

Уравнения Максвелла

Кусайынов М.



James Clerk Maxwell.

- **Уравнения Максвелла** в электродинамике – это как законы Ньютона в классической механике или как постулаты Эйнштейна в теории относительности. **Фундаментальные уравнения**, в сущности которых мы сегодня будем разбираться.

- Уравнения Максвелла – это система уравнений в дифференциальной или интегральной форме, описывающая любые электромагнитные поля, связь между токами и электрическими зарядами в любых средах.

- **Уравнения Максвелла** неохотно принимались и критически воспринимались учеными-современниками Максвелла. Все потому, что эти уравнения не были похожи ни на что из известного людям ранее.

- Тем не менее, и по сей день нет никаких сомнений в правильности уравнений Максвелла, они «работают» не только в привычном нам макром мире, но и в области квантовой механики.
- Уравнения Максвелла совершили настоящий переворот в восприятии людьми научной картины мира. Так, они предвосхитили открытие радиоволн и показали, что свет имеет электромагнитную природу.

Первое уравнение Максвелла

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

- По порядку запишем и поясним все 4 уравнения. Сразу уточним, что записывать их будем в системе СИ.

Дивергенция – это дифференциальный оператор, определяющий поток какого-то поля через определенную поверхность. Уместным будет сравнение с краном или с трубой. Например, чем больше диаметр носика крана и напор в трубе, тем большим будет поток воды через поверхность, которую представляет собой носик.

- В первом уравнении Максвелла E – это векторное электрическое поле, а греческая буква « ρ » – суммарный заряд, заключенный внутри замкнутой поверхности.
- Так вот, поток электрического поля E через любую замкнутую поверхность зависит от суммарного заряда внутри этой поверхности. Данное уравнение представляет собой **закон (теорему) Гаусса**.

Третье уравнение Максвелла

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0$$

- Мы пропустим второе уравнение, так как третье уравнение Максвелла – это тоже **закон Гаусса**, только уже не для электрического поля, а для магнитного.

- Что это значит? Поток магнитного поля через замкнутую поверхность равен нулю. Если электрические заряды (**положительные и отрицательные**) вполне могут существовать по отдельности, порождая вокруг себя электрическое поле, то магнитных зарядов в природе просто не существует.

Второе уравнение

Максвелла

$$\operatorname{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

- Второе уравнение Максвелла представляет собой ни что иное, как **закон Фарадея**.
- На основе закона Фарадея работают электродвигатели: вращающийся магнит порождает ток в катушке

- Ротор электрического поля (интеграл через замкнутую поверхность) равен скорости изменения магнитного потока, пронизывающего эту поверхность. Чтобы лучше понять, возьмем воду в ванной, которая сливается через отверстие. Вокруг отверстия образуется воронка. **Ротор** – это сумма (интеграл) векторов скоростей частиц воды, которые вращаются вокруг отверстия.

Четвертое уравнение Максвелла

- Четвертое - самое важное из всех уравнений Максвелла. Именно в нем ученый ввел понятие **тока смещения**.
- Для установления количественных соотношений между изменяющимся электрическим полем и вызываемым им магнитным полем Максвелл ввел в рассмотрение **ток смещения**
 - Этот термин имеет смысл в таких веществах, как, например, диэлектрики. Там смещаются заряды под действием электрического поля. Но в вакууме зарядов нет – там смещаться нечему, а магнитное поле есть.
 - Максвелл сделал вывод: всякое переменное электрическое поле порождает переменное магнитное поле.

Четвертое уравнение Максвелла

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \frac{j}{\varepsilon_0 c^2} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial E}{\partial t}$$

- Это уравнение еще называется теоремой о циркуляции вектора магнитной индукции. Оно говорит нам о том, что электрический ток и изменение электрического поля порождают вихревое магнитное поле.

- Приведем теперь всю систему уравнений и кратко обозначим суть каждого из них:

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0$$

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \frac{j}{\varepsilon_0 c^2} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial E}{\partial t}$$

- **Первое уравнение:** электрический заряд порождает электрическое поле
- **Второе уравнение:** изменяющееся магнитное поле порождает вихревое электрическое поле
- **Третье уравнение:** магнитных зарядов не существует
- **Четвертое уравнение:** электрический ток и изменение электрической индукции порождают вихревое магнитное поле