

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Малышев А.И.
декан _____
« 30 » _____ августа 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

**«Проблемы повышения радиационной
стойкости ЭКБ»**

Уровень подготовки

аспирантура

Направление подготовки

11.06.01 ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Направленность образовательной программы

05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и
наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Квалификация

Исследователь, преподаватель-исследователь

Форма обучения

очная

Нижний Новгород

2021 год

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Проблемы повышения радиационной стойкости ЭКБ» относится к вариативной части ОПОП, является дисциплиной по выбору и изучается на 3 году обучения в 5 семестре.

Целями освоения дисциплины являются:

Целями освоения дисциплины «Радиационная стойкость изделий электроники и наноэлектроники» являются:

- Дать основные сведения о проблемах проектирования специальной радиационно-стойкой микроэлектронной компонентной базы для радиоэлектронной аппаратуры, работающей в условиях воздействия импульсных, стационарных ионизирующих излучений, а также факторов космического пространства.
- Формирование знаний и умений в области радиационной физики полупроводников и интегральных микросхем (ИМС).
- Освоение расчётно-экспериментальных методов подтверждения и прогнозирования радиационной стойкости ИМС современных технологий КМОП/КНД.
- Изучение основ взаимодействия ионизирующих излучений различных источников с реальными конструкциями ИМС.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код компетенции, этап формирования)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ОПК-1 владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	Знать: методологию теоретических и экспериментальных исследований в области радиационной стойкости ЭКБ. Уметь: разбираться в теоретических и экспериментальных исследованиях в области радиационной стойкости ЭКБ. Владеть: методологией теоретических и экспериментальных исследований в области радиационной стойкости ЭКБ.
ОПК-2 владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Знать: культуру научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий Уметь: разбираться в научных исследованиях, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий Владеть: культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий.
ПК-3 Готовность подготовить и провести физический эксперимент в области физики	Знать: как провести физический эксперимент в области радиационной стойкости ЭКБ. Уметь: осуществить обработку и анализ его результатов с использованием современных методов документирования экспериментальных данных.

твердотельных материалов и физики наноструктур, осуществить обработку и анализ его результатов с использованием современных методов документирования экспериментальных данных и методов численного моделирования физических и технологических процессов	Владеть: современными методами обработки экспериментальных данных (в том числе – больших массивов экспериментальных данных) и/или современными методами численного моделирования сложных физических процессов.
---	---

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 55 часов, из которых 55 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 36 часов – практические занятия, 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости, 1 час - мероприятия промежуточной аттестации), 17 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
	Очное					
Введение	4	2	2		4	
Внешние воздействующие факторы	18	4	10		14	4
Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом	19	4	10		14	5
Электронная аппаратура космического применения	14	4	6		10	4

и военного назначени я						
Методы испытаний на стойкость к воздействию радиационны х факторов и импульсную электрическу ю прочность	18	4	8		12	4
ВСЕГО	71	18	36		54	17
В т.ч.текущий контроль	1					
Промежуточная аттестация - зачет						

Содержание дисциплины

№ п/п	Наименовани е раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведен ия занятия	Форма текущего контроля*
1	Введение	Применимость радиационно-стойких изделий микроэлектроники, основные понятия и термины.	лекции	зачёт
2	Внешние воздействующ ие факторы	Классификация ВВФ. Условия эксплуатации изделий электронной техники. Предъявление требований к изделиям электронной техники в части воздействия ВВФ	лекции	зачёт
3	Взаимодейств ие ионизирующе го излучения с веществом	Виды ионизирующего излучения. Ионизационные потери ядерных частиц. Дефектообразование Ядерные реакции.	лекции	зачёт
4	Электронная аппаратура космического применения и военного	Внешние воздействующие факторы космического пространства Радиационные условия космического пространства.	лекции	зачёт

	назначения	Основные радиационные эффекты в ЭКБ при воздействии факторов КП. Методы прогнозирования отказов и сбоев ЭКБ при воздействии радиации космического пространства.		
5	Методы испытаний на стойкость к воздействию радиационных факторов и импульсную электрическую прочность	Цели и задачи испытаний. Методы испытаний ЭКБ на стойкость к импульсным РВ по объемным ионизационным (мощности дозы) эффектам. Методы испытаний ЭКБ по ионизационным (дозовым) эффектам. Методы испытаний микросхем на РС по эффектам структурных повреждений. Методы испытаний микросхем на РС по локальным радиационным эффектам. Испытания микросхем на импульсную электрическую прочность.	лекции	зачёт

4. Образовательные технологии

Занятия по дисциплине проходят в форме лекций и практических занятий, в форме самостоятельной работы обучающихся. Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних заданий и теоретическую подготовку по материалам лекций и практических занятий и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, компьютерных классах и в домашних условиях, с доступом к базам данных, к ресурсам Интернет.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций учебное программное обеспечение.

Критерием положительной оценки «зачтено» является успешное выполнение расчетных заданий и ответ на один или более (по усмотрению преподавателя) контрольных вопроса:

1. Дайте определение внешним воздействующим факторам (ВВФ). Каким образом они классифицируются?
2. Раскройте понятия стойкости, прочности и устойчивости изделий к ВВФ. Какими параметрами характеризуется стойкость изделий к ВВФ?
3. Каким образом унифицируются климатические и механические условия эксплуатации?
4. Чем отличаются условия и требования, предъявляемые к изделиям, при эксплуатации и хранении?
5. Какие существуют иерархические уровни нормативных документов, в которых определены требования к изделиям в части воздействия ВВФ?

6. Какие механизмы взаимодействия ионизирующего излучения с веществом характерны для каждого вида ионизирующего излучения?
7. Чем отличаются структурные потери энергии частиц от ионизационных?
8. Как зависят ионизационные потери и пробеги ядерных частиц в кремнии от их массы?
9. Как изменяются линейные потери энергии частицы вдоль трека в веществе?
10. Перечислите типы частиц корпускулярных ионизирующих излучений с зарядом < 3 зарядов электрона.
11. Что такое экстраполированный пробег электрона в веществе?
12. Чем отличается эффект Комптона от фотоэффекта?
13. Расположите следующие типы электромагнитных излучений в порядке возрастания энергии кванта: ультрафиолетовое, микроволновое, инфракрасное.
14. Расположите следующие типы частиц в порядке возрастания массы покоя: α -частица, нейтрон, позитрон, средние ионы.
15. Чем отличается доза, создаваемая ИИ в веществе, от кермы?
16. Перечислите естественные и искусственные радиационные факторы КП?
17. Опишите структуру и состав радиационных поясов Земли. Каким образом основные радиационные факторы для космических аппаратов зависят от типа орбиты?
18. К изменению каких параметров приводит накопление заряда в окисле в МОП и биплярных транзисторах? Нарисуйте зависимость сдвига порогового напряжения от поглощенной дозы для n- и p-канального МОП-транзистора.
19. Какой по знаку заряд несут поверхностные состояния в n-канальных и p-канальных МОП- транзисторах? К изменению каких параметров приводит образование поверхностных состояний в МОП-транзисторах?
20. Перечислите основные радиационные эффекты в элементах ЭРИ при воздействии высокоэнергетичных ядерных частиц космического пространства и методы защиты от них. Какие параметры используются для описания отказов от одиночных высокоэнергетичных ядерных частиц.
21. Перечислите основные механизмы собирания заряда с трека ядерной частицы, проходящего через закрытый pn-переход.
22. Перечислите основные поражающие факторы ПП и ИС для ЯВ в космосе и ЯВ в атмосфере.
23. Как и почему трансформируется форма импульса нейтронного излучения ЯВ в космосе с увеличением расстояния от эпицентра?
24. В чем разница жесткого и мягкого спектра рентгеновского излучения ЯВ? Как трансформируется спектр рентгеновского излучения ЯВ при прохождении через защитные экраны?
25. Чем обусловлена модуляция проводимости полупроводника при воздействии импульсного ионизирующего излучения? Какова форма ионизационной реакции проводимости при воздействии импульса гамма-излучения с типовой для ЯВ формой? Чем определяется длительность спада импульса ионизационной реакции проводимости?
26. Каков механизм образования ионизационного тока в закрытом p-n переходе? На какие составляющие можно разложить ионизационный ток закрытого p-n перехода при воздействии импульсного ионизирующего излучения? Нарисуйте форму ионизационного тока при воздействии импульса ионизирующего излучения прямоугольной формы. Чем обусловлен быстрый фронт и затянутый спад импульса ионизационного тока?
27. Перечислите обратимые и необратимые ионизационные эффекты в ПП и ИС при воздействии импульсного ионизирующего излучения.
28. За счет чего возникает электромагнитный импульс (ЭМИ) ЯВ? В чем отличие атмосферного ЯВ и ЯВ в вакууме с точки зрения формирования ЭМИ?

29. Как энергия ЭМИ передается полупроводниковым структурам элементной базы электронных устройств? Нужно ли учитывать непосредственное влияние ЭМИ ЯВ на ПП и ИС?

30. Как классифицируются эффекты в ПП и ИС от воздействия одиночного импульса напряжения (ОИН)?

