

## Тема урока: Электромагнитные волны. Свойства электромагнитных волн.

*«Без естественных наук нет спасения  
современному человеку, без этой здоровой пищи,  
без этого строгого воспитания мысли фактами,  
без этой близости к окружающей нас жизни»*

*А.И. Герцен*

Данная тема посвящена изучению электромагнитных волн и их свойств.

Для успешного усвоения данного материала, необходимо вспомнить некоторые определения и понятия, пройденные в курсе физики 9 класса.

**Механическая волна** — это распространение колебаний частиц вещества в пространстве.

В физике различают **продольные и поперечные волны**. Волна называется **продольной**, если частицы среды совершают колебания в направлении распространения волны; а **поперечной называется волна**, когда частицы среды совершают колебания в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны.

Какие величины характеризуют волну? Это **длина волны, скорость ее распространения, период и частота колебаний**.

**Длина волны** — это расстояние между двумя ближайшими точками, колеблющимися в одинаковых фазах. При этом длина волны равна тому расстоянию, на которое распространяется фронт волны за время, равное периоду колебаний источника волн.

Механические волны не могут распространяться в вакууме, т.е. **для их существования необходимо наличие упругой среды**: газа, жидкости или твердого тела.

В отличие от них, существуют волны и не нуждаются в наличии какого-либо вещества. То есть, они могут существовать и в вакууме. Такие волны называются **электромагнитными волнами**.

Впервые гипотезу о существовании электромагнитных волн высказал шотландский физик Джеймс Клерк Максвелл в 1864 году. В своих работах он показал, что источниками электрического поля могут быть как электрические заряды, так и магнитные поля, изменяющиеся со временем.



Джеймс Клерк Максвелл

В свою очередь **магнитные поля могут возбуждаться** либо **движущимися электрическими зарядами** (т.е. электрическим током), либо **переменными электрическими полями**.

**Получается замкнутый круг:** поля могут попеременно воспроизводить друг друга даже в вакууме, и этот процесс может повторяться до бесконечности.

Совокупность связанных друг с другом периодически изменяющихся электрического и магнитного полей называют **электромагнитным полем**.

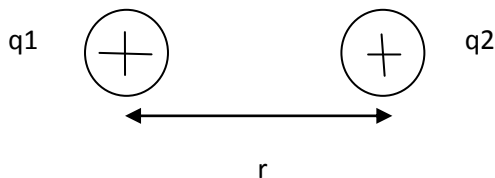
Из теории электромагнитного поля Максвелла вытекает, что по своей природе электромагнитное поле **не может быть локализовано в месте зарождения, а распространяется в пространстве**. При этом данный процесс распространяется в пространстве по всем направлениям.

Так вот, распространяющееся в пространстве периодически изменяющееся электромагнитное поле и представляет собой **электромагнитную волну**.

Для того, чтобы лучше представить себе как образовывается волна рассмотрим ситуацию.

Представьте себе, что взаимодействуют 2 заряда, которые действуют друг на друга по закону Кулона. А вот как они взаимодействуют есть 2 теории:

1. теория дальнего действия



q1 непосредственно действует на q2 с силой (по закону Кулона)

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

2. теория ближнего действия

заряд q1 не действует на q2 он создает электрическое поле

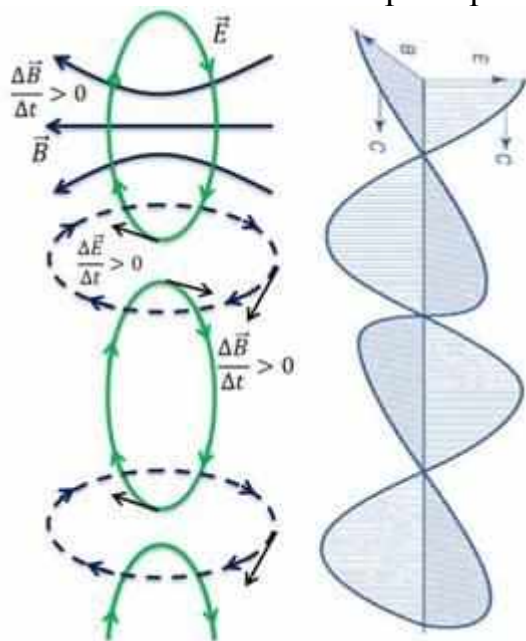




на  $q_2$  действует электрическое поле, созданное  $q_1$  и характеристики электрического поля определяются в том месте, где находится заряд  $q_2$  вблизи него. Поэтому эта теория носит название теории близкого действия.

