атомного ядра. - М.: Атомиздат, 1974.
3. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. Т. 2. Физика элементарных частиц. М: Атомиздат, 1974
4. Ахиезер А.И., Шульга Н.Ф. Электродинамика высоких энергий в веществе. - М.: Наука, 1993.
5. Гарибян Г.М., Ян Ши Рентгеновское переходное излучение. - Ереван: Изд. АНАрмССР, 1983.
6. Гинзбург В.Л., Цытович В.Н. Переходное излучение и переходное рассеяние (некоторые вопросы теории). - М.: Наука, 1984.
7. Калашников Н.П., Ремизович В.С., Рязанов М.И. Столкновения быстрых частиц в твердых телах. - М.: Атомиздат, 1980.
8. Медведев Б.В. Начала теоретической физики. - М: Наука, 1977.
9. Сборник задач по физике элементарных частиц: Учеб. пособие для вузов /Ю.П. Никитин, В.П. Протасов, Э.П. Топоркова и др. - М: Энергоатомиздат, 1992
10. Квливидзе В.А., Красильников С.С. Введение в физику атомных столкновений. - М.: Изд. МГУ, 1985

6.4. Перечень интернет ресурсов, профессиональных баз данных, информационно-справочных систем

1. Министерство науки и высшего образования РФ: http://minobrnauki.gov.ru
2. Российское образование ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ПОРТАЛ: http://www.edu.ru
3. Сайт НТБ БГТУ им. В.Г. Шухова: http://ntb.bstu.ru
4. Электронно-библиотечная система «IPRBooks»: http://www.iprbookshop.ru
5. Электронная библиотечная система издательства «Лань»: http://e.lanbook.com
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: http://elibrary.ru/
7. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» (Библиоклуб.ру): http://biblioclub.ru/
8. Концерн Росэнергоатом: https://www.rosenergoatom.ru
10. НПП ДОЗА: https://www.doza.ru