

ДР. БАРТА

## О ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ ЭНЕРГИИ, ПРОИСХОДЯЩИХ В ПРОЦЕССЕ ВЕКОВЫХ ВАРИАЦИЙ ЗЕМЛИ

Автором излагаются некоторые новые результаты измерения и соображения по эксцентricности ядра Земли. Затем рассматривается вопрос об имеющейся в различных частях Земли энергии, происходящей за счет вращения оси Земли и оценивается степень возможных преобразований энергии, связанных со снижением скорости вращения.

G. BARTA

## ENERGY TRANSFORMATIONS IN THE COURSE OF THE SECULAR VARIATIONS OF THE EARTH

Some new observations and hypotheses as to the eccentricity of the Earth's core, further the energy-content of different parts of the Earth originating from the rotation are discussed. The possible range of the energy-transformations coming from the slowing-down of the rotation is estimated.

## A FÖLD ÉVSZÁZADOS VÁLTOZÁSAI SORÁN FELLÉPŐ ENERGIA ÁTALAKULÁSOK

BARTA GYÖRGY

Eddigi vizsgálatainkban néhány földfizikai jelenség (mágneses évszázados változás, tengerszint- és sarokmagasság-ingadozás, forgássebesség-változás) évszázados változásának egyező sajátásaiból, valamint a földmágneses tér és a földalak egyenlítői torzultságának megegyezéséből arra következtettünk, hogy a Föld belső magja excentrikusan fekszik. A Hold és a Nap az excentrikus magra az árapálykeltő erőhöz hasonló erőt gyakorol, ezért az nyugati irányban elmozdul. Ez a mozgás lehet a különböző jelenségekben felismerhető évszázados változások egyik fő oka.

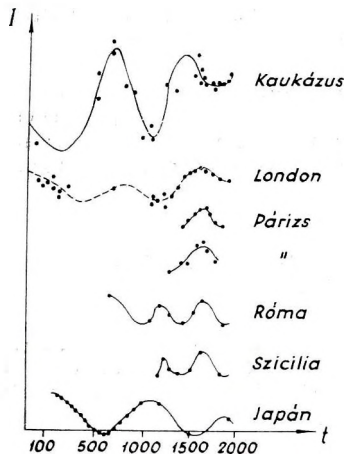
Az elgondolás során a mágneses évszázados változás globális, az egész Földet egyszerre érintő általános jelenségeit hangsúlyoztuk, szemben a regionális jellegű felfogással, mely szerint a változást a külső mag – egymással csak igen laza kapcsolatban levő – elektromos áramlatai okozzák. A mágneses főváltozás vektorainak szembefordulása Pakisztán körül, és az 50 éves hullám egyértelmű jelentkezése az egész északi féltekén arra mutat, hogy a változás – sőt annak egyes részjelenségei is – tartalmaznak általános, az egész Földre érvényes tulajdonságokat.

A változásnak azonban regionális jellegű vonásai is vannak, ezért a két típusú változás szétválasztásának elvi kérdése további vizsgálatra méltó

fontos feladat. Lényeges újabb megállapításokat tett ezen a területen S. P. Burlackaja, aki kaukázusi cserépedények archeomágneses vizsgálatából megállapította, hogy

1. Az inklináció kaukázusi változás-görbéjének fázisa megegyezik a párizsival, viszont félhullámhosszal különbözik a japáni megfigyelésektől.

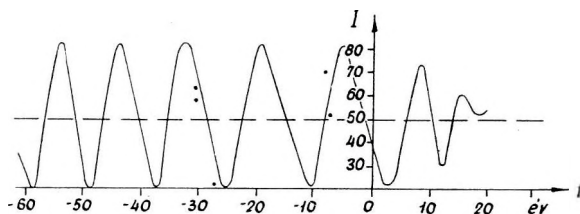
2. A folyamat az utolsó 6–8 ezer évben periodikusnak látszik és periódus-hossza nagyjából változatlanul 1000–1500 év volt (1., 2. ábra) (Burlackaja, 1963.).