В связи с тем, что электромагнитные волны распространяются не только в веществе, но и в вакууме, возникает вопрос: что совершает колебания в электромагнитной волне, иными словами, какие физические величины периодически меняются в ней?

Известно, что количественной характеристикой **магнитного поля** является **вектор магнитной индукции**, а количественной характеристикой **электрического поля** служит его **напряженность**. Поэтому, когда говорится о том, что магнитное и электрическое поля меняются, то понимается, что меняются соответственно вектор индукции магнитного поля и вектор напряженности электрического поля.



Сила, действующая на заряд  $q_2$  зависит от того, какая напряженность вблизи этого заряда

$$\vec{F} = \vec{E}q_2$$

Какая же из теорий справедлива?

Пока заряды неподвижны, справедливы обе теории, но когда мы отодвинем заряд например  $q_1$ , то в нашем случае сила взаимодействия  $F$  должна мгновенно снизиться, т.к. расстояние возрастает. А во втором случае при перемещении заряда  $q_1$  меняется электрическое поле, изменение которого порождает переменное магнитное поле, изменение которого порождает

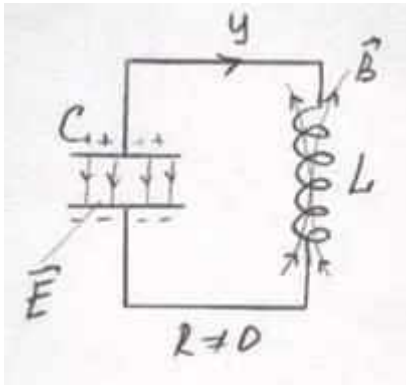
вихревое электрическое поле и т.д. происходит цепочка сменяющихся друг за другом полей. Что по сути является электромагнитной волной.

### Как создать мощную электромагнитную волну

$$\varepsilon_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad \Phi = BS$$

1. поля должны изменяться с большой скоростью.

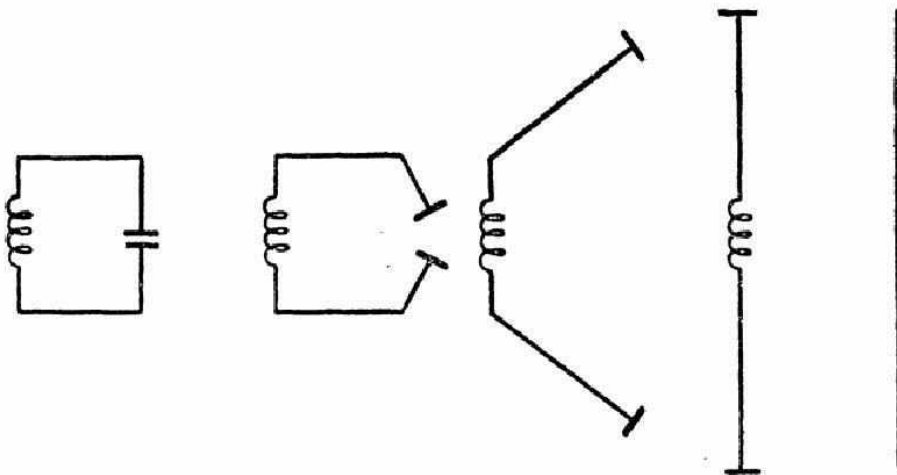
Для этого подойдет колебательный контур



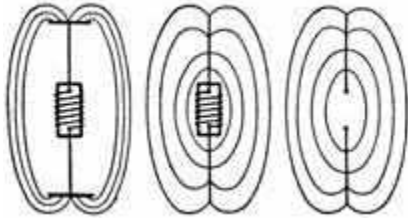
этот контур является закрытым т.к. все электрическое поле сконцентрировано между обкладками конденсатора, а магнитное в катушке.

