

---

# *Электромагнитные волны*

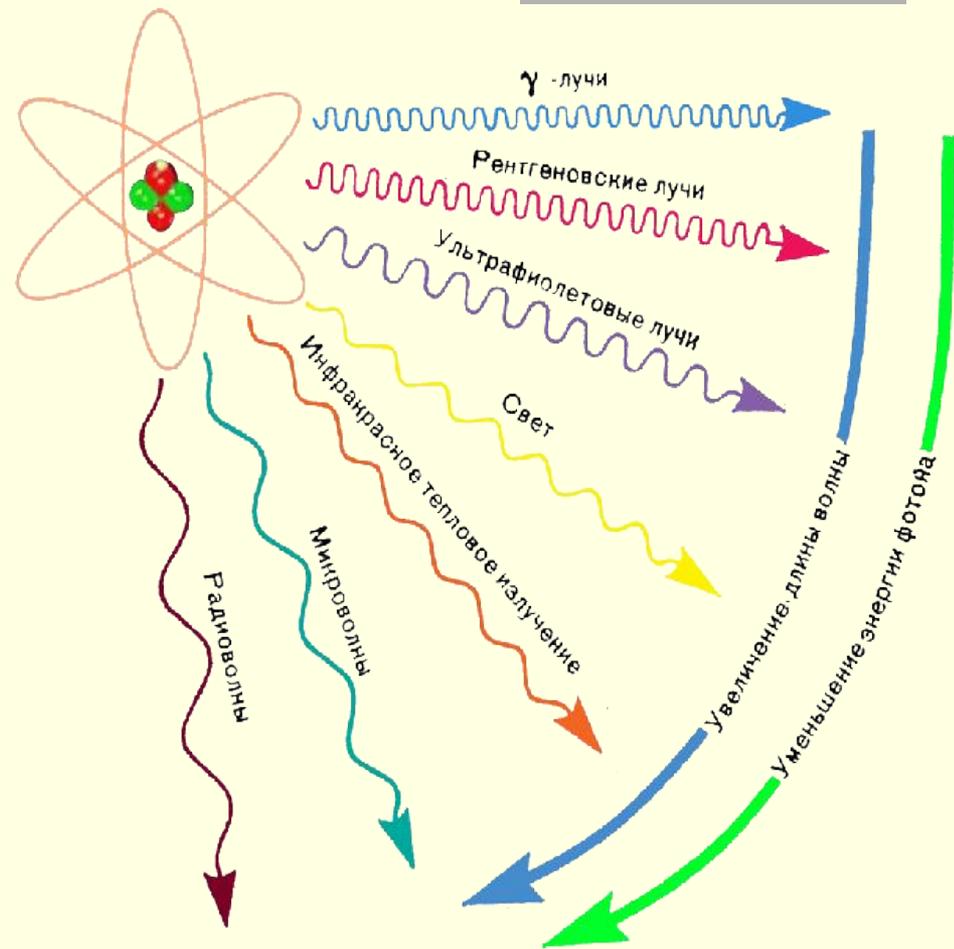
# Электромагнитные волны

■ Процесс распространения переменных магнитного и электрического полей и есть электромагнитная волна.

Электромагнитные волны могут существовать и распространяться в вакууме. Условие возникновения электромагнитных волн.

Для образования интенсивных электромагнитных волн необходимо создать электромагнитные колебания достаточно высокой частоты.

Изменения электромагнитного поля происходят при изменении силы тока в проводнике, а сила тока в проводнике изменяется при изменении скорости движения электрических зарядов в нём, т.е. при движении зарядов с ускорением. Следовательно, электромагнитные волны должны возникать при ускоренном движении электромагнитных зарядов.



# ДЛИНА ВОЛНЫ

$$\lambda = v \cdot T$$

$\lambda$  – длина волны, м

$v$  – скорость распространения волны, м/с

$T$  – период волны, с

# Виды электромагнитных волн

## ШКАЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Длина волны, м  $10^8$   $10^7$   $10^6$   $10^5$   $10^4$   $10^3$   $10^2$  10 1  $10^{-1}$   $10^{-2}$

Частота, Гц  $3 \cdot 10^4$   $3 \cdot 10^9$



$10^{-3}$   $10^{-4}$   $10^{-5}$   $10^{-6}$   $10^{-7}$   $10^{-8}$   $10^{-9}$   $10^{-10}$   $10^{-11}$   $10^{-12}$   $10^{-13}$

$3 \cdot 10^{12}$   $3 \cdot 10^{15}$   $3 \cdot 10^{18}$   $3 \cdot 10^{20}$



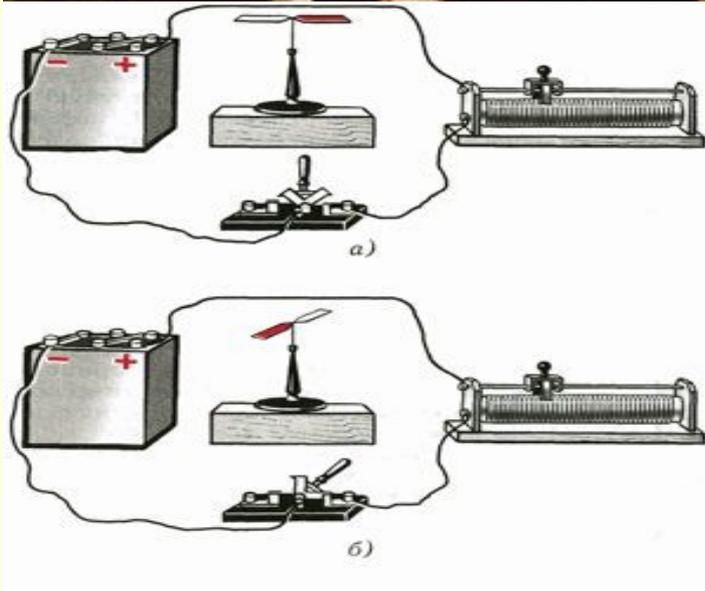
# Длина волны

Термин	Диапазон частот	Пояснения
Коротковолновый диапазон (КВ)	2–30 МГц	Из-за особенностей распространения в основном применяется для дальней связи.
«Си-Би»	25.6–30.1 МГц	Гражданский диапазон, в котором могут пользоваться связью частные лица. В разных странах на этом участке выделено от 40 до 80 фиксированных частот (каналов).
«Low Band»	33–50 МГц	Диапазон подвижной наземной связи. Непонятно почему, но в русском языке не нашлось термина, определяющего данный диапазон.
УКВ	136–174 МГц	Наиболее распространенный диапазон подвижной наземной связи.
ДЦВ	400–512 МГц	Диапазон подвижной наземной связи. Иногда не выделяют этот участок в отдельный диапазон, а говорят УКВ, подразумевая полосу частот от 136 до 512 МГц.
«800 МГц»	806–825 и 851–870 МГц	Традиционный «американский» диапазон; широко используется подвижной связью в США. У нас не получил особого распространения.

