

L. EGYED  
THE MAGNETIC FIELD  
AND THE INTERNAL STRUCTURE OF THE EARTH

The paper presents a possible explanation for the dipole field of the Earth on the basis of the momentum of oriented nuclei in the inner core. Furthermore, it is shown that the cause of the westerly drift of the dipole field, isoporic foci and non-dipole field may be referred to the expansion of the mantle and core of the Earth, causing also currents in the outer core.

A FÖLDI MÁGNESES TÉR KAPCSOLATA A FÖLD BELSŐ  
SZERKEZETÉVEL

EGYED LÁSZLÓ

A Föld belső szerkezetének kérdésével párhuzamosan felvetődik a földi mágnesség eredete is. A földi mágnesség problémája kezdetben könnyebbnek látszott, mint mai ismereteink szerint. A Föld vasmagos modelljéből kézenfekvően következett a mágneses tér eredetének az a magyarázata, hogy a mágneses tér állandó részének a forrása ez a vas-tömeg. A későbbi vizsgálatok azonban kimutatták a felfogás tarthatatlanságát s a régi elmélet helyébe újabb, de ugyanolyan nehézségeket mutató elméletek léptek.

A legkorszerűbb elmélet, az *Elsasser—Bullard* elmélet szerint [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7] a Föld külső folyékony magjában elsősorban hőhatásokra visszavezethető konvekciós áramok okozzák a Föld mágneses terét, tehát egy bizonyos fajta dinamóelméletről van szó.

Melyek azok a tények, amelyek a földi mágneses térrel kapcsolatban leszögezhetők és melyeket kell ellentmondásmentesen magyarázni?

Mindenekelőtt megállapítható, hogy a földi mágneses tér eredet szempontjából két részre osztható:

1. a dipólus jellegű rész és a szekuláris változásokat mutató rész elsősorban a Föld magjából ered.

2. A rövid változásokat, variációkat mutató rész a magas légkörben leírt áramokra vezethető vissza.

A második rész elmélete és magyarázata nagyban és egészben tisztázott, ezzel e helyen nem is foglalkozunk.

A kézirat 1956. május 25-én érkezett be.

A Föld állandó mágneses tere első közelítésben helyettesíthető egy olyan excentrikus dipólus hatásával, amely a Föld középpontjától kb. 340 km-re a Marianna-szigetek irányában fekszik.

A szekuláris jellegű változások eloszlása a Földön azonban nem egyenletes. Ha az azonos változást mutató térképeket adott időpontra megszerkesztjük, akkor az időjárási térképekhez hasonló jellegzetes képet kapunk.

Az ilyen izopor térképen fellépő izopor centrumok nem állandók, hanem a Föld felületén nyugat felé vándorolnak. Az elmozdulás évente mintegy  $0,2^\circ$ , azaz egyenletes mozgást tételezve fel 1800 év után kerülnének ismét eredeti helyükre.

Ugyanilyen nyugatra való vándorlást mutat az agon vonalnak az egyenlítővel való metszéspontja is.

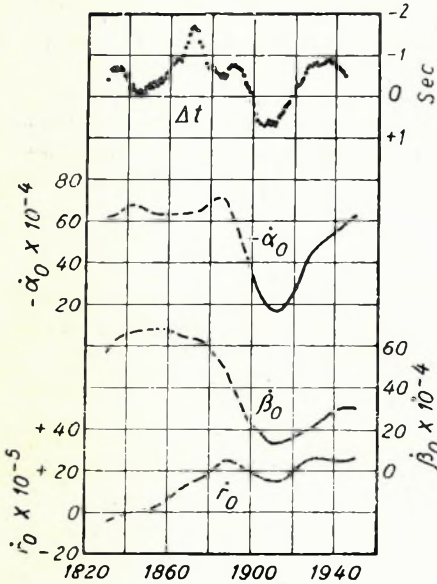
Az utolsó 120 esztendőben a mágneses teret helyettesítő dipólus is nyugat felé vándorolt, s — bár kisebb mértékben — észak felé is eltolódott. A dipólus elmozdulásának a minimális mértéke viszont évente  $0,31^\circ$ , ami azt jelenti, hogy a dipólus már 1200 év alatt ismét visszakerül a kiindulási helyére.