2. поля должны занимать как можно большую площадь

Раздвинем пластины конденсатора

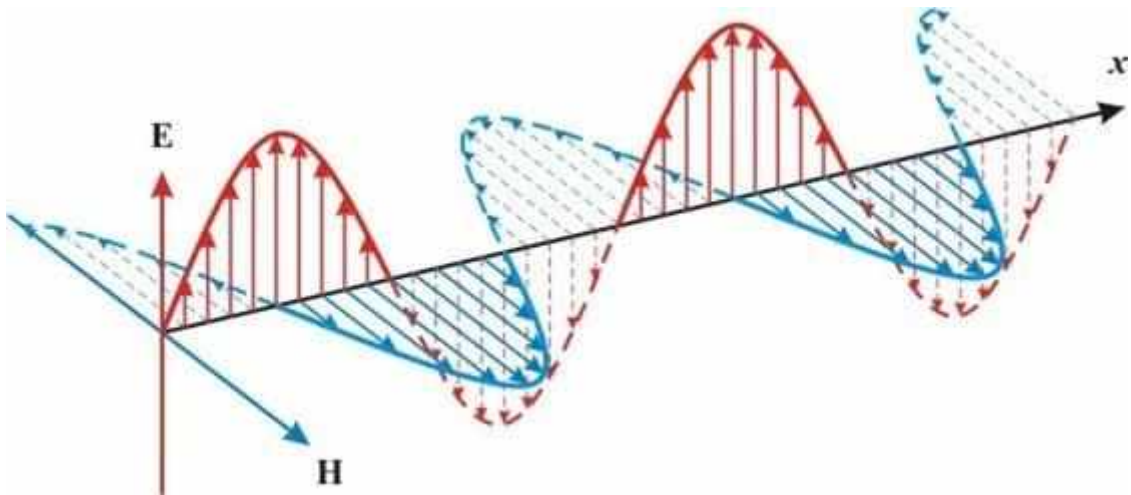


Доведем до предела, т.е. растянем катушку в провод и подключим к генератору переменного тока. Тем самым получим открытый колебательный контур



Он носит название **Вибратор Герца**

Электромагнитная волна является поперечной волной



**Запишем уравнение электромагнитной волны**

Для этого вспомним уравнение плоской бегущей механической волны

$$S(x, t) = A \cos(\omega t - kx)$$

Электромагнитная волна:

$$E_x(x, t) = 0 \quad E_y(x, t) = E_{\max} \cos(\omega t - kx) \quad E_z(x, t) = 0$$

$$B_x(x, t) = 0 \quad B_y(x, t) = 0 \quad B_z(x, t) = B_{\max} \cos(\omega t - kx)$$

**Уравнения плоской электромагнитной волны**

**Свойства электромагнитных волн:**

**1. конечность скорости распространения электромагнитных волн.**

Т.е. если в какой-либо малой области пространства будет периодически изменять электрическое и магнитное поля, то эти изменения будут повторяться и в других точках пространства, причем в каждой последующей несколько позже, чем в предыдущей.

Максвелл чисто математически показал, что **скорость** такого распространения в вакууме зависит только от диэлектрической и магнитной постоянных, т.е. равна скорости света.

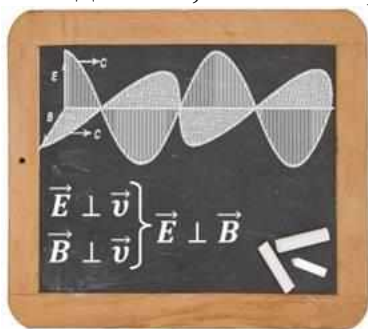
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

**А в среде** эта скорость меньше и зависит как от диэлектрической, так и от магнитной проницаемостей среды.

Вот что по этому поводу писал сам Максвелл в письме Уильяму Томсону: «Скорость поперечных волновых колебаний в нашей гипотетической среде, вычисленная из электромагнитных опытов Кольрауша и Вебера, столь точно совпадает со скоростью света, вычисленной из оптических опытов Физо, что мы едва ли можем отказаться от вывода, что свет состоит из поперечных колебаний той же самой среды, которая является причиной электрических и магнитных явлений».

## 2. Поперечность электромагнитных волн

Под периодическими изменениями электрического и магнитного полей понимают колебания векторов напряженности электрического поля и индукции магнитного поля. Так вот, оказывается, что **колебания этих векторов происходят перпендикулярно вектору скорости распространения электромагнитной волны**. Отсюда, мы можем сделать вывод о том, что **электромагнитная волна — это поперечная волна**.