1. ábra. A mágneses lehajlás évszázados változása a Föld különböző pontjain paleomágneses mérések alapján [3]

Фиг. 1. Вековые вариации магнитного отклонения в различных местах Земли, по данным палеомагнитных исследований [3]

Fig. 1. The secular variation of the inclination on different locations, based upon paleomagnetic investigations [3]



2. ábra. Az évszázados változás a Kaukázus vidékén az utolsó 8000 évben [3]

Фиг. 2. Вековые вариации в районе Кавказа за последние 8000 лет [3]

Fig. 2. The secular variation in the Caucasian region in the recent 8000 years [3]

Mindkét megállapítás az évszázados változás globális jellegét domborítja ki, tehát elgondolásunkat támasztja alá; sőt a második megállapítás valamilyen állandóan ható periodikus okra is utal, ami legtermészetesebben a Nap és a Hold árapálykeltő hatásában található meg. A két megállapítás részletezésére és megerősítésére természetesen további kiterjedt archeomágneses vizsgálatok szükségesek, de így is értékesen támasztják alá a jelenség globális elképzelését.

Az elgondolással kapcsolatban felmerülő másik problémakör a Föld alakjával kapcsolatos. A Föld háromtengelyűsége lényegileg annyit jelent, hogy a Föld alakját képviselő gömbfüggvény kifejezés alacsony rendszámú együtthatóiban  $\lambda$ -tól függő tag is van. A. H. Cook bizonyos becsléseket végzett arra vonatkozóan, hogy a Föld különböző öveinek inhomogeneitása hányadrendű gömbfüggvényegyütthatókra lehet hatással (Cook, 1963). Arra az eredményre jutott, hogy a Föld felszínközeli rétegei csak a 113. tagnál magasabbrendű gömbfüggvényegyütthatókat befolyásolják. Minél mélyebbre hatunk a Föld belsejébe, a tömeg-egyenletlenségek annál alacsonyabb rendű tagokra hatnak. Eredményeit a következő táblázatba foglalta össze:

Szint	r/R	A harmonikusok rendje, amelyeknek a forrása a szint fölött van
A belső mag határa .....	0,216	> 4
A mag-köpeny határa .....	0,545	> 12
A kis sebességű réteg .....	0,95	> 113

A táblázatból látható, hogy a gömbfüggvény magasrendű tagjainak együtthatóit csak a külső rétegek inhomogeneitása befolyásolja. Minél mélyebben tételezzük fel az inhomogeneitást, annál alacsonyabb rendű együtthatókban látjuk annak a hatását. A becslés azonban nem terjed ki a külső rétegek inhomogeneitásának az alacsonyabb rendű tagokra gyakorolt esetleges hatására, vagyis nem zárja ki azt, hogy a Föld háromtengelyűségét felszínközeli inhomogeneitások okozzák. Ha azonban nem tekintjük véletlennek a háromtengelyűség és a mágneses excentricitás irány- és nagyságszerinti megegyezését, akkor a mágneses centrum gyors vándorlásából arra kell következtetnünk, hogy a ható ok a magon belül van.

Az egyenlítői lapultság mértéke – belső hatót tételezve fel – nyilván a belső és külső mag sűrűség-különbségétől és az excentricitás mértékétől függ. Eddigi számításainkban H. Jeffreys és K. F. Bullen alapján a belső mag sűrűségét  $17 \text{ g/cm}^3$ -nek, a külső magét pedig  $11 \text{ g/cm}^3$ -nek vettük (Fanslau, 1959.). Újabb, a Föld saját lengésével kapcsolatos vizsgálatok azonban arra mutatnak, hogy a két adat inkább 15, illetve  $12 \text{ g/cm}^3$ -nek veendő. A továbbiakban a belső és külső mag sűrűsége által befolyásolt adatoknál zárójel nélkül közöljük a régebbi, és azok mellett zárójelben az új sűrűséggel számított adatokat.

Az excentricitás mértékére vonatkozólag a földmágneses mérésekből nyerhetünk felvilágosítást. Ezek szerint a Föld mágneses középpontja lassan nyugati irányba mozog és az utolsó 1955-ös Finch – Leaton-féle gömbfüggvényegyütthatókból számítva az excentricitás iránya  $150,2^\circ \text{ E/Gr.}$ , és mértéke 436 km volt. Az excentricitás az utolsó 30 év folyamán jelentősen megnőtt és arra lehetett gondolni, hogy ezt bizonyos extrapolációs jellegű hibák okozzák. A III. szovjet mesterