

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И.
Лобачевского»**

Радиофизический факультет

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

Декан _____

Матросов В.В.

« _____ » _____ 2021 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Физические основы оптоэлектроники

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

Аспирантура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.06.01 «Физика и астрономия»

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Радиофизика

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

**Исследователь. Преподаватель-
исследователь**

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

Очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2021 г.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре основной образовательной программы (ООП)

Дисциплина «Физические основы оптоэлектроники» относится к числу профессиональных дисциплин, является дисциплиной по выбору аспиранта из вариативной части профессионального цикла и изучается на 1-ом году обучения, во втором семестре.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования в рамках изучения курсов «Квантовая электроника» («Квантовая радиофизика»), «Полупроводниковая электроника», входящих в учебный план подготовки бакалавров по направлению «Радиофизика», а также магистерских курсов «Методы оптических измерений» и «Физика лазеров».

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

Таблица 1

Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<i>ПК-2</i> Способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению новых научных результатов с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта (базовый этап)	<i>З(ПК-2)-1</i> Знать современное состояние науки в области радиофизики. Знать - физические механизмы формирования уширенных линий излучения вещества; - основные современные квантовые схемы генерации когерентного излучения; - модовые структуры открытых оптических резонаторов и световодов различной конфигурации; - основные новейшие технологии, определяющие принципы работы базовых типов лазерных излучателей (твердотельные, полупроводниковые, газовые лазеры) и светодиодов; - принципы работы и технические характеристики модуляторов оптического излучения; - возможности регистрации оптических сигналов; - закономерности распространения излучения в планарных и волоконных структурах.

<p><i>ПК-1</i> Способность самостоятельно ставить научные задачи и формулировать новые идеи в области радиофизики (базовый этап)</p>	<p><i>У(ПК-1)-1</i> Уметь определять наиболее актуальные направления исследований. Уметь формулировать и анализировать пути и возможности улучшения рабочих характеристик лазерных излучателей, - методы управления оптическими пучками; Уметь анализировать проблемы сопряжения оптических элементов в оптоэлектронных схемах; ориентироваться в функциональном назначении и особенностях работы оптоэлектронных приборов; Получать оценки физических эффектов и выполнять расчёты, связанные с распространением лазерного излучения в планарных структурах и оптических волокнах; оценивать технические характеристики волоконно-оптических линий связи.</p> <p><i>В(ПК-1)-1</i> Владеть навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях. Владеть методами анализа и оценки эффективности оптоэлектронных систем при постановке научных экспериментов.</p>
<p><i>ПК-3</i> Способность к внедрению научных достижений и разработок в области радиофизики (базовый этап)</p>	<p><i>У(ПК-3)-2</i> Уметь оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения. Уметь находить оптимальное сочетание оптоэлектронных элементов в зависимости от требований, предъявляемых к конкретным оптоэлектронным системам при внедрении их в различных областях радиофизики и оптоэлектроники.</p>

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 4 часа мероприятия по аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Структура дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					
		Контактная работа, часов					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
1. Введение. Оптические системы. Связь оптоэлектроники и квантовой электроники	3	1	-	-	-	1	2
2. Усиление в активных средах. Эффект насыщения	4	2	-	-	-	2	2
3. Физические принципы генерации лазерного излучения	4	2	-	-	-	2	2
4. Физика твердотельных лазеров	4	2	-	-	-	2	2
5. Спектральные, мощностные и шумовые характеристики современных лазерных излучателей	4	2	-	-	-	2	2

