

**ВОПРОСЫ**  
к экзамену по курсу  
**ФИЗИКА ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ**  
(факультет ВМК, III курс, 2019/2020 учебный год)

1.1.–1.4. Волновое уравнение и его решение в виде бегущей волны. (КД "Волны. Отражение и преломление". Раздел "Волны". "Бегущая волна"). Параметры волнового процесса (длина волны, волновое число, частота, период, фазовая скорость) и соотношения между ними. Продольная и поперечная волна. Волновой фронт. Плоская, цилиндрическая, сферическая волны.

1.5. Понятие волны. Физическая интерпретация условия устойчивости разностных схем бегущего счёта для волнового уравнения. Максимальная скорость переноса возмущений по сетке.

2.1. Система уравнений гидродинамики, граничные условия. Волна сжатия-растяжения в стержне (КД "Волны. Отражение и преломление". Раздел "Стержень"). Приближение сплошной среды.

2.2. Приближение линейной акустики. Вывод уравнения для звуковых волн. Потенциал скорости. Скорость звука в воздухе и воде. (КД "Волны. Отражение и преломление". Раздел "Стержень"). Диапазон звуковых частот. Ультразвук и его применение в медицине.

2.3. Условия на границе раздела для акустических волн. Импеданс среды. Коэффициенты отражения и прохождения. Отражение с "потерей полуволны". (КД "Волны. Отражение и преломление". Раздел "Стержень").

2.4, 2.5. Поток и объёмная плотность акустической энергии. Интенсивность. Порог слышимости. Болевой порог. Шкала децибел. Численные оценки для смещения, скорости, давления. (КД "Характеристики акустических волн").

3.1, 3.5. Электромагнитные волны. Вывод волнового уравнения из уравнений Максвелла. Скорость света. Показатель преломления. Шкала электромагнитных волн. Длина волны в видимой части спектра и в диапазоне сотовой связи (КД "Шкала электромагнитных волн").

3.2. Поперечность электромагнитной волны в свободном пространстве, как следствие уравнений Максвелла (Вывод). Ориентация векторов  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{H}$ ,  $\mathbf{k}$ . (КД "Волны. Отражение и преломление". Раздел "Волны". "Бегущая электромагнитная волна").

3.3, 3.6. Энергия электромагнитной волны. Уравнения Максвелла. Плотность потока энергии, объёмная плотность энергии. Интенсивность излучения. Солнечная постоянная. Энергетический баланс солнечного излучения в атмосфере. Климат Земли. Парниковый эффект.

3.4. Давление электромагнитной волны. Волновой механизм возникновения давления. Зависимость давления от коэффициента отражения.

4.1. Нормальное падение электромагнитной волны на границу раздела двух сред. Период и длина волны на границе раздела.

4.2. Электро-механическая аналогия в теории волн.

4.3, 4.4. Законы отражения и преломления. Полное внутреннее отражение. (КД "Волны. Отражение и преломление. Раздел "Отражение и преломление поляризованного излучения").

4.3, 4.5. Законы отражения и преломления. Земная рефракция. Радуга, (КД "Волны. Отражение и преломление". Раздел "Радуга"). Рефракция звука в океане. Подводный звуковой канал (КД "Волны. Отражение и преломление". Раздел "Подводный звуковой канал").

4.4, 4.6. Полное внутреннее отражение. Волоконная оптика, (КД "Волны. Отражение и преломление". Раздел "Световод"). Волоконно-оптические линии связи. Скорость передачи информации. WDM-технология. Волоконные световоды в медицине.

4.7. Поляризация электромагнитных волн. Линейная, эллиптическая, круговая поляризация (КД "Волны. Отражение и преломление". Раздел "Волны". "Поляризация электромагнитной волны"). Естественный свет.

4.8, 4.9. Отражение и преломление поляризованных волн. Формулы Френеля. Поляризационные эффекты на границе раздела. Угол Брюстера (КД "Волны. Отражение и преломление". Раздел "Отражение и преломление поляризованного излучения").

4.10, 4.11, 4.12. Распространение электромагнитных волн в кристаллах. Двулучепреломление. Построения Гюйгенса для волнового фронта. (КД "Волны. Отражение и преломление". Раздел "Эффект двулучепреломления"). Принцип работы ЖК дисплеев (КД "ЖК дисплей").

5.1, 5.2. Способы передачи информации волной. Биения, амплитудная модуляция, частотный спектр сигнала с амплитудной модуляцией по гармоническому закону и его зависимость от параметров сигнала. (КД "Спектральный анализ". Разделы "Спектры", "Построение сигнала по спектру"). Радиовещание в АМ и FM диапазонах.

5.3, 5.4. Суперпозиция эквидистантных гармоник. Амплитуда квазигармонического сигнала при конечном и бесконечном числе гармоник. Опыт с маятниками. Теорема о ширине частотной полосы. (КД "Маятники Чеботаяева").

6.1. Спектр периодического сигнала. Спектр последовательности прямоугольных периодических импульсов. Влияние длительности импульса и периода следования на спектр, Формирование сигнала из гармоник. Осцилляции Гиббса. (КД "Спектральный анализ". Раздел "Спектры". "Спектр периодического сигнала", "Формирование прямоугольного сигнала")

6.2. Спектр одиночного импульса. Предельный переход от дискретного спектра к сплошному. Интеграл Фурье. Спектр прямоугольного импульса. Длительность импульса и ширина его спектра (КД "Спектральный анализ". Раздел "Спектры". "Спектр периодического сигнала"), (КД "Построение сигнала по спектру").

6.3, 6.4. Спектральная плотность мощности. Энергетическая ширина спектра. Теорема Планшереля. Связь формы импульса и ширины спектра, (КД "Влияние формы импульса на его спектр").

6.6. Свойства преобразования Фурье: формулы запаздывания, смещения, свертки.

7.1, 7.3, 7.4. Дискретное преобразование Фурье. Функция дискретного аргумента и ее спектр. Периодизация спектра. Частота Найквиста. Наложение частот. Формулы дискретного преобразования Фурье. Взаимосвязь функции и спектра при дискретизации на сетке. (КД "Спектральный анализ". Раздел "Теорема Котельникова–Шеннона". "Восстановление сигнала по спектру ДПФ").

7.2, 7.3. Восстановление сигнала по его дискретным отсчетам. Формула Котельникова–Шеннона. (КД "Спектральный анализ". Раздел "Теорема Котельникова–Шеннона"). Частота Найквиста. Осцилляции Гиббса. Взаимосвязь функции и спектра при дискретизации на сетке.

7.3, 7.4. Формулы дискретного преобразования Фурье. Вывод ортогональности гармоник. Свойства дискретного преобразования Фурье: формулы запаздывания, смещения, свертки. Взаимосвязь функции и спектра при дискретизации на сетке. (КД "Спектральный анализ". Раздел "Теорема Котельникова–Шеннона". "Восстановление сигнала по спектру ДПФ").

7.5, 7.6. Свойства дискретного преобразования Фурье. Выбор шага сетки и области периодизации при ДПФ. Спектральная фильтрация импульсов и изображений (КД "Спектральный анализ". Разделы "Спектральная фильтрация 1", "Спектральная фильтрация 2").

8.1, 8.4. Пространственная и временная дисперсия. Нормальная и аномальная дисперсия. Формула Рэлея. Зависимости частоты от волнового числа и показателя преломления от длины волны. (КД "Дисперсия в скрещенных призмах").

8.2, 8.3. Первое приближение теории дисперсии. Волновой пакет. Групповая скорость. Уравнение переноса для огибающей пакета. Бегущее время.

8.5. Второе приближение теории дисперсии. Расплывание волнового пакета и его иллюстрация на КД "Дисперсия". Параболическое уравнение дисперсии для амплитуды. Решение для Гауссова импульса. Дисперсионная длина. (КД "Волновая оптика. Лазер". Разделы "Распространение электромагнитного импульса в среде с дисперсией", "Распространение импульса в среде с нормальной и аномальной дисперсией"). Влияние дисперсии на скорость передачи информации в ВОЛС.

