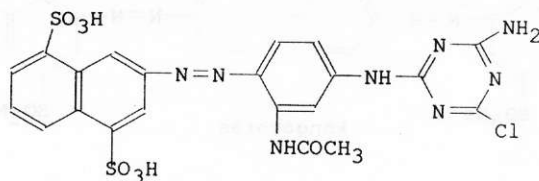


— 1920–1940 között a cianin-, ftalocianin-alapú festékek, a különböző indigóalapú színezékek óriási száma jelenik meg, kidolgozzák a trifenil-metán származékok rengeteg változatát (Malachit-zöld, brilliáns-zöld, stb.).

A második világháború, mint sok más egyebet, befagyasztotta a színezékutatást, amely csak 1956-tól vette igazából újra kezdetét, mikor kidolgozták a reaktív festékek széles skáláját, mely ragyogó, szép, változatos és variálható színűkkel, maradandó, ellenálló tulajdonságukkal megszerezték az uralmat a különböző kémiai összetételű textíliák (selyem, gyapot, gyapjú, különböző típusú műanyagok) festésében. Pl. a Cibakron Sárga R:



cibakron sárga R

**Makkay Klára**

## Tudod-e?

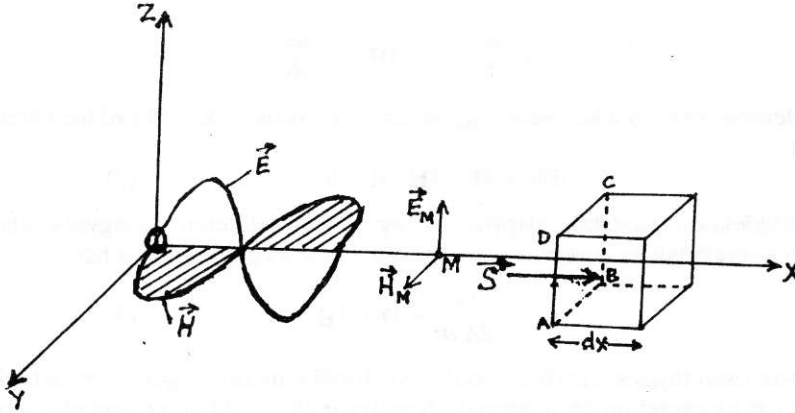
### Vezetőből kiszorulva\*

Az elemi és gimnáziumi tanulmányok során mindnyájunkban kialakul egy, a villamos jelenségekről alkotott kép, amely az érzékeinkkel nem követhető jelenségeket valamilyen, általunk a hétköznapi életből ismeretekhez köti. Közismert, hogy az elektromágneses energia áramlását a vezetőekben képzeljük el a szabad töltések mozgásaként, valahogy úgy, ahogy egy csőben áramló folyadék tömeget szállít. Ez az elképzelés tulajdonképpen az energiaáramlás egy modelljét képezi. Ennek a modellnek az alapján rendkívül egyszerűen számítható az

\* A szövegben szereplő vektoriális mennyiségeket kövér betűvel szedtük.

áramtermelő által a fogyasztónak időegység alatt juttatott energia, vagyis a teljesítmény, a jól ismert  $P = U I$  feszültség-áramerősség szorzattal.

Ha általánosításra törekszünk, akkor az  $U$  és  $I$  mennyiségek helyett meg kell próbálnunk bevezetni az  $\mathbf{E}$  és  $\mathbf{H}$  térjellemzőket (ahol  $\mathbf{E}$  a villamos,  $\mathbf{H}$  pedig a mágneses térerősség vektora). Erre az általánosításra és a hozzákapcsolódó szemléleti modellváltásra akkor van feltétlen szükség, amikor az elektromos energia szállítása nem alacsony frekvencián (pl. 50 Hz-en) és fémes vezetőben, hanem nagyfrekvencián és dielektrikumban (pl. levegőben) elektromágneses hullám formájában történik.



