

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Высшая школа общей и прикладной физики

---

Программа утверждена решением президиума  
Ученого совета ННГУ  
протокол от «14» декабря 2021г. № 4.

**Рабочая программа дисциплины**

Электромагнитные волны

---

Уровень высшего образования  
Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
03.03.02 - Физика

---

Направленность образовательной программы  
Фундаментальная физика

---

Форма обучения  
очная

---

Нижний Новгород

2022 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.10 «Электромагнитные волны» относится к части ООП направления подготовки 03.03.02 Физика, формируемой участниками образовательных отношений.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
<i>ПК-2: Способен применять в научно-исследовательской деятельности профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин</i>	<i>Демонстрация способности применять в научно-исследовательской деятельности профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин</i>	<i>Знать уравнения классической электродинамики и их основные свойства; свойства электромагнитных волн в вакууме и в среде; свойства электромагнитных волн в линиях передачи, в полых и в квазиоптических резонаторах; основы теории дифракции. Уметь пользоваться законами электродинамики для расчета структуры электромагнитных полей и для описания взаимодействия этих полей с заряженными частицами и средами. Владеть навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.</i>	<i>Собеседование и задачи (практические задания)</i>
<i>ПК-4: Способен использовать полученные профессиональные знания при реализации научно-исследовательских, научно-инновационных и практических проектов</i>	<i>Демонстрация способности использовать полученные профессиональные знания при реализации научно-исследовательских, научно-инновационных и практических проектов</i>	<i>Обладать профессиональными знаниями, необходимыми для реализации научно-исследовательских, научно-инновационных и практических проектов Уметь применять полученные знания при проведении научных исследований в избранной области.</i>	<i>Собеседование и задачи (практические задания)</i>

		Владеть основными точными и приближенными методами описания электромагнитных волн их распространения и взаимодействия с заряженными частицами и сплошной средой и использовать их при необходимости при проведении теоретических и/или экспериментальных физических исследований.	
--	--	---	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>5</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>180</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>48</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>48</b>
- КСР	<b>2</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>46</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b> <b>экзамен</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	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	
	очная	очная	очная	очная	очная	очная

Тема 1. Распространение плоских электромагнитных волн в однородных средах.	16	6	6	0	12	4
Тема 2. Волновые пучки и квазимонохроматические процессы	18	6	6	0	12	6
Тема 3. Отражение и преломление электромагнитных волн	18	6	6	0	12	6
Тема 4. Электромагнитные волны в плавнонеоднородных средах	18	6	6	0	12	6
Тема 5. Электромагнитные волны в цилиндрических линиях передач	18	6	6	0	12	6
Тема 6. Полые резонаторы	18	6	6	0	12	6
Тема 7. Излучение ЭМ волн в однородной безграничной среде и в экранированных системах заданным распределением токов	18	6	6	0	12	6
Тема 8. Элементы теории дифракции ЭМ волн.	18	6	6	0	12	6
Аттестация	36					
КСР	2				2	
Итого	180	48	48	0	98	46

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает:

Разбор решения задач различной степени сложности, проведение обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в соответствующей области знаний. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

На проведение практических занятий (семинарских занятий /лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 12 ч.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

Применение знаний и умений при решении научно-исследовательских задач профессиональной деятельности

- компетенций:

ПК-2: Способен применять в научно-исследовательской деятельности профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин;

ПК-4: Способен использовать полученные профессиональные знания при реализации научно-исследовательских, научно-инновационных и практических проектов

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках: занятий семинарского типа, групповых консультаций, индивидуальных консультаций.

