

Какво означава “Електромагнитните вълни са напречни...”¹

“Електромагнитните вълни са напречни – векторите \vec{E} и \vec{H} са перпендикулярни както на посоката на разпространение на вълната, така и помежду си.” Това са три твърдения (1. – вълните са напречни; 2. – \vec{E} и \vec{H} перпендикулярни на посоката на разпространение; 3. – \vec{E} и \vec{H} перпендикулярни помежду си), непохватливо вкоренени в училищния курс по физика, така както в обществено-политическия речник са се вкоренили някои идеологии. Първото от трите твърдения – че електромагнитните вълни са напречни, е вярно винаги, стига човек да знае какъв смисъл се влага в него. Второто – че векторите \vec{E} и \vec{H} са перпендикулярни на посоката на разпространение, е вярно, стига да се уточни правилно какво се разбира под посока на разпространение на вълната. Третото – \vec{E} и \vec{H} перпендикулярни помежду си, в някои случаи е вярно, в други – не е.

За да се оправим в свойствата на електромагнитните вълни, трябва да започнем с определението – *що е електромагнитно вълна?* Електромагнитна вълна се нарича всяко решение на уравненията:

$$(1) \quad \operatorname{rot} \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$$

$$(2) \quad \operatorname{rot} \vec{H} = \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \sigma \vec{E}$$

$$(3) \quad \operatorname{div} \vec{E} = 0$$

$$(4) \quad \operatorname{div} \vec{H} = 0.$$

(Тук σ е проводимостта на средата.) От тези уравнения в общия случай по никакъв начин не може да се докаже че векторите \vec{E} и \vec{H} са перпендикулярни помежду си. Такова доказателство е възможно само за някои типове вълни – например за плоските, за сферичните и др.п., и то **само** когато вълната се разпространява в диелектрична среда ($\sigma = 0$). И тъй като в училище се изучават предимно такива вълни, създава се впечатление, че \vec{E} и \vec{H} са перпендикулярни помежду си във всяка вълна. Но дори и вълната да е плоска, когато се разпространява в проводяща среда, ъгълът между двата въпросни вектора в общия случай вече не е 90° . Следователно наистина третото твърдение в едни случаи е вярно, а в други – не е.

Дали векторите \vec{E} и \vec{H} са винаги перпендикулярни на посоката на разпространение на вълната? Ако под посока на разпространение се разбира нормалата към вълновия фронт или към фазовите повърхности (при монохроматични вълни), каквато е обичайната практика в училище, твърдението няма всеобща валидност. Така например при разпространение на вълна в среда с анизотропни електрични свойства (например в повечето монокристали), в общия случай векторът \vec{E} не е перпендикулярен към нормалата на фазовите повърхности. (Ако и по отношение на магнитните свойства средата е анизотропна, което е по-скоро патология, и векторът \vec{H} няма да бъде перпендикулярен към въпросната нормала.)

Ако обаче под *посока на разпространение на вълната* разбираме *посоката, в която вълната пренася енергия*, тогава второто твърдение е вярно. Наистина, енергията се пренася в посока на вектора на Умов–Пойнтинг \vec{S} , а той зависи от характеристиките на полето посредством връзката $\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$. Известно е, че векторното произведение на два вектора е перпендикулярно на всеки от множителите, които от своя страна може и да не са перпендикулярни помежду си.

¹ Електромагнитните вълни са напречни, Физика, 1–2, 1997, с. 94–95.

Предвид казаното дотук е ясно, че първото твърдение – *електромагнитните вълни са напречни*, не може да бъде безусловно вярно във всички случаи, ако напречността се разбира в нейния тесен геометричен смисъл, т.е. като перпендикулярност на определени вектори. Това твърдение обаче е абсолютно вярно в друг смисъл, за разбирането на който е необходимо да припомним една теорема от математиката – теоремата на Хелмхолц. Според нея (практически) всяко векторно поле може да се представи като сума от две полета – едно *напречно* и едно *надлъжно* поле. При това *напречни* се наричат полетата, които нямат скаларни източници, т.е. – чиято дивергенция е нула, а *надлъжни* – полетата, които нямат векторни източници, т.е. – чиято ротация е нула. Пример за напречно поле е магнитното поле на постоянен ток по безкраен прав проводник, а пример за напречно поле – електричното поле на неподвижен точков заряд.

Един поглед върху дефиниционните за една електромагнитна вълна уравнения (3) и (4) показва, че в този смисъл електромагнитните вълни са **по определение** напречни.