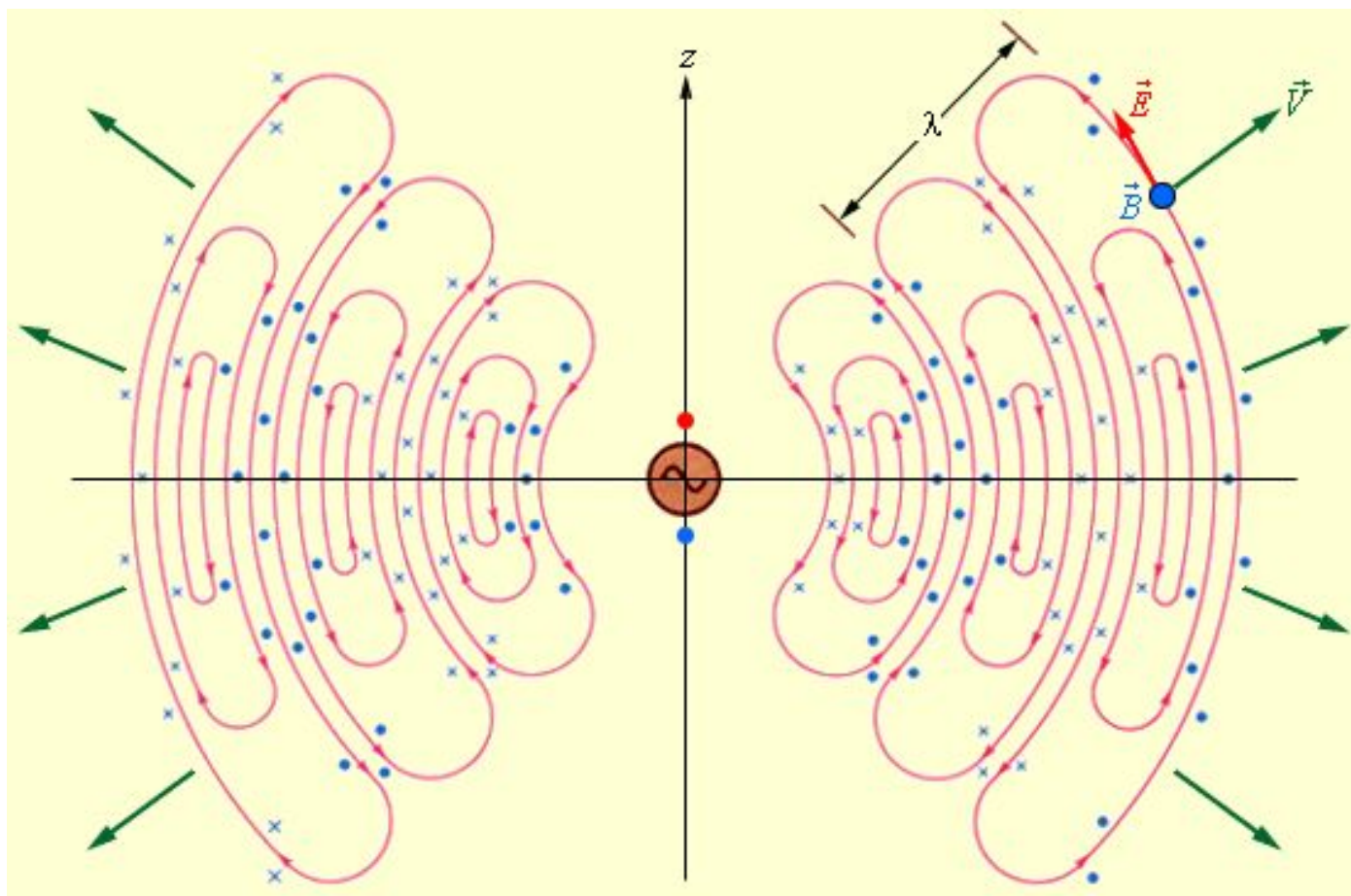


# ТЕОРИЯ ЕДИНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В УРАВНЕНИЯХ МАКСВЕЛЛА



# УРАВНЕНИЯ МАКСВЕЛЛА В ИНТЕГРАЛЬНОЙ ФОРМЕ

## 1. Теорема о циркуляции вектора $\vec{E}$

$$\vec{E} = \vec{E}_{\text{стат}} + \vec{E}_{\text{вихр}}$$

:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = \oint_L \vec{E}_{\text{стат}} d\vec{l} + \oint_L \vec{E}_{\text{вихр}} d\vec{l} \quad (1) \quad \oint_L \vec{E}_{\text{стат}} d\vec{l} = 0 \longrightarrow (1)$$

$$\int_L \vec{E}_{\text{вихр}} d\vec{l} = \varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} \quad \Phi = \int_S \vec{B} d\vec{S}$$

$$\int_L \vec{E}_{\text{вихр}} d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{S} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} \longrightarrow (1)$$

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$$

-Это уравнение является обобщением закона Фарадея и показывает, что причиной появления вихревого электрического поля является переменное магнитное поле..

## 2. Теорема Гаусса для вектора $\vec{D}$

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_V \rho dV \quad (2) \quad \text{- Причиной появления электрического поля являются также свободные заряды.}$$

## 3. Теорема Гаусса для вектора $\vec{B}$

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (3) \quad \text{- В природе не существует магнитных зарядов и силовые линии магнитного поля замкнуты на себя.}$$

## 4. Теорема о циркуляции для вектора $\vec{H}$

$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S (j_{\text{пров}} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) \cdot d\vec{S} \quad (3) \quad \text{- Источниками магнитного поля являются токи проводимости и переменное электрическое поле.}$$

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \left( \vec{j}_{\text{пров}} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S} = \int_S \vec{j}_{\text{пров}} d\vec{S} + \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S}$$

