

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Саровский физико-технический институт -
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)

УТВЕРЖДАЮ

Декан физико-технического
факультета СарФТИ НИЯУ
МИФИ

_____ А.К.Чернышев

«...» _____ 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Генераторы рентгеновского излучения

(наименование дисциплины)

Направление подготовки (специальность) 03.03.01 Прикладные математика и физика

Профиль подготовки Фундаментальная и прикладная физика

Квалификация (степень) выпускника _____ бакалавр _____

Форма обучения _____ очная _____

Автор _____ к.т.н. С.Л. Эльяш

Рецензент _____ к.ф.-м.н. А.В. Тельнов

Зав. кафедрой ЯРФ _____ д.ф.-м.н. Н.В. Завьялов

Руководитель ОПП _____ д.ф.-м.н. Н.В. Завьялов

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и ОС НИЯУ МИФИ
(актуализирован Ученым советом университета, Протокол №21/11 от 28.07.2023 г)

Программа актуализирована на заседании кафедры
Ядерной и радиационной физики
от 30.08.23 протокол №1

г. Саров, 2023г.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цель изучения дисциплины:

- в области обучения – формирование у студентов специальных знаний, умений, навыков расчета и проектирования, а также компетенций в области разработки и эксплуатации современных генераторов рентгеновского излучения, в частности, формирование современных знаний в области физики импульсных ускорителей электронов;
- в области воспитания – научить эффективно работать индивидуально и в команде, проявлять умения и навыки, необходимые для профессионального, личностного развития;
- в области развития – подготовка студентов к дальнейшему освоению новых профессиональных знаний и умений, самообучению, непрерывному профессиональному самосовершенствованию.

1.2. Задачи дисциплины:

- представление общей информации по физике генераторов рентгеновского излучения (РИ), в частности современным и проектируемым импульсным ускорителям электронов.
- описание физических основ работы импульсных ускорителей, методов измерения их характеристик, оригинальных физических исследований, проводимых с их использованием;
- освещение вопросов обеспечения радиационной безопасности при работах на ускорителях.
- демонстрация импульсных ускорителей РФЯЦ-ВНИИЭФ.

2 МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Курс «Генераторы рентгеновского излучения» изучается студентами на 3 курсе (6 семестр обучения) и дает представление об основных понятиях физики генерации и взаимодействия рентгеновского излучения (РИ) с веществом, об общих принципах работы и специфических особенностях импульсных генераторов РИ, об измерении параметров высоковольтных импульсов РИ и электронных пучков, о мерах по обеспечению безопасной эксплуатации генераторов РИ, а также знакомит студентов с импульсными ускорителями электронов, работающими в РФЯЦ-ВНИИЭФ. Изучение курса основано на базе курса общей физики.

3 КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ. ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИЮ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

В совокупности с другими дисциплинами курс «Генераторы рентгеновского излучения» направлен на формирование следующих профессиональных компетенций (ПК) и профильных профессиональных компетенций (ППК) бакалавра:

ПК-2 – Способен выбирать и применять необходимое оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области;

ПК-4 - Способен критически оценивать применяемые методики и методы исследования.

ПК-8.1 - способен самостоятельно и в составе группы проводить научные исследования в области ядерной и радиационной физики с применением экспериментальных методов, методов имитационного моделирования, статистических методов обработки экспериментальных данных, методов компьютерного моделирования процессов и объектов

ПК-8.2 - способен к участию в проведении измерений, выполнении экспериментов на ядерно- и электрофизических установках – источниках излучения, высоковольтном и измерительном оборудовании

Студент должен:

Знать:

З-ПК-2 Знать современное оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области.

З-ПК-4 Знать основные методики и методы исследования в сфере своей профессиональной деятельности

З-ПК-8.1 знать нормы и правила ядерной и радиационной безопасности

З-ПК-8.2 знать порядок проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

В том числе:

3.1 - основные термины, определения и единицы системы измерений в области ионизирующих излучений;

3.2 - основные явления и процессы, протекающие при взаимодействии ионизирующих излучений с веществом;

3.3 - источники ионизирующего излучения их основные характеристики и параметры;

3.4 - нормы радиационной безопасности и способы и средства радиационной защиты;

3.5 - основные принципы и методы использования ионизирующих излучений;

3.6 - методы и средства регистрации рентгеновского излучения (РИ);

3.7 - принцип действия, особенности конструкции, характеристики и параметры современных генераторов РИ.

Уметь:

У-ПК-2 Уметь критически оценивать, выбирать оборудования, инструментов и методов исследований в избранной предметной области

У-ПК-4 Уметь анализировать и критически оценивать применяемые методики и методы исследования.

У-ПК-8.1 уметь проводить расчетные исследования на сертифицированных кодах в рамках поставленной задачи, оценивать погрешность результатов измерений

У-ПК-8.2 уметь создавать математические модели процессов, протекающих в экспериментальных стендах и установках

В том числе:

У.1 - обоснованно выбирать элементы схем электронных функциональных устройств на этапе проектирования генераторов РИ;

У.2 - регистрировать основные параметры РИ;

У.3 - пользоваться справочной и технической документацией;

Владеть:

В-ПК-2 Владеть навыками выбора и применения оборудования, инструменты и методы исследований для решения в задач избранной предметной области

В-ПК-4 Владеть навыками выбора и критической оценки применяемых методик и методов исследования в сфере своей профессиональной деятельности

В-ПК-8.1 владеть навыками проведения экспериментов на установках и стендах, сопоставления расчетных и экспериментальных данных

В-ПК-8.2 владеть навыками обработки результатов исследований

В том числе:

В.1 – практическими навыками решения задач по физике взаимодействия РИ с веществом;

В.2 - приемами расчёта и измерения дозовых и спектральных характеристик электронного и рентгеновского излучения;

В.3 - навыками ведения научной дискуссий.

В результате изучения дисциплины студент должен получить комплексную систему знаний о физике генераторов РИ:

- **Знание и понимание физики генерации и взаимодействия РИ с веществом** (теория возбуждения, понятия и определения, тормозное излучение (ТИ) и характеристическое излучение, распределение энергии в спектре ТИ, граница непрерывного спектра, зависимость интенсивности ТИ от напряжения, общие законы ослабления узкого пучка, фотоэлектрическое поглощение, эффект Комптона, когерентное и некогерентное

рассеяние, спектральные характеристики РИ, ослабление РИ при прохождении через вещество, полный коэффициент ослабления, экспериментальное определение коэффициента ослабления)

- **Основные представления о генераторах РИ** (классификация источников рентгеновского излучения, принцип действия, физические основы и методы получения импульсов РИ, схемы построения и конструктивные особенности импульсных генераторов РИ, приборы для генерирования рентгеновского излучения, узлы, элементы)
- **Практические навыки измерения параметров высоковольтных импульсов РИ и электронных пучков** (методы измерения параметров высоковольтных импульсов РИ, диагностика электронных пучков, практическое применение генераторов РИ в науке и технике).
- **Радиационная безопасность** (биологическое действие ионизирующего излучения, основные определения радиационной техники безопасности, физические основы безопасности РИ, защитные устройства).

4 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 семестр, 4 ЗЕ: 144 часа, из них лекции – 32 часа, практика – 32 часа, включая 16 часов обучения в интерактивной форме, СРС – 44 часов

4.1 СТРУКТУРА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость			Текущий контроль успеваемости (неделя, форма)	Аттестация раздела (неделя, форма)	Максимальный балл за раздел
		Лекции (час.)	Практ. занятия/ семинары, в т.ч. в интерактивной форме (ИАФ) (час.)	Самост. работа (час.)			
1. Генерация и взаимодействие рентгеновского излучения с веществом	1-4	8	8 (ИАФ – 2)	12	УО, СРС, Д (1 – 4)	КР (4),	
2 Генераторы РИ	5-10	10	10 (ИАФ – 8)	11	УО, СРС, Д (5 – 10)	КР (10)	
3.Измерение параметров высоковольтных импульсов РИ и электронных пучков	11-15	12	12 (ИАФ – 4)	12	УО, СРС, Д (11 – 16)	КР (16)	
4. Радиационная безопасность	16	2	2 (ИАФ – 2)		УО, СРС, Д (17)	Т (17)	

Работа в семестре:							
контрольные работы	4, 10, 16						30
Тестирование	16						10
СРС	1-16						10
Экзамен				9			50
Итоги за семестр		32	32	44			100

Т – тест, КР – контрольная работа, УО – устный опрос, СРС – рефераты, задачи, Д- дискуссия

4.2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Раздел 1. Генерация и взаимодействие рентгеновского излучения с веществом

Тема 1.1 Теория возбуждения рентгеновского излучения.

Природа РИ. Понятия и определения. Строение атома. Электронные оболочки. Характеристическое излучение. Тормозное излучение.

Тема 1.2 Спектральные характеристики РИ

Зависимость интенсивности ТИ от напряжения. Распределение энергии в спектре тормозного излучения. Граница непрерывного спектра.

Тема 1.3 Фотоэффект, эффект Комптона

Поглощение рентгеновских лучей (фотоэффект). Классическая теория рассеяния (когерентное рассеяние). Квантовая теория рассеяния (эффект Комптона). Образование пар.

Тема 1.4 Ослабление РИ при прохождении через вещество.

Общие законы ослабления узкого пучка. Полный коэффициент ослабления. Экспериментальное определение коэффициента ослабления. Законы ослабления широкого пучка.

