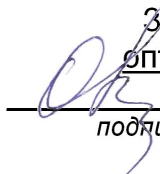


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
оптики и спектроскопии
 (Овчинников О.В.)
подпись, расшифровка подписи

14. 06. 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.05.02 Фотонные кристаллы

Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом

1. Шифр и наименование направления подготовки/специальности:
12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика
2. Профиль подготовки/ специализация/ магистерская программа:
Фотоника и оптоинформатика
3. Квалификация (степень) выпускника:
Высшее образование (бакалавр)
4. Форма образования: Очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:
кафедра оптики и спектроскопии
6. Составители программы: Кондратенко Тамара Сергеевна, кандидат физико-математических наук
7. Рекомендована: НМС физического ф-та ВГУ протокол № 6 от 13.06.2024
(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола)
8. Учебный год: 2027/2028 Семестр(-ы): 7

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения учебной дисциплины являются: формирование у студентов знаний о структуре и свойствах периодических структур, рассмотрение основных применений фотонных кристаллов в устройствах фотоники.

Задачи учебной дисциплины:

- изучить физические основы периодических структур;
- рассмотреть распространение электромагнитных волн в периодических средах;
- сформировать знания об одномерных периодических средах, периодических слоистых средах, фотонных кристаллах и их зонной структуре;
- рассмотреть распространение света в фотонных кристаллах.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: часть, формируемая участниками образовательных отношений, дисциплины по выбору (Б1.В.ДВ.5), блок Б1.

11. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

| Код | Название компетенции | Код(ы) | Индикатор(ы) | Планируемые результаты обучения |
|------|--|--------|--|--|
| ПК-1 | Способен оценивать условия и режимы эксплуатации разрабатываемой оптоэлектронной техники, оптических и оптоэлектронных приборов и комплексов | ПК-1.1 | Согласует условия и режимы эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оптоэлектронной техники, оптических и оптоэлектронных приборов и комплексов | Знать: условия и режимы эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оптоэлектронной техники, оптических и оптоэлектронных приборов и комплексов. Уметь: согласовывать условия и режимы эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оптоэлектронной техники, оптических и оптоэлектронных приборов и комплексов. Владеть: навыками определения условий и режимов эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оптоэлектронной техники, оптических и оптоэлектронных приборов и комплексов |
| | | ПК-1.2 | Определяет требования к параметрам разрабатываемой оптоэлектронной техники | Знать: требования к параметрам разрабатываемой оптоэлектронной техники. Уметь: определять требования к параметрам разрабатываемой оптоэлектронной техники. Владеть: навыками определения требований к параметрам разрабатываемой оптоэлектронной техники. |
| | | ПК-1.3 | Осуществляет поиск и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта об изделиях аналогов разрабатываемой оптоэлектронной техники, оптических и оптоэлектронных приборов и комплексов | Знать: принципы поиска научно-технической информации об изделиях аналогов разрабатываемой оптоэлектронной техники и оптоэлектронных приборов и комплексов. Уметь: анализировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт об изделиях аналогов. Владеть: навыками осуществления поиска и анализа научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта об изделиях аналогов разрабатываемой оптоэлектронной техники, оптических и оптоэлектронных приборов и комплексов. |
| | | ПК-1.4 | Оформляет научно- | Знать: результаты разработки |

| | | | | |
|------|---|--------|--|--|
| | | | технические отчеты о результатах разработки оптоэлектронных приборов и комплексов | оптоэлектронных приборов и комплексов. Уметь: оформлять научно-технические отчеты о результатах разработки оптоэлектронных приборов и комплексов. Владеть: навыками оформления научно-технических отчетов. |
| ПК-6 | Способен создавать базы данных о физических свойствах и технологических особенностях наноструктурных материалов | ПК-6.1 | Осуществляет подготовку реестра допустимых значений физических воздействий на прошедшие испытания материалы и комплектующие для разработки технологических процессов | Знать: перечень допустимых значений физических воздействий. Уметь: осуществлять подготовку реестра допустимых значений физических воздействий на прошедшие испытания материалы и комплектующие для разработки технологических процессов. Владеть: навыками подготовки реестров. |
| | | ПК-6.2 | Определяет степень достоверности результатов экспериментальных исследований и составление реестра параметров наноструктурных материалов | Знать: принципы определения степени достоверности результатов экспериментальных исследований. Уметь: составлять реестр параметров наноструктурных материалов. Владеть: навыками определения степени достоверности результатов экспериментальных исследований. |

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.(в соответствии с учебным планом) — 6/216.