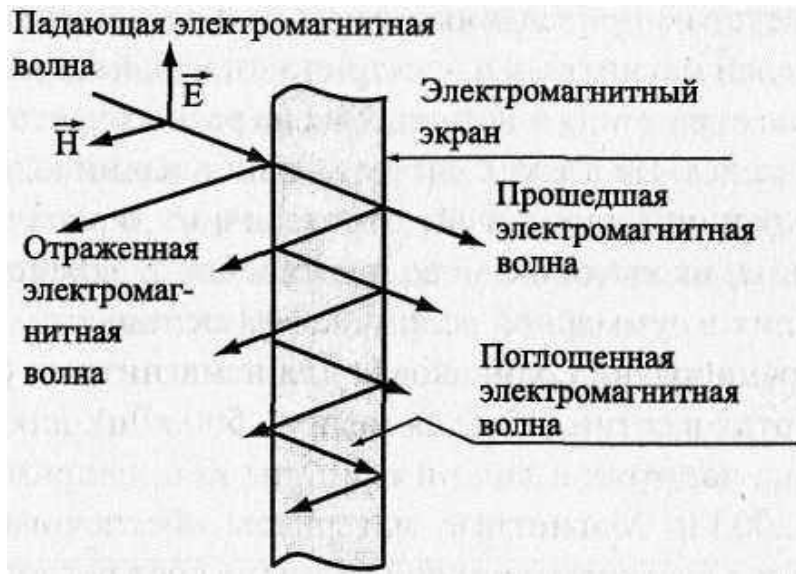


## 3. Волны проходят через диэлектрики

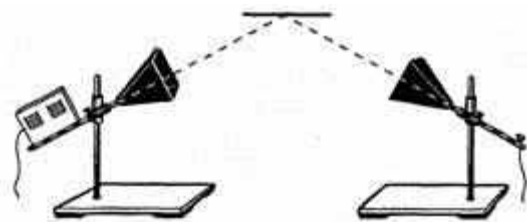
## 4. Не проходят через проводники

Внутри проводника свободные электроны под воздействием электромагнитной волны смещаются настолько быстро, что отражают падающую волну. В проводнике, вследствие смещения электронов

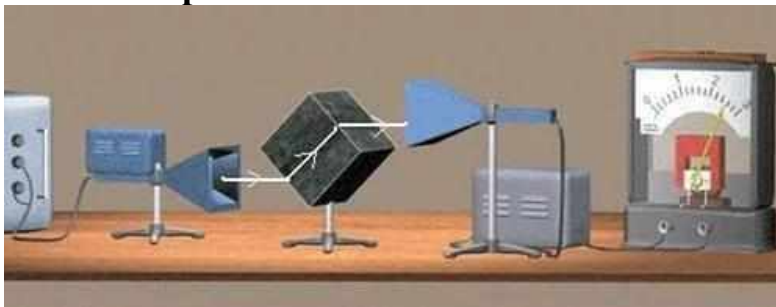
образуется электрическое поле, которое при сложении с падающим полем взаимно компенсируется и уничтожается.



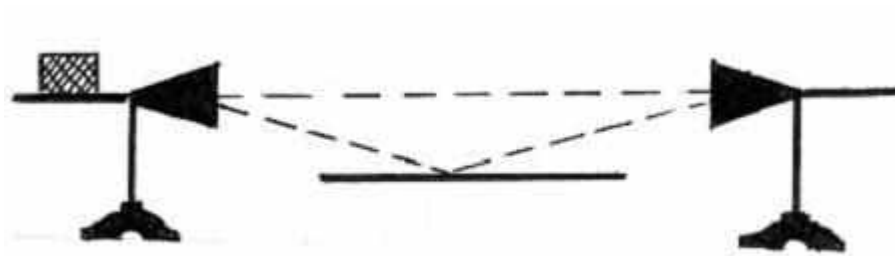
## 5. Отражаются от проводников



## 6. Волны Преломляются



## 7. Интерференция электромагнитных волн



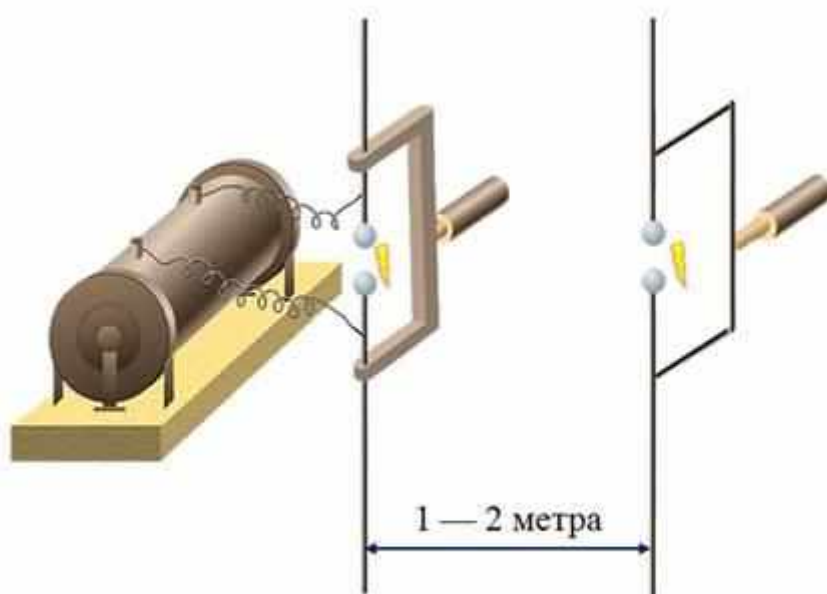
К сожалению, Максвелл не дождался надежного экспериментального подтверждения своих расчетов. Международное научное мнение изменилось



в результате опытов Генриха Герца, который только через 20 лет в серии своих экспериментов продемонстрировал генерацию и прием электромагнитных волн.



Генрих Рудольф Герц



Он разработал удачную конструкцию генератора электромагнитных колебаний (вibrator Герца) и метод их обнаружения **способом резонанса**. Это устройство представляет собой открытый колебательный контур, который можно получить из закрытого путем раздвижения пластин конденсатора и уменьшением их площади до тех пор, пока не получится просто прямой провод.

В таком открытом контуре заряды не сосредоточены на его концах, а распределяются по всему проводнику, при этом ток в данный момент времени во всех сечениях проводника будет направлен в одну и ту же сторону. Однако **сила тока в различных сечениях проводника неодинакова** — на концах она равна нулю, а в центре — максимальная.

Для возбуждения колебаний в таком открытом контуре, во времена Герца, поступали следующим образом: провод разрезали посередине так, чтобы оставался небольшой промежуток. При подаче от индукционной катушки высокого напряжения в промежутке проскакивала искра, которая и закорачивала его. За время горения искры, в контуре **совершалось большое количество колебаний**. Приемник (его еще называют резонатор) также состоял из проволоки с искровым промежутком. Наличие резонанса выражалось в возникновении искр в искровом промежутке резонатора в ответ на искру, возникающую в вибраторе.

В результате **проделанных Герцем опытов** были также обнаружены все **свойства электромагнитных волн, теоретически предсказанные Максвеллом**. Однако сам Герц считал, что полученные им электромагнитные волны невозможно использовать в больших масштабах и тем более передавать с их помощью какую-либо информацию.



Таким образом, Генрих Герц завершил огромный труд, начатый Фарадеем. Максвелл преобразовал представления Фарадея в математические формулы, а Герц превратил математические образы в видимые и слышимые нами электромагнитные волны. Слушая радио, просматривая телевизионные передачи, все должны помнить об этом человеке. Не случайно единица частоты колебаний названа в честь Герца, и совсем не случайно первыми словами, переданными русским физиком А.С. Поповым с помощью беспроводной связи, были "Генрих Герц", зашифрованные азбукой Морзе.



Любопытно, но за семь лет до Герца, в 1879 году английский физик Дэвид Эдвард Хьюз также продемонстрировал перед крупными учеными эффект распространения электромагнитных волн в воздухе. Однако, в результате многочисленных обсуждений, ученые решили, что видят явление электромагнитной индукции Фарадея. Хьюз расстроился, не поверил самому себе и опубликовал результаты лишь в 1899 году, когда теория Максвелла-Герца уже стала общепринятой.

На данный момент известно, что буквально всё пространство вокруг нас пронизано электромагнитными волнами различных частот. В настоящее время все электромагнитные волны разделены по длинам волн (и, соответственно, по частотам) на **шесть основных диапазонов**.

**Границы этих диапазонов весьма условны**, потому как в большинстве случаев соседние диапазоны несколько перекрывают друг друга.

Электромагнитные волны разных частот отличаются друг от друга проникающей способностью, скоростью распространения в веществе, видимостью, цветностью и некоторыми другими свойствами.

**В настоящее время электромагнитные волны находят широкое применение в науке и технике:**

- плавка и закалка металлов, изготовление постоянных магнитов;
- телевидение и радиосвязь;
- мобильная связь и радиолокация;
- сварка, резка и плавка металлов лазерами, приборы ночного видения;
- освещение и голография;
- люминесценция в газоразрядных лампах и закаливание живых организмов;
- рентгенотерапия;
- дефектоскопия и исследование внутренней структуры атомов;
- и многое-многое другое.

**Основные выводы:**

- Распространяющееся в пространстве периодически изменяющееся электромагнитное поле называется **электромагнитной волной**.
- **Электромагнитные взаимодействия в природе не происходят мгновенно** – они распространяются с конечной скоростью, которая зависит от свойств среды.
- Для излучения электромагнитных волн необходимо иметь **открытый колебательный контур**, в котором будут генерироваться электромагнитные колебания высокой частоты.