Раздел 2. Генераторы РИ

Тема 2.1 Классификация источников рентгеновского излучения

Классификация источников рентгеновского излучения по принципу ускорения и по форме траектории частиц. Высоковольтные ускорители: рентгеновские аппараты, импульсные ускорители.

Тема 2.2 Физические основы генерации импульсов РИ

Физические основы работы импульсных ускорительных трубок. Термоэмиссионная эмиссия – процесс испускания электронов термокатодом. Автоэлектронная эмиссия – процесс испускания электронов катодом при наличии у его поверхности внешнего электрического поля. Взрывная эмиссия – процесс испускания электронов за счёт взрыва микроострий катода и образования прикатодной плазмы при наличии у поверхности катода внешнего электрического поля.

Высоковольтный разряд в вакууме. Зависимость напряжения пробоя от межэлектродного расстояния и длительности импульса напряжения.

Тема 2.3 Схемы построения и конструктивные особенности импульсных генераторов РИ

Импульсные источники напряжения.

Импульсный трансформатор. Принцип действия. Схема построения. Конструктивные особенности. Расчёт напряжения на нагрузке и длительности импульса. Получение импульсов высокого напряжения при использовании импульсного трансформатора (коэффициент связи контуров ~ 1 , напряжение на нагрузке после включения коммутатора $U_R \approx nU_0$, где U_0 – зарядное напряжение первичного емкостного накопителя, а длительность импульса на нагрузке $\tau_R \approx RC/n^2$).

Генератор Маркса. Принцип действия. Схема построения. Конструктивные особенности. Расчёт выходного напряжения. Зарядка от внешнего источника емкостного накопителя энергии, состоящего из набора параллельно включенных конденсаторов, до напряжения U_0 .

Последовательное подключение к нагрузке посредством коммутаторов (выходное напряжение генератора $U_R = nU_0$ где n – количество последовательно соединенных ступеней генератора).

Тема 2.4 Узлы и элементы генераторов рентгеновского излучения.

Высоковольтный блок. Зарядное устройство. Пульт управления. Ускорительная трубка. Высоковольтные коммутаторы. Газовые разрядники. Технология изготовления.

Раздел 3. Измерение и расчёт параметров высоковольтных импульсов РИ и электронных пучков

Тема 3.1 Методы измерения параметров импульсов РИ. Измерение энергии и интенсивности РИ. Основные понятия. Единицы измерения величин, характеристики излучения. Основные параметры, характеризующие работу генераторов РИ: граничная энергия, мощность, энерговыделение, длительность и форма импульса. Полупроводниковые детекторы. Методы измерений. Метод фильтров. Термолюминесцентный метод. Физические основы дозиметрии РИ. Электронное равновесие.

Тема 3.2 Диагностика электронных пучков,

Контроль и измерение параметров электронного излучения. Калориметрия, цилиндр Фарадея. Плёночная дозиметрия. Сцинтилляторы. Полуциркулярный магнитный спектрометр.

Тема 3.3 Расчёт и измерение спектров электронного и рентгеновского излучения.

Расчёт спектров электронного и рентгеновского излучения по осциллограммам тока и напряжения. Расчёт спектров электронного и рентгеновского излучения методом Монте-Карло. Измерение спектров электронного излучения с помощью полуциркулярного магнитного спектрометра. Измерение граничной энергии электронов с помощью клина. Измерение структуры пучка электронов.

Тема 3.4 Практическое применение генераторов РИ в науке и технике

Промышленная дефектоскопия. Исследование быстропротекающих процессов. Стерилизация. Медицинская диагностика. Радиобиологические исследования. Исследование радиационной стойкости РЭА.

Раздел 4. Радиационная безопасность.

Тема 4.1. Биологическое действие ионизирующих излучений. Основные определения радиационной техники безопасности.

Основные понятия и термины радиационной техники безопасности (РТБ). Источники ионизирующего излучения. Дозы: экспозиционная, поглощенная, эквивалентная. Единицы измерения доз. Электронное равновесие при измерении доз. Категории облучаемых лиц. Группы критических органов. Основные дозовые пределы облучения и допустимые уровни.

Организация работ с применением источников ионизирующего излучения. Средства защиты. Биологическое действие ионизирующего излучения. Радиационные эффекты облучения людей. Соматические стохастические и нестохастические эффекты. Генетические эффекты.

Тема 4.2. Физические основы безопасности РИ.

Принципы расчета защиты. Защитные устройства и мероприятия. Защита временем, расстоянием, количеством. Предельно допустимые дозы.

4.3 ПЛАНЫ СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ

№	Раздел темы	План занятия	Кол-во часов
1	1.1	Тормозное (ТИ) и характеристическое излучение.	2
2	1.2	Зависимость интенсивности ТИ от напряжения. Распределение энергии в спектре тормозного излучения. Граница непрерывного спектра.	2
3	1.3	Поглощение рентгеновских лучей (фотоэффект). Классическая теория рассеяния. Квантовая теория рассеяния (эффект Комптона).	2
4	1.4	Ослабление РИ при прохождении через вещество, Законы ослабления узкого и широкого пучка. Экспериментальное определение коэффициента ослабления.	2
5	2.1	Высоковольтные ускорители: рентгеновские аппараты, импульсные ускорители.	2
6	2.2	Эмиссионные процессы на катоде ускорительной трубки.	1
7	2.3	Импульсный трансформатор и генератор Маркса. Принцип действия. Схемы построения.	2
8	2.3	Отличительные особенности импульсных ускорителей, действующих во ВНИИЭФ.	2
9	2.4	Ускорительная трубка Газовые разрядники. Технология изготовления.	1
10	3.1	Физические основы дозиметрии РИ Термолюминесцентный метод.	2
11	3.1	Регистрация импульсов электронного и рентгеновского излучения.	2
12	3.2	Измерение параметров электронного излучения. Калориметрия, цилиндр Фарадея. Плёночная дозиметрия.	1
13	3.2	Измерение спектров электронов с помощью полукругового магнитного спектрометра	2
14	3.3	Измерение граничной энергии спектра электронов с помощью клина.	2
15	3.3	Расчёт спектров электронного и рентгеновского излучения по осциллограммам тока и напряжения	2
16	3.4	Практическое применение генераторов РИ в науке и технике	1
17	4.1	Дозы: экспозиционная, поглощенная, эквивалентная. Единицы измерения доз.	2
18	4.2	Принципы расчета защиты. Защитные устройства. Предельно допустимые дозы.	2

4.4 ИНТЕРАКТИВНЫЕ ФОРМЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Задачами интерактивных форм обучения являются:

- пробуждение у обучающихся интереса;
- эффективное усвоение учебного материала;
- самостоятельный поиск учащимися путей и вариантов решения поставленной учебной задачи (выбор одного из предложенных вариантов или нахождение собственного варианта и обоснование решения);
- установление взаимодействия между студентами, обучение работать в команде, проявлять терпимость к любой точке зрения, уважать право каждого на свободу слова, уважать его достоинства;
- формирование жизненных и профессиональных навыков;
- выход на уровень осознанной компетентности студента.

Раздел дисциплины (тема)	Интерактивная форма	Кол-во часов	Методы и средства контроля
Тема 1.3 Фотоэффект, эффект Комптона	дискуссия	2	Оценка активности участия студента . Презентация результатов деятельности студентов
Тема 2.2 Физические основы генерации импульсов РИ (термоэмиссионная, автоэлектронная, взрывная эмиссия)	групповое обсуждение	2	Оценка активности участия студента. Презентация результатов деятельности студентов
Тема 2.3 Схемы построения и конструктивные особенности импульсных генераторов РИ	работа в команде	4	Оценка активности участия студента. Презентация результатов деятельности студентов
Тема 2.4 Узлы и элементы генераторов рентгеновского излучения	интерактивная экскурсия	2	Оценка активности и уровня осознанной компетентности студента
Тема 3.3 Расчёт и измерение спектров электронного и рентгеновского излучения	тренинг	4	Оценка активности участия студента
Тема 4.2. Физические основы безопасности РИ	анализ конкретных ситуаций	2	Оценка активности участия студента

5. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

5.1. ВИДЫ И ФОРМЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. самостоятельный поиск литературы по разделам и темам курса;
2. изучение литературы и подготовка к семинарскому занятию;
3. самостоятельное изучение тем, предложенных преподавателем;
4. написание рефератов по разделам курса;
5. устная презентация материала по разделам курса;
6. ответы на вопросы для обсуждения;
7. подготовка к тестированию, решению задач и упражнений;
8. подготовка к экзамену.

Формы контроля: проверка работ, сданных преподавателю в письменной и электронной формах.

5.2 ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задания №№ 1 – 16 (индивидуальные презентации и рефераты)

ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ ПО РАЗДЕЛАМ КУРСА

1. Природа РИ. Понятия и определения Характеристическое и тормозное излучение.
2. Спектральные характеристики РИ.
3. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом (фотоэффект, эффект Комптона).
4. Принцип действия импульсного трансформатора. Конструктивные особенности. Расчёт длительности импульса и напряжения на нагрузке.
5. Основы работы каскадного генератора Маркса.
6. Физические основы работы импульсных ускорительных трубок
7. Применение термомлюминесцентной дозиметрии для измерения полей РИ.
8. Измерение характеристик электронного излучения с помощью дозиметрических плёнок.
9. Метод фильтров. Восстановление спектров РИ по кривой ослабления.
10. Измерение спектра электронов с помощью полукругового магнитного спектрометра.
11. Методы измерения длительности импульсов электронного и рентгеновского излучения.
12. Расчет распределения напряженности электрических полей для элементов высоковольтного блока ускорителей.
13. Измерение импульсных токов и напряжений (шунты, делители).
14. Практическое применение РИ в науке и технике. Ускорители РФЯЦ-ВНИИЭФ.
15. Высоковольтные коммутаторы. Принцип работы газовых разрядников.
16. Основные понятия и термины РТБ. Принципы расчета защиты. Предельно допустимые дозы.

Задание 17. (Расчет трансформатора Тесла)

1. Расчет энергетика трансформатора Тесла.
 - Расчет энергии, запасаемой в первичной и вторичной емкостях. $C_2 = 67$ пФ, $U_2 = 500$ кВ, КПД = 25%.
 - Выбор марки высоковольтных конденсаторов первичного контура, которые обладают следующими свойствами:
 - ток в разряде до 5 – 10 кА;
 - высокий ресурс в частотном режиме работы;
 - напряжение зарядки, $U_1 = 25$ кВ;

2. Расчет количества витков обмоток трансформатора Тесла
 $n_1 = 3$, и $K = 0.6$
3. Расчет периода собственных колебаний вторичного контура и времени нарастания напряжения зарядки емкостного накопителя энергии.
 $L_2 = 480$ мкН.

6 КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Текущий и итоговый контроль знаний студентов:

- - посещаемость лекций и семинарских занятий
- - активность на всех видах занятий
- - написание рефератов
- решение контрольных работ
- написание итогового теста
- сдача экзамена по предложенным вопросам.

6.1 Примерные задачи по разделам курса

- Задача 1. Найти длину волны рентгеновского излучения, у которого энергия фотона равна собственной энергии электрона.
- Задача 2. Под каким напряжением работает рентгеновская трубка, если самые «жесткие» лучи в рентгеновском спектре этой трубки имеют частоту 10^{19} Гц?
- Задача 3. С какой скоростью достигают электроны анода рентгеновской трубки, работающей при напряжении 50 кВ?
- Задача 4. Электроны достигают анод рентгеновской трубки, имея скорость $1,2 \cdot 10^5$ км/с. Каково анодное напряжение?
- Задача 5. Электрон влетает в однородное магнитное поле со скоростью $2 \cdot 10^5$ м/с, которая составляет с направлением вектора магнитной индукции угол 45° . При каком наименьшем значении индукции магнитного поля электрон сможет оказаться в точке, находящейся на расстоянии 2 см от начальной точки?
- Задача 6. Частица массой 10^{-8} г висит между пластинами плоского воздушного конденсатора, к которому приложено напряжение 5 кВ. Расстояние между пластинами 5 см. Определить заряд частицы.
- Задача 7. Циклотрон предназначен для ускорения протонов до энергии 5 МэВ. Определить наибольший радиус орбиты, по которой движется протон, если индукция магнитного поля 1 Тл.
- Задача 8. Электрон движется в магнитном поле, индукция которого 2 мТл, по винтовой линии радиусом 2 см и шагом винта 5 см. Определить скорость электрона.

Задача 9. Пучок электронов влетает в пространство, где возбуждены однородное электрическое поле, напряженность которого 1 мТл, и перпендикулярное ему магнитное поле, индукция которого 1 мТл. Скорость электронов постоянна и направлена перпендикулярно векторам E и B . Найти скорость движения электронов. Как будут двигаться электроны, если выключить электрическое поле? Каков радиус кривизны траектории электронов в этом случае?

Задача 10. Каков импульс фотона, энергия которого равна $6 \cdot 10^{-19}$ Дж?

Задача 11. Колебательный контур состоит из двух конденсаторов ($C_1 = 2$ мкФ и $C_2 = 3$ мкФ), включенных параллельно и катушки индуктивности ($L = 2.5$ мГн). Амплитуда колебаний напряжения 180 В. Найти период колебаний и амплитуду силы тока.

Задача 12. Колебательный контур состоит из конденсатора $C = 400$ пФ и катушки индуктивности $L = 10$ мГн. Найти амплитуду колебаний силы тока, если амплитуда колебаний напряжения 500 В.

6.2 ТЕСТОВЫЕ ВОПРОСЫ ПО РАЗДЕЛАМ КУРСА

Выбрать верные ответы из всех, предлагаемых к каждому вопросу

1. Рентгеновское излучение образуется:
 - В ядре атома при взаимодействии ядра с электронными оболочками
 - При переходе электрона на внешние оболочки
 - При торможении электрона в веществе
 - При переходе электрона на внутренние оболочки
2. Эффекты взаимодействия рентгеновского излучения с атомами веществ:
 - Комптоновский эффект
 - Ядерные реакции
 - Классическое рассеяние
 - Образование электронно-позитронных пар
3. Единицы измерения энергии ионизирующего излучения:
 - Эрг
 - Джоуль
 - Кулон/кг
 - Грей
 - Беккерель
4. Что такое "поглощенная доза"?
 - Мера степени ионизации, создаваемой ионизирующим излучением в веществе (отношение суммарного заряда всех ионов одного знака к массе или объему облученного вещества).
 - Мера энергии, переданной ионизирующим излучением веществу (отношение переданной энергии к массе облученного вещества).
 - Мера тяжести биологических последствий облучения органа или ткани (пропорциональная взвешивающему коэффициенту качества данного излучения).
 - Мера полного воздействия ионизирующего излучения на группу людей.
5. Укажите принятые в настоящее время единицы измерения поглощенной дозы (в связи с введением НРБ-99).
 - Грей, 1 Гр = 1 Дж/кг
 - Зиверт, 1 Зв = 1 Дж/кг
 - Рад, 1 рад = 0,01 Дж/кг
 - Бэр, 1 бэр = 0,01 Дж/кг

- Рентген (1Р)
 - Кулон на килограмм (Кл/кг)
6. Какие из перечисленных ниже объектов следует называть источниками ионизирующего излучения (ИИ)?
- Устройство (прибор, аппарат, установка), испускающее ионизирующее излучение.
 - Устройство, нормально не испускающее, но способное в определенных условиях испускать ИИ (например, после включения или разгерметизации).
 - Сконцентрированное радиоактивное вещество.
 - Рассеянное радиоактивное вещество (по поверхности, в воздухе, в окружающей среде)
7. Диапазон длин волн электромагнитного излучения, характеризующий рентгеновское излучение.
- 1 эВ – 10 эВ
 - 10^2 эВ – 10^6 эВ
 - 10^6 эВ – 10^8 эВ
8. Граница непрерывного спектра тормозного излучения зависит от:
- Тока электронного пучка
 - Напряжения на трубке
 - Формы кривой напряжения
 - Материала анода
9. Что такое фотоэффект:
- Рассеяние кванта с изменением длины волны
 - Вырывание электронов из атомов
 - Образование пар элементарных зарядов
10. Чем определяется автоэлектронная эмиссия:
- Действием сил электрического поля на свободные электроны в металле
 - Температурой нагрева катода
 - Взрывом микроострий на катоде.
11. Принцип работы генератора Маркса
- Трансформирование напряжения в системе из двух колебательных контуров L_1C_1 и L_2C_2 с индуктивной связью
 - Зарядка электрическим током конденсаторов, соединённых параллельно через резисторы
 - Разрядка конденсаторов, соединённых последовательно при помощи коммутирующих устройств
12. Основные узлы и элементы импульсных генераторов рентгеновского излучения:
- Импульсный трансформатор
 - Генератор Маркса
 - Резонатор
 - Ускорительная трубка
 - Индуктор

6.4 ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Диапазон длин волн электромагнитного излучения, характеризующий рентгеновское излучение. Соотношение между энергией и длиной волны рентгеновского излучения.
2. Автоэлектронная и взрывная эмиссия электронов.
3. Основные параметры, характеризующие работу генераторов РИ.

4. Теория возбуждения рентгеновского излучения.
5. Классификация источников рентгеновского излучения.
6. Измерение формы импульса РИ с помощью полупроводниковых детекторов
7. Характеристический и тормозной спектры излучения.
8. Импульсный трансформатор. Принцип действия.
9. Дозы: экспозиционная, поглощенная, эквивалентная. Единицы измерения доз РИ
10. Характеристический и тормозной спектры излучения. Распределение энергии в спектре тормозного излучения. Граница непрерывного спектра.
11. Генератор Маркса. Принцип действия.
12. Измерение граничной энергии электронов с помощью клина.
13. Влияние материала анода, амплитуды напряжения и тока на интенсивность тормозного излучения.
14. Термоэмиссионная и автоэлектронная эмиссия электронов.
15. Измерение доз РИ термолюминесцентным методом.
16. Поглощение рентгеновского излучения (фотоэффект).
17. Высоковольтные коммутаторы. Газовые разрядники.
18. Расчёт спектров электронного и рентгеновского излучения по осциллограммам тока и напряжения.
19. Рассеяние рентгеновского излучения (эффект Комптона).
20. Импульсные ускорительные трубки.
21. Практическое применение генераторов РИ в науке и технике.
22. Интенсивность излучения точечного источника. Общие законы ослабления узкого пучка.
23. Узлы и элементы генераторов рентгеновского излучения.
24. Методы измерения параметров электронного излучения: калориметрия, цилиндр Фарадея, плёночная дозиметрия.
25. Общие законы ослабления узкого пучка. Слой половинного ослабления.
26. Импульсный трансформатор. Принцип действия.
27. Измерение спектров электронов с помощью полукругового магнитного спектрометра.
28. Слой половинного ослабления.
29. Измерение граничной энергии электронов с помощью клина.
30. Организация работ с применением источников ионизирующего излучения. Средства защиты.

