

## Тема урока : Электромагнитное поле. Электромагнитные волны.

В данной теме речь пойдёт об электромагнитном поле. А также узнаем, что такое электромагнитные волны, и с какой скоростью они распространяются в пространстве.

Известно, что явление электромагнитной индукции было открыто Майклом Фарадеем в 1831 году.



Майкл Фарадей  
22.09.1791 — 25.08.1867

1831



Джеймс Клерк Максвелл  
13.06.1831 — 5.11.1879

В том же году в Англии родился Джеймс Клерк Максвелл, ставший впоследствии ученым и сделавший важнейшее научное открытие, которое позволило глубже понять сущность электромагнитной индукции. Согласно явлению электромагнитной индукции при изменении магнитного потока, пронизывающего контур замкнутого проводника, в этом проводнике возникает индукционный ток. Но, как мы знаем, ток может возникнуть только при наличии электрического поля.

Предположение о возникновении электрического поля в результате изменения магнитного сразу вызвало у ученых ряд вопросов. Например, отличается ли оно от поля, созданного неподвижными электрическими зарядами? Возникает ли это поле только в проводнике или существует и в пространстве вокруг него? Играет ли какую-либо роль в возникновении этого поля замкнутый проводник, по которому протекает ток?

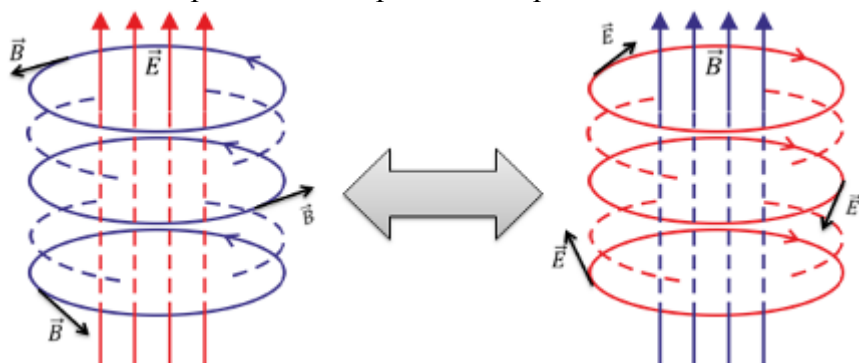
Ответы на эти и другие вопросы были получены в 1865 году, когда Максвелл высказал **мысль о возможном равноправии полей**. Он теоретически доказал свое предположение, создав теорию электромагнитного поля на основе двух постулатов:

**Первый постулат:** *переменное магнитное поле создает в окружающем его пространстве вихревое электрическое поле, линии напряженности которого представляют собой замкнутые линии, охватывающие линии индукции магнитного поля.*

**Второй постулат:** *переменное электрическое поле создает в окружающем его пространстве вихревое магнитное поле, линии индукции которого охватывают линии напряженности переменного электрического поля.*

**Переменное электрическое поле называется вихревым**, поскольку его силовые линии замкнуты подобно линиям индукции магнитного поля. Это отличает его от поля электростатического (т. е. постоянного, не меняющегося во времени), которое существует вокруг неподвижных заряженных тел. Напомним, что силовые линии электростатического поля начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных.

**Вихревое электрическое и магнитное поля "сцеплены" друг с другом, существуют одновременно и взаимно порождают друг друга.** Нельзя создать переменное магнитное поле без того, чтобы в пространстве не возникло переменное вихревое электрическое поле.



Не менее важно, то обстоятельство, что электрическое поле без магнитного, и наоборот, могут существовать лишь по отношению к определенным системам отсчета. Так, покоящийся заряд создает только

электростатическое поле. Но ведь заряд покоится лишь относительно определенной системы отсчета, а относительно другой он будет двигаться и, следовательно, создавать магнитное поле.

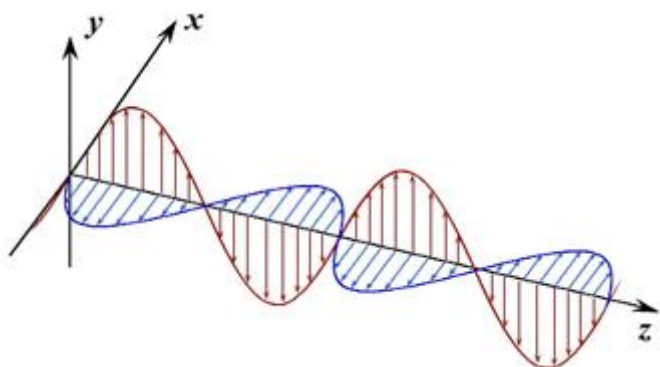
**Совокупность неразрывно связанных друг с другом изменяющихся электрического и магнитного полей представляет собой электромагнитное поле.**

Открытие электромагнитного поля позволило более детально описать механизм возникновения индукционного тока. Во всех опытах по получению индукционного тока, тем или иным образом изменялся магнитный поток, пронизывающий контур замкнутого проводника. При этом, согласно теории Максвелла, **возникало вихревое электрическое поле, под действием которого свободные заряды, всегда имеющиеся в проводнике, приходили в направленное движение.**

Созданная Максвеллом теория, позволившая предсказать существование электромагнитного поля за 22 года до того, как оно было обнаружено экспериментально, считается величайшим из научных открытий, роль которого в развитии науки и техники трудно переоценить.

Из созданной Максвеллом теории вытекал вывод о том, что по своей природе электромагнитное поле не остается локализованным в месте зарождения, а распространяется в пространстве.

**Распространяющееся в пространстве периодически изменяющееся электромагнитное поле представляет собой электромагнитную волну.**



Этот процесс распространяется в пространстве по всем направлениям. **Причем эти волны могут существовать не только в веществе, но и в вакууме.**

Из теории Максвелла вытекает, что электромагнитные волны распространяются от источника электромагнитных колебаний во все стороны с определенной скоростью.

Он чисто математически показал, что скорость распространения электромагнитного поля в вакууме равна скорости света, а в среде эта скорость меньше и зависит от свойств среды согласно формуле:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

где  $\epsilon$  — это диэлектрическая проницаемость среды, а  $\mu$  — магнитная проницаемость.

Известно, что в механических волнах, например в звуковых, энергия передается от одних частиц среды к другим. При этом частицы приходят в колебательное движение, т. е. их смещение от положения равновесия периодически меняется. Для передачи звука обязательно нужна вещественная среда.

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.

$$\vec{B} = \frac{\vec{F}}{Il}$$

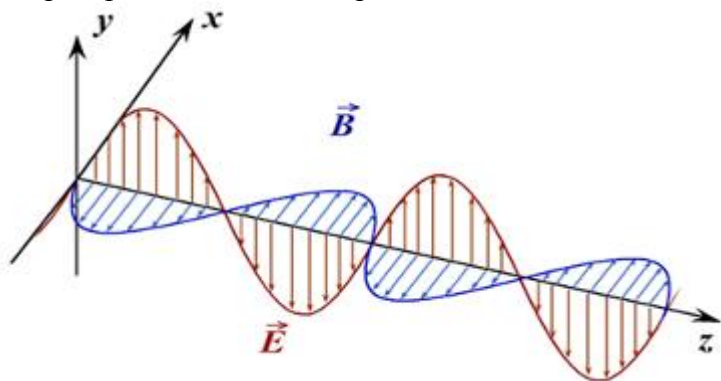
**Основной же количественной характеристикой электрического поля** служит векторная величина, называемая **напряженностью электрического поля**, которая обозначается буквой  $E$ .

**Напряженность** — это физическая векторная величина, характеризующая электрическое поле в данной точке и численно равная отношению силы действующей на неподвижный пробный заряд, помещенный в данную точку поля, к величине этого заряда.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Таким образом, когда говорим, что **магнитное и электрическое поля меняются, то это означает, что меняются соответственно вектор индукции магнитного поля и вектор напряженности электрического поля.**

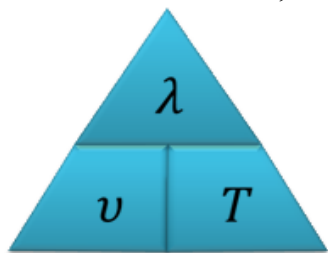
На рисунке изображены вектор напряженности электрического поля и вектор индукции магнитного поля электромагнитной волны в один и тот же момент времени. Это как бы «моментальный снимок» волны, распространяющейся в направлении оси  $Oz$ .



Плоскость, проведенная через векторы индукции и напряженности в любой точке, перпендикулярна направлению распространения волны, что говорит о поперечности волны. Таким образом, **электромагнитная волна** — это поперечная волна, так как вектора напряженности и индукции перпендикулярны вектору скорости.