31. Что понимается под испытаниями ЭРИ? Какие существуют основные виды испытаний в зависимости от целей испытаний?

32. Перечислите этапы типовой последовательности при проведении радиационных испытаний?

33. Какие источники испытательного воздействия могут использоваться при радиационных испытаниях? В чем отличие воздействия моделирующих установок и имитаторов? Как обеспечивается адекватность при испытании на имитаторах?

34. Какие существуют преимущества и недостатки использования моделирующих установок при радиационных испытаниях?

35. Перечислите преимущества и недостатки рентгеновских и лазерных (по объемным ионизационным эффектам) имитационных методов радиационных испытаний. Какие существуют физические ограничения применимости этих имитационных методов?

36. Перечислите преимущества и недостатки лазерных (по локальным ионизационным эффектам) имитационных методов радиационных испытаний. Какие существуют физические ограничения применимости этих имитационных методов?

37. Чем характеризуется импульсная электрическая прочность ПП и ИС?

38. Почему измерения импульсной электрической прочности ПП и ИС производятся как минимум при трех длительностях ОИН?

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине включающий:

6.1. *Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования.*

Описание показателей и критериев оценивания компетенций приведены в приложении 1.

6.2. *Описание шкал оценивания*

«Зачтено» – владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, наличие хотя бы фрагментарных знаний по каждому из основных вопросов, способность критически анализировать и сравнивать получаемые научные результаты.

«Незачтено» – отсутствие ответа хотя бы на один из основных вопросов, либо грубые ошибки в ответах, полное непонимание смысла проблем, не достаточно полное владение терминологией.

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование,

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающих одну или несколько задач (вопросов) в виде краткой формулировки действий (комплекса действий), которые следует выполнить, или описание результата, который нужно получить.

По сложности ПКЗ разделяются на простые и комплексные задания.

Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия. К ним можно отнести: простые ситуационные задачи с коротким ответом или простым действием; несложные задания по выполнению конкретных действий. Простые задания применяются для оценки умений. Комплексные задания требуют многоходовых решений как в типичной, так и в нестандартной ситуациях. Это задания в открытой форме, требующие поэтапного решения и развернутого ответа, в т.ч. задания на индивидуальное или коллективное выполнение проектов, на выполнение практических действий или лабораторных работ. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

Типы практических контрольных заданий:

- задания на установление правильной последовательности, взаимосвязанности действий, выяснения влияния различных факторов на результаты выполнения задания.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций.

Типовые контрольные задания включают в себя 2 вопроса из списка контрольных вопросов выше в п.5.

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания приведены в фонде оценочных средств.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины а) основная литература:

1. Яненко А.В., Никифоров А.Ю., Скоробогатов П.К., Чумаков А.И. / Экстремальная электроника // Учебное пособие Национально-исследовательского ядерного университета «МИФИ», 2014. – 246 с.
<https://drive.google.com/drive/folders/0B2cr1af6LKtVX3FLUjRaOURoVzg>
2. Рикетс Л.У., Бриджес Дж. Э., Майлетта Дж. Электромагнитный импульс и методы защиты/ Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1979. -2
3. Агаханян Т.М., Аствацатурьян Е.Р., Скоробогатов П.К. Радиационные эффекты в интегральных микросхемах / Под ред. Т.М. Агаханяна. – М.: Энергоатомиздат, 1989. -2

б) дополнительная литература:

1. ГОСТ 26883-86. Группа Т00. Внешние воздействующие факторы. Термины и определения // Exposure factors. Terms and definitions. – Введ. 01.07.1987. – Изд.офиц. – М.: Изд-во стандартов, 1986. Открытый доступ.
2. ГОСТ 21964-76. Группа Т00. Внешние воздействующие факторы. Номенклатура и характеристики. – Введ. 01.07.1987. – Изд.офиц. – М.: Изд-во стандартов, 1988. Открытый доступ.
3. ГОСТ 9.102-91. Группа Т90. Единая система защиты от коррозии и старения. Воздействие биологических факторов на технические объекты. Термины и определения // Unified system of corrosion and ageing protection. Influence of biological factors on technical objects. Terms and definitions. - Введ. 01.01.1991. – Изд.офиц. – М.: Изд-во стандартов, 1992. Открытый доступ.
4. ГОСТ 15150-69. Группа Г08. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды//Machines, instruments and other industrial articles. Applications for different climatic regions. Categories, operating, storage and transportation conditions as to