6.5. УРОВЕНЬ ТРЕБОВАНИЙ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

Формой промежуточной аттестации является экзамен, который проводится в устной форме в виде ответов на вопросы билетов и решения задачи.

Максимальная сумма баллов за экзамен – 50. За ответы на каждый вопрос – максимум 15 баллов, за правильное решение задачи – 20 баллов.

Оценка знаний студентов осуществляется в баллах в комплексной форме с учетом:

- работы в семестре:

- оценки за контрольные работы;
- оценки за тестирование;
- оценки за СРС (рефераты, презентации, задачи);

и

- оценки знаний в ходе экзамена

Ориентировочное распределение баллов по видам работы

№ п/п	Вид отчетности	Баллы
1	контрольные работы	30
2	Тестирование	10
4	СРС (2 реферата, задачи)	10
5	Экзамен	50
	Итого	100

Оценка знаний по 100-бальной шкале в соответствии с критериями СаpФТИ НИЯУ МИФИ реализуется следующим образом

- 90 – 100 баллов – отлично
- 75 – 89 баллов – хорошо
- 60 – 74 баллов – удовлетворительно
- 0– 59 баллов – неудовлетворительно

7 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по подготовке студентов для направления (специальности) 03.03.01 «Прикладные математика и физика» реализация компетентностного подхода к обучению предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов. В рамках учебного курса студенты работают с лекциями, рекомендованной литературой, готовят семинары, выполняют домашние задания. В процессе подготовки студенты используют информационные источники, размещенные в сети Интернет (официальные сайты, веб-порталы и веб-представительства организаций, предприятий и учреждений, тематические форумы и телекоммуникации), электронные учебники и учебно-методические пособия.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Тарасенко Ю. Ионизационные методы дозиметрии высокоинтенсивного ионизирующего излучения. – М. Техносфера. 2013, - 264 с.
2. Болоздыня А.И., Ободовский И.М. Детекторы ионизирующих частиц и излучений. Принципы и применения. - Долгопрудный. Издательский дом «Интеллект», 2012.– 208 с.
3. Месяц Г.А. Взрывная электронная эмиссия. – М. Физматмет, 2011 – 280 с.
4. Соковнин С.Ю. Мощная импульсная техника. Екатеринбург ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2008, 65с.
5. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника. – М.:Наука, 2006. – 704с.
6. Пичугина М.Т. Физика и техника генерирования и измерения высоковольтных и сильнооточных сигналов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007 – 209с.
7. H.Bluhm. Pulsed Power System. Principles and Applications. Springer –Verlag Berlon Heidelberg, 2006, 328p.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Хараджа Ф.Н. Общий курс рентгенотехники.- М.:Энергия,1966
2. Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений. - М.: Энергоатомиздат,1995
3. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. - М.: Энергоатомиздат, 1999.
4. Иванов В.И. Курс дозиметрии. - М., Атомиздат, 2004.
5. Аглинцев К.К. Дозиметрия ионизирующих излучений. – М., ГИТТЛ, 1957, - 503 с.
6. Месяц Г.А. Генерирование мощных наносекундных импульсов. – М., Сов.радио, 1974, - 256 с.
7. Средства диагностики однократного импульсного излучения./под ред. Веретенникова А.И., М., ИздАТ, 1999 – 252с.
8. Вавилов С. П. Импульсная рентгеновская техника.- М.: Энергия, 1981.- 120с.
9. Немиро Е.А., Губатова Д.Я., Балодэ Г.Ю. Региональная система индивидуального дозиметрического контроля на основе ТЛД. – М., Энергоатомиздат,1987 – 126 с.
10. Месяц Г.А., Насибов А.С. Кремнев В.В. Формирование наносекундных импульсов высокого напряжения. – М., Энергия, 1970 – 152 с.
11. Рентгенотехника: Справочник, /под ред. В.В. Клюева, кн. 1. М.: Машиностроение, 1992. -480с.
12. Рентгенотехника: Справочник, /под ред. В.В. Клюева, кн.2. М.: Машиностроение, 1992. -368с.
13. Бочвар и др. Метод дозиметрии ИКС. – М., Атомиздат, 1977. – 221 с.
14. Месяц Г.А., Проскуровский Д.И. Импульсный электрический разряд в вакууме. – Новосибирск, Наука, 1984. – 256 с.
15. Шмелев В. К. Рентгеновские аппараты. - М.: Энергия, 1973. -472 с,
16. Быстров Ю.А., Иванов С.А. Ускорительная техника и рентгеновские приборы. - М.; Высшая школа, 1983.- 288 с.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Приборы и техника эксперимента
2. Вопросы атомной науки и техники (ВАНТ). Серия:
3. Успехи физических наук
4. Известия вузов: Физика.
5. Приборы для научных исследований (Review Scientific Instruments)
6. Physical Review

