

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:  
Декан

А. Г. Коротаев

.

Рабочая программа дисциплины

**Синхротронное излучение: генерация и регистрация**

по направлению подготовки

**03.04.03 Радиофизика**

Направленность (профиль) подготовки:

**Материалы и устройства функциональной электроники и фотоники**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2025**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
И.А. Прудаев

Председатель УМК  
А.П. Коханенко

Томск – 2025

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-2 Способен осуществлять построение математических моделей объектов исследования и выбор готового или разработку нового алгоритма решения задачи.

ПК-3 Способен использовать современное оборудование для решения профессиональных задач в области радиофизики и электроники.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК 2.1 Формулирует постановку задачи, определяет параметры и функции разрабатываемой системы

ИПК 2.2 Определяет алгоритм и набор параметров, с учётом которых должно быть проведено моделирование устройства или системы

ИПК 2.3 Проводит компьютерное моделирование устройства или системы

ИПК 3.1 Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения задач в области радиофизики и электроники

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить аппарат описания взаимодействия синхротронного излучения с веществом, принципы генерации и регистрации синхротронного излучения.

– Научиться применять понятийный аппарат физики взаимодействия синхротронного излучения с веществом для моделирования элементов и систем регистрации.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Модуль «Детекторы синхротронного излучения».

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Третий семестр, зачет с оценкой

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

-лекции: 22 ч.

-лабораторные: 28 ч.

в том числе практическая подготовка: 28 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

Тема 1. **Введение.** Генерация синхротронного излучения (СИ), ондуляторное излучение, вигглеры и ондуляторы. Основные свойства СИ. Классификация источников

СИ. Источник СИ СКИФ. Портфель задач. Станции первой очереди. Основные типы детекторов для станций первой очереди.

**Тема 2. Взаимодействие элементарных частиц с веществом.** Взаимодействие элементарных частиц с веществом. Тяжелые заряженные частицы, ионизационные потери, многократное рассеяние. Взаимодействие электронов с веществом. Взаимодействие фотонов с веществом, фотоэффект, комптоновское рассеяние, рэлеевское рассеяние. Моделирование Монте-Карло, программы для транспорта частиц, GEANT4, FLUKA, примеры применения.

**Тема 3. Детектирование СИ.** Детекторы заряженных частиц и фотонов. Основные понятия. Квантовая эффективность и пространственное разрешение. Измеряемая квантовая эффективность (DQE). Пространственные корреляции и их влияние на DQE.

**Тема 4. Газовые детекторы.** Ионизационные камеры. Пропорциональные счетчики, многопроволочные пропорциональные камеры, дрейфовые камеры, время-проекционные камеры. Микроструктурные газовые детекторы, газовый электронный умножитель.

**Тема 5. Твердотельные детекторы СИ.** Сцинтилляционные детекторы. Типы сцинтилляционных материалов, кристаллические сцинтилляторы, органические сцинтилляторы. Сцинтилляторы с памятью, image-plate. Фотоприемники, полупроводниковые фотоприемники, вакуумные фотоприемники, устройство вакуумного фото-электронного умножителя, Электронно-оптический преобразователь, стрик-камера, газовый фотоумножитель.

Полупроводниковые детекторы. Устройство пин-фотодиода, микрополосковый детектор, матричный (пиксельный детектор). Лавинный фотодиод, кремниевый фотоумножитель. МОП-ячейка, ПЗС- и КМОП-матрицы.

Детекторы на основе сцинтилляционного экрана с ПЗС- /КМОП-матрицей. Типы оптической связи. Приборы на основе аморфного кремния, плоскопанельные детекторы.

**Тема 6. Физические основы работы детекторов СИ.** Сигналы в детекторах частиц. Электростатика, основные понятия. Наведенные токи и напряжения. Теорема Рамо-Шокли, емкостная матрица, эквивалентные схемы.

Сигналы в ионизационных камерах, кремниевых детекторах, газовых электронных умножителях, лавинных фотодиодах, кремниевых фотоумножителях, микрополосковых детекторах, матричных (пиксельных) детекторах.

Более сложные системы. Среда с проводимостью. Изменяющиеся во времени весовые поля. Сигналы в детекторах с резистивными поверхностями. Необходимые кремниевые сенсоры.

Распространение сигналов в детекторах. Длинные линии, согласование. Преобразование сигналов, шум, оптимальная фильтрация.

## **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения устных опросов по лекционному материалу, выполнения лабораторных заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. В ходе контроля проверяется достижение обучающимися следующих результатов обучения: ИПК-2.1 (Формулирует постановку задачи, определяет параметры и функции разрабатываемой системы), ИПК-2.2 (Определяет алгоритм и набор параметров, с учётом которых должно быть проведено моделирование устройства или системы), ИПК-2.3 (Проводит компьютерное моделирование устройства или системы), ИПК-3.1 (Понимает

принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения задач в области радиофизики и электроники).

Самостоятельная работа студентов состоит в изучении теоретического материала, подготовке к лабораторным занятиям и подготовке отчетов.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

Зачет с оценкой в третьем семестре проводится в письменной форме по билетам. Билет состоит из трех частей. Продолжительность зачета с оценкой 1 час. В ходе контроля проверяется достижение обучающимися следующих результатов обучения: ИПК-2.1 (Формулирует постановку задачи, определяет параметры и функции разрабатываемой системы), ИПК-3.1 (Понимает принципы действия устройств и систем, предназначенных для решения задач в области радиофизики и электроники).

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## **11. Учебно-методическое обеспечение**

) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Среда электронного обучения iDO».

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

## **12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет**

а) основная литература:

1. Игнатов А. Н. Микросхемотехника и наноэлектроника / Игнатов А. Н.. - Санкт-Петербург : Лань. 2021. - 528 с.

2. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебное пособие для студентов вузов. – 9-е изд. – СПб: Лань, 2021. – 480 с.

б) дополнительная литература:

1. Н. А. Винокуров, Е. Б. Левичев, Ондуляторы и вигглеры для генерации излучения и других применений, УФН, 2015, том 185, номер 9, 917–939.

2. Клаус Группен, Детекторы элементарных частиц, изд.Сибирский хронограф, Новосибирск, 1999.

3. Handbook of Medical Imaging, Volume 1. Physics and Psychophysics, Ed.Jacob Beutel, Harold L.Kundel and Richard L.Van Metter, SPIE Press, 2000.

4. Gerhard Lutz, Semiconductor Radiation Detectors, 2nd printing of the 1st ed. 1999 Library of Congress Control Number: 2007925696, ISBN 978-3-540-71678-5 Springer Berlin Heidelberg New York.

в) ресурсы сети Интернет:

– открытые онлайн-курсы

– Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <https://www.elibrary.ru/>

– Электронный ресурс American Institute of Physics <https://www.scitation.org/>

– Электронный ресурс American Physical Society <https://journals.aps.org/>

– Электронный ресурс ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/>

- Электронный ресурс SpringerLink: <https://link.springer.com/>
- Электронный ресурс SPIE Digital Library: <https://www.spiedigitallibrary.org/>
- Сайт производителя ПО FLUKA <http://www.fluka.org>

### **13. Перечень информационных технологий**

- а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
  - Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
  - публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).
- б) информационные справочные системы:
  1. Новые полупроводниковые материалы. Характеристики и свойства: база данных ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН. – URL: <http://www.matprop.ru/>
  2. Справочник по электронным компонентам. – URL: <http://kazus.ru/>
  3. Электронные компоненты: каталог товаров группы компаний «Промэлектроника». – URL: <http://www.promelec.ru/>
  4. eLIBRARY.RU: Научная электронная библиотека. – URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp?>
  5. Электронно-библиотечная система «Лань» (доступ из сети НИ ТГУ). – URL: <http://e.lanbook.com/>
  6. Scopus: база данных цитирования издательства Elsevier (доступ из сети НИ ТГУ). – URL: <http://www.scopus.com/>
  7. Web of Science: база данных цитирования компании Clarivate Analytics (доступ из сети НИ ТГУ). – URL: <http://webofknowledge.com/WOS>

### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Освоение дисциплины обеспечено наличием учебной аудитории, где имеются маркерная доска, мультимедийный проектор с экраном, 9 компьютерных рабочих мест для обработки результатов, а также компьютерный класс подготовленный для моделирования взаимодействия излучения с веществом (GEANT4 и FLUKA).

### **15. Информация о разработчиках**

Шехтман Лев Исаевич, доктор физико-математических наук, Томский государственный университет, ведущий научный сотрудник.