Форма промежуточной аттестации: экзамен

13. Виды учебной работы:

| Вид учебной работы | | Трудоемкость | |
|--|--------------|--------------|--------------|
| | | Всего | По семестрам |
| | | | № 7 |
| Аудиторные занятия | | 90 | 90 |
| в том числе: | лекции | 52 | 52 |
| | практические | 38 | 38 |
| | лабораторные | | |
| Самостоятельная работа | | 90 | 90 |
| в том числе: курсовая работа (проект) | | | |
| Форма промежуточной аттестации <i>Зачет с оценкой</i> | | 36 | 36 |
| Итого: | | 216 | 216 |

13.1 Содержание дисциплины:

| п/п | Наименование раздела | Содержание раздела дисциплины |
|-----|----------------------|-------------------------------|
|-----|----------------------|-------------------------------|

| дисциплины | | |
|-------------------------|---|--|
| 1. Лекции | | |
| 1.1 | Введение в физику периодических структур. Фотонные кристаллы. | Периодические структуры. Фотонная кристаллическая решетка. Основные представления о фотонных кристаллах, их применение. |
| 1.2 | Распространение электромагнитных волн в периодических средах. | Основные понятия и уравнения. |
| 1.3 | Одномерные периодические среды. | Выражение для Блоховских мод электромагнитного поля, вывод закона дисперсии. |
| 1.4 | Периодические слоистые среды. | Блоховские волны и зонная структура. Брэгговское отражение. Теория связанных мод. |
| 1.5 | Фотонные кристаллы. Зонная структура фотонных кристаллов. | Твердотельные аналогии. Плотность мод электромагнитного поля. Закон дисперсии и зонная структура фотонных кристаллов. Фотонная запрещенная зона. |
| 1.6 | Модели, описывающие запрещенные фотонные зоны | Одномерный случай фотонной запрещенной зоны. Трехмерный случай фотонной запрещенной зоны. |
| 1.7 | Распространение света в фотонных кристаллах. | Спектр отражения и пропускания одномерных фотонных кристаллов. Оптический отклик фотонных кристаллов. |
| 1.8 | Резонансные и нелинейные фотонные кристаллы. | Спектральные свойства одномерного резонансного фотонного кристалла. Одномерные резонансные фотонные кристаллы с дефектом. |
| 1.9 | Изготовление фотонных кристаллов | Методы, использующие самопроизвольное формирование фотонных кристаллов. Методы травления. Голографические методы. Другие методы создания фотонных кристаллов. |
| 2. Практические занятия | | |
| 2.1 | Практическая работа №1. | Одномерный фотонный кристалл. |
| 2.2 | Практическая работа №2. | Практическая работа: «Получение запрещенных зон для фотонного кристалла с использованием дисперсионного уравнения и матриц передачи в заданном диапазоне длин волн». |
| 2.3 | Практическая работа №3. | Методики изготовления фотонных кристаллов. |

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Виды занятий (часов) | | | | | Всего |
|-------|---|----------------------|--------------|--------------|------------------------|----------|-------|
| | | Лекции | Практические | Лабораторные | Самостоятельная работа | Контроль | |
| 1. | Введение в физику периодических структур. Фотонные кристаллы. | 4 | | | 4 | 2 | 10 |
| 2. | Распространение электромагнитных волн в периодических средах. | 6 | | | 7 | 4 | 17 |
| 3. | Одномерные периодические среды. | 6 | | | 12 | 3 | 21 |
| 4. | Периодические слоистые среды. | 8 | | | 8 | 4 | 20 |
| 5. | Фотонные кристаллы. Зонная структура фотонных кристаллов. | 5 | | | 6 | 2 | 13 |
| 6. | Модели, описывающие запрещенные фотонные зоны | 6 | | | 8 | 3 | 17 |

| | | | | | | | |
|----|--|----|----|--|----|----|-----|
| 7. | Распространение света в фотонных кристаллах. | 6 | | | 8 | 4 | 18 |
| | Резонансные и нелинейные фотонные кристаллы. | 5 | | | 8 | 3 | 16 |
| | Изготовление фотонных кристаллов | 6 | | | 9 | 4 | 19 |
| | Практическая работа №1. | | 12 | | 5 | 3 | 20 |
| | Практическая работа №2. | | 12 | | 8 | 2 | 22 |
| | Практическая работа №3. | | 14 | | 6 | 2 | 22 |
| | Итого | 52 | 38 | | 90 | 36 | 216 |

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

- Работа с текстом конспекта лекции.
- Чтение основной и дополнительной литературы. Самостоятельное изучение материала по литературным источникам.
- Подготовка к практическим занятиям.
- Подготовка рефератов.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

| № п/п | Источник |
|-------|--|
| 1. | Голенищев-Кутузов, А.В. Фотонные и фононные кристаллы / А.В. Голенищев-Кутузов, В.А. Голенищев-Кутузов, Р.И. Калимуллин. - М. :Физматлит, 2010. - 159 с. - ISBN 978-5-9221-1218-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: https://biblioclub.lib.vsu.ru/index.php?page=book&id=68872 |
| 2. | Манцызов, Б.И. Когерентная и нелинейная оптика фотонных кристаллов / Б.И. Манцызов. - М. :Физматлит, 2009. - 208 с. - ISBN 978-5-9221-1201-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: https://biblioclub.lib.vsu.ru/index.php?page=book&id=68404 |
| 3. | Козлов, А. А. Фотонные кристаллы из полимерных микросфер : методические указания / А. А. Козлов, А. С. Аксенов. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/182499 |

б) дополнительная литература:

| № п/п | Источник |
|-------|--|
| 4. | Фотонные кристаллы и наноконпозиты: структурообразование, оптические и диэлектрические свойства : монография / под ред. В.Ф. Шабанова, В.Я. Зырянова. - Новосибирск : Сибирское отделение Российской академии наук, 2009. - 257 с. - (Интеграционные проекты СО РАН; вып. 21). - ISBN 978-5-7692-1096-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=98005 |
| 5. | Слабоустойчивые длиннопериодические структуры в металлических системах / А.И. Потеекаев, С.В. Дмитриев, В.В. Кулагина и др. ; под ред. А.И. Потеекаева. - Томск : Издательство "НТЛ", 2010. - 308 с. - ISBN 978-5-89503-458-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=201926 |

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

| № п/п | Ресурсы Интернет |
|-------|---|
| 6. | Электронный каталог ЗНБ ВГУ https://www.lib.vsu.ru/ |
| 7. | ЭБС "Издательства "Лань" https://e.lanbook.com |
| 8. | ЭБС "Университетская библиотека online" https://biblioclub.lib.vsu.ru |
| 9. | Национальный цифровой ресурс "РУКОНТ" https://rucont.ru |

16. Учебно-методическое обеспечение для организации самостоятельной работы:

| № п/п | Источник |
|-------|---|
| 1 | Учебно-методические указания к практическим занятиям дисциплины "Фотонные |

| | |
|---|---|
| | <i>кристаллы".</i> |
| 2 | <i>Электронный учебный курс "Фотонные кристаллы".</i> |

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекционные и практические занятия. Преобладающими методами и приемам обучения являются: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ – демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Организационная структура лекционного занятия: 1. Формулировка темы, целей занятия, постановка проблемного вопроса. 2. Разъяснение вопросов теоретического и практического плана для решения поставленной проблемы. 3. Рассмотрение путей решения проблемного вопроса на конкретных примерах. 4. Заключение, формулировка выводов. 5. Формулировка задания для самостоятельной домашней работы. Озвучивание темы следующего занятия.

Текущий контроль проводится путем проверки выполнения домашнего задания, входного контроля (в виде самостоятельных и контрольных работ, докладов и рефератов).

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «МООК ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton, Zoom, Discord и др.), электронная почта, мессенджеры и соцсети.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Ноутбук Asus, с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ВГУ, Проектор BenQ MS 612ST, Доска магнитно-маркерная 100*200. Программное обеспечение: ОС Windows (WinPro 8 RUS Upgrd OLP NL Acdmc), Microsoft Office (OfficeSTD 2013 RUS OLP NL Acdmc). Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат.ВУЗ». Office Standard 2019 Single OLV NL Each AcademicEdition Additional Product. Программный комплекс для ЭВМ - MathWorks. Система инженерного моделирования ANSYS HF Academic Research.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ" (<https://edu.vsu.ru>).

19. Фонд оценочных средств:

19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

| Код и содержание компетенции (или ее части) | Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков) | Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование) | ФОС* (средства оценивания) |
|---|--|---|----------------------------|
|---|--|---|----------------------------|

| | | | |
|--|--|--------------------|------------|
| <p>ПК-1.1. Согласует условия и режимы эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов</p> | <p>Знать: условия и режимы эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. Уметь: согласовывать условия и режимы эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. Владеть: навыками определения условий и режимов эксплуатации, конструктивных особенностей разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов</p> | <p>Все разделы</p> | <p>КИМ</p> |
| <p>ПК-1.2. Определяет требования к параметрам разрабатываемой оплотехники</p> | <p>Знать: требования к параметрам разрабатываемой оплотехники. Уметь: определять требования к параметрам разрабатываемой оплотехники. Владеть: навыками определения требований к параметрам разрабатываемой оплотехники.</p> | <p>Все разделы</p> | <p>КИМ</p> |
| <p>ПК-1.3. Осуществляет поиск и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта об изделиях аналогах разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов</p> | <p>Знать: принципы поиска научно-технической информации об изделиях аналогах разрабатываемой оплотехники и оптико-электронных приборов и комплексов. Уметь: анализировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт об изделиях аналогах. Владеть: навыками осуществления поиска и анализа научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта об изделиях аналогах разрабатываемой оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов.</p> | <p>Все разделы</p> | <p>КИМ</p> |
| <p>ПК-1.4. Оформляет научно-технические отчеты о результатах разработки оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов</p> | <p>Знать: результаты разработки оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. Уметь: оформлять научно-технические отчёты о результатах разработки оплотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. Владеть: навыками оформления научно-технических отчётов.</p> | <p>Все разделы</p> | <p>КИМ</p> |
| <p>ПК-6.1. Осуществляет подготовку реестра допустимых значений физических воздействий на прошедшие испытания материалы и комплектующие для разработки технологических процессов</p> | <p>Знать: перечень допустимых значений физических воздействий. Уметь: осуществлять подготовку реестра допустимых значений физических воздействий на прошедшие испытания материалы и комплектующие для разработки технологических процессов. Владеть: навыками подготовки реестров.</p> | <p>Все разделы</p> | <p>КИМ</p> |