РЕСУРСЫ ИНТЕРНЕТ

1. официальные сайты, веб-порталы и веб-представительства организаций, предприятий и учреждений,
2. тематические форумы и телекоммуникации,
3. электронные учебники и учебно-методические пособия.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Материально-техническое обеспечение включает в себя аудитории, оборудование мультимедийными средствами обучения (ноутбук, проектор). В качестве лучшего восприятия предмета используются экскурсии на действующие импульсные ускорители ИЯРФ РФЯЦ-ВНИИЭФ: АРСА, АРСА-М, АРГУМЕНТ-1000 и др.

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ И СТУДЕНТОВ)

Изучение дисциплины «Генераторы рентгеновского излучения» предполагает освоение материалов лекций, систематическую работу студентов в ходе проведения семинарских занятий, тестовых заданий, выполнение заданий для самостоятельной работы. При прослушивании курса должен быть усвоен необходимый объём знаний о процессах взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Должны быть получены представления о физических основах работы генераторов рентгеновского излучения и методах регистрации импульсов рентгеновского излучения.

На лекциях раскрываются основные вопросы в рамках рассматриваемой темы, ставятся акценты на наиболее сложных положениях изучаемого материала. Материалы лекции используются студентами для подготовки к семинарским занятиям.

Целью семинарского занятия является рассмотрение основных и наиболее проблемных вопросов в рамках темы занятия, контроль за степенью усвоения студентами пройденного материала и ходом выполнения ими заданий самостоятельной работы. В ходе семинарских занятий закрепляются умения и навыки использования прослушанного в ходе лекций и самостоятельных работ материала, его дальнейшее осмысление с целью более глубокой увязки с общефизической картиной мира.

Задания для самостоятельной работы предусмотрены для закрепления и расширения знаний, умений и навыков, приобретенных в результате изучения дисциплины. Задания выполняются студентами в письменном виде во внеаудиторное время.

Работа должна носить творческий характер. При ее оценке учитывается обоснованность и оригинальность выводов. В письменной работе студент должен полно и всесторонне рассмотреть все аспекты задания, четко сформулировать и аргументировать свою позицию по исследуемым вопросам.

Преподавание дисциплины требует в каждой теме выделить наиболее важные, базовые моменты и сделать акцент на них. Предлагается:

в теме 1.1 обратить внимание на отличие природы генерации тормозного и характеристического излучений,

в теме 1.2 обратить внимание на ограничение спектра тормозного излучения со стороны коротких длин волн, на зависимость возникновения характеристического излучения от материала мишени,

в теме 1.3 обратить внимание на различный характер поглощения рентгеновских квантов при фотоэффекте (полное поглощение) и эффекте Комптона (изменение длины волны кванта),

в теме 1.4 обратить внимание на экспоненциальную зависимость поглощения узкого пучка рентгеновского излучения и на необходимость учёта фактора накопления при поглощении широкого пучка

в теме 2.1 обратить внимание на современные перспективные разработки генераторов рентгеновского излучения: импульсные рентгеновские аппараты, импульсные ускорители .

в теме 2.2 обратить внимание на механизм генерации электронного пучка в импульсных ускорительных трубках за счёт взрывной эмиссии.

в теме 2.3 обратить внимание на схему построения и конструктивные особенности импульсного генератора Маркса

в теме 2.4 обратить внимание на принцип действия и технологию изготовления металлокерамических разрядников высокого давления.

в теме 3.1 обратить внимание термомюлюминесцентный метод измерения доз рентгеновского излучения.

в теме 3.2 обратить внимание на методы измерения длительности импульсов электронного излучения.

в теме 3.3 обратить внимание на расчёт спектров электронного и рентгеновского излучения по осциллограммам тока и напряжения и измерение граничной энергии электронов с помощью клина.

в теме 3.4 обратить внимание на широкое применение генераторов рентгеновского излучения в науке и технике.

в теме 4.1 обратить внимание на понятие дозы: экспозиционной, поглощенной, эквивалентной, на основные дозовые пределы облучения и допустимые уровни, на механизм биологического действия ионизирующих излучений.

в теме 4.2 обратить внимание на принципы расчета защиты временем, расстоянием и количеством пусков.

Автор Эляш С.Л., к.т.н

Лист регистрации изменений

Лист регистрации изменений

Номер изменения	Номера листов			Основание	для внесения	изменений	Подпись	Расшифровка
	замененных	новых	аннулированных					
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								
6.								
7.								
8.								
9.								