

## AZ ELEKTROMOSSÁGTAN NÉHÁNY IDEOLÓGIAI PROBLÉMÁJA

SZABÓ LAJOS

(Közlésre érkezett: 1971. október 29.)

Az ideológiában az anyag, az energia és ezek kapcsolatának vizsgálata az egyik legfontosabb kérdés. Az elektromosság területén is csupán ezeket vizsgáljuk meg röviden.

A köznapi életben az áthatolhatatlanságot tekintjük az anyag leglényegesebb tulajdonságának. A fizikában az anyag lényeges, elválaszthatatlan tulajdonságának pedig a tömeget, energiát, impulzust, impulzusmomentumot tartjuk. Ezek az anyag minden fokán szükségszerűen fellépnek. A relativitás elmélete szerint a tömeg és az energia arányosak egymással, s e kettő megmaradását egyetlen független tételben tartjuk számon ( $W = mc^2$ ). Azokat a jelenségeket, amelyekben csak e négyféle tulajdonság játszik szerepet, mechanikai jelenségeknek nevezzük.

A modern fizikai kutatások alapján beszélünk azonban akkor is anyagról, amikor az az áthatolhatatlanságnak nyomát sem mutatja. Ilyen anyag az elektromágneses tér, a fizikai mező [1].

Az a kérdés vetődik fel, miért tekinthetjük ezt is anyagnak? Gondolhatnánk arra is, hogy az elektromágneses tér is csupán egyik elválaszthatatlan tulajdonsága az áthatolhatatlan anyagnak. Amikor ezzel szemben azt állítjuk, hogy az elektromágneses tér maga is önállóan létező anyag, vagyis az anyagnak egy más megjelenési formája, akkor meg kell vizsgálnunk, milyen új sajátos tulajdonságokkal rendelkezik ez az új anyag, milyen kapcsolatban van más anyaggal, meg vannak-e az anyagra már eddig elválaszthatatlannak felismert tulajdonságai, hogyan alakul át az energia, milyen kapcsolatban van a tömeggel.

Az elektromosság fogalmai a XVII. és XVIII. században alakultak ki, amikor már a mechanikában sok ismeretanyag gyűlt össze. Ezért az elektromos térerősség fogalma a mechanikából már jól ismert erőfogalomból, az elektromos töltésé pedig a tömeg analógiájára keletkezett. Az elektromos töltés őse az elektromos „fluidum”, amiből Coulomb törvényét maga is jórészt a Newton-féle tömegvonzási törvény alapján ismerte fel. A jelenlevő pozitív és negatív töltések összegét mindig állandónak találjuk és a kölcsönhatásukból töltés nem keletkezik. Az elektromos töltések elválaszthatók [2].

Hasonlóan történt a mágneses fogalmak alakulása is. Itt azonban töltés csak póluspárok formájában jelentkezik.

Az elektromos és mágneses jelenségek tehát az anyag mechanikai tulajdonságaihoz képest már új tulajdonságok. De milyen kapcsolatban áll a térerő más anyaggal?

Az elektromos térerősséget (3-dimenziós vektort) az áthatolthatatlan, anyagtól mentes térben elhelyezett egységnyi pontszerű töltésre gyakorolt erőhatás méri:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) \quad (1)$$

a hely és idő függvénye.

A kis kiterjedésű (pontszerű)  $e$  töltésre gyakorolt elektrosztatikus erő:

$$\mathbf{F} = e \cdot \mathbf{E} \quad (2)$$

Úgy kell felfogni, hogy a töltésre itt nem más töltés (a teret keltő töltés) hat, hanem maga a tér gyakorol rá erőhatást. A térnek tehát objektív realitása, energiahordozó tulajdonsága van (közelhatás).

Az elektromos tér áthatja az anyagi testeket is. Ezek a testek az elektromos erőtérben viselkedésük alapján lehetnek vezetők, dielektrikumok, vagy szigetelők. A vezetőkben a térerősség hatására a töltések áramolnak. Az áramerősség kapcsolatban van az elektromos térerősséggel:  $\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$ . Dielektrikumokban a külső tér elektromos dipólusokat (negatív és pozitív töltéspárokat) indukál. A dipólmomentumok ( $\mathbf{M} = e \cdot \mathbf{l}$ ) vektorialag összegezendők. Az anyag térfogategységében levő dipólmomentumok eredőjét a dielektromos polarizáció vektorának nevezzük ( $\mathbf{P}$ ). Mivel  $\mathbf{P}$   $4\pi$  szerezésének dimenziója megegyezik  $\mathbf{E}$  dimenziójával, összegüknek fizikai jelentése is van:

$$\mathbf{D} = \mathbf{E} + 4\pi \mathbf{P} \quad (3),$$

ahol  $\mathbf{D}$  a dielektromos eltolás ismert vektora.

A polarizáció arányos a térerővel, így ideális esetben

$$\frac{\mathbf{P}}{\mathbf{E}} = \kappa \quad (4),$$

az anyagra jellemző állandó (szuszceptibilitás).

A dielektromos eltolás vektorára és a térerősségre is fennáll az arányosság:

$$\frac{\mathbf{D}}{\mathbf{E}} = \varepsilon \quad (5)$$

és itt  $\varepsilon$  a dielektromos állandó.

A  $\kappa$  és  $\varepsilon$  anyagi állandók közötti összefüggés:

behelyettesítve (4)-et a (3)-ba

$$\mathbf{D} = \mathbf{E} + 4\pi \kappa \mathbf{E},$$

továbbá (5) alapján

$$\mathbf{E} = (1 + 4\pi \kappa) \mathbf{E},$$

ahonnan

$$\varepsilon = 1 + 4\pi \kappa, \text{ vagyis}$$

$$\kappa = \frac{\varepsilon - 1}{4\pi}. \quad (6)$$

Az elektromos jelenségeket tehát még a fenti mennyiségekkel is leírhatjuk [3].

Hasonlóan kapjuk a mágneses jelenségekre is a megfelelő mennyiségeket.

Az *elektromágneses tér* is kölcsönhatásba lép más anyagi testtel (vezetőkkel, szigetelőkkel). Így a testekben elektromos és mágneses töltések jöhetnek létre. De az elektromágneses tér is megváltoztatja állapotát, ha más anyagi testtel lép kölcsönhatásba. Ekkor mindkét állapotváltozója: elektromos és mágneses térerőssége megváltozik. Innen ered az, hogy a térerősség látszólag valamely — az anyagi test minőségére jellemző — számmal (az  $\varepsilon$  dielektromos állandóval, ill.  $\mu$  mágneses permeabilitással) szorzódik. Az anyagi testekben az elektromágneses tér hatására elmozdulhatnak a töltések — elektromos áram folyik — s ennek nagyságát az anyagi minőségre jellemző érték, az elektromos *vezetőképesség* határozza meg (de a mágneses dipólusok is elmozdulhatnak, és ennek erőssége a mágneses vezetőképességtől függ). Azok az anyagok, amelyekben a töltések igen kicsiny elektromos térerő hatására is igen nagy utat tehetnek meg, a *vezetők*. Ha az anyagban a térerősség hatására a töltések nem mozdulnak el, akkor azok tökéletes *szigetelők*. Amennyiben a töltések szétválnak és ezek elmozdulnak, de a kölcsönhatás megszűnése után helyükre visszatérnek, akkor ezek *dielektrikumok*. Ha a kölcsönhatás megszűnése után a töltések nem térnek vissza eredeti helyükre, akkor *elektrétekről* beszélünk. (Itt párhuzamot látunk a deformálható testekkel.) Ha pedig a töltések a testben minden külső elektromágneses térrel való kölcsönhatás nélkül is távolodni igyekeznek, akkor ezek a *plazmák*.

Az elektromágneses tér is rendelkezik az áthatolhatatlan anyagnak a következő elválaszthatatlan tulajdonságaival: az elektromágneses tér energiasűrűsége:

$$w = \frac{1}{8\pi} \int (\mathbf{DE} + \mathbf{BH}) dv$$

$$\text{tömege: } m = \frac{w}{c^2}$$

$$\text{impulzusa: } mc = \frac{hp}{c}, \quad mc = \frac{\mathbf{S}}{c^2} = \mathbf{g},$$

impulzusmomentuma: azonos a mechanikáéval:

$$\mathbf{N} = \int (\mathbf{r} \times \mathbf{g}) dv, \text{ ahol } \mathbf{S} = \oint (\mathbf{E} \times \mathbf{H})$$

$\mathbf{S}$  a Poynting vektor [4].

Az elektromágneses térnek azon tulajdonsága mellett, hogy az elektromos és mágneses terekre hat, s hogy benne tömeg, energiaáram, impulzus, impulzusmomentum van, még olyan tulajdonsággal is rendelkezik, hogy az időben változó elektromos és mágneses tér elválaszthatatlan egymástól. Az időben változó elektromos és mágneses tér kölcsönösen felépítik egymást [5].

Maxwell foglalta egyenletbe az elektromágneses teret jellemző mennyiségek közötti összefüggéseket, amelyek a tér állapotváltozásait is megadják.

Ezek közül csupán az energiaátalakulást vizsgáljuk meg. Maxwell I. és II. egyenlete:

$$\text{rot } \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (7)$$

$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (8)$$

az elsőt  $\mathbf{H}$ -val, a másodikat  $\mathbf{E}$ -vel szorozva és kivonva egymásból:

$$\mathbf{H} \text{ rot } \mathbf{E} - \mathbf{E} \text{ rot } \mathbf{H} = - \mathbf{H} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} - \mathbf{E} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} - \mathbf{E} \mathbf{j}$$

figyelembe véve, hogy:

$$\mathbf{H} \text{ rot } \mathbf{E} - \mathbf{E} \text{ rot } \mathbf{H} = \text{div} (\mathbf{E} \times \mathbf{H}), \text{ ezért}$$

$$\text{div} (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) = - \mathbf{H} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} - \mathbf{E} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} - \mathbf{E} \mathbf{j}$$

és ez tetszés szerinti zárt felülettel határolt térfogatra integrálva:

$$\int_V \text{div} (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) dv = - \int_V \left( \mathbf{H} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} + \mathbf{E} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \right) dv - \int_V \mathbf{E} \mathbf{j} dv$$

Gauss tétele szerint:

$$\int_V \text{div} (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) dv = \oint (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) d\mathbf{F}$$

Az egyenletet rendezve:

$$-\frac{\partial}{\partial t} \int_V (\mu \mathbf{H}^2 + \varepsilon \mathbf{E}^2) dv = \int_V \mathbf{E} \mathbf{j} dv + \oint_F (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) dF$$

Ez az elektrodinamika energiatétele (Poynting-tétele). Ahol

$$\oint_F (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) dF = \mathbf{S}$$

a Poynting vektor, az energia áramlásának sűrűsége.

Általánosan:

$$-\frac{\partial}{\partial t} \int_V w dv = \int_V w_j dv + \oint_F \mathbf{S} dF \quad [3] .$$

Ohm törvényének differenciális alakja szerint  $\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$ . Ha bevezetjük az idegen térerőt is (elektromotoros erő vektora), ami a térrel egyező vagy ellentétes irányú lehet:

$$\mathbf{j} = \sigma (\mathbf{E} + \mathbf{E}_i)$$

az áramsűrűséggel szorozva és rendezve:

$$\frac{\mathbf{j}^2}{\sigma} = \mathbf{E} \mathbf{j} + \mathbf{E}_i \mathbf{j} \quad \text{ebből}$$

$$\mathbf{E} \mathbf{j} = \frac{\mathbf{j}^2}{\sigma} - \mathbf{E}_i \mathbf{j} \quad \text{ezt az egyenletbe írva:}$$

$$-\frac{\partial}{\partial t} \int_V (\mu \mathbf{H}^2 + \varepsilon \mathbf{E}^2) dv = \int_V \frac{\mathbf{j}^2}{\sigma} dv - \int_V \mathbf{E}_i \mathbf{j} dv + \oint_F (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) dF$$

Általánosan tehát:

$$-\frac{\partial}{\partial t} \int_V w dv = \int_V w_j dv - \int_V w_{ij} dv + \oint_F \mathbf{S}_n dF \quad [5] .$$

Vagyis az elektromágneses tér energiaváltozása egyenlő az idő és térfogat-egységre vonatkoztatott Joule-hővel, az idegen térerő legyőzésére fordított energiával és a V térfogatot határoló F felületen történő elektromágneses kisugárzással [6].

A megmaradási tételeket vizsgálva azt tapasztaljuk, hogy az elektromágneses tér rendelkezik mindazokkal az elválaszthatatlan tulajdonsá-

gokkal, amelyek bármely mechanikai rendszernek sajátjai. Mivel azonban más tulajdonságai is vannak, mint az áthatolhatatlan anyagnak, ezért az elektromágneses teret az áthatolhatatlan anyagétól különböző megjelenési formának kell tekintenünk. Az anyag a két megjelenési formájának kölcsönhatása kapcsán az áthatolhatatlan anyag és az elektromágneses tér között energia-impulzus — és impulzusmomentum — csere lehetséges. Ezeket a kölcsönhatásokat szigorúan érvényes mérlegegyenletek jellemzik. Amennyit veszít az egyik megjelenési formában levő materiális test a vizsgált mennyiségéből, annyit nyer a másik és viszont. A megmaradási tételek szempontjából a köznapi értelemben vett anyag és a fizikai tér szükségszerűen egyenrangúan viselkedik. Ugyanis bármely partner szerepét figyelmen kívül hagyva, már nem is beszélhetnénk megmaradásról. Az elektromágneses tér tehát energiafelvevő, szállító és éppen olyan realitása van, mint az elektromos töltéseknek [7].

A modern fizika napról napra több és szorosabb kapcsolatot talál az erőter, energia és tehetetlen tömeg, a más megjelenési formájú anyagok között. Ez pedig a világ anyagi egységének tudományos, gyakorlati bizonyítékául is szolgál. Az erőterek fizikai realitásként való értelmezését bizonyítják az elemi részecskék és a különböző erőterek kapcsolatának újabb megismerése is. Nincs áthághatatlan minőségi különbség az erőterek és a korpuszkulák között, mert a korpuszkulák sugárzó energiává alakulhatnak és viszont. Dirac angol fizikus (1931) nyomán Anderson (1932) amerikai fizikus által felfedezett pozitron egy elektronnal találkozáva, fotonokká sugárzódik, vagyis elektromágneses energiává alakul („pármegsemmisülés”). Ma már ismert ennek a fordított jelensége is, a „párkeltés”. Ezek a jelenségek nem jelentik az anyagi szubsztancia megszűnését, hanem csupán egyik anyagi megjelenési formának a másikba való átalakulását. A két elektron tömegét, energiáját, impulzusát, impulzusmomentumát (és más megmaradó tulajdonságait) a folyamat nem semmisíti meg, a keletkező elektromágneses sugárzás mindegyikből pontosan olyan és annyi mennyiséget visz magával, amennyivel az elektronok (pozitronok) rendelkeznek. Ugyanez a helyzet a fordított irányú folyamatnál is [8].

Ez a felismerés adott alapot az antianyag kutatásához. Ma már bizonyított, hogy az anyag és antianyag nagy energiájú sugárrá alakulhat.

Az elektromágneses mezőnek, mint anyagnak a szerkezetében olyan tulajdonságokat fedeztek fel, amelyek már nem világíthatók meg a klaszikus atomizmus fogalmával. Pl. a mező alakjában levő anyag sajátosságai és mozgástörvényei minőségileg lényegesen különböznek a közönséges „kémiai” anyagokétól, illetve ezek részecskéitől (atomjaitól). A közönséges anyag részecskéi a fénysebességnél kisebb, a körülményektől függő sebességgel mozoghatnak, áthatolhatatlanok (a tér adott helyén egy időben csak egy részecske lehet), egymástól különállóak (diszkrét). A mezőben végbemenő folyamatok viszont mindig csak egyféle sebességgel (a fénysebességgel) terjedhetnek, a tér adott helyén egyidejűen különböző mezők is jelen lehetnek („egymásra rakódhatnak”, szuperponálódhatnak), és pontról pontra folytonosak.