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

#### 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

##### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными недочетами, выполнены	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без

	ответа	ошибки.	объеме.	некоторые с недочетами.	недочетами.	все задания в полном объеме.	недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом . Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки.  Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки  при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки  при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки  при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения (согласно оценочным средствам табл.2)

### 5.2.1 Контрольные вопросы

Вопрос	Код формируемой компетенции
1. Распространение плоских волн в однородных анизотропных средах. Алгебраическая форма уравнений Максвелла. Поглощение волн. Дисперсионное уравнение. Поляризация нормальных волн.	ПК-2, ПК-4
2. Распространение плоских волн в однородных анизотропных средах. Анизотропный кристалл. Одноосный кристалл, трехосный кристалл. Эффект Коттона-Муттона.	ПК-2, ПК-4
3. Распространение плоских волн в однородных анизотропных средах. Гиротропные среды. Эффект Фарадея.	ПК-2, ПК-4
4. Распространение плоских волн в однородных анизотропных средах. Резонанс среды.	ПК-2, ПК-4
5. Волновые пучки. Малоугловое, параксиальное приближение для распространения волнового пучка.	ПК-2, ПК-4
6. Волновые пучки. Зона геометрической оптики. Зона Фраунгофера.	ПК-2, ПК-4
7. Волновые пучки. Диффузионная зона. Уравнение поперечной диффузии и его решение.	ПК-2, ПК-4
8. Волновые пучки. Распространение гауссова волнового пучка. Квазиоптическая линия передач.	ПК-2, ПК-4
9. Квазимонохроматические процессы. Среда с временной дисперсией. Связь между индукцией и напряженностью поля. Причинность. Соотношения Крамерса-Кроннига.	ПК-2, ПК-4
10. Квазимонохроматические процессы. Одномерный квазимонохроматический импульс в однородной среде с временной дисперсией. Групповая скорость, фазовая скорость, связь между групповой скоростью и потоком энергии.	ПК-2, ПК-4
11. Квазимонохроматические процессы. Плотность и поток энергии квазимонохроматического поля в среде с временной (и пространственной) дисперсией.	ПК-2, ПК-4
12. Квазимонохроматические процессы. Диффузионное уравнение для огибающей импульса, расплывание гауссова импульса.	ПК-2, ПК-4
13. Отражение и преломление волн. Постановка задачи. Коэффициент отражения от плоской границы раздела двух сред. Выражение коэффициента отражения через волновые импедансы.	ПК-2, ПК-4
14. Отражение и преломление волн. Уравнение на волновой импеданс. Формула пересчета импеданса и её использование для нахождения коэффициента отражения от слоистых сред.	ПК-2, ПК-4
15. Отражение и преломление волн. Наклонное падение. Угол Брюстера. Полное внутреннее отражение.	ПК-2, ПК-4
16. Отражение и преломление волн. Отражение от хорошо проводящей поверхности и условие Леонтовича.	ПК-2, ПК-4
17. Волны в плавнонеоднородных средах. Приближение геометрической оптики. Лучевое описание поля.	ПК-2, ПК-4
18. Волны в плавнонеоднородных средах. Уравнение эйконала. Лучевые трубки. Изменение амплитуды поля.	ПК-2, ПК-4
19. Волны в плавнонеоднородных средах. Случай плоскостной среды.	ПК-2, ПК-4

