

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Мовчан Арина

13ДЗ-25-1

Что такое электромагнитная волна?

Электромагнитная волна — это колебания взаимосвязанных электрического (E) и магнитного (B) полей, которые распространяются в пространстве со скоростью света ($\sim 3 \cdot 10^8$ м/с в вакууме), перенося энергию и импульс.

Ключевые характеристики:

Параметр	Описание
Природа	Поперечная волна (векторы E и B перпендикулярны направлению распространения)
Скорость в вакууме	$c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с (скорость света)
Не требует среды	Распространяется даже в вакууме
Переносит энергию	За счёт потока Умова–Пойнтинга

Как возникает электромагнитная волна?

Электромагнитная волна возникает при **ускоренном движении электрических зарядов**.

Основные механизмы возникновения:

1. Колебания зарядов в антенне

→ Переменный ток в проводнике создаёт изменяющееся электромагнитное поле.

2. Переход электронов в атомах

→ При переходе между энергетическими уровнями атом излучает фотон (квант ЭМ-волны).

3. Тормозное излучение

→ Заряженная частица, тормозясь в веществе, излучает ЭМ-волны (рентгеновское излучение).

4. Синхротронное излучение

→ Заряженные частицы, движущиеся с ускорением в магнитном поле.

Как распространяется электромагнитная волна?

Механизм распространения:

Изменяющееся E-поле \rightarrow создаёт B-поле \rightarrow создаёт E-поле \rightarrow и т.д.

Основные законы распространения:

1. **Прямолинейность** (в однородной среде)
2. **Отражение и преломление** на границе сред (законы Снеллиуса)
3. **Интерференция и дифракция** (волновые свойства)
4. **Поляризация** (ориентация вектора E)
5. **Затухание** в поглощающих средах

Скорость распространения:

- В вакууме: $c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0} \approx 3 \cdot 10^8$ м/с
- В среде: $v = c/n$, где n — показатель преломления среды

Уравнения Максвелла (кратко)

Именно эта система уравнений теоретически предсказала существование ЭМ-волн:

- $\nabla \cdot \vec{E} = \rho/\epsilon_0$ (Закон Гаусса)
- $\nabla \cdot \vec{B} = 0$ (Отсутствие магнитных зарядов)
- $\nabla \times \vec{E} = -\partial \vec{B} / \partial t$ (Закон Фарадея)
- $\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \partial \vec{E} / \partial t$ (Закон Ампера–Максвелла)

Виды электромагнитных волн и их отличия

Шкала электромагнитных волн (по возрастанию частоты / убыванию длины волны)

Вид излучения	Длина волны (λ)	Частота (ν)	Энергия фотона	Основные источники	Применение
Радиоволны	1 мм – 100 км	3 кГц – 300 ГГц	Низкая	Антенны, космические объекты	Радиосвязь, ТВ, Wi-Fi, радары
Микроволны (СВЧ)	1 мм – 30 см	1 ГГц – 300 ГГц	Низкая	Магнетроны, космос	СВЧ-печи, спутниковая связь, GPS
Инфракрасное (ИК)	700 нм – 1 мм	300 ГГц – 430 ТГц	Средняя	Тёплые тела, лазеры	Тепловизоры, пульты ДУ, медицина
Видимый свет	380–700 нм	430–790 ТГц	Средняя	Солнце, лампы, лазеры	Зрение, оптика, фотосинтез, связь
Ультрафиолет (УФ)	10–380 нм	790 ТГц – 30 ПГц	Высокая	Солнце, газоразрядные лампы	Дезинфекция, люминесценция, загар
Рентгеновское	0.01–10 нм	30 ПГц – 30 ЭГц	Очень высокая	Рентгеновские трубки, космос	Медицина, дефектоскопия, кристаллография
Гамма-излучение (γ)	< 0.01 нм	> 30 ЭГц	Максимальная	Ядерные реакции, космические взрывы	Онкология, стерилизация, ядерная физика

Чем отличаются электромагнитные волны друг от друга?

Все ЭМ-волны имеют **одинаковую физическую природу** (колебания E и B полей), но различаются по следующим параметрам:

1. Энергия фотона

$E = h\nu = hc/\lambda$ где h — постоянная Планка, ν — частота, λ — длина волны.

Чем короче длина волны \rightarrow тем выше частота \rightarrow тем больше энергия фотона.

Чем отличаются электромагнитные волны друг от друга?

2. Способ взаимодействия с веществом

Вид волны	Проникающая способность	Поглощение/отражение
Радиоволны	Проходят сквозь стены, отражаются от металлов	Слабо поглощаются диэлектриками
Микроволны	Поглощаются водой и жирами	Нагрев полярных молекул
ИК-излучение	Поглощается поверхностью тел	Вызывает тепловые колебания атомов
Видимый свет	Проходит через прозрачные среды	Отражается, преломляется, поглощается
УФ	Поглощается озоном, стеклом	Вызывает фотохимические реакции
Рентген	Проходит через мягкие ткани, задерживается костями	Ионизация атомов
Гамма	Высокая проникающая способность (требуется свинец/бетон)	Ядерные реакции, фотоэффект

Чем отличаются электромагнитные волны друг от друга?

3. Методы генерации и регистрации

Диапазон	Как получают	Как детектируют
Радиоволны	Колебательный контур, антенна	Приёмная антенна, детектор
СВЧ	Магнетрон, клистрон	Полупроводниковые диоды
ИК	Нагретые тела, ИК-лазеры	Термопары, болометры
Видимый свет	Лампы, светодиоды, лазеры	Глаз, фотодиоды, фотоплёнка
УФ	Газоразрядные лампы, синхротрон	Фотокатоды, люминофоры
Рентген	Рентгеновская трубка, синхротрон	Сцинтилляторы, полупроводниковые детекторы
Гамма	Ядерные распады, космические процессы	Сцинтилляционные счётчики, германиевые детекторы

Чем отличаются электромагнитные волны друг от друга?

Практическое значение различий:

- **Безопасность:** Радиоволны безопасны для человека, а гамма-излучение требует защиты свинцом.
- **Связь:** Длинные радиоволны огибают Землю, короткие — используются для спутниковой связи.
- **Медицина:** Рентген — для диагностики, гамма — для лучевой терапии.
- **Астрономия:** Разные диапазоны позволяют изучать разные процессы во Вселенной (радио — холодный газ, рентген — чёрные дыры).

Как электромагнитные волны взаимодействуют с веществом?

металлом, пластиком, водой, бумагой и так далее

Общие механизмы взаимодействия

При попадании ЭМ-волны на вещество могут происходить **четыре основных процесса**:

Падающая волна → [Отражение + Поглощение + Прохождение + Рассеяние] = 100% энергии

Процесс	Физическая суть	Зависит от
Отражение	Волна возвращается в исходную среду	Электропроводность, гладкость поверхности, угол падения
Поглощение	Энергия волны переходит в теплоту/ионизацию	Частота волны, резонансные свойства вещества
Прохождение (трансмиссия)	Волна проходит через материал	Прозрачность среды, толщина, показатель преломления
Рассеяние	Изменение направления распространения	Неоднородности структуры, размер частиц относительно λ

Как электромагнитные волны взаимодействуют с веществом?

металлом, пластиком, водой, бумагой и так далее

Металлы (проводники)

ЭМ-волна проникает в металл на глубину

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}}$$

где σ — проводимость, ω — частота.

Чем выше частота и проводимость → тем тоньше слой проникновения.

Применение: Экранирование, зеркала, волноводы, антенны.

Диапазон ЭМ-волн	Что происходит	Физическое объяснение
Радиоволны, СВЧ	Почти полное отражение	Свободные электроны экранируют поле, создают противофазный ток
ИК, видимый свет	Отражение + небольшое поглощение	Электроны колеблются, но не могут уйти вглубь (скин-эффект)
УФ, рентген	Частичное прохождение + поглощение	Энергия фотонов достаточна для возбуждения внутренних электронов

Как электромагнитные волны взаимодействуют с веществом?

металлом, пластиком, водой, бумагой и так далее

Вода (полярный диэлектрик)

Диапазон	Что происходит	Объяснение
Радиоволны (низкие частоты)	Слабое поглощение, хорошее прохождение	Молекулы не успевают переориентироваться
СВЧ (~2.45 ГГц)	Сильное поглощение → нагрев	Резонанс с вращением дипольных молекул H ₂ O
ИК-диапазон	Поглощение колебательными переходами	Возбуждение колебаний связей O–H
Видимый свет	Частичное прохождение (вода прозрачна)	Нет резонансных переходов в этом диапазоне
УФ и выше	Сильное поглощение, ионизация	Фотоны разрывают химические связи

Как электромагнитные волны взаимодействуют с веществом?