Ha a belső mágneses tér tömeghez van kötve, mégpedig a Föld magjához, akkor a felszínen mért értékeinek nyugatra való eltolódása tömegátrendeződést, a magnak vagy egy részének nyugatra való elmaradását kell jelentse, mégpedig az a tömegösszesség, amelyhez az izoporok és a dipólus nélküli rész van kötve kisebb sebességgel

mozdul el a kéreghez képest, mint az a rész, amelyből a mágneses dipólus származik.

A Föld-forgás időtartamának egyenlőtlenségére vonatkozó megfigyelésekből azt találták, hogy annak egy részét a Föld felszínén észlelt tömegelmozdulásokból nem lehet magyarázni. Ezt a részt mutatjuk be a mellékelt ábrán, s alája vittük az excentrikus dipólus szögsebességének és radiális sebességének az értékeit is. Meglepő, hogy ezek menete mennyire jól egyezik. Ez azonban tényleges alátámasztását adja annak, hogy a földi mágneses tér változása kétségtelenül anyagátrendeződéssel jár együtt, mert hiszen az időbeli ingadozás éppen az anyagátrendeződés miatt fellépő tehetetlenségi nyomatók megváltozására vezethető vissza [8].

A mágneses tér magyarázatának *Elsasser—Bullard*-féle megoldása a kérdésnek egyetlen részében fogadható csak el, mégpedig abban, hogy a mágneses tér szekuláris változásait és a dipólusmenetes részt a maghájban fellépő konvekciós áramok okozzák. Nem helyes az elméletnek



1. ábra.

az a része, amely az állandó mágneses tér eredetét is ebben keresi, és nem helyes a maghéjban levő áramok eredetének hőmérsékletkülönbséggel való magyarázata.

E magyarázatot maguk az elmélet szerzői is bizonyos fenntartással kezelik, s az erre vonatkozó mechanizmust inkább csak lehetőknek tartják, mintsem bizonyítják [4], [7].

A Föld mágneses nyomatéka közel állandó, ezért valószínű, hogy állandó jellegű anyagösszességhez van kötve.

A maghéjban levő áramok pedig nem vezethetők vissza hőmérsékletkülönbségekből származó konvekciós áramlásokra, egyrészt, mert éppen a mágneses tér vizsgálata alapján kimutatható volt a magban levő tömegek fémes jellegű vezetőképessége, ami az *Elsasser—Bullard* elméletnek is kiindulópontja. Ebben az esetben a fémes hőmérsékletkülönbségek kiegyenlítődnek, mielőtt konvekciós áramokat hoznának létre. Másrészt az ilyen jellegű áramokból egyáltalában nem valószínű a tér nyugatra való elmaradása, ahogy azt az *Elsasser—Bullard*-féle elmélet követői képzelik, mert az áramok inkább a szorosabb csatolást, az együttforgást igyekeznek biztosítani.

A legutóbbi évek folyamán egy új földmodell lehetőségének és következményeinek az alapjait vázoltam [9], [10]. Ez a földmodell igen jól, gyakran egészen triviálisan magyarázza a Föld sokáig rejtélyesnek mondott jelenségeit, és az erőszakolt magyarázatok helyett legtöbbször kézenfekvő megoldást nyújtott a legnehezebb kérdések esetében is.

E földmodell lényege az, hogy a Föld belső felépítése szerint a köpeny felső differenciáltabb részétől eltekintve lényegében homogén tömeg három fázisa. Az első fázis a belső mag állapotának felel meg, a második fázis a maghéj állapota, míg a végállapot a köpenynek a *Repetti*-féle törésfelület alatti része. Az első és második fázis tulajdonképpen ultranagynyomású módosulata a köpeny anyagának. Az első fázisból a másodikba, s a másodikból a harmadikba állandó és irreverzibilis átalakulás van folyamatban, és ennek az átalakulásnak a következménye a Föld térfogatának állandó növekedése.

Vajon e földmodell nem nyújt-e magyarázatot a földi mágnesség állandó részének és a szekuláris változásoknak a kérdésére? A következőkben e kérdés megoldására teszünk kísérletet, hangsúlyozva azt, hogy még egyes részletkérdésekben további vizsgálatok szükségesek.

A Föld belső magjában levő atomok magjainak megvan a maguk mágneses nyomatéka. A Föld állandó mágneses nyomatékát vissza lehet ezekre vezetni.