20. Волны в плавнонеоднородных средах. Характер поля около точки поворота. Функция Эйри.	ПК-2, ПК-4
21. Волны в цилиндрических линиях передач. Телеграфные уравнения.	ПК-2, ПК-4
22. Волны в цилиндрических линиях передач. Волны ТЕ, ТМ и ТЕМ типов (общие выражения для полей через продольные компоненты полей и продольные компоненты потенциала Герца), поперечное волновое уравнение.	ПК-2, ПК-4
23. Волны в цилиндрических линиях передач. Линии передач с идеально проводящими стенками. Граничные условия. Действительность поперечных волновых чисел. Условие существования главных волн (ТЕМ)	ПК-2, ПК-4
24. Волны в цилиндрических линиях передач. Распространяющиеся и нераспространяющиеся волны, критические частоты, вырождение волн, ортогональность волн в цилиндрических линиях передач.	ПК-2, ПК-4
25. Волны в цилиндрических системах передач. Затухание волн, вызванное потерями в среде заполняющий волновод, и в стенках волновода.	ПК-2, ПК-4
26. Волны в цилиндрических линиях передач. Волны в круглом и прямоугольном волноводах, спектр поперечных волновых чисел.	ПК-2, ПК-4
27. Волны в цилиндрических линиях передач. Возбуждение цилиндрических линий передач заданными источниками.	ПК-2, ПК-4
28. Полые резонаторы. Общая постановка задачи о собственных колебаниях в резонаторах. Равенство запасенной электрической и магнитных энергий.	ПК-2, ПК-4
29. Полые резонаторы. Спектр собственных частот в отсутствии поглощения. Ортогональность собственных мод резонатора. Спектр собственных частот прямоугольного резонатора.	ПК-2, ПК-4
30. Полые резонаторы. Потери, обусловленные поглощением в среде заполняющей резонатор и неидеальностью стенок. Добротность резонатора.	ПК-2, ПК-4
31. Полые резонаторы. Возбуждение колебаний в резонаторе. Резонанс.	ПК-2, ПК-4
32. Излучение ЭМ волн в однородной безграничной среде. Монохроматическое излучение точечного диполя. Структура поля в квазистационарной и волновой зонах. Диаграмма направленности.	ПК-2, ПК-4
33. Излучение ЭМ волн в однородной безграничной среде. Общее решение неоднородного волнового уравнения, запаздывающие и опережающие решения в среде без временной дисперсии.	ПК-2, ПК-4
34. Излучение ЭМ волн в однородной безграничной среде. Монохроматическое излучение произвольной системы токов в дальней зоне. Вектор излучения как пространственная фурье-компонента плотности тока. Излучение малого (по сравнению с длиной волны) объекта. Сопротивление излучения. Мультипольное излучение.	ПК-2, ПК-4
35. Излучение ЭМ волн в однородной безграничной среде. Излучение ЭМ волн заряженной частицей движущейся по заданному закону. Излучение частицы движущейся по окружности. Черенковское излучение.	ПК-2, ПК-4
36. Элементы теории дифракции ЭМ волн. Примеры точно-решаемых задач. Ряды Рэлея и Вотсона.	ПК-2, ПК-4

37. Элементы теории дифракции ЭМ волн. Примеры точно-решаемых задач. Дифракция на однородном диэлектрическом шаре - задача Ми.	ПК-2, ПК-4
38. Элементы Теории дифракции. Длинноволновое приближение. Томсоновское рассеяние.	ПК-2, ПК-4
39. Элементы теории дифракции ЭМ волн. Коротковолновое приближение. Принцип Гюйгенса для скалярных и векторных полей, поверхностные токи, эквивалентные полям, заданным на поверхности.	ПК-2, ПК-4
40. Элементы теории дифракции ЭМ волн. Принцип Бабинне для скалярных полей и принцип двойственности для векторных. Связь задач дифракции на отверстии и дополнительном к нему экране.	ПК-2, ПК-4
41. Элементы теории дифракции ЭМ волн. Метод «зеркальных токов». Простейшее приближение теории дифракции – геометрическая оптика.	ПК-2, ПК-4
42. Элементы теории дифракции ЭМ волн. Дифракция Френеля, дифракция на полуплоскости, область полутени.	ПК-2, ПК-4

## 5.2.2 Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

**Типовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-2, ПК-4:**

### Задача 1.1

Найдите показатели преломления и поляризации нормальных волн, распространяющихся под углом  $\theta$  к оптической оси, одноосного кристалла. Продольная по отношению к оптической оси диэлектрическая проницаемость равна  $\varepsilon_{\parallel}$ , а поперечная  $\varepsilon_{\perp}$ .