металлом, пластиком, водой, бумагой и так далее

Пластик, стекло, бумага (неполярные диэлектрики)

Материал	Радиоволны	СВЧ	ИК	Видимый свет	УФ
Пластик (ПЭ, ПП)	Проходят	Слабо поглощают	Поглощают	Прозрачны/полупрозрачны	Поглощают
Стекло	Проходят	Проходят	Поглощают	Прозрачно	Поглощает (обычное стекло)
Бумага	Проходят	Поглощают (влажность!)	Поглощают	Рассеивают (белый цвет)	Поглощают

Как электромагнитные волны взаимодействуют с веществом?

металлом, пластиком, водой, бумагой и так далее

Биологические ткани (сложная среда)

Диапазон	Глубина проникновения	Эффект
Радиоволны	Десятки см	Слабый нагрев, МРТ-диагностика
СВЧ	Несколько см	Нагрев поверхностных слоёв
ИК	До 1 мм	Поверхностный нагрев, тепловидение
Видимый свет	До 1 см (в зависимости от цвета)	Фотосинтез, лазерная хирургия
УФ	Доли мм	Загар, повреждение ДНК, дезинфекция
Рентген	Десятки см	Просвечивание, диагностика

Как электромагнитные волны взаимодействуют с веществом?

металлом, пластиком, водой, бумагой и так далее

Сводная таблица: проницаемость материалов для разных диапазонов

Материал	Радиоволны	СВЧ	ИК	Видимый	УФ	Рентген
Металл	✗ Отражает	✗	✗	✗	⚠ Частично	⚠ Частично
Вода	☑	✗ Поглощает	✗	☑	✗	⚠
Стекло	☑	☑	✗	☑	✗	⚠
Пластик	☑	☑	⚠	☑/⚠	✗	⚠
Бумага	☑	⚠	✗	⚠ Рассеивает	✗	⚠
Дерево	☑	⚠	✗	✗	✗	⚠
Бетон	⚠ Ослабляет	✗	✗	✗	✗	✗

Что такое видимый свет?

Видимый свет — это ЭМ-волны, воспринимаемые глазом человека

Спектр видимого света:

Фиолетовый: 380–440 нм

Синий: 440–485 нм

Зелёный: 510–565 нм

Жёлтый: 565–590 нм

Оранжевый: 590–625 нм

Красный: 625–700 нм

Параметр	Значение
Длина волны (λ)	380–700 нм
Частота (ν)	430–790 ТГц
Энергия фотона	1.8–3.1 эВ
Скорость в вакууме	$c = 3 \cdot 10^8$ м/с

Что отличает видимый свет от других электромагнитных волн?

Свойство	Объяснение
🎯 Восприятие глазом	Единственный диапазон, который видит человек (фоторецепторы сетчатки)
☀️ Максимум солнечного излучения	Солнце излучает больше всего именно в этом диапазоне
💧 Прозрачность атмосферы	Атмосфера Земли прозрачна для видимого света
🧪 Безопасная энергия	Достаточно энергии для фотохимических реакций, но недостаточно для ионизации атомов
🌈 Цветовое восприятие	Разная длина волны → разный цвет

Взаимодействие с веществом:

Проходит через прозрачные среды (стекло, вода, воздух)

Поглощается и отражается непрозрачными телами

Преломляется на границе сред (закон Снеллиуса)

Диспергирует (разложение в спектр — радуга, призма)

Отличия от других диапазонов ЭМ-волн

Диапазон	Длина волны	Энергия	Проникновение	Биологическое действие
Радио	1 мм – 100 км	Очень низкая	Высокое	Безопасно
ИК	700 нм – 1 мм	Низкая	Поверхностное	Нагрев
☼ ВИДИМЫЙ	380–700 нм	Средняя	До 1 мм	Зрение, фотосинтез
УФ	10–380 нм	Высокая	< 1 мм	Ионизация, загар
Рентген	0.01–10 нм	Очень высокая	Высокое	Ионизация, диагностика

Ключевые отличия видимого света:

- Единственный диапазон, воспринимаемый человеческим глазом
- Не является ионизирующим излучением (безопаснее УФ и рентгена)
- Оптимальная энергия для фотохимических реакций (фотосинтез, зрение)
- Хорошо распространяется в атмосфере и воде
- Поддаётся управлению: линзы, зеркала, призмы, фильтры