$$I_{\text{пров}} = \int_S \vec{j}_{\text{пров}} d\vec{S}$$

$$I_{\text{смещ}} = \int_S \vec{j}_{\text{смещ}} d\vec{S} = \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S}$$

Ток смещения или изменяющееся во времени электрическое поле вызывает появление магнитного поля

$$\vec{j}_{\text{смещ}} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

**Ток смещения – количественная характеристика способности переменного электрического поля породить переменное магнитное поле.**

Полный ток:

$$I = I_{\text{пров}} + I_{\text{смест}}$$

Обобщенный закон полного тока (3)

$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{\text{пров}} + I_{\text{смест}}$$

ил

$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \left( \vec{j}_{\text{пров}} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$$

Итак, уравнений в интегральной форме, описывающих электромагнитное поле, четыре:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} \quad (1)$$

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV \quad (2)$$

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S (j_{\text{пров}} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) d\vec{S} \quad (3)$$

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0 \quad (4)$$

Причины появления электрического поля – переменное магнитное поле и свободные заряды.

Причины появления магнитного поля – переменное электрическое поле и токи проводимости.

$$\left\{ \begin{array}{l} \oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} \\ \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S (j_{\text{пров}} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) d\vec{S} \\ \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0 \end{array} \right.$$

## Резюме

Электрическое поле создают либо электрические заряды, либо изменяющиеся во времени магнитные поля.