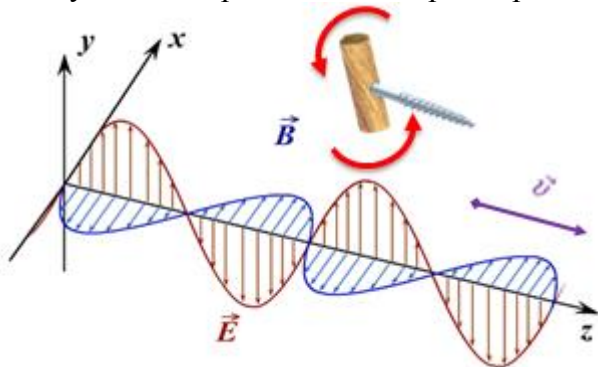
$$\underbrace{\vec{E} \perp \vec{v} \quad \vec{B} \perp \vec{v}}_{\vec{E} \perp \vec{B}}$$

Для электромагнитных волн справедливы те же соотношения между длиной волны, ее скоростью, периодом и частотой колебаний, что и для механических волн.



Колебания векторов напряженности электрического поля и индукции магнитного поля в каждой точке электромагнитной волны происходят в одинаковых фазах и по двум взаимноперпендикулярным направлениям.

Векторы напряженности электрического поля и индукции магнитного поля образуют с вектором скорости распространения **правовинтовую систему**: если головку правого винта расположить в плоскости векторов  $E$  и  $B$  и поворачивать ее в направлении от  $E$  к  $B$  по кратчайшему пути, то поступательное движение острия винта укажет направление вектора скорости в данный момент времени.



Электромагнитная волна, как и упругая, является носителем энергии, причем перенос энергии совершается в направлении распространения волны.

$$W_{\text{ЭМ}} = W_{\text{Э}} + W_{\text{М}}$$

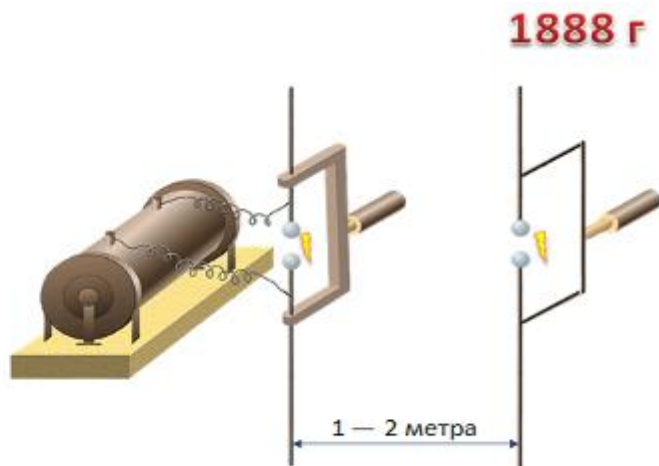
Электромагнитные волны распространяются прямолинейно в однородной среде, испытывают преломление при переходе из одной среды в другую, отражаются от преград.

Однако долгое время экспериментально никто не мог подтвердить существование электромагнитного поля и, как следствие, электромагнитных волн. Только в 1888 г. немецкому ученому Генриху Герцу удалось получить и зарегистрировать электромагнитные волны.

Он разработал удачную конструкцию генератора электромагнитных колебаний (вibrator Герца) и метод их обнаружения способом резонанса.



Генрих Рудольф Герц  
22. 02. 1857 — 01. 01. 1894

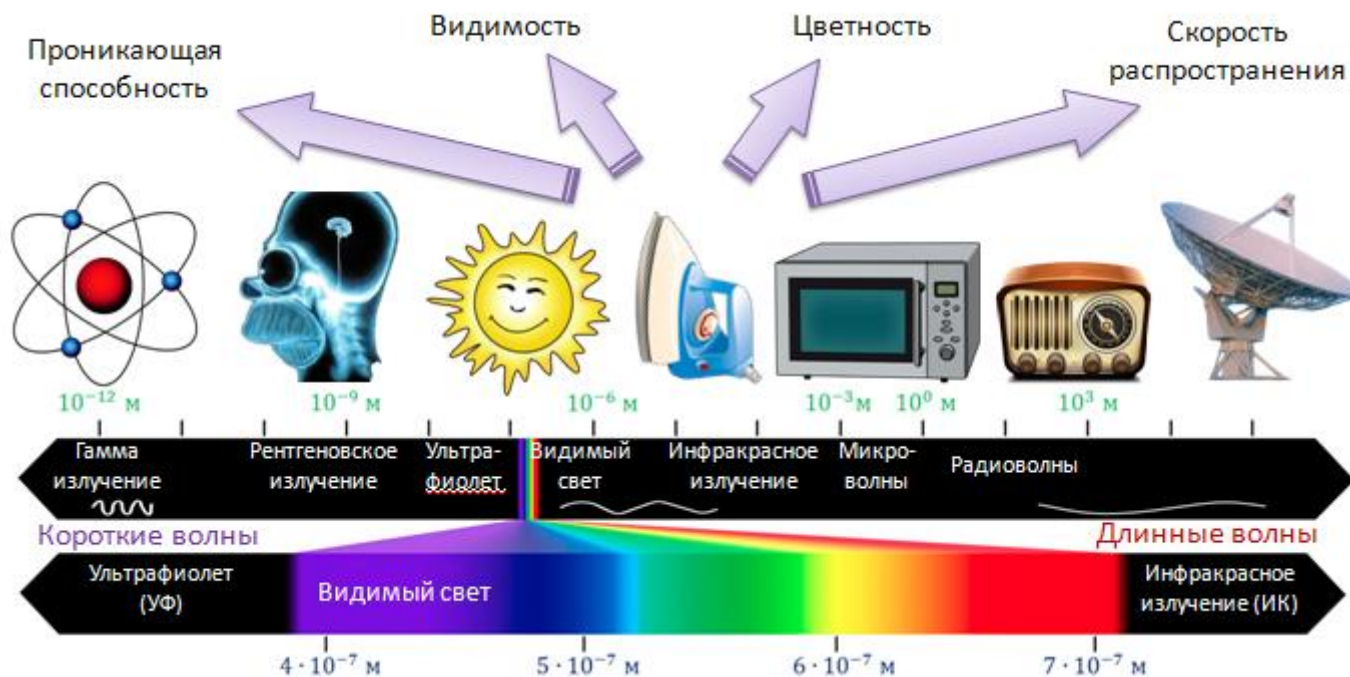


Вибратор состоял из двух линейных проводников, на концах которых имелись металлические шарики, образующие искровой промежуток. При подаче от индукционной катушки высокого напряжения в промежутке проскакивала искра, она закорачивала промежуток. За время ее горения, в контуре совершалось большое количество колебаний. Приемник (резонатор) 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 опытов Герца были также обнаружены все свойства электромагнитных волн, теоретически предсказанные Максвеллом.**

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

Границы диапазонов весьма условны, поэтому 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.

#### Основные выводы:

– **Напряженность** — это физическая векторная величина, характеризующая электрическое поле в данной точке и численно равная отношению силы действующей на неподвижный пробный заряд, помещенный в данную точку поля, к величине этого заряда.

- **Электромагнитное поле** — это совокупность неразрывно связанных друг с другом изменяющихся электрического и магнитного полей.
- **Электромагнитная волна** — это распространяющееся в пространстве периодически изменяющееся электромагнитное поле.
- Скорость распространения электромагнитной волны в вакууме равна скорости света, а в среде эта скорость меньше и зависит от свойств среды.

**Сделайте краткий конспект урока в тетради и выполните практическую работу**

**Практическая работа «Исследование свойств электромагнитных волн»**

*Оборудование:* два мобильных телефона, пластмассовая или стеклянная коробочка с крышкой, металлическая фольга.

***Исследуйте способность электромагнитных волн проникать сквозь преграды из диэлектрика и металла.***

*Порядок выполнения задания*

1. Проверьте способность мобильного телефона принимать электромагнитные волны от станции мобильной связи. Для этого позвоните на первый телефон со второго телефона.
2. Положите первый телефон в пластмассовую коробочку с крышкой и снова позвоните на него со второго телефона. Сделайте вывод: способны ли электромагнитные волны проникать сквозь преграды из диэлектрика?
3. Заверните первый телефон в два слоя металлической фольги и снова позвоните на него со второго телефона. Сделайте вывод: способны ли электромагнитные волны проникать сквозь преграды из металла?

***Выполненное задание отправить Шиловой Н.Н. на электронную почту [yflzibkjdf@yandex.ru](mailto:yflzibkjdf@yandex.ru)***