Az elsődlegesség kérdése a töltés-erőtér vonatkozásában is fellép: vajon a töltések keltik-e a teret, vagy fordítva: a töltések csupán a tér „szingularitásai”, vagyis kitüntetett helyek a térben. Az elektrodinamikában is felvetődhet ez a kérdés. Mivel az anyag belsejében levő megváltozott elektromos és mágneses térerősséget polarizációnak, illetve indukciónak nevezzük, akkor kérdés, melyik az elsődleges a másikhöz képest, a polarizáció az elektromos térhez képest, vagy fordítva, illetve az indukciós vagy a mágneses tér?

Mivel igazoltuk, hogy az elektromágneses terek ugyanúgy, mint a töltések, az anyag különböző megjelenési formái, általában együtt fordulnak elő, átalakulhatnak egymásba, hatnak egymásra, így egyik sem elsődleges a másikhöz képest. Vannak olyan körülmények, amikor a töltésekből következtetünk a terekre, s van, amikor fordítva [7].

E rövid fejtegetéssel a mezőelméletről csupán azt próbáltuk érzékeltetni, hogy a bennünket körülvevő individuális tárgyak az anyagi valóságnak nem egyedüli megjelenési formái. A különböző anyagi megjelenési formák között a modern fizika szoros kapcsolatot talált, s ez elsősorban a világ anyagi egységének tudományos, gyakorlati bizonyítékául szolgál. Ezek a kutatások nem az anyag fogalmát egészében, hanem az anyag létezési módjáról, létformáiról szóló felfogásunkat befolyásolhatják [9].

#### I R O D A L M I U T A L Á S O K

- [1] Dr. Fényes Imre: A fizika és világnézet (Kossuth Könyvkiadó, 166. 126—134. o.).
- [2] Jay Orear: Modern fizika (Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1966. 137—140. oldal).
- [3] Dr. Budó Ágoston: Kísérleti fizika II. (Tankönyvkiadó, Bp. 1968. 50—84. oldal).
- [4] Dr. Pogány Béla: Az elektromágneses tér (Bp. 1927. Az Atheneum Irodalmi és Nyomdai Rt. kiadása. 172—179. oldal).
- [5] Dr. Novobátsky Károly: A relativitás elmélete (Tankönyvkiadó, 1963. 105—112. o.).
- [6] Müller Antal: Mezőelmélet és energetizmus (Magyar Filozófiai Szemle, 1965., 6. sz.).
- [7] Fáy Gyula: Korunk fizikai világképének alapjai (Tankönyvkiadó, Bp. 1966. 76—81. oldal).
- [8] Walter Hollitscher: A természet tudományos világképe (Gondolat Kiadó, Bp. 1961. 127—138. oldal).
- [9] Müller Antal: A matematika-, fizika- és kémia tanítás világnézeti kérdései II. (OPI. 1967).

#### I R O D A L O M

- [1] Engels: A természet dialektikája (Szikra, Bp. 1950).
- [2] Hörz, H.: Világnézeti képzés és nevelés a fizikában (Mathematik und Physik in der Schule, 1963. No. 6).
- [3] Marx György: Túl az atomfizikán (Gondolat Kiadó, 1961).
- [4] Lenin: Materializmus és empiriokritizmus (Szikra Kiadó, 1949).
- [5] Dr. Ákos Károly—Lukács József—dr. Nemeskéri: Világnézeti nevelésünk természettudományos alapjai II. (Tankönyvkiadó, Bp. 1963).

## EINIGE IDEOLOGISCHE PROBLEME DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE

*Szabó Lajos*

Die Arbeit befasst sich hauptsächlich mit dem Problem des elektromagnetischen Feldes, als dem des Stoffes. Das elektromagnetische Feld ist eine Erscheinungsform des Stoffes, weil es in vollem Masse auch die unveräusserlichen Eigenschaften des chemischen Stoffes besitzt. Von dem ist es nur dadurch verschieden, dass es auch andere Eigenschaften hat.

Der Energieumsatz im Feldstoff wurde durch die Maxwell'schen Gesetze beschrieben. Bei unseren Überlegungen haben wir auch die elektromagnetische Strahlung, entstanden beim Zusammentreffen des Stoffes mit dem Antistoff, in Betracht genommen.

Die Erkenntnis der Erscheinungsformen beim Feldstoff beweist die stoffliche Einheit der Welt.