Ebben az esetben az elektromágneses hullám egy felületen át időegység alatt átvitt energiáját csak az  $\mathbf{E}$  és  $\mathbf{H}$  térjellemző vektorok segítségével tudjuk kiszámítani. A megfelelő összefüggés pontos levezetése a vektoranalízis részletesebb ismeretét feltételezi; ehelyett megpróbáljuk egyszerűbb módon a középiskolás ismeretekre támaszkodva egy kevésbé rigurózus modell alkalmazásával kiszámítani.

Tekintsünk egy légtüres térben terjedő elektromágneses hullámot, amely szinuszos síkhullám formájában terjed  $c$  sebességgel az  $x$  tengely mentén (l. az ábrát). A hullám  $\mathbf{E}$  elektromos térerősség vektora az  $xOz$ , míg a  $\mathbf{H}$  mágneses térerősség vektora az  $xOy$  síkban rezeg. Az  $x$  tengely  $M$  pontjában egy adott pillanatban a két térerősség értékét az  $\mathbf{E}_M$  és  $\mathbf{H}_M$  vektorok szemléltetik.

Számítsuk ki, hogy egy  $dx$  élhosszúságú elemi kocka  $dA$  felületén egy nagyon rövid  $dt$  idő alatt mennyi energia áramlik át. Az átmenő energia függ a kocka helyzetétől is, ezért úgy orientáljuk, hogy maximális legyen az átjutó energia. Emiatt a kocka  $ABCD$  oldallapját, amelyen az átáramló energiát számítjuk, az  $x$  tengelyre merőlegesen kell elhelyeznünk. Ebből az is következik, hogy a kérdéses felületen időegység alatt átszállított energiát, irányított mennyiségnek, tehát vektornak kell tekintenünk; jelöljük ezt a vektort  $\mathbf{S}$ -sel. Célunk lesz az  $\mathbf{S}$  vektor kiszámítása.

A  $dA = (dx)^2$  nagyságú felületen  $dt$  idő alatt átáramló energia éppen kitölti a kocka  $dV = (dx)^3$  térfogatát, ha  $dx = c dt$ , ahol  $c$  a hullám terjedési sebessége.

Ha a  $dt$  idő nagyon kicsi ( $dt \rightarrow 0$ ), akkor  $dx$  is igen kicsi ( $dx \rightarrow 0$ ), így a kocka belsejében az erőteret  $dt$  ideig homogénnek lehet tekinteni. (Egy inhomogén erőter lokálisan - egy adott pontjában - mindig homogénnek tekinthető.)

A kocka térfogatába  $dt$  idő alatt bejutott energia:

$$dW = dU dl_e dt \quad (1)$$

ahol  $dU$  a kocka belsejében a potenciál, míg  $dl_e$  az „eltolási áramerősség” értéke.\*

Az elektromos térerősség a potenciál gradienssel ( $\frac{dU}{dx}$ ), míg a mágneses térerősség vektor az eltolási áramerősség gradienssel ( $\frac{dl_e}{dx}$ ) arányos:

$$|E| = \frac{dU}{dx} \quad |H| = \frac{dl_e}{dx}$$

Figyelembe véve ezt a két összefüggést, az (1)-es képlet a következő formában írható át:

$$dW = |E| |H| dA dt \quad (2)$$

Az előzőekben vázoltak alapján, az egységnyi felületen időegység alatt átáramló energiának az  $\mathbf{S}$  vektor számértékével kell megegyeznie, tehát:

$$|S| = \frac{dW}{dA dt} = |E| |H| \quad (3)$$

A (3)-as összefüggés mindkét oldalán vektoriális mennyiségek szerepelnek, ezért ha ezt az összefüggést vektoriális formára írjuk át, akkor az egyenlet jobb oldalán az  $\mathbf{E}$  és  $\mathbf{H}$  vektorok vektoriális szorzatának kell szerepelnie:

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \quad (4)$$

Maga a vektoriális szorzat  $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$  egy olyan vektor, amelyet úgy értelmezünk, hogy a saját irányára merőleges egységnyi felületen az időegység alatt keresztülhaladó energiát jelenti. Mérete  $W m^{-2}$  és az energiaáramlás, vagy energiasugárzás vektorának, de Poynting, vagy Poynting-Umov vektornak is nevezik.