9.1. Волны в цепочках. Дисперсионное уравнение. Длинноволновое приближение. Полоса прозрачности. Движение в цепочке при частотах внутри и вне полосы прозрачности. (КД "Волновая оптика. Лазер". Раздел "Пространственная дисперсия в цепочке масс").

9.2. Дисперсия разностной схемы волнового уравнения. Цепочка как физический аналог разностной схемы. Частота Найквиста и верхняя граница полосы прозрачности цепочки. (КД "Волновая оптика. Лазер". Раздел "Цепочки").

10.1–10.2. Электронная теория дисперсии. Нормальная и аномальная дисперсия электромагнитных волн. Линии поглощения. (КД "Волновая оптика. Лазер". Раздел "Распространение импульса в среде с нормальной и аномальной дисперсией", КД "Электронная теория дисперсии 2").

10.3. Дисперсия в плазме. Плазменная частота. Распространение волн УКВ-диапазона в атмосфере Земли. (КД "Электронная теория дисперсии 2").

11.1, 11.2. Двухлучевая интерференция. Суперпозиция плоских волн, ширина интерференционной полосы. Условия интерференционного максимума и минимума. Интерференция волн от двух точечных источников, (КД "Волновая оптика. Лазер", Раздел "Двухлучевая интерференция").

11.3, 11.4. Интерференция в тонких пленках. Линии равной толщины. Цвета тонких пленок. Просветление оптики. (КД "Просветляющее покрытие"). Интерферометр Майкельсона. Открытие гравитационных волн. LIGO.

11.5. Стоячие волны; узлы и пучности. Изменение напряженности полей, плотности и потока энергии в электромагнитной стоячей волне. (КД "Волны. Отражение и преломление. Раздел "Волны". "Бежущая и стоячая волна. Стоячая э/м волна").

12.1. Интерференция квазимонохроматических волн. Условие возникновения интерференционной картины. Понятие о когерентности.

12.2. Когерентность волн и видимость интерференционной картины. Степень когерентности. (КД "Волновая оптика. Лазер". Раздел "Когерентность"). Связь распределения интенсивности в интерференционной картине и степени когерентности.

12.3. Время когерентности. Время когерентности и длительность цуга спонтанного излучения атома, (КД "Волновая оптика. Лазер". Раздел "Когерентность"). Длина когерентности и ширина спектра излучения.

12.4. Теорема Винера–Хинчина (без вывода). Понятие о Фурье-спектроскопии, Влияние шага измерений и длины выборки. (КД "Волновая оптика. Лазер". Раздел "Фурье-спектроскопия")

13.1, 13.2. Многолучевая интерференция волн от цепочки синфазных источников. Ширина главных максимумов. Разрешающая способность. Антенные решетки. Угловое разрешение. Диаграмма направленности и ее сканирование. (КД "Волновая оптика. Лазер". Раздел "Антенные решетки").

13.3. Многолучевая интерференция волн от цепочки синфазных источников. Ширина главных максимумов, Спектральные приборы. Эталон Фабри–Перо. Разрешающая способность (КД "Волновая оптика. Лазер". Раздел "Интерферометр Фабри–Перо").

14.1–14.3. Математическая формулировка задачи дифракции. Логика приближений в теории дифракции: уравнение Гельмгольца, интеграл Гельмгольца–Кирхгофа, условие излучения, приближения Кирхгофа. Формула Гельмгольца–Кирхгофа.

14.3, 14.4. Приближения Кирхгофа в теории дифракции. Формула Гельмгольца–Кирхгофа. Оптическое приближение. Формула Френеля–Кирхгофа.

14.5. Формула Френеля–Кирхгофа и принцип Гюйгенса–Френеля. Анализ дифракции на отверстии с помощью зон Френеля, (КД "Волновая оптика. Лазер". Раздел "Дифракция. Зоны Френеля"). Пятно Пуассона, (КД "Волновая оптика. Лазер". Раздел "Дифракция на круглом отверстии и на диске").

14.6. Дифракция Френеля. Параксиальное (приосевое) приближение. Параболическое уравнение дифракции.