- environment climatic factors influence. – Введ. 01.01.1971. – Изд.офиц. – М.: Изд-во стандартов, 2008. Открытый доступ.
5. ГОСТ 17516-72. Группа E08. Изделия электротехнические. Условия эксплуатации в части воздействия механических факторов внешней среды//Electrical articles. Operating conditions as to environment mechanical aspects influence. – Введ. 01.07.1973. – Изд.офиц. – М.: Изд-во стандартов, 1984. Открытый доступ.
6. ГОСТ 16962-71. Группа Э20. Изделия электронной техники и электротехники. Механические и климатические воздействия. Требования и методы испытаний. = Electronic and electrical equipment. Mechanical and climatic influences/ Requirements and test methods. – Введ. 01.07.1971. – Изд.офиц. – М.: Изд-во стандартов, 1978. Открытый доступ.
7. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. В 2-х томах. Том. 1. Физика ядерного ядра. - М.: Энергоатомиздат, 1983. -2
8. Барашенков В.С. Сечения взаимодействия частиц и ядер с ядрами. – Дубна: ОИЯИ. 1993. -2
9. Barth J. Applying modeling space radiation environments. 1997 IEEE Nuclear and Space Radiation Effects. Short Course. Applying Computer Simulation Tools to Radiation Effects Problems. 21 July 1997. Snowmass Conference Center. Snowmass Village, Colorado. Pp. 11-183. ieee-npss.org
10. Кузнецов Н.В., Соловьев Г.Г. Радиационная стойкость кремния. – М.: Энергоатомиздат, 1989. -1
11. Srouf J.R., Hartmann R.A., Othmer S. Transient and permanent effects of neutron bombardment on a commercially available n-burried channel CCD. IEEE Trans. Nucl. Sci., vol.NS-27, 1980. – p.1402. 1980. ieee-npss.org
12. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах. Кн.1. / Пер с англ. - 2-е переработ. и доп. Изд. - М.: МИР, 1984. -456 с. -12
13. Alexander D.R. Transient Ionizing Radiation Effects in Devices and Circuits // IEEE Trans. – 2003. Vol. NS-50. ieee-npss.org
14. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Испытания на импульсную электрическую прочность. РДВ 319.03.30-98, 22 ЦНИИ МО, 1998. 10. ГОСТ РВ 20.57.308-98. Открытый доступ.
15. ГОСТ 16504-81. Группа T00. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения // The state system of testing products. Product test and quality inspection. General terms and definitions. – Введ. 01.01.1982. – Изд.офиц. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000. Открытый доступ.
16. РД В 319.03.31-99. Рациональный состав и последовательность испытаний изделий электронной техники на радиационную стойкость. Руководящий документ МО РФ, 1999. Открытый доступ.
17. РД В 319.03.22-97. Микросхемы интегральные и полупроводниковые приборы. Методы контроля радиационной стойкости на этапах разработки, производства и поставки. Общие методики имитационных испытаний. Руководящий документ МО РФ, 1997. Открытый доступ.
18. РД В 319.03.52-2004. Микросхемы интегральные и полупроводниковые приборы. Методы контроля радиационной стойкости на этапах разработки, производства и поставки. Общая методика лазерных имитационных испытаний в широком диапазоне уровней и длительностей импульсов специальных факторов, а также температуры среды. - М.: МО РФ, 2004. Открытый доступ.

19. ОСТ 11.073.013-03. Часть (10). Микросхемы интегральные. Методы испытаний. Испытания на стойкость к воздействию специальных факторов и импульсную электрическую прочность. Открытый доступ.

20. РД В 319.03.24-97. Методы испытаний и оценки стойкости больших и сверхбольших интегральных схем к одиночным сбоям от воздействия отдельных высокоэнергетических тяжелых заряженных частиц и протонов космического пространства. Руководящий документ МО РФ, 1997. Открытый доступ.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Интернет-ресурс справочной и математической литературы со свободным доступом www.eqworld.ipmnet.ru

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
- материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование – комплекс учебного оборудования фирмы Natinal Instruments;
- лицензионное программное обеспечение фирмы Natinal Instruments.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.06.01 ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СИСТЕМЫ СВЯЗИ (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Автор (ы)

к.ф.-м.н., г.н.с. ФГУП «ФНПЦ НИИИС

им. Ю.Е. Седакова», доцент кафедры

электроники твердого тела _____ Яшанин И.Б

Рецензент (ы) _____

заведующий кафедрой теоретической физики,

д.ф.-м.н., профессор

_____ В. А. Бурдов

Программа рекомендована на заседании кафедры физики полупроводников, электроники и нанoeлектроники от _____ года, протокол № _____

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от _____ года, протокол № _____

