

### Източници на електромагнитното поле<sup>1</sup>

Понятието *източник на полето* не е измежду онези, които според учебната документация следва да се формират в обучението по физика. Прегледът на нашите учебници показва, че в техните версии от последните години то започва да се употребява, но появата му е по-скоро спорадична, отколкото целенасочена. Трябва да се има предвид обаче, че изискването на понятийния апарат на **учебния предмет** физика да съответства максимално на понятийния апарат на **науката** физика очертава тенденцията за все по-системно включване на понятието *източник на поле* в кръга на основните за училищния курс по физика понятия, поне на второ равнище.

Тук не си поставяме задача да дадем определение на въпросното понятие. Целта е чрез конкретния пример на полето, което относително най-пълно се изучава в училище – електромагнитното, да покажем как чрез регламентация на употребата на термина *източник на поле* може да се допринесе за по-доброто усвояване на основните закони на разновидностите на това поле – статични, стационарни и променливи.

Тъй като характеристиките на електромагнитното поле са две векторни полета (полета в математичния смисъл) – полетата  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$ , първо ще припомним някои факти от векторния анализ. Всяко векторно поле има два вида източници – скаларни източници, които определят неговата дивергенция, и векторни източници, които определят неговата ротация. Скаларните източници пораждат консервативно поле, поле, което може да се характеризира със скаларен потенциал, а векторните източници създават вихрово поле.

Въпросът за източниците на **електромагнитното поле** (което е по принцип променливо) се решава от уравненията на Максвел:

$$\operatorname{rot}\vec{E} + \frac{\partial\vec{B}}{\partial t} = 0$$

$$\operatorname{rot}\vec{B} - \epsilon_0\mu_0 \frac{\partial\vec{E}}{\partial t} = \mu_0\vec{I}(\vec{r}, t)$$

$$\operatorname{div}\vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0}k(\vec{r}, t)$$

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

където  $k(\vec{r}, t)$  и  $\vec{I}(\vec{r}, t)$  са съответно плътностите на зарядите и на токовете.

Уравненията обикновено се записват именно в този вид, като в лявата им страна стоят неизвестните величини, характеристиките на полето (всъщност – техните производни), а в дясната – източниците, величините, които смятаме известни. Вижда се, че, най-общо казано, **източник на електромагнитното поле са електричните заряди**. Как следва да се разбира това твърдение? То означава, че характеристиките на полето ( $\vec{E}$  и  $\vec{B}$ ) се определят от разпределението и движението на зарядите. И доколкото движенията на зарядите наричаме електричен ток, по-детайлният вариант на същото твърдение гласи:

**Източници на електромагнитното поле са зарядите и токовете.**

Електромагнитното поле е единен физичен обект, но в училищната физика той се описва с две векторни характеристики – с интензитета  $\vec{E}$  на електричното и с индукцията  $\vec{B}$  на магнитното поле. Самите названия на тези величини показват, че с тях се въвеждат, поне като *математически обекти*, две отделни полета – електричното

<sup>1</sup> Физика, 1991, 6, с. 43–45.

и магнитното. В специалната теория на относителността въпросът за относителността на това разграничение се изяснява най-пълно, но, за съжаление, в училище (с редки изключения) дори не се засяга.

Фактът, че говорим поотделно за променливо електрично и за променливо магнитно поле, поставя въпроса и за техните източници. Неговият отговор също се съдържа в уравненията на Максвел, но вече записани в малко променен вид:

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} k(\vec{r}, t)$$

За електричното поле

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

За магнитното поле

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{I}(\vec{r}, t) + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}.$$

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

Този вид подсказва, че вече промените с времето на едното поле разглеждаме като източници на другото поле. От тези две двойки уравнения следва, че:

**Източници на променливото електрично поле са зарядите и промените на магнитното поле с времето, а източници на променливото магнитно поле са движенията на зарядите (токовете) и промените на електричното поле с времето (токовете на отместване).**

При това уравненията показват, че докато и двата източника на магнитното поле са векторни, т.е. създават вихрово поле, то единият от източниците на електричното поле е скаларен, т.е. създава потенциално (консервативно) поле.

В стационарния случай, т.е. когато характеристиките на полето не зависят от времето ( $\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = 0$  и  $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0$ ), системата от четирите уравнения на Максвел се разпада на две **независими** една от друга системи от по две уравнения: за стационарното електрично, и за стационарното магнитно поле:

За стационарното електрично поле  $\operatorname{div} \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} k(\vec{r})$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = 0$$

За стационарното магнитно поле  $\operatorname{div} \vec{B} = 0$

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{I}(\vec{r}).$$

Тъй като промени с времето вече няма, всяко от тези полета има само по един източник:

**Източник на стационарното електрично поле са зарядите, а източник на стационарното магнитно поле са токовете.**

В статичния случай, когато движение на зарядите няма, магнитно поле не се създава. В този случай:

**Източник на електростатичното поле са електричните заряди.**

В предлаганата схема за използване на термина *източник на дадено поле* прави впечатление следната особеност, която се обяснява с традициите в това отношение: промените на електричното и на магнитното поле с времето не са причислени към източниците на електромагнитното поле, въпреки че се смятат за източници на променливото магнитно и на променливото електрично поле, съответно.

Следва да се отбележи, че всичко казано дотук е валидно за случая, който обикновено се нарича електромагнитно поле във вакуум (това подсказва и видът на използваните уравнения). Когато в пространството има и непрекъснати среди и по-специално феромагнетици, вече може да съществува и магнетостатично поле. Негови източници са фиктивните магнитни заряди (или маси), които се въвеждат за удобство при отчитане на намагнитеността на средата, т.е. да се отчетат полетата, създадени от токовете в градивните ѝ частици.

Всичко гореказано може да се систематизира във вид на следната таблица, която е удобна за използване в някои от часовете за преговор, обобщение и систематизация на знанията за електромагнитното поле.

Таблица

Полета	Източници
Електромагнитно	Заряди (заряди и токове)
Променливо електрично	Заряди и промени на магнитното поле с времето
Променливо магнитно	Движение на заряди и токове на отместване
Стационарно електрично	Заряди
Стационарно магнитно	Движение на заряди (постоянни токове)
Електростатично	Неподвижни заряди
Магнетостатично	Фиктивни магнитни заряди