6. Аналитические оптические системы на основе лазеров	4	2	-	-	-	2	2
7. Методы измерения параметров лазерного излучения	4	2	-	-	-	2	2
8. Детектирование оптических сигналов. Фотоприемники и их предельная чувствительность	4	2	-	-	-	2	2
9. Методы управления лазерным излучением	4	2	-	-	-	2	2
10. Элементная база систем оптической модуляции лазерного излучения	4	2	-	-	-	2	2
11. Полупроводниковый лазер как элемент оптоэлектронных систем	4	2	-	-	-	2	2
12. Прямая модуляция излучения полупроводникового лазера	4	2	-	-	-	2	2
13. Распространение ЭМ волн в волоконном световоде (геометрическая и волновая оптика)	4	2	-	-	-	2	2
14. Модовая структура ЭМП в волоконных световодах	4	2	-	-	-	2	2
15. Дисперсия и потери в волоконных световодах	4	2	-	-	-	2	2
16. Согласование элементов волоконной и планарной оптики	3	1	-	-	-	1	2
17. Современные ВОЛС с частотным уплотнением каналов	3	1	-	-	-	1	2
18. Оптические и волоконно-оптические сенсоры и датчики	3	1	-	-	-	1	2
Аттестация по дисциплине - зачет	4	4	-	-	-	4	-
Итого	72	36	-	-	-	36	36

Таблица 3

Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1	Введение. Оптические системы. Связь оптоэлектроники и квантовой электроники	Специфические особенности систем оптического диапазона. Источники излучения, фотоприемники и линии передач в оптических системах.	Лекция	-
2	Усиление в активных средах. Эффект насыщения	Двухуровневая идеализация при рассмотрении активных сред. Взаимодействие двухуровневой среды с электромагнитным резонансным полем. Материальные уравнения для поляризации и разности населенностей активной среды. Насыщение перехода в сильных полях.	Лекция	-
3	Физические принципы генерации лазерного излучения	Активная среда с инверсией как основа квантового генератора. Методы создания инверсии в современных лазерных	Лекция	-

		излучателях. Открытые оптические резонаторы. Добротность резонатора, время жизни фотона в резонаторе. Условие самовозбуждения лазерного излучателя.		
4	Физика твердотельных лазеров	Активные среды твердотельных лазеров. Взаимодействие матрицы и ионов, безызлучательная релаксация. Межионное взаимодействие, ап-конверсия, кросс-релаксация. Оптическая накачка. Методы ввода и излучения накачки. КПД. Диодные линейки и матрицы. Методы ввода излучения полупроводниковых лазеров в активные элементы. Оптические резонаторы. Устойчивость резонатора. Влияние наводимых в активных средах линз на характеристики резонатора. Согласование параметров резонатора с областью накачки. Схемы резонаторов с продольной и поперечной накачкой.	Лекция	-
5	Спектральные, мощностные и шумовые характеристики современных лазерных излучателей	Основные характеристики лазерных кристаллов. Редкоземельные элементы, элементы группы железа. Спектральные характеристики кристаллов, допированных ионами Nd, Yb, Tm, Ho, Cr, Ti. Полупроводниковые лазеры. Принцип работы и основные характеристики. Методы управления спектральными характеристиками. Шумовые свойства полупроводникового лазера. Стабильность и надежность лазерных диодов	Лекция	-
6	Аналитические оптические системы на основе лазеров	Лазерная спектроскопия высокого разрешения. Основные принципы. Спектроскопия насыщения. Двухфотонная спектроскопия Применение полупроводниковых лазеров в измерительных системах. Лазерный гироскоп. Физические принципы измерения угловых величин. Лазерный доплеровский измеритель скорости объекта. Лазерная спектроскопия. Абсорбционная спектроскопия ближнего ИК-диапазона. Лазерная интерферометрия. Прецизионные измерения физических величин с помощью интерферометров на основе ПЛ.	Лекция	-
7	Методы измерения параметров лазерного излучения	Временные и пространственные спектры излучения. Классификация спектров. Основные различия временных и пространственных частот. Изменение амплитуды, фазы и частоты гармоник при	Лекция	-