### Задача 1.2

В вакууме распространяется гауссов волновой пучок ( $E = A(z)e^{-r_{\perp}^2/2a(z)^2 + ik_0 z - i\omega t}$ ). Считая, что  $|ak_0| \gg 1$ , найти зависимости от координаты  $z$  комплексных величин  $A(z)$  и  $a(z)$ .

### Задача 1.3

Найти диаграмму направленности излучения системы из двух противоположно направленных электрических диполей  $\pm \vec{p}e^{-i\omega t}$  смещенных друг относительно друга на расстояние  $d \ll \frac{c}{\omega}$  в направлении ортогональном их дипольным моментам.

### Задача 2.1

Прямоугольный волновод возбуждается внешним источником через узкую щель, прорезанную в его узкой стенке. Как зависит мощность, излучаемая в волну типа  $TE_{10}$ , от угла наклона щели к продольному ребру волновода (длина щели и напряжение на ней фиксировано)?

### Задача 2.2

Конец двухпроводной линии с импедансом бегущей волны  $Z$  закорочен на сосредоточенное сопротивление  $R$ . Какая доля падающей мощности поглощается на этом сопротивлении.

### Задача 2.3

Плоская линейно-поляризованная электромагнитная волна с плотностью потока энергии  $S_0$  и частотой  $\omega$  падает на металлический шар с проводимостью  $\sigma \gg \omega$  и радиусом  $R \gg \frac{c}{\omega}$ , найти поглощаемую в шаре мощность.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

### **а) основная литература:**

- 1) Л.А. Вайнштейн Электромагнитные волны М.: Радио и связь, 1988. -440 с. -232 экз.
- 2) Джексон Дж. Классическая электродинамика (Перевод с английского Г. В. Воскресенского и Л. С. Соловьева. Под редакцией Э. Л. Бурштейна.) М.Ж Мир, 1965 -702 с. -32 экз.
- 3) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие. в 10 т. Т. 8. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. -624 с. -389 экз.
- 4) Р.Б. Ваганов, Б.З. Каценеленбаум Основы теории дифракции, М.: Наука Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982.-272 с. -22 экз
- 5) В.Б. Гильденбург, М.А. Миллер Сборник задач по Электродинамике, Изд. Второе дополненное, М.: Физматлит, 2001 -168 с.- 30 экз.
- 6) В.Б. Гильденбург, Е.В. Суворов Основы электродинамики, Нижний Новгород^ ИПФ РАН, 2008 (Деканат ВШОПФ) – 30 экз.

### **б) дополнительная литература:**

- 1) Л.А. Вайнштейн Открытые резонаторы и открытые волноводы, М.: Советское ра-дио 1966 - 475 с. -13 экз.

### **в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)**

- 1) Учебно-образовательная физико-математическая библиотека EqWorld Л.М.Бреховских Волны в слоистых средах <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Brexovskix1973ru.djvu>
- 2) Научная библиотека избранных естественно-научных изданий М.Борн, Э.Вольф Основы оптики [http://lib.alnam.ru/book\\_bor.php?id=1](http://lib.alnam.ru/book_bor.php?id=1)
- 3) Журнал “Успехи физических наук”, Генерация собственных мод заданным током в анизотропных и гиротропных средах И.Н. Топтыгин, Г.Д. Флейшман <http://ufn.ru/ru/articles/2008/4/c/>
- 4) Журнал “Успехи физических наук”, Излучение Вавилова — Черенкова для элек-трических и магнитных мультиполей И.М. Франк <http://ufn.ru/ru/articles/1984/10/c/>
- 5) Журнал “Успехи физических наук”, Дифракция и дифракционное излучение Б.М.Болотовский, Е.А. Галстьян <http://ufn.ru/ru/articles/2000/8/a/>

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечены доступом в электронную

информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО/ОС ННГУ по направлению 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): Е.Д.Господчиков

Заведующий кафедрой:

Программа одобрена на заседании методической комиссии  
ВШОПФ от 30.06.2021, протокол № 3.