A Föld magjában ezek az atomok annyira közel kerülnek egymáshoz, hogy terükkel egymásra is tudnak hatni. Az egymásrahatás bizonyos rendezettséget eredményez. Ha ez a rendezettség a tömeg nagy részében létrejön, eredőül véges mágneses nyomatékot fog adni. Mivel pedig a nyomaték az atommagok nyomatékának eredője, független a *Curie*-féle ponttól, tehát a magas hőmérséklet ellenére is észlelhető lesz.

A rendezettség létrejöttében az atommagok impulzusnyomatéka is szerepet kell játszék. Az impulzusnyomatékok eredője viszont kapcsolat-

ban kell álljon az egész Föld impulzusnyomatékával. A kialakuló mágneses tengely tehát közel kell kerüljön a Föld tengelyéhez.

A vázolt elképzelésnek reális alapot ad az eredő mágneses tér kvalitatív és kvantitatív egyezése.

A Föld mágneses terének erőssége az északi sarkra vonatkozólag  $M$  nyomatékú mágnes esetén:

$$E_s = \frac{2M}{R^3},$$

ahol  $R$  a Föld sugara.

A nukleonok mágneses nyomatéka:

$$M_n = \mu_0 \frac{e \hbar}{2 m_0 c}$$

Proton esetén  $\mu_0 = 2,7896$ ; neutron esetén pedig  $\mu_0 = -1,9103$ ;  $e = az$  elemi töltés;  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ ;  $m_0 = 1,6727 \cdot 10^{-24}$  g;  $c = 3 \cdot 10^{10}$  cm s<sup>-1</sup> a fénysebesség.

Ha a Föld belső magjának összes nukleonjai nyomatékaik szerint egyirányban volnának rendezve, akkor az északi sarkra vonatkozó térerősség  $\mu_0 = 1$  esetén

$$E_s^{max} = \frac{2}{R^3} \cdot \frac{4\pi}{3} r^3 \rho \cdot \frac{e\hbar}{2 m_0 c} \sim 3,4 \text{ gauss.}$$

A kifejezésben  $R = 6,37 \cdot 10^8$  cm (Föld sugara);  $r = 1,27 \cdot 10^8$  cm (Belső mag sugara);  $\rho = 17,0$  g cm<sup>-3</sup> (belső mag átlagsűrűsége *Jeffreys* és *Bullen* szerint, [7])  $e = 4,803 \cdot 10^{-10}$  cm<sup>3/2</sup> g<sup>1/2</sup> s<sup>-1</sup> (elektron töltése e. s. egységben) és  $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-27}$ .

Ha figyelembe vesszük, hogy a nehezebb elemektől eltekintve a protonok és neutronok közel egyenlő arányban vesznek részt az atommagok felépítésében, másrészt pedig arra gondolunk, hogy azonos impulzusnyomaték esetén a protonok és neutronok mágneses nyomatéka ellenkező előjelű, akkor  $\mu_0$  értéke 2,7896 és -1,9103 középértékével, azaz 0,4421-gyel helyettesíthető. Ennek alapján a sarkokra a mágneses tér erősségének felső határaként  $E_s^{max} = 1,5$  gausst kapunk. Ez a mért 0,7 gauss térerősség ideális felső határaként tekinthető.

Érdekes megemlíteni, hogy ha az atommagokban a proton-neutron eloszlásban 45% protont és 55% neutront tételezünk fel, akkor éppen 0,7 gauss térerősség adódik az északi pólusra. Természetesen a kisebb nyomaték értéke részben a hőmérsékleti hatáshból származó rendezetlenségre is visszavezethető.

Az is lényeges és érdekes, hogy a Föld belső magjának így számított mágneses nyomatéka irányítottság szempontjából is megfelel a tér irányának, ha a nukleonok impulzusának irányítottságát a Föld impulzusnyo-

matékának irányítottságával azonosnak vesszük. Tehát a kvalitatív és kvantitatív egyezés előjelre is helyes.

A mágneses tér dipólus részét a Föld belső magjára vezettük vissza. A dipólusmentes részt és a szekuláris változásokat elsősorban a maghéjra vezethetjük vissza. A szekuláris változásoknak, valamint a dipólusra visszavezethető térnek az elmaradását ezek szerint arra kell visszavezetni, hogy a maghéj forgási ideje kisebb, mint a köpenyé, míg a belső mag forgási ideje ennél is kisebb.

