

Импулс на електромагнитното поле¹

Почти във всеки вариант на учебна програма по физика и в съответните учебници се предвиждат разсъждения, които на качествено равнище показват, че електромагнитното поле притежава *енергия*. Интересно е, че на това равнище може да се направят и разсъждения, които показват, че полето притежава и *импулс*.

Логиката на разсъжденията ще следва схемата: разглеждаме две състояния на подходяща проста система от две части: от заряди и от тяхното електромагнитно поле, върху които действа **външна** сила \vec{F} . Ще използваме известното от механиката определение, че импулсът \vec{p} на системата е величина, чиято промяна $\Delta\vec{p}$ е равна на импулса $\vec{F}\Delta t$ на външната сила, т.е.:

$$\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t.$$

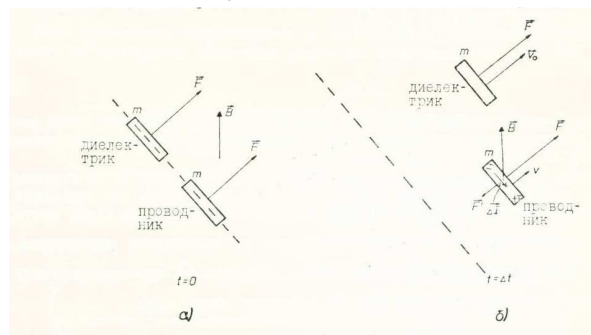
Ако успеем да пресметнем промяната $\Delta\vec{p}_m$ на механичния импулс на частицата, ще се окаже, че тя е различна от импулса на силата, т.е., че $\Delta\vec{p}_m \neq \vec{F}\Delta t$. По силата на закона за запазване на импулса ще трябва да заключим, че освен механичния, системата притежава и друг вид импулс, чиято промяна е равна на $\vec{F}\Delta t - \Delta\vec{p}_m$. И тъй като освен заредените частици към системата сме причислили и електромагнитното поле, ще трябва да заключим, че този “липсващ” импулс се носи именно от полето. По такъв начин определение за импулса на електромагнитното поле ще бъде равенството:

$$\Delta\vec{p}_{em} = \vec{F}\Delta t - \Delta\vec{p}_m.$$

Не е трудно да се подбере система, за която сравнително леко да се пресметнат $\vec{F}\Delta t$ и $\Delta\vec{p}_m$ и следователно $\Delta\vec{p}_{em}$ да се свърже с характеристиките на полето (т.е. – да се изведе формулата $\vec{p}_{em} = \epsilon_0 \vec{E} \times \vec{B}$). В случая обаче това не е необходимо (в училище не се извеждат и формулите за плътностите на електричната и на магнитната енергия), тъй като въпросът поставя проблема само на качествено равнище – да покажем съществуването на импулс на полето, без да извеждаме формула за плътността му.

Да разгледаме две неподвижни пръчки с равни маси m , направени съответно от диелектрик и от проводник. Ако на всяка от тях започнат да действат едновременно две еднакви сили \vec{F} , перпендикулярни на пръчките, след време Δt всяка от тях ще има скорост $v_0 = \frac{F\Delta t}{m}$.

Да си представим сега, че провеждаме опита в постоянно, хомогенно магнитно поле с индукция \vec{B} , която е перпендикулярна както на пръчките, така и на действащата сила \vec{F} (фиг. 1). За диелектричната пръчка наличието на полето е без значение – след време Δt тя отново ще има импулс $m\vec{v}_0 = \vec{F}\Delta t$.



¹ Физика, 1983, 5, с. 39–41.

Фиг. 1.

Под влияние на магнитните сили обаче свободните заряди в проводника ще започнат да се движат – за кратко време протича ток $\Delta \vec{I}$, в резултат на което в краищата на пръчката се натрупват заряди с противоположни знаци. Тяхната големина расте дотогава, докато породената от полето им електрична сила не компенсира магнитната сила – в този момент токът спира. (Подобна ситуация се изучава в 9. клас при обясняване произхода на индуцираното ЕДН в движещ се проводник.

При протичането си токът $\Delta \vec{I}$ взаимодейства с магнитното поле \vec{B} и резултатът е една нова магнитна сила \vec{F}' , която по правилото на изпънатите пръсти на дясната ръка има посока, противоположна на **външната** сила \vec{F} . Следователно проводящата пръчка ще се ускорява не от цялата сила \vec{F} , а от разликата $(F - F')$. Ето защо, след време Δt както скоростта v на пръчката, така и механичният ѝ импулс $m\vec{v}$ ще бъдат по-малки съответно от скоростта v_0 и от импулса $m\vec{v}_0$ на диелектричната пръчка. И тъй като импулсът $F\Delta t$ на външната сила в двата случая е един и същ, следва да заключим, че при проводящата пръчка освен за създаване на механичен импулс $m\vec{v}$, импулсът на външната сила е създал и някакъв друг вид импулс. И понеже (като изключим разликата в скоростите) единствената разлика между крайните състояния на двете пръчки е наличието на електромагнитно поле при проводящата пръчка, следва да заключим, че недостигащият ѝ импулс $m(v_0 - v)$ се носи от полето, т.е. наистина електромагнитното поле притежава импулс. По такъв начин импулсът на втората система е сума от две събираеми: от механичния импулс на пръчката и от електромагнитния импулс на полето.

Тези разсъждения показват, че съществуването на импулс на електромагнитното поле може да се покаже още със средствата, които са на разположение в 9. клас. Използването на тази възможност е от принципно значение за затвърдяване на убеждението, че електромагнитното поле е една обективна реалност – то притежава същите характеристики (енергия, импулс), както и телата, т.е. познатите от преди материални обекти.