ОПК-1 владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
Знать: методологию теоретических и экспериментальных исследований в области радиационной стойкости ЭКБ.	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание методологии теоретических и экспериментальных исследований в области радиационной стойкости ЭКБ.	В целом успешное знание методологии теоретических и экспериментальных исследований в области радиационной стойкости ЭКБ.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание методологии теоретических и экспериментальных исследований в области радиационной стойкости ЭКБ.	Успешное и систематическое знание методологии теоретических и экспериментальных исследований в области радиационной стойкости ЭКБ.
Уметь: разбираться в теоретических и экспериментальных исследованиях в области радиационной стойкости ЭКБ.	Отсутствие умений	Частично освоенное умение разбираться в теоретических и экспериментальных исследованиях в области радиационной стойкости ЭКБ.	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение разбираться в теоретических и экспериментальных исследованиях в области радиационной стойкости ЭКБ.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение разбираться в теоретических и экспериментальных исследованиях в области радиационной стойкости ЭКБ.	Сформированное умение разбираться в теоретических и экспериментальных исследованиях в области радиационной стойкости ЭКБ.
Владеть: методологией теоретических и экспериментальных исследований в области радиационной стойкости ЭКБ.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение методологий теоретических и экспериментальных исследований в области радиационной стойкости ЭКБ.	В целом успешное, но не систематическое применение методологий теоретических и экспериментальных исследований в области радиационной стойкости ЭКБ.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение методологий теоретических и экспериментальных исследований в области радиационной стойкости ЭКБ.	Успешное и систематическое применение методологий теоретических и экспериментальных исследований в области радиационной стойкости ЭКБ.

ОПК-2 владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий

Планируемые	Критерии оценивания результатов обучения
-------------	--

результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	1	2	3	4	5
Знать: культуру научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание культуры научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	В целом успешное знание культуры научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание культуры научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Успешное и систематическое знание культуры научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий
Уметь: разбираться в научных исследованиях, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Отсутствие умений	Частично освоенное умение разбираться в научных исследованиях, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение разбираться в научных исследованиях, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение разбираться в научных исследованиях, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Сформированное умение разбираться в научных исследованиях, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий
Владеть: культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение новейших информационно-коммуникационных технологий.	В целом успешное, но не систематическое применение новейших информационно-коммуникационных технологий.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение новейших информационно-коммуникационных технологий.	Успешное и систематическое применение новейших информационно-коммуникационных технологий.

ПК-3 Готовность подготовить и провести физический эксперимент в области физики твердотельных материалов и физики наноструктур, осуществить обработку и анализ его результатов с использованием современных методов документирования экспериментальных данных и методов численного моделирования физических и технологических процессов

Планируемые	Критерии оценивания результатов обучения
-------------	--

результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	1	2	3	4	5
Знать: как провести физический эксперимент в области радиационной стойкости ЭКБ.	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание как провести физический эксперимент в области радиационной стойкости ЭКБ.	В целом успешное знание как провести физический эксперимент в области радиационной стойкости ЭКБ.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание как провести физический эксперимент в области радиационной стойкости ЭКБ.	Успешное и систематическое знание как провести физический эксперимент в области радиационной стойкости ЭКБ.
Уметь: осуществить обработку и анализ его результатов с использованием современных методов документирования экспериментальных данных.	Отсутствие умений	Частично освоенное умение осуществить обработку и анализ его результатов с использованием современных методов документирования экспериментальных данных.	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение осуществить обработку и анализ его результатов с использованием современных методов документирования экспериментальных данных.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение осуществить обработку и анализ его результатов с использованием современных методов документирования экспериментальных данных.	Сформированное умение осуществить обработку и анализ его результатов с использованием современных методов документирования экспериментальных данных.
Владеть: современными методами обработки экспериментальных данных (в том числе – больших массивов экспериментальных данных) и/или современными методами численного моделирования сложных физических процессов.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение современных методов обработки экспериментальных данных (в том числе – больших массивов экспериментальных данных) и/или современными методами численного моделирования сложных физических процессов.	В целом успешное, но не систематическое применение современных методов обработки экспериментальных данных (в том числе – больших массивов экспериментальных данных) и/или современными методами численного моделирования сложных физических процессов.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение современных методов обработки экспериментальных данных (в том числе – больших массивов экспериментальных данных) и/или современными методами численного моделирования сложных физических процессов.	Успешное и систематическое применение современных методов обработки экспериментальных данных (в том числе – больших массивов экспериментальных данных) и/или современными методами численного моделирования сложных физических процессов.