Általánosságban kimutattuk, hogy a keringési idő megnövekedése

$$dT = \frac{T}{2} \cdot \frac{d\theta}{\theta}$$

alakban fejezhető ki. Ez a köpenyre vonatkoztatva  $\Delta R$  föld sugárnövekedés esetén:

$$dT = 2,68 \cdot 10^{-4} \Delta R \text{ s/év}$$

keringési idő növekedést jelent.

A belső magra vonatkozólag a tehetetlenségi nyomaték állandó sűrűség esetén így írható fel:

$$\theta_{bm} = 0,4 Mr^2,$$

amely  $\Delta r$  sugárnövekedés esetén

$$d\theta_{bm} = 2 \cdot 0,4 Mr \cdot \Delta r$$

lesz, vagyis

$$dT_{bm} = T \frac{dr}{r} = 6,8 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta r \text{ s/év.}$$

Ez azt jelenti, hogy ha a belső mag térfogata úgy nő, hogy sugarának növekedése közel azonos a Föld sugárnövekedésével, akkor a belső mag forgási idejének növekedése több, mint a kétszerese lesz a köpeny forgási idő megnövekedésének, tehát el kell maradjon nyugat felé a köpenyhez képest.

A belső mag térfogatának növekedése az említett földmodell szerint visszavezethető arra, hogy a következő fázisba való átmenet az egész belső magban megy végbe, azonban annak szilárdszerű viselkedése, valamint a kicsiny gravitációs értékek miatt ebből a második fázis csak igen lassan tud kifelé a maghéjba migrálni. A kétféle állapot közötti sűrűségkülönbség az átmenet után tehát megnöveli a belső mag térfogatát s ennek a sugárnövekedésnek az értéke durva becslés alapján a Föld sugar 0,5 mm/év-es növekedéséhez képest legalább 1 mm/év-nek tehető.

A maghéj elmaradása a köpenyhez képest a magbelső átalakulása és a térfogat növekedése miatt következik be, tekintettel a

$$dT = T \frac{dr}{r}$$

jellegű képletre, ami azt mutatja, hogy nagyobb  $r$  esetén a forgásidő növekedése kisebb lesz. De a maghéj folyadékszerű állapota arra vezet, hogy felső része inkább a köpeny sebességével, alsó része viszont a belső mag sebességével mozogjon. A maghéj keresztmetszetben tehát teljesen úgy mozog, mint egy henger belsejében levő folyadék, ha az edény közepén egy tömör henger forog. Az így létrejövő áramciklusok magyarázatot tudnak adni az izopor fókuszok kialakulására, a dipólmentes térre, a sebességkülönbségre és a nyugatra való elmaradásra. Érthetővé válik az is, hogy a dipólus tér miért marad el erősebben nyugatra, mint az izopor centrumok.

Ezek az áramlások mechanikailag visszahatnak a belső magra, s a dipólust hordozó tömeg elhelyezkedése is, így tehetetlenségi nyomatéka megváltozhat. Ez a változás pedig mind a mágneses tér állandó részében, mind pedig a Föld forgásának ingadozásában észlelhető lesz.

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

1. *Frenkel, J.*: Dokladi Akad. Nauk. SzSzsZR. 49, 98. 1945.
2. *Elsasser, W. M.*: Phys. Rev. 70, 106, 202, 1946. Phys. Rev. 72, 821, 1947.
3. *Elsasser, W. M.*: Rev. Modern Physics. 22, 1. 1950.
4. *Elsasser, W. M.*: Trans. Am. Geophys. Union. 31, 454, 1950.
5. *Bullard, E. C.*: Mon. Not. R. Astr. Soc. Geoph. Suppl. 5, 248, 1948.
6. *Bullard, E. C.*: Proc. R. Soc. London, A. 197, 433, 1949. Proc. R. Soc. London, A. 199. 413, 1949.
7. *Bullard, E. C.*: The Interior of the Earth. (The Earth as a Planet, edit. G. P. Kuiper.) 123–129, 1954.
8. *Vestine, E. H.*: J. Geophys. Res. 58, 127–145. 1953.
9. *Egyed, L.*: Földtani Közlöny, 85, 277, 1955.
10. *Egyed, L.*: Acta Geologica, Acad. Sci. Hung. Vol. IV. 43–83, 1956.