14.7. Эффект Тальбо. Расстояние Тальбо для одномерных структур (КД "Волновая оптика. Лазер". Разделы "Эффект Тальбо (вариант 1)" и "Эффект Тальбо (вариант 2)").

15.1. Дифракция Фраунгофера (дифракция плоских волн). Угловой спектр плоских волн.

15.2. Дифракция на щели, прямоугольном и круглом отверстиях. Дифракционная расходимость. (КД "Волновая оптика. Лазер". Раздел "Дифракция", КД "Дифракция Фраунгофера на разных отверстиях").

15.3. Пространственно-временная аналогия, частотный спектр импульса и пространственный спектр при дифракции Фраунгофера на щели. Теорема о ширине спектра.

15.4. Ближняя и дальняя зоны дифракции. Приближение геометрической оптики. Число зон Френеля в отверстии для различных приближений теории дифракции (КД "Волновая оптика. Лазер". Раздел "Эффект Тальбо-2 "Ковер дифракции").

15.5. Дифракционная решетка. Основные минимумы, главные максимумы и их ширина. Разрешающая способность, (КД "Волновая оптика. Лазер". Дифракционная решетка)

15.7. Голография. Принцип записи и восстановление голографических изображений. Роль когерентности света при записи голограмм (КД "Голография").

16.1, 16.2. Излучение атома, Модель Томсона, Атом Бора. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучение

16.3. Когерентное усиление, обратная связь, условие генерации. Принцип работы и схема лазера. Свойства лазерного излучения. (КД "Волновая оптика. Лазер". Раздел "Принципы работы лазера").

16.4 - 16.6, Схема лазерных уровней. Накачка. Типы лазеров и их характеристики. Применение лазеров, Управляемый термоядерный синтез. (КД "Волновая оптика. Лазер". Раздел "Принципы работы лазера").

## Контрольные вопросы

(уровень знаний, необходимый, но **недостаточный** для сдачи экзамена)

1. Волновое уравнение и его решение в виде бегущей волны. Соотношения между параметрами волнового процесса (длина волны, волновое число, частота, период, фазовая скорость).
2. Акустические волны. Формула для скорости звука в воздухе и ее величина. Порог слышимости. Характерные значения силы звука в децибелах.
3. Шкала электромагнитных волн. Длины волн, соответствующие компонентам видимого спектра. Скорость света в вакууме и материальных средах.
4. Волновой механизм возникновения давления электромагнитных волн. Формула для давления света.
5. Законы отражения и преломления. Полное внутреннее отражение. Ход лучей в оптическом волокне.
6. Формулы преобразования Фурье. Дискретный и сплошной спектр Фурье. Свойства преобразования Фурье.
7. Теорема о ширине частотной полосы. Спектр уединенного прямоугольного импульса и периодической последовательности таких импульсов.
8. Формулы дискретного преобразования Фурье. Периодизация спектра. Частота Найквиста. Наложение частот.
9. Формула Котельникова–Шеннона.
10. Определение дисперсии. Групповая скорость. Первое и второе приближения теории дисперсии. Влияние дисперсии на скорость передачи информации в оптических линиях связи.
11. Пространственная дисперсия в цепочке. Дисперсия разностной схемы для волнового уравнения.
12. Определение понятия интерференции. Время и длина когерентности. Ширина полос для интерференции плоских волн.
13. Теорема Винера–Хинчина.
14. Угловое распределение интенсивности при многолучевой интерференции. Ширина максимума.
15. Определение явления дифракции. Смысл приближений Кирхгофа.
16. Метод зон Френеля в решении задач дифракции.
17. Эффект Тальбо.
18. Распределение интенсивности света при дифракции на щели. Дифракционная расходимость.
19. Определение размеров отверстий и расстояний для ближней и дальней зон дифракции и приближения геометрической оптики.
20. Принципиальная схема лазера. Свойства лазерного излучения.

### Примечание

Пакет программ "Физика волновых процессов" с компьютерными демонстрациями размещен на сайте кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ <http://ofvr.phys.msu.ru> (закладка "Наука и учеба"; закладка "Лекции и практикумы" (выбрать "Физика волновых процессов"); закладка "Ссылка по теме").