Магнитное поле создают либо движущиеся электрические заряды, либо изменяющиеся во времени электрические поля

# ЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

1. Стационарные  
поля:

$$\frac{\nabla \partial D}{\partial t} = \frac{\nabla \partial B}{\partial t} = 0$$

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} = 0$$

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V \rho dV$$

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \int_S \vec{j}_{\text{проб}} d\vec{S}$$

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

Вывод

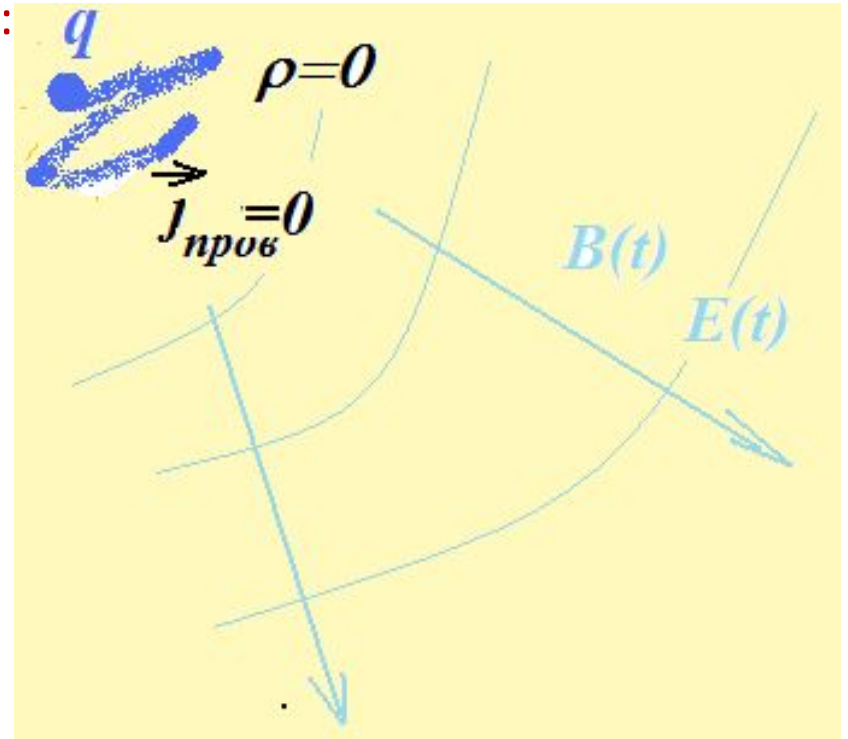
1. Стационарные электрическое и магнитное поля существуют независимо друг от друга.
2. Разделение эл.-маг. поля на электрическое и магнитное относительно и зависит от выбора системы отсчета.



2. **Переменное электромагнитное поле (т. е. не содержащее стационарной составляющей):** Пусть в некоторой области пространства нет зарядов и токов проводимости ( $\rho = 0, J_{\text{пров}} = 0$ ). Согласно уравнениям Максвелла, там может существовать переменное электромагнитное поле:

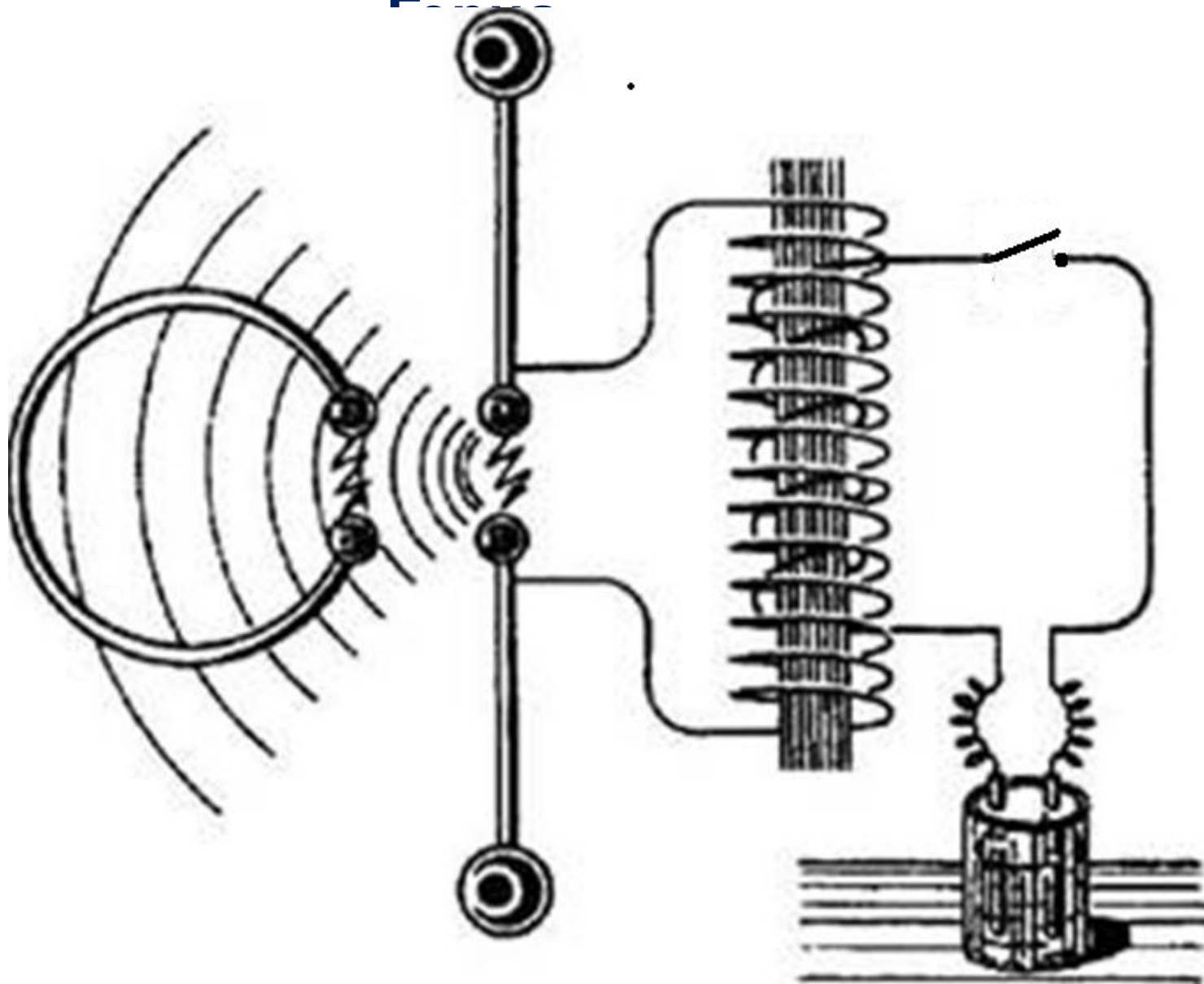
$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$



Т. е. можно в какой-либо области пространства создать переменное электромагнитное поле, потом источник выключить, а поля остались, они сами друг друга поддерживают. Так Максвелл пришел к идее существования электромагнитных волн.