		прохождении электромагнитного излучения через линейные системы. Связь между пространственными и временными частотами.		
8	Детектирование оптических сигналов. Фотоприемники и их предельная чувствительность	Фотодиоды и их свойства. Квантовый выход идеального фотоприемника. Предельная чувствительность фотодиода. Быстродействующие фотоприемники (р-і-п фотодиоды, лавинные фотодиоды). Конструкция. Характеристики. Другие электронные устройства, применяемые в оптических системах связи.	Лекция	-
9	Методы управления лазерным излучением	Модуляция лазерного излучения. Электрооптическая и магнитооптическая модуляция. Взаимодействие света с акустическими волнами; дифракция Брэгга и Рамана-Ната. Нестационарные режимы генерации. Методы повышения мощности генерации лазеров. Метод модулированной добротности. Метод синхронизации мод в лазерах. Генерация гигантских импульсов.	Лекция	-
10	Элементная база систем оптической модуляции лазерного излучения	Электрооптические и акустооптические модуляторы и дефлекторы. Оптические изоляторы	Лекция	-
11	Полупроводниковый лазер как элемент оптоэлектронных систем	Принцип работы полупроводникового лазера (ПЛ). Оптические гетероструктуры. Процессы излучательной рекомбинации. Инверсия и усиление в полупроводниковой активной среде. Физические параметры и рабочие характеристики ПЛ. Квантовая эффективность. Диаграмма направленности излучения. Спектрально-энергетические свойства излучателей	Лекция	-
12	Прямая модуляция излучения полупроводникового лазера	Модуляционные свойства полупроводникового лазера. Релаксационный пик. Полоса модуляции. СВЧ-особенности при модуляции лазерного излучения. Типы современных ПЛ, применяемых в системах связи.	Лекция	-
13	Распространение ЭМ волн в волоконном световоде (геометрическая и волновая оптика)	Общие характеристики оптических волокон. Типы волокон. Распространение оптических волн в волоконном световоде (геометрическое приближение, волновое приближение). Ввод оптического излучения в волокно. Понятие числовой апертуры. Распространение оптических волн в волоконном световоде (ВС) в приближении геометрической оптики. Фазовая лучевая модель формирования	Лекция	-

		модовой структуры в ступенчатом ВС. Нормированная частота ВС. Основные типы световодов, их геометрические и технологические особенности. Волновая модель распространения электромагнитных волн в ВС. Волновое уравнение для цилиндрического волновода.		
14	Модовая структура ЭМП в волоконных световодах	Элементная база волоконной оптики. Одномодовый световод, многомодовый световод, анизотропные волокна, Волоконные преобразователи излучения. Дисперсионное уравнение и дисперсионные характеристики ВС. Условие отсечки мод.	Лекция	-
15	Дисперсия и потери в волоконных световодах	Материальная дисперсия в волокне. Оценки величин. Волноводная дисперсия в ВС. Сравнение влияния разных дисперсионных механизмов на расплывание волнового пакета в ВС. Физические причины затухания в волокнах. Оптическое поглощение в регулярных и нерегулярных ВС. Рэлеевское рассеяние в волокне. Количественные оценки уровня оптических потерь в ВС. Датчики распределения.	Лекция	-
16	Согласование элементов волоконной и планарной оптики	Общая физическая модель согласования волноводных структур. Способы согласования ПЛ и одномодовых волоконных световодов. Элементная база и конфигурация волоконных каналов связи. Источники избыточного шума в волоконных каналах передачи информации.	Лекция	-
17	Современные ВОЛС с частотным уплотнением каналов	Пропускная способность оптического канала связи при амплитудной аналоговой модуляции излучателя. Когерентная оптическая связь. Цифровые волоконно-оптические линии связи (ВОЛС). Аналоговые ВОЛС. Преимущества и недостатки. Современное состояние и перспективы систем ВОЛС	Лекция	-
18	Оптические и волоконно-оптические сенсоры и датчики	Применение полупроводниковых лазеров в измерительных системах. Лазерный гироскоп. Эффект Саньяка. Физические принципы измерения угловых величин. Проблемы современной гироскопии.	Лекция	-

4. Образовательные технологии

При обучении указанной дисциплине предусмотрено использование мультимедийных средств обучения, а также наглядная демонстрация оптоэлектронных систем на базе научных лабораторий кафедры.

5. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающегося предполагает работу, сопровождающую лекционный материал, с рекомендованной литературой и проработку контрольных вопросов (см. п.6.3) .

6. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

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

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования приведено в приложении 1.

6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания

Предусмотрена форма аттестации обучающихся в форме зачета в конце семестра. Зачет проводится в форме тестирования знаний и умений обучающегося на основе программы курса и контрольных вопросов (п.6.3). Положительное оценивание знаний и умений обучаемого производится при демонстрации им соответствующих знаний в соответствии с критериями компетенций, приведенными в п.6.1., а также на основе решения обучающимся практических задач и модельных ситуаций, предложенных преподавателем в процессе тестирования.

6.3. Примеры типовых контрольных заданий и вопросов, необходимых для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.

1. Инверсия - необходимое условие усиления. Показатель усиления. Сечение перехода. Квантовый выход.
2. Двух-, трёх- и четырёхуровневая схемы лазеров: возможности реализации, достоинства и недостатки. Оптимальная ширина уровней.
3. Зависимость начального коэффициента усиления от скорости накачки. Роль метастабильности верхнего уровня лазерного перехода в создании начального усиления. Влияние насыщения на величину усиления.
4. Тепловая накачка. Молекулярные лазеры.
5. Стационарный режим генерации. Условие порога генерации.
6. Продольные моды резонатора. Резонансные частоты. Добротность резонатора. Формирование спектра выходного излучения лазера.
7. Поперечные моды резонатора. Одномодовый режим генерации.
8. Однородное и неоднородное уширение линии рабочего перехода.
9. Для выбранного механизма получить выражение для неоднородно уширенного контура линии. Для выбранных условий оценить её ширину.
10. Известно, что время жизни электрона в возбужденном состоянии τ . Получить выражение для спектральной формы линии.
11. Механизмы однородного уширения. Вывести выражение для однородно уширенного контура линии. Дать оценку её ширины (в см^{-1}) для одного из радиационных переходов He.
12. Доплеровская ширина линии 500 МГц. Оценка времени жизни уровня 10^{-8}с . Предложить метод измерения ширины лоренцевского контура.
13. Влияние матрицы лазерной среды на спектр усиления.
14. Пространственное существование мод. Межмодовая конкуренция. Эффект затягивания частот.
15. Причины нестационарного режима генерации. Режим свободной генерации. Скоростные уравнения Статца-Де Марса.

