

## БИЛЕТ №21

# ЗАКОН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ В ТРАКТОВКЕ МАКСВЕЛЛА. ПОЛНАЯ СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ МАКСВЕЛЛА. КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ УРАВНЕНИЙ.

### Закон электромагнитной индукции в трактовке Максвелла

Закон электромагнитной индукции Фарадея гласит, что на любом контуре, поток магнитного поля через который меняется со временем, возникает ЭДС, равная:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\int B \cdot dS}{dt} \quad (1)$$

При этом в этой трактовке подразумевается, что у нас есть какой-то проводник, на котором эта ЭДС и будет индуцироваться. Максвелл развил эту идею, и сформулировал ее как уравнение в первую очередь от электрического поля. Таким образом, оно записывается как (что чисто формально эквивалентно уравнению выше, но тут важна привязка не к потокам и ЭДС, а к основам — к электрическому и магнитному полям):

$$\oint E \cdot dl = -\frac{d}{dt} \int B \cdot dS \quad (2)$$

Что еще более важно, Максвелл пошел еще дальше, и предположил, что изменение электрического поля также порождает магнитное поле. Таким образом, закон Фарадея как уравнение Максвелла становится важным связующим между переходящим друг в друга магнитным и электрическим полем, и это дает ей совершенно другую глобальную интерпретацию (не просто какой-то «левый» экспериментальный закон, а основополагающая физическая концепция).

### Полная система уравнений Максвелла

В нее входит закон Гаусса, отсутствие магнитных зарядов (иногда называется законом Гаусса для магнитных зарядов), закон Фарадея (вышеупомянутый) и обобщенная теорема о циркуляции:

$$\oint E \cdot dS = \frac{q}{\varepsilon_0} \quad (3)$$

$$\oint B \cdot dS = 0$$

$$\oint E \cdot dl = -\frac{d}{dt} \int B \cdot dS$$

$$\begin{aligned} \oint B \cdot dl &= \mu_0 I + \frac{d}{dt} \mu_0 \varepsilon_0 \int E \cdot dS = \\ &= \mu_0 I + \frac{d}{dt} \frac{1}{c^2} \int E \cdot dS \end{aligned}$$

## Качественный анализ уравнений

Закон Гаусса — фундаментальный закон, который можно трактовать как то, что линии электрического поля могут выходить только из зарядов. Причем в случае с динамикой соотношение должно сохраняться, откуда можно сделать вывод о том, что электрические волны как часть электромагнитных распространяются "кольцами", замкнутыми контурами.

Закон Гаусса для магнитного поля — практически все тоже самое, но только для магнитного поля. Из этого следует, например, невозможность создания однополюсных магнитов.

Следующие два уравнения — закон Фарадея и обобщенная теорема о циркуляции, описывают, в первую очередь, распространение электромагнитных волн. Множитель  $\mu_0 \varepsilon_0 = \frac{1}{c^2}$  описывает "вторую сущность" для скорости света, позволяет ее получить теоретически.

Суммарно эти уравнения позволяют детерминировать (описать) все электромагнитные поля, зная геометрию системы и начальные условия, т.е. полностью все задают. Таким образом, для электромагнитных полей их можно назвать "исчерпывающими", то есть остальные уравнения про электромагнитные волны можно вывести непосредственно из них.