# Схема опыта



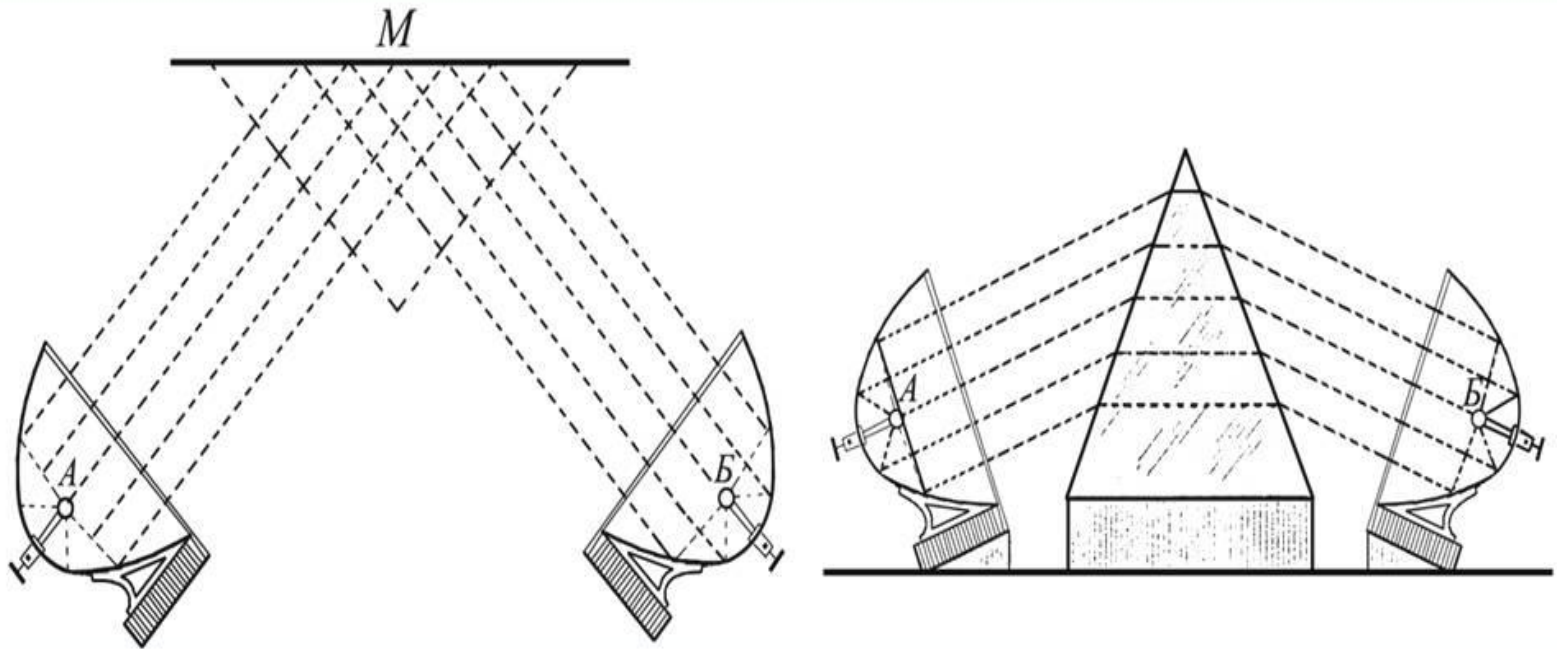
## Вибратор Герца

Герц использовал [медные](#) стержни с металлическими шарами на концах, в искровой промежуток которых включалась [катушка Румкорфа](#). Если подать на такую конструкцию высокое напряжение, в промежутке проскочит искра, а в вибраторе возникнут колебания с периодом меньше, чем время горения искры. Длина электромагнитных волн примерно в два раза превышает размеры самого вибратора. <sup>[2]</sup> Наименьший из применявшихся Герцем вибраторов (0,26 м) позволял получить колебания с частотой порядка  $5 \cdot 10^8$  Гц, что соответствует длине волны в 0,6 м. Герц также помещал вибраторы в фокусе [вогнутых зеркал](#) для получения направленных [плоских волн](#).

С помощью металлических зеркал и [асфальтовой призмы](#) Герц убедился в том, что законы отражения и преломления электромагнитных волн невидимого спектра подчиняются законам геометрической оптики видимого спектра.

Герц также померил скорость электромагнитной волны.

## Опыт Герца с металлическими параболическими зеркалами и призмой



Установлена полная аналогия преломления и отражения ЭМВ со световыми волнами

# Материальные

4 уравнения Максвелла дополняются 3-мя уравнениями, связывающими характеристики поля со свойствами среды:

$$\vec{D} = \epsilon\epsilon_0 \vec{E}$$

$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H}$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

Теория Максвелла является **МАКРОСКОПИЧЕСКОЙ**, т. е. рассматривает поля, созданные макроскопическими зарядами и токами. Величины  $\epsilon$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$  вводятся без связи с молекулярным строением вещества. Эта теория не может вскрыть внутреннего механизма явлений, происходящих в среде при возникновении в ней электромагнитных полей.