# Ханс Кристиан Эрстед (1777-1851)



**В 1820 году он обнаружил действие электрического тока на магнитную стрелку**



**Это привело к возникновению новой области физики - электромагнетизма**

# Майкл Фарадей (1791-1867)



**1831 г.**

**Открыл явление  
электромагнитной  
индукции**



# МАКСВЕЛЛ ДЖЕЙМС КЛЕРК (1831-1879)



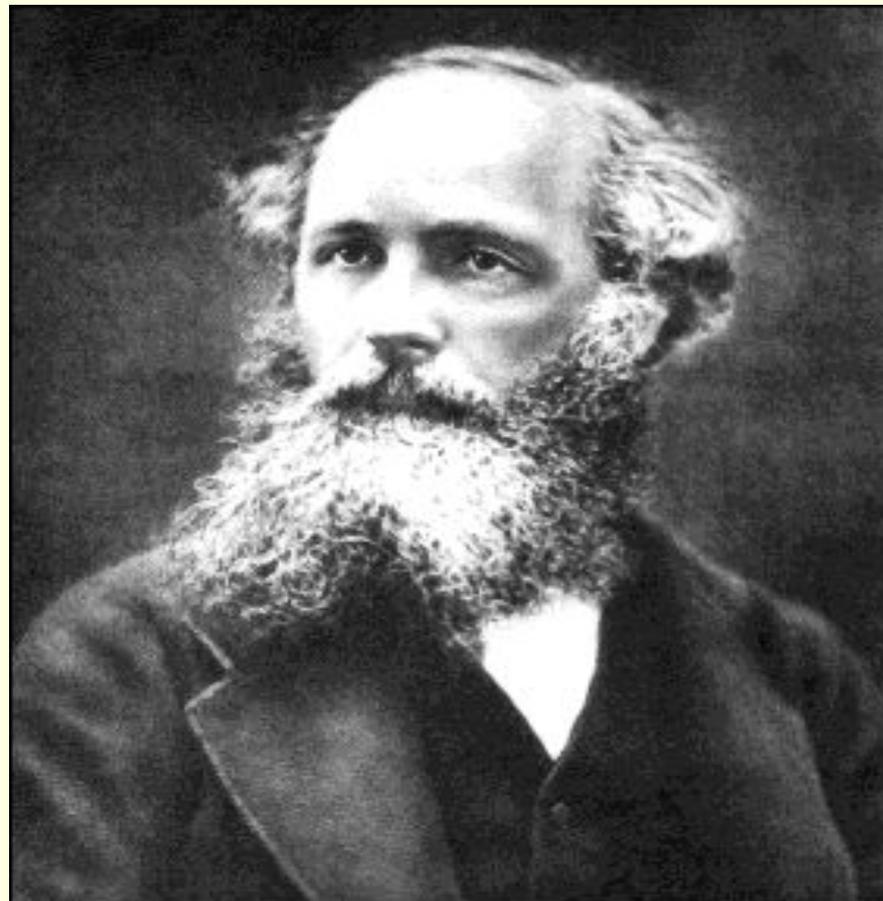
---

**Создал теорию  
электромагнитного  
поля (1864 г.)**

---

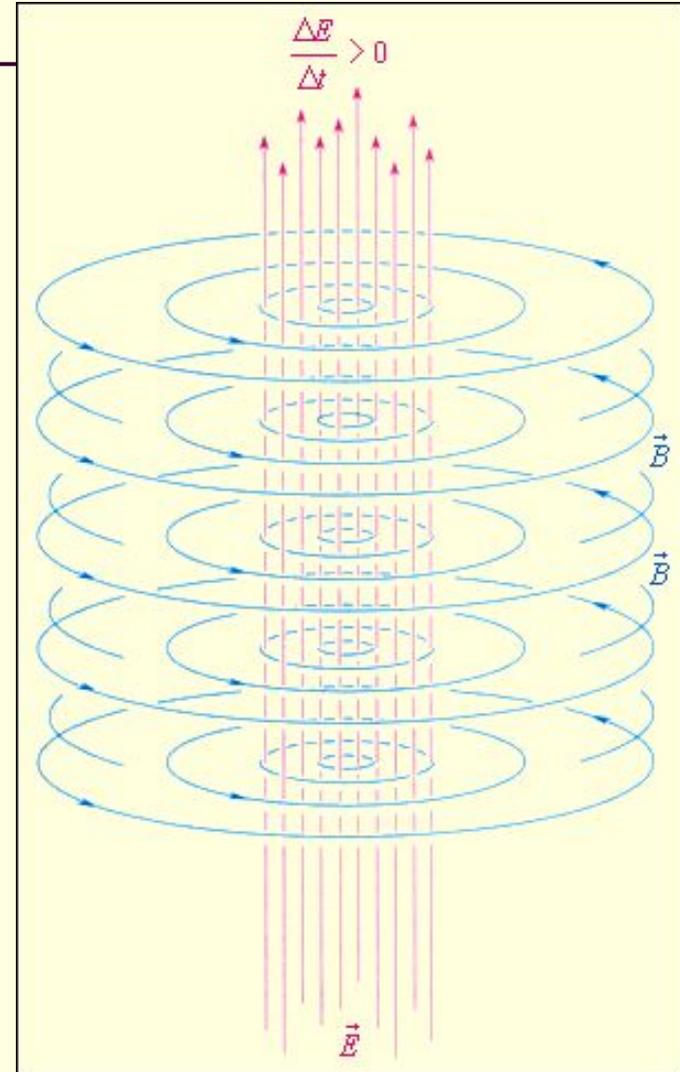
# Джеймс Клерк Максвелл

- Существование электромагнитных волн было теоретически предсказано великим английским физиком Дж. Максвеллом в 1864 году. Максвелл проанализировал все известные к тому времени законы электродинамики и сделал попытку применить их к изменяющимся во времени электрическому и магнитному полям. Он обратил внимание на асимметрию взаимосвязи между электрическими и магнитными явлениями.



# Теория Максвелла

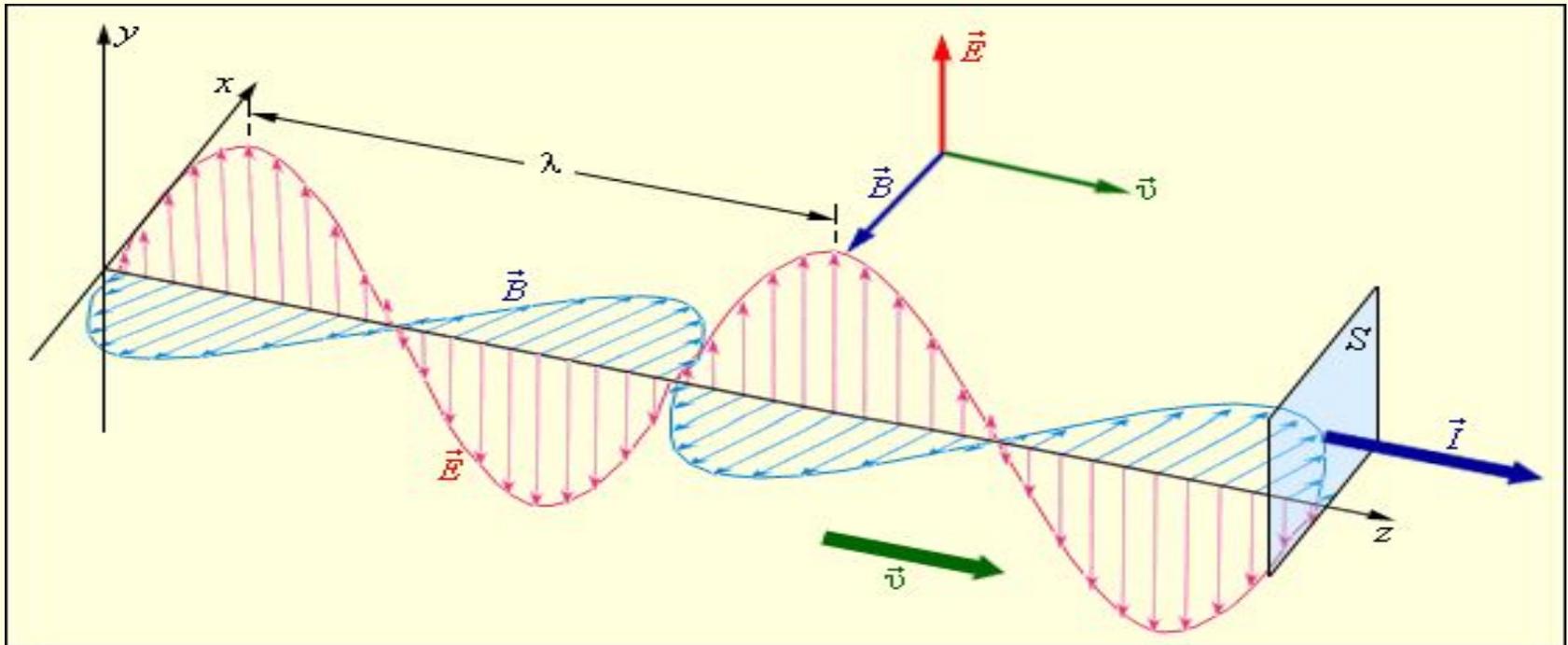
- Максвелл ввел в физику понятие **вихревого электрического поля** и предложил новую трактовку закона **электромагнитной индукции**, открытой Фарадеем в 1831 г.:
- **Всякое изменение магнитного поля порождает в окружающем пространстве вихревое электрическое поле, силовые линии которого замкнуты.**
- Максвелл высказал гипотезу о существовании и обратного процесса:
- **Изменяющееся во времени электрическое поле порождает в окружающем пространстве магнитное поле.**



# Выводы из теории Максвелла

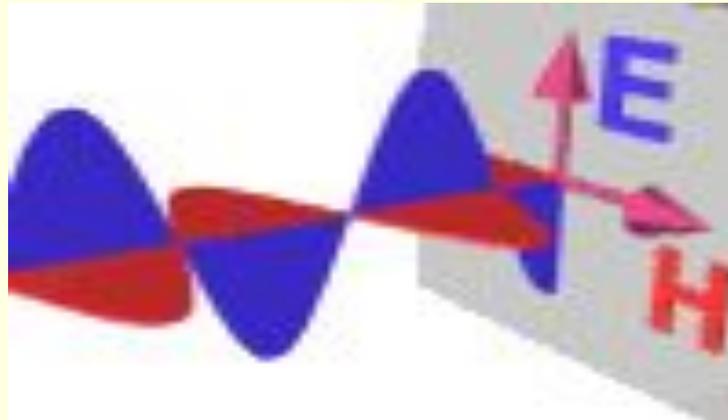
Из теории Максвелла вытекает ряд важных выводов:

1. Существуют электромагнитные волны, то есть распространяющееся в пространстве и во времени переменное электромагнитное поле.
2. Электромагнитные волны **поперечны** – векторы и перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны



# ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Принцип распространения электромагнитной волны состоит в том, что вектора напряженности электрического и магнитного поля  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  колеблются в фазе, т.е. они достигают максимума и минимума в одних и тех же точках пространства.



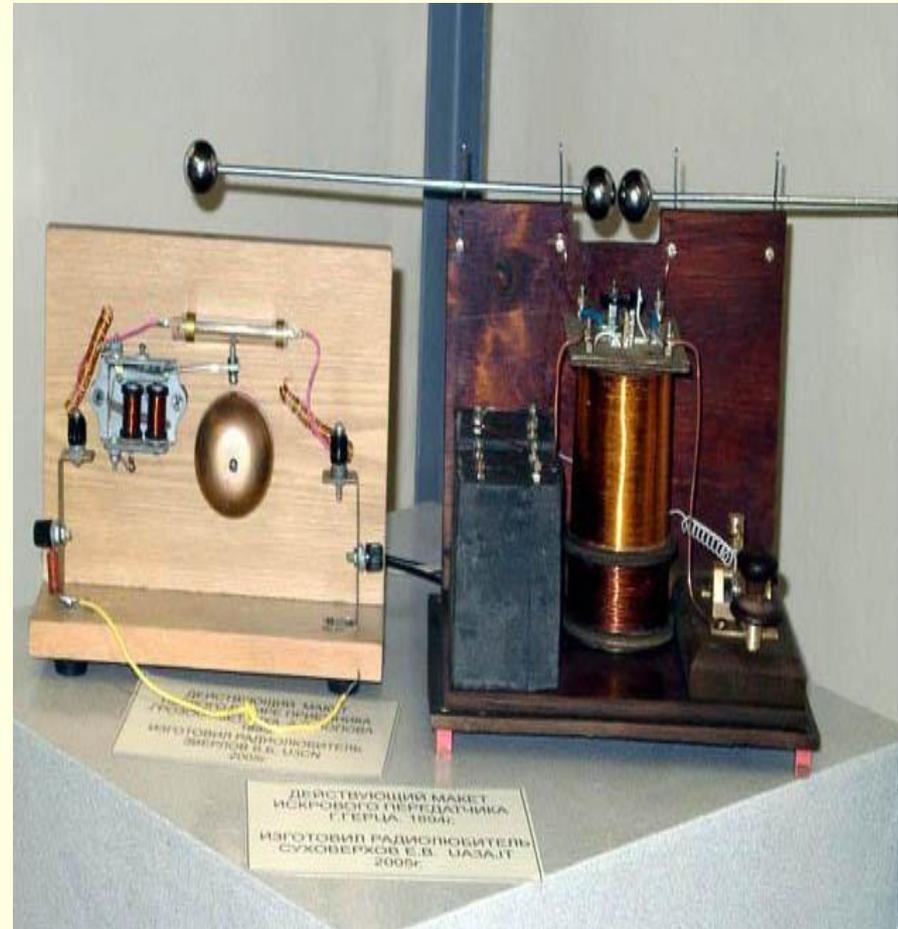
**Излучение электромагнитных волн возникает при ускоренном движении электрических зарядов**

# Генрих Герц

- Электромагнитные волны были впервые экспериментально получены Герцем в 1887г. В его опытах ускоренное движение электрических зарядов возбуждались в двух металлических стержнях с шарами на концах (вибратор Герца). Колебания электрических зарядов в вибраторе создают электромагнитную волну. Только колебания в вибраторе совершает не одна заряженная частица, а огромное число электронов, движущихся согласовано. В электромагнитной волне векторы  $E$  и  $B$  перпендикулярны друг другу. Вектор  $E$  лежит в плоскости, проходящей через вибратор, а вектор  $B$  перпендикулярен этой плоскости. Излучение волн происходит с максимальной интенсивностью в направлении, перпендикулярном оси вибратора. Вдоль оси излучения не происходят. В обычном колебательном контуре (его можно назвать закрытым), почти всё магнитное поле сосредоточено внутри катушки, а электрическое внутри конденсатора. Вдали от контура электромагнитного поля практически нет. Такой контур очень слабо излучает электромагнитные волны.

# Вибратор Герца

- Для получения электромагнитных волн Герц использовал простое устройство, называемое сейчас вибратором Герца. Это устройство представляет собой открытый колебательный контур. К открытому колебательному контуру можно перейти от закрытого, если постепенно раздвигать пластины конденсатора, уменьшая их площадь и одновременно уменьшая число витков в катушке. В конце концов, получится прямой провод. Это и есть открытый колебательный контур. Емкость и индуктивность вибратора Герца малы. Поэтому частота колебаний весьма велика. В опытах Герца длина волны составляла несколько десятков сантиметров. Вычислив собственную частоту электромагнитных колебаний вибратора, Герц смог определить скорость электромагнитной волны по формуле  $v = \lambda \nu$ ?. Она оказалась приблизительно равна скорости света:  $c \approx 300000 \text{ км/с}$ . Опыт Герца блестяще подтвердили предсказания Максвелла.



# ГЕНРИХ ГЕРЦ (1857-1894)



**Экспериментально  
обнаружил  
существование  
электромагнитных волн  
(1887 г.)**

- 1. Изучил свойства электромагнитных волн**
- 2. Определил скорость электромагнитной волны**
- 3. Доказал, что свет – частный случай электромагнитной волны**

# Александр Степанович Попов

В России одним из первых занялся изучением электромагнитных волн преподаватель офицерских курсов в Кронштадте Александр Степанович Попов. Попов Александр Степанович (1859-1905), русский физик и электротехник, изобретатель электрической связи без проводов (радиосвязи). В 1895 году продемонстрировал изобретённый им первый в мире радиоприёмник. Весной 1897 года достиг дальности радиосвязи 600м, летом 1897 – 5 километров, в 1901 – около 150 километров. Создал (1895) прибор для регистрации грозовых разрядов («грозоотметчик»). Получил золотую медаль на Всемирной выставке 1900 года в Париже. Возможность практического применения электромагнитных волн для установления связи без проводов была впервые продемонстрирована 7 мая 1895 года. Этот день считается днём рождения радио.