16. Режим генерации гигантских импульсов. Активная модуляция добротности резонатора.
Пассивная модуляция добротности резонатора.
17. Режим синхронизации продольных мод резонатора.
18. Основные характеристики лазерных кристаллов.
19. Ион-фононное взаимодействие. Безызлучательная релаксация.
20. Межионное взаимодействие. Ап-конверсия. Кросс-релаксация.
21. Диаграмма энергетических уровней. Трех- и четырехуровневые схемы накачки.
22. Редкоземельные элементы. Элементы группы железа. Спектральные характеристики кристаллов, допированных ионами Nd, Yb, Tm, Ho, Cr, Ti.
23. Ламповая накачка. Спектральные характеристики. Методы ввода излучения накачки.
24. Полупроводниковые лазеры. Принцип работы и основные характеристики.
25. Методы управления спектральными характеристиками полупроводниковых лазеров.
26. Наводимые накачкой линзы в активных средах, влияние линз на параметры резонатора.
27. Влияние согласования мод резонатора с областью накачки на параметры генерации для трех- и четырехуровневых активных сред
28. Nd:АИГ лазер: квантовая схема, преимущество матрицы, организация эффективной накачки.
29. Показать, что абсолютная ширина линии открытого оптического резонатора с плоскими зеркалами не зависит от частоты. Оценить (в см^{-1}) интервал между продольными модами и ширину линии такого резонатора для $R=0,99$ и $L=1$ м.
30. Оценить число продольных мод, генерируемых He-Ne лазером длиной ~ 1 м, считая, что температура разряда не слишком отличается от комнатной. Зависит ли ширина провала в насыщенном контуре усиления и ширина линии излучения лазера от длины резонатора?
31. Найти значение ненасыщенного коэффициента усиления для полупроводникового лазера с длиной активной области 100 мкм при использовании сколов по кристаллическим поверхностям в качестве зеркал.
32. Обосновать необходимость многокомпонентных материалов для приготовления диодных структур. Преимущества и недостатки соединения AlGaAs как материала для лазерных диодов. Привести пример материалов для диодной структуры на «телекоммуникационный» диапазон $\sim 1,3$ мкм.
33. Особенности гетероструктуры на основе InGaAsP/InP. Вид ватт-амперной характеристики, спектр лазера и светодиода на её основе.
34. Чем определяется ширина полосы лазерного диода как источника информации? Почему светодиоды уступают им по этому параметру? Указать оценки для обоих случаев.
35. Как и почему зависит от температуры рабочая частота лазерного диода? Почему с ростом температуры снижается эффективность генерации?
36. Указать и обосновать преимущества лазерных диодов с распределённой обратной связью и распределённым брэгговским отражением по сравнению с диодами простейшей геометрии.
37. Сравнить эффективность управления сигналами от лазерного диода путём модуляции накачки, модуляции добротности и модуляции выходного пучка.
38. Оценить ширину линии излучения и интервал между продольными модами для типичного лазерного диода
39. Что такое нормированная частота, и какие свойства волоконных световодов она определяет?
40. Известны ли вам оптические системы, где наличие когерентного лазерного излучения является нежелательным фактором?
41. Проанализируйте преимущества и недостатки возможных источников оптического излучения при использовании их в волоконно-оптических линиях связи.
42. Является ли одномодовым волокно, имеющее размеры 10/100 мкм, а ступенчатый профиль кварцевого волновода с перепадом показателя преломления 0,5 %?
43. Оптическое волокно представляет собой однослойный кварцевый световод с показателем преломления 1,50 (без внешней оболочки). Исходя из основных параметров этого световода, дайте его характеристику в сравнении с обычными многомодовыми двухслойными волокнами.
44. Проанализируйте причины избыточных оптических шумов в волоконно-оптических каналах

связи.

45. Оцените эффективность ввода излучения от поверхностно излучающего светодиода в волокно с показателями преломления сердцевины ($d=50\text{мкм}$) и оболочки ($D=125\text{мкм}$) соответственно 1,470 и 1,455. Является ли данное волокно многомодовым? Можно ли оценить его дисперсионные характеристики?
46. Каким элементом (источником излучения или волоконным световодом) обусловлено дисперсионное размывание сигнала в протяженных линиях связи? Каковы возможные пути уменьшения этого эффекта?
47. В чем преимущество волоконных световодов с градиентным профилем показателя преломления над ступенчатыми?
48. Преимущества и недостатки оптического гетеродинамирования по сравнению с гомодинным приемом сигналов.
49. Какая причина является основным препятствием при разработке ВОЛС с пропускной способностью $\sim 500\text{ Мбит/с}$?
50. Чем определяется широкополосность волоконно-оптического канала связи с полупроводниковым лазером в качестве источника света, использующего фазовый метод передачи информации?

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенции ПК-1, используются следующие вопросы из вышеприведенного списка: 9-12, 22-24, 26-28, 33, 36, 40, 41, 44, 46-50.

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенции ПК-2, используются следующие вопросы из вышеприведенного списка: 1-8, 13-15, 18-23, 39.

Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенции ПК-3, используются следующие вопросы из вышеприведенного списка: 12, 13, 16, 17, 24, 25, 29-32, 34, 35, 37, 38, 42, 43, 45, 46, 49.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература:

1. Э. Розеншер, Б. Винтер «Оптоэлектроника». М.: «Техносфера», 2006.
2. В.И. Дудкин, Л.Н. Пахомов «Квантовая электроника. Приборы и их применения» Техносфера, 2006. – 432с.
3. Янг М. «Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы», М.: «Мир». 2005г. – 541с.