Az  $U I$  szorzat segítségével számított teljesítmény ugyanazt az értéket adja mintha az áthaladt teljesítményt a Poynting vektorral számoltuk volna. De a Poynting vektor bevezetése *modellváltást* jelent az energiaállomás szempontjából annak tulajdoníthatóan, hogy térfeljellemzőkre támaszkodik.

Végtelen jó vezető belsejében ahhoz, hogy az áramerősség ne legyen végtelen nagy, az Ohm törvény értelmében ( $\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$ ) az  $\mathbf{E}$  villamos térerősség nulla kell hogy legyen. Ha  $\mathbf{E} = 0$ , akkor viszont  $\mathbf{S}$  a Poynting vektor is nulla. *Tebát a vezeték belsejében nem áramlik energia!* Az energia ki van szorulva a vezetőből és a

---

\*Maxwell az elektromágneses hullámok jellemzésére bevezeti az eltolási áramot. Az eltolási áram az elektromágneses hullámhoz asszociált elektromos áram, amelyet nem töltések mozgása hoz létre, hanem a terjedő elektromágneses térhez kapcsolódik. Az eltolási áram mágneses teret gerjeszt maga körül, és ez a változó mágneses tér egy zárt erővonalú elektromos teret indukál maga körül a dielektrikumában, amelyben terjed.

vezetőt körülvevő szigetelőben áramlik, mert ott nem nulla sem **E**, sem **H**. Az energiaáramlás legnagyobb része nyilván az áramvezetéshez szükségelt két vezető közé van sűrítve, mivel itt a legsűrűbb mind **E**, mind **H**. Továbbvive a következtetéseket, az energia nem a vezetővel és az abban mozgó villamos töltéssel kapcsolatos, hanem a dielektrikumban fellépő elektromágneses térerőségekkel.

Ha a vezetőket nem tekintjük végtelen jó vezetőnek, akkor abban már létezik villamos térerősség. Ilyenkor az energiaáramlás vektora a vezeték belseje fele is mutat, azaz van egy hosszanti (az árammal párhuzamos) összetevője, ami az áramforrástól a fogyasztó irányában haladó teljesítménynek- és egy a vezető felületére merőleges összetevője, ami a vezető melegedését okozó Joule-teljesítménynek felel meg. Láthatjuk tehát, hogy a vezeték keresztmetszetén semmiféle energia nem áramlik át, az a dielektrikumban áramlik. Sőt, még a vezeték melegvesztésének fedezésére szükséges energia is kívülről áramlik be merőlegesen a vezeték tengelyének irányára!

Magasabb frekvenciáknál a vezetők irányító szerepe teljesen eltűnik, az elektromágneses energia mint sugárzás terjed (rádió, TV). Antennáknál már csak a Poynting vektorral lehet számolni és a vezeték egyáltalán nem játszik közre az energiaáramlásban, az adó- és a vevőkészülék antennái között az energiaszállítás nem vezeték útján, hanem dielektrikumban (légkör) valósul meg.

**Delesega Gyula**

## **Kísérlet, labor, műhely**

### **Hogyan változik a telített vízgőz nyomása a hőmérséklettel?**

Egy gőzt azon a nyomáson és hőmérsékleten, amelyen egyensúlyban tud maradni a saját folyadékával *telített* gőznek nevezzük. Hogyan befolyásolja egy folyadék telített gőzének a nyomását a hőmérséklet? Erre választ kaphatunk néhány egyszerű kísérlet elvégzése után, amelyek elvégzéséhez mindössze egyszer-használatos műanyag fecskendőket használunk.

**1. kísérlet:** Vegyünk például egy 10 ml-es orvosi műanyag fecskendőt, szívjuk meg 1/4 részéig szobahőmérsékletű vízzel, úgy, hogy légbuborék ne jelenjen meg, majd zárjuk le, ujjunkat rászorítva a szívó nyílásra (lezárhatjuk egy előzőleg elkalapált tű felhúzásával is).

— A fecskendőben csak víz van. Húzzuk ki a dugattyút a maximális térfogatig. A víz rövid ideig formi kezd, s a víz felett létrehozott üres térrészt a fejlődött telített gőz tölti meg (1. ábra). Visszaengedve a dugattyút, a vízgőz teljes mennyiségében lacsapódik.