# Радио Попова

Приёмник Попова состоял из

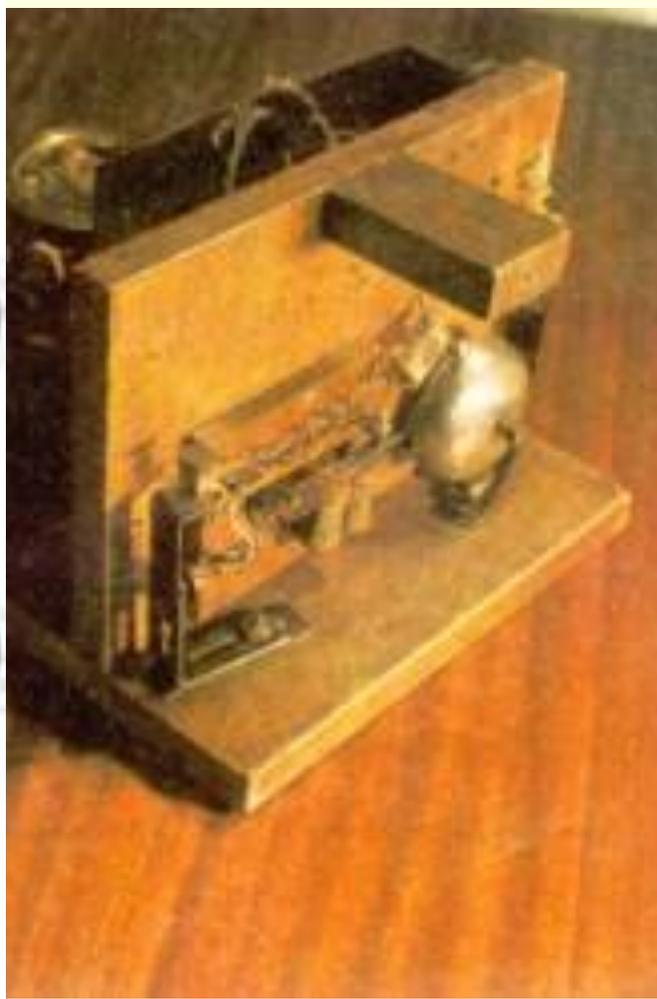
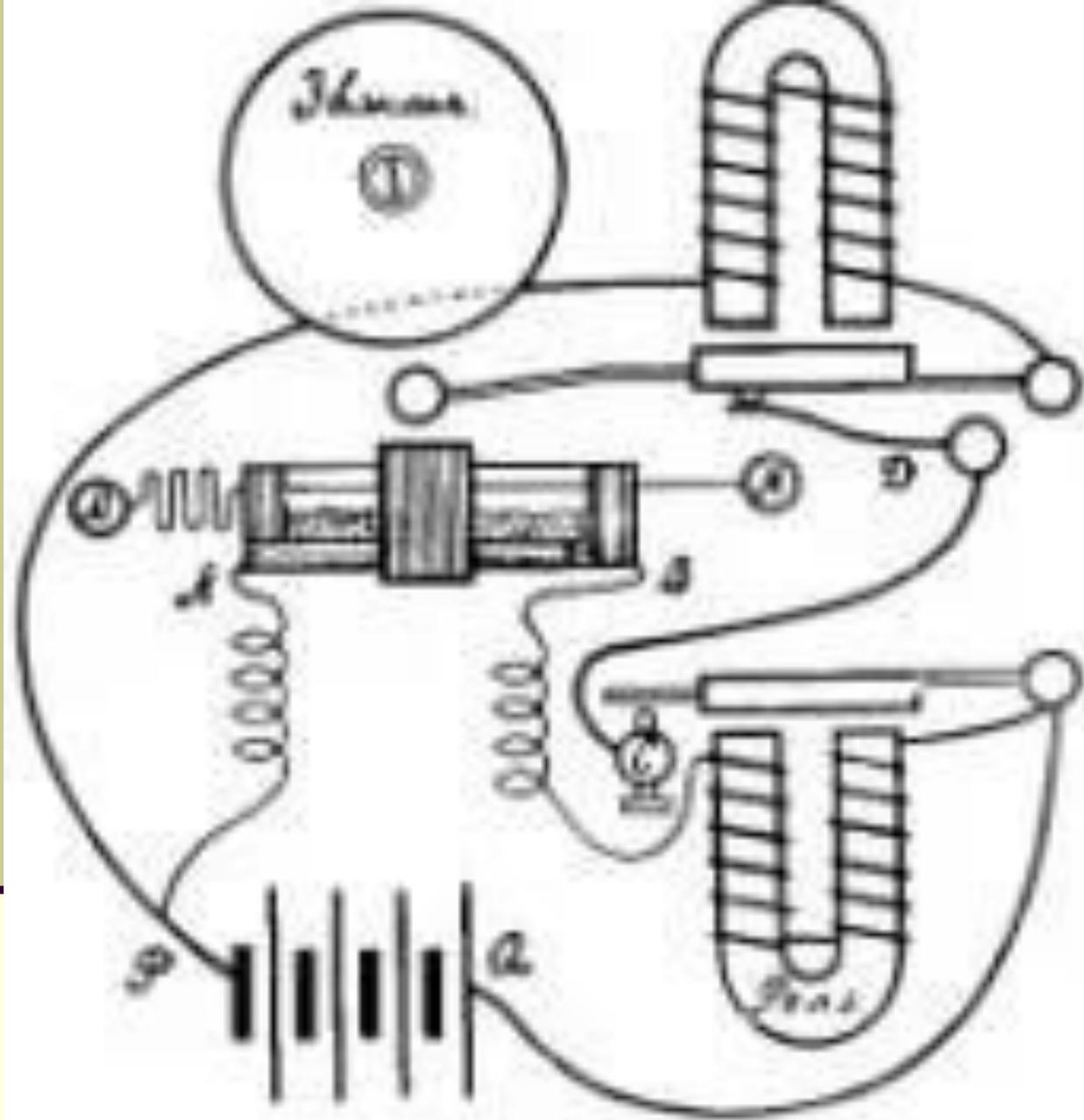
1 – антенны, 2 – когерера, 3 – электромагнитного реле, 4 – электрического звонка, 5 – источника постоянного тока. Электромагнитные волны вызывали вынужденные колебания тока и напряжения в антенне. Переменное напряжение с антенны подавалось на два электрода, которые были расположены в стеклянной трубке, заполненной металлическими опилками. Эта трубка и есть когерер.

Последовательно с когерером включались реле и источник постоянного тока. Из-за плохих контактов между опилками сопротивление когерера обычно велико, поэтому электрический ток в цепи мал и реле звонка не замыкает. Под действием переменного напряжения высокой частоты в когерере возникают электрические разряды между отдельными опилками, частицы опилок спекаются и его сопротивление уменьшается в 100 – 200 раз. Сила тока в катушке электромагнитного реле возрастает, и реле включает электрический звонок.

Так регистрируется приём электромагнитной волны антенной.

Удар молоточка звонка встряхивает опилки и возвращает его в исходное состояние, приёмник снова готов к регистрации электромагнитной волны антенной.

В 1899 году была обнаружена возможность приёма сигналов с помощью телефона. В начале 1900 года радиосвязь была успешно использована во время спасательных работ в Финском заливе. При участии Попова началось внедрение радиосвязи на флоте и в армии России.



# Маркони

■ За границей усовершенствованием подобных приборов занималась фирма, организованная итальянским учёным Маркони. Опыты, поставленные в широком масштабе, позволили осуществить радиотелеграфную передачу через атлантический океан.

Важнейшим этапом развития радиосвязи было создание в 1913 году генератора незатухающих электромагнитных колебаний.

Кроме передачи телеграфных сигналов, состоящих из коротких и более продолжительных импульсов электромагнитных волн, стала возможной надёжная и высококачественная радиотелефонная связь – передача речи и музыки с помощью электромагнитных волн.

При радиотелефонной связи колебания давления воздуха в звуковой волне превращаются с помощью микрофона в электрические колебания той же формы. Казалось бы, если эти колебания усилить и подать в антенну, то можно будет передавать на расстояния речь и музыку с помощью электромагнитных волн.



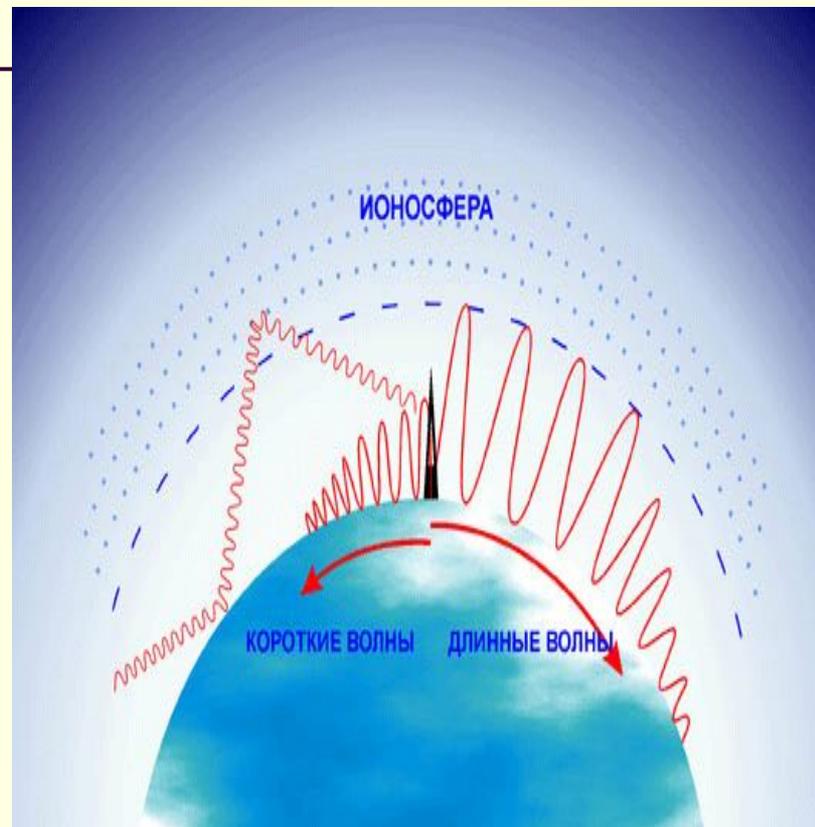
# Распространение радиоволн

Радиоволны излучаются через антенну в пространство и распространяются в виде энергии электромагнитного поля. И хотя природа радиоволн одинакова, их способность к распространению сильно зависит от длины волны.

Земля для радиоволн представляет проводник электричества (хотя и не очень хороший). Проходя над поверхностью земли, радиоволны постепенно ослабевают. Это связано с тем, что электромагнитные волны возбуждают в поверхности земли электротоки, на что и тратится часть энергии. Т.е. энергия поглощается землей, причем тем больше, чем короче длина волны (выше частота).

Кроме того, энергия волны ослабевает еще и потому, что излучение распространяется во все стороны пространства и, следовательно, чем дальше от передатчика находится приемник, тем меньшее количество энергии приходится на единицу площади и тем меньше ее попадает в антенну.

Передачи длинноволновых вещательных станций можно принимать на расстоянии до нескольких тысяч километров, причем уровень сигнала уменьшается плавно, без скачков. Средневолновые станции слышны в пределах тысячи километров. Что же касается коротких волн, то их энергия резко убывает по мере удаления от передатчика. Этим объясняется тот факт, что на заре развития радио для связи в основном применялись волны от 1 до 30 км. Волны короче 100 метров вообще считались непригодными для дальней связи.