б) дополнительная литература:

1. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике - М.: «Наука», 1988, 324с.
2. О.Н. Ермаков «Прикладная оптоэлектроника» «Техносфера», 2004г.
3. Салех Б., Тейх М. «Оптика и фотоника». Т.1 Долгопрудный, «Интеллект», 2012г. – 760с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):

<http://e.lanbook.com/>; <http://www.biblioclub.ru>.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для обучения дисциплине имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием. Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования, в том числе оптических элементов и систем, находящихся в научно-исследовательских лабораториях кафедры квантовой радиофизики и лазерных систем, а также учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие программе дисциплины.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Авторы _____ доцент А.В.Маругин, _____ доцент А.П.Савикин

Рецензент _____

Заведующий кафедрой _____ профессор С.А.Бельков

Программа рекомендована на заседании кафедры квантовой радиофизики и электроники от _____ года, протокол № _____.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от _____ 2021 года, протокол № _____.

Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ПК-2 Способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению новых научных результатов с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта					
З(ПК-2)-1 Знать современное состояние науки в области радиофизики. Знать основные новейшие технологии, определяющие принципы работы базовых типов лазерных излучателей (твердотельные, газовые и полупроводниковые лазеры, а также модуляторов, волоконно-оптических элементов и регистраторов оптического излучения.	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных способах использования оптоэлектронных технологий при решении радиофизических задач в рамках научных исследований	В целом успешные, но не систематические представления о современных способах использования оптоэлектронных технологий при решении радиофизических задач в рамках научных исследований	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современных способах использования оптоэлектронных технологий при решении радиофизических задач в рамках научных исследований	Сформированные представления о современных способах использования оптоэлектронных технологий при решении радиофизических задач в рамках научных исследований
ПК-1 Способность самостоятельно ставить научные задачи и формулировать новые идеи в области радиофизики					
У(ПК-1)-1 Уметь определять наиболее актуальные направления исследований. Уметь формулировать и анализировать пути и возможности улучшения рабочих характеристик лазерных излучателей и методов управления оптическими пучками; Уметь анализировать проблемы сопряжения оптических элементов в оптоэлектронных схемах и ориентироваться в функциональном назначении и особенностях работы	Отсутствие умений	Частично освоенное умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи и находить технические решения при проведении научного эксперимента с применением средств оптоэлектроники	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи и находить технические решения при проведении научного эксперимента с применением средств оптоэлектроники	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи и находить технические решения при проведении научного эксперимента с применением средств оптоэлектроники	Сформированное умение при решении исследовательских и практических задач генерировать идеи и находить технические решения при проведении научного эксперимента с применением средств оптоэлектроники

оптоэлектронных приборов.					
<p><i>В(ПК-1)-1 Владеть навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</i></p> <p><i>Владеть методами анализа и оценки эффективности оптоэлектронных систем при постановке научных экспериментов.</i></p>	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики и оптоэлектроники, а также оценки полученных результатов	В целом успешное, но не систематическое применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики и оптоэлектроники, а также оценки полученных результатов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики и оптоэлектроники, а также оценки полученных результатов	Успешное и систематическое применение навыков моделирования различных явлений в области радиофизики и оптоэлектроники, а также оценки полученных результатов
ПК-3 Способность к внедрению научных достижений и разработок в области радиофизики					
<p><i>У(ПК-3)-2 Уметь оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области радиофизики и возможности их внедрения.</i></p> <p><i>Уметь находить оптимальное сочетание оптоэлектронных элементов в зависимости от требований, предъявляемых к конкретным оптоэлектронным системам при внедрении их в различных областях радиофизики и оптоэлектроники.</i></p>	Отсутствие умений	Фрагментарное использование умения оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области оптоэлектроники и возможности их внедрения	В целом успешное, но не систематическое использование умения оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области оптоэлектроники и возможности их внедрения	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование умения оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области оптоэлектроники и возможности их внедрения	Сформированное умение оценивать границы применимости полученных результатов научного исследования в области оптоэлектроники и возможности их внедрения