| | | | |
|---|--|-------------|-----|
| ПК-6.2. Определяет степень достоверности результатов экспериментальных исследований и составление реестра параметров наноструктурных материалов | Знать: принципы определения степени результатов экспериментальных исследований. Уметь: составлять реестр параметров наноструктурных материалов. Владеть: навыками определения степени достоверности результатов экспериментальных исследований. | Все разделы | КИМ |
| Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен | | | КИМ |

19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Для оценивания результатов обучения на зачете с оценкой используются следующие показатели (ЗУНы из 19.1):

- 1) знание учебного материала, владение понятийным аппаратом и теоретическими основами дисциплины;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение описывать основные характеристики спектральных приборов;
- 4) владение знаниями о теоретических основах и современных методах молекулярной спектроскопии.

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

| Критерии оценивания компетенций | Уровень сформированности компетенций | Шкала оценок |
|---|--------------------------------------|----------------------------|
| <i>Посещение лекционных занятий. Ответ на вопрос контрольно-измерительного материала во время зачета. Ответы на дополнительные вопросы. Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами дисциплины, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач.</i> | <i>Повышенный уровень</i> | <i>Отлично</i> |
| <i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует одному (двум) из перечисленных показателей, но обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы. Недостаточно продемонстрировано теоретических основ дисциплины.</i> | <i>Базовый уровень</i> | <i>Хорошо</i> |
| <i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым двум(трем) из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Имеет не полное представление о теоретических основах., допускает существенные ошибки.</i> | <i>Пороговый уровень</i> | <i>Удовлетворительно</i> |
| <i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем(четырем) из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки.</i> | <i>–</i> | <i>Неудовлетворительно</i> |

19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

19.3.1 Перечень вопросов к экзамену:

1. Понятие о периодических структурах.
2. Основные понятия и уравнения для периодических структур.
3. Выражение для Блоховских мод электромагнитного поля
4. Вывод закона дисперсии.
5. Блоховские волны и зонная структура.
6. Брэгговское отражение.
7. Теория связанных мод.
8. Твердотельные аналогии.
9. Плотность мод эл.магн. поля.
10. Закон дисперсии и зонная структура фотонных кристаллов.
11. Спектр отражения и пропускания одномерных фотонных кристаллов.
12. Оптический отклик фотонных кристаллов.

19.3.6 Темы рефератов:

1. Периодические структуры и их основные параметры.
2. Распространение электромагнитных волн в периодических структурах.
3. Аналогия между описанием свойств электронов в кристаллах и описанием свойств распространения электромагнитных волн в периодических структурах.
4. Фотонные кристаллы как пример периодических структур.
5. Зонная структура фотонных кристаллов.
6. Применения периодических структур и фотонных кристаллов.

19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: устного опроса (индивидуальный опрос, фронтальная беседа); тестирования; оценки результатов практической деятельности. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний.

При оценивании используется качественная шкала оценок. Критерии оценивания приведены выше.

Форма контрольно-измерительного материала

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой оптики и спектроскопии

_____ Овчинников О.В.
подпись, расшифровка подписи

___. ___. 2021 __

Направление подготовки / специальность 12.03.03 - Фотоника и оптоинформатика

Дисциплина Фотонные кристаллы

Форма обучения очная

Вид контроля зачет с оценкой

Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал №1

1. Понятие о периодических структурах.
2. Теория связанных мод.

Преподаватель _____ Кондратенко Т.С.
подпись *расшифровка подписи*

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой оптики и спектроскопии

_____ Овчинников О.В.
подпись, расшифровка подписи

___. ___. 2021 __

Направление подготовки / специальность 12.03.03 - Фотоника и оптоинформатика

Дисциплина Фотонные кристаллы

Форма обучения очная

Вид контроля зачет с оценкой

Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал №2

1. Основные понятия и уравнения для периодических структур.
2. Теория связанных мод.

Преподаватель _____ Кондратенко Т.С.
подпись *расшифровка подписи*