# ИОНОСФЕРА

КОРОТКИЕ ВОЛНЫ

УЛЬТРАКОРОТКИЕ ВОЛНЫ

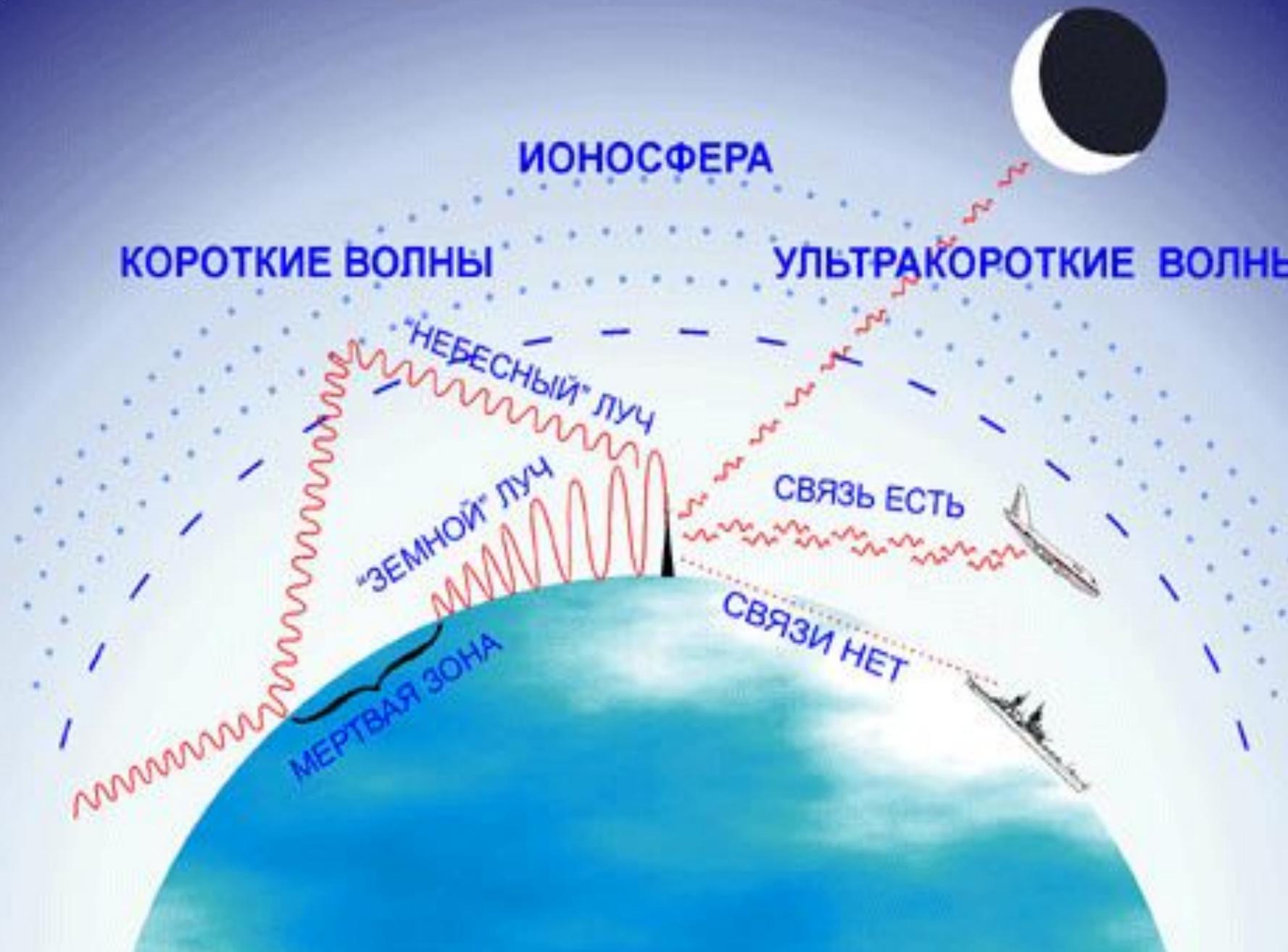
"НЕБЕСНЫЙ" луч

"ЗЕМНОЙ" луч

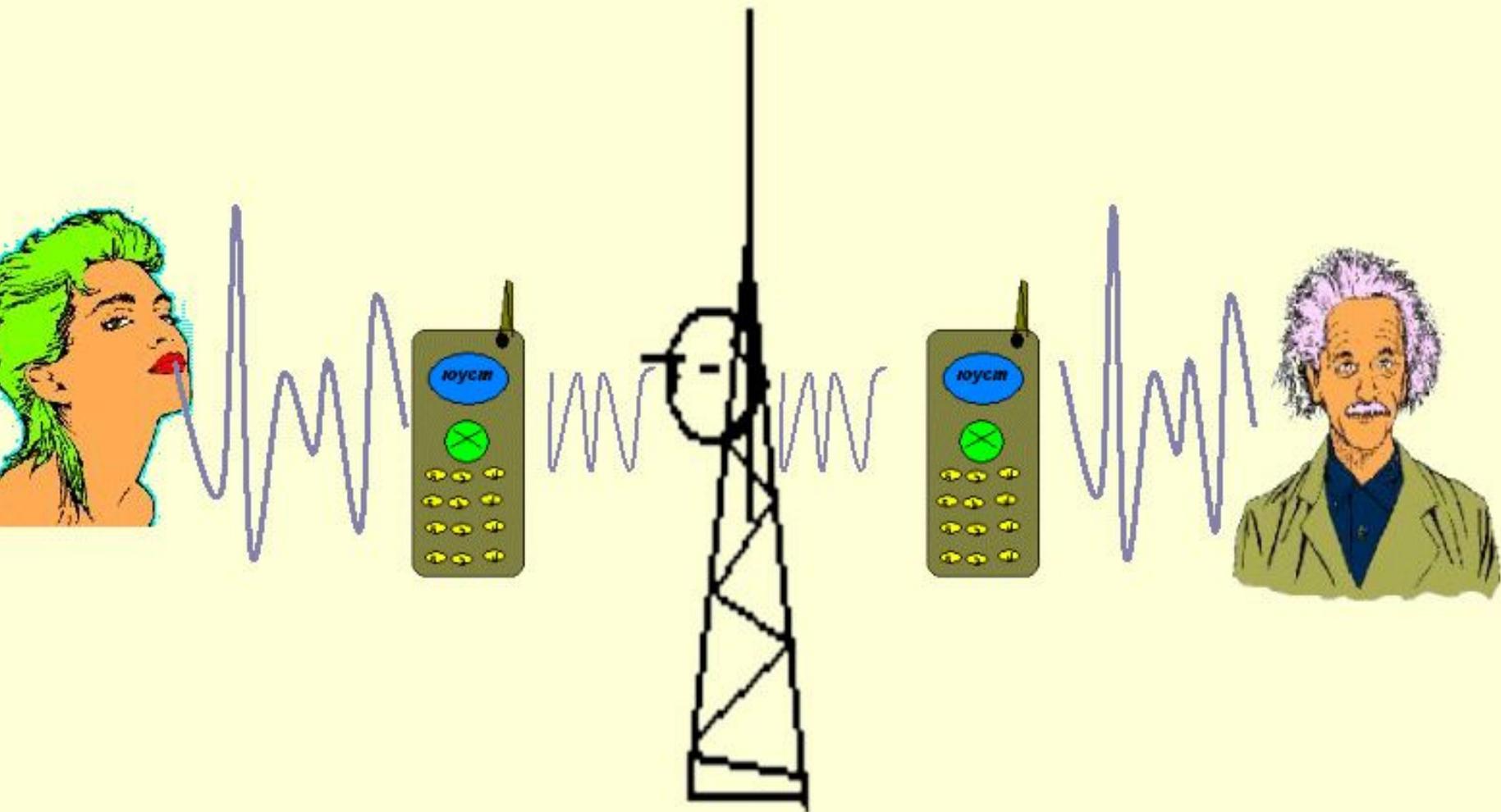
СВЯЗЬ ЕСТЬ

МЕРТВАЯ ЗОНА

СВЯЗИ НЕТ



# Радиосвязь



# ЗАКРЕПЛЕНИЕ

1. Как зависит длина волны от частоты колебания ?
2. Что произойдет с длиной волны, если период колебания частиц увеличится в 2 раза?
3. Как изменится частота колебания излучения при переходе волны в более плотную среду?
4. Что является причиной излучения электромагнитной волны?
5. Где используются электромагнитные волны?

*Обратно пропорционально*

*Увеличится в 2 раза*

*Не изменится*

*Заряженные частицы, движущиеся с ускорением*

# Тестовые задания

Задания первого уровня.

**1. Что такое электромагнитная волна?**

А. Распространяющееся в пространстве переменное магнитное поле.

Б. Распространяющееся в пространстве переменное электрическое поле.

В. Распространяющееся в пространстве переменное электромагнитное поле.

Г. Распространяющееся в пространстве магнитное поле.

**2. Укажите выражение длины волны.**

А.  $\lambda\nu$ ;    Б.  $1/\nu$ ;    В.  $\nu/\nu$ ;    Г.  $1/T$ .

**3. Укажите неправильный ответ. Длина волны – это расстояние, ...**

А. Которое проходит колеблющаяся точка за период;

Б. На которое распространяются колебания за один период;

В. Между ближайшими точками, колеблющимися в одинаковых фазах;

**4. Укажите правильный ответ. В электромагнитной волне вектор  $E$  ...**

А. параллелен  $B$ ;

Б. антипараллелен  $B$ ;

В. Направлен перпендикулярно  $B$ .

**5. Электромагнитное взаимодействие в вакууме распространяется со скоростью ...**

( $c = 3 \cdot 10^8$  м/с)

А.  $v > c$ ;    Б.  $v = c$ ;    В.  $v < c$ .

**6. Электромагнитная волна представляет собой взаимосвязанные колебания ...**

А. электронов;

Б. вектора напряженности электрического поля  $E$  и вектора индукции магнитного поля;

В. протонов.

**7. Укажите ошибочный ответ. В электромагнитной волне ...**

А. вектор  $E$  колеблется, перпендикулярен  $B$  и  $v$ ;

Б. вектор  $B$  колеблется, перпендикулярен  $E$  и  $v$ ;

В. вектор  $E$  колеблется параллельно  $B$  и перпендикулярен  $v$ .

**8. Электрическое и магнитное поля электромагнитной волны являются ...**

А. вихревыми и переменными;

Б. потенциальными и стационарными;

В. вихревыми и стационарными.

**9. В электромагнитной волне колебательный процесс распространяется от точки к точке в результате ...**

А. кулоновского взаимодействия соседних колеблющихся зарядов;

Б. связей между вещественными носителями волны (например, сцепления);

В. возникновения переменного электрического поля переменным магнитным полем и наоборот;

Г. взаимодействия внутримолекулярных токов.

# Тестовые задания

10. Электромагнитная волна является ...

- А. продольной;                      Б. поперечной;
- В. в воздухе продольной, а в твердых телах поперечной;
- Г. в воздухе поперечной, а в твердых телах продольной.

11. Двигутся четыре электрона:

- 1 – равномерно и прямолинейно;                      2 – равномерно по окружности;
- 3 – прямолинейно и равноускоренно;                      4 – совершает гармонические колебания вдоль прямой.

Какие из них излучают электромагнитные волны?

- А. Все;                      Б. Только 2, 3, 4;                      В. Только 3, 4;                      Г. Только 1, 4.

12. При каких условиях движущийся электрический заряд излучает электромагнитные волны?

- А. Только при гармонических колебаниях;                      Б. Только при движении по окружности;
- В. При любом движении с большой скоростью;                      Г. При любом движении с ускорением.

13. При каких условиях движущийся электрический заряд не излучает электромагнитные волны?

- А. Такого движения нет;
- Б. При равномерном прямолинейном движении;
- В. При равномерном движении по окружности;
- Г. При любом движении с небольшой скоростью.

14. Какой смысл имеет утверждение: электромагнитные волны – это поперечные волны?

- А. В электромагнитной волне вектор  $E$  направлен поперек, а вектор  $B$  вдоль направления распространения волны;
- Б. В электромагнитной волне вектор  $B$  направлен поперек, а вектор  $E$  вдоль направления распространения волны;
- В. В электромагнитной волне векторы  $E$  и  $B$  направлены перпендикулярно направлению распространения электромагнитной волны;
- Г. Электромагнитная волна распространяется только поперек поверхности проводника.

15. Амплитудная модуляция заключается ...

- А. в изменении (увеличении или уменьшении) частоты возникающих в генераторе незатухающих колебаний в такт с низкой (звуковой) частотой;
- Б. в изменении амплитуды генерируемых незатухающих колебаний в такт с низкой (звуковой) частотой;
- В. в выделении низкочастотных колебаний из модулированных колебаний высокой частоты;
- Г. в изменении (увеличении или уменьшении) фазы возникающих в генераторе незатухающих колебаний в такт с низкой (звуковой) частотой.

16. Детектирование (демодуляция) заключается ...

- А. в изменении (увеличении или уменьшении) частоты возникающих в генераторе незатухающих колебаний в такт с низкой (звуковой) частотой;
- Б. в изменении амплитуды генерируемых незатухающих колебаний в такт с низкой (звуковой) частотой;
- В. в выделении низкочастотных колебаний из модулированных колебаний высокой частоты;
- Г. в изменении (увеличении или уменьшении) фазы возникающих в генераторе незатухающих колебаний в такт с низкой (звуковой) частотой.
- Г. Высоочастотные модулированные колебания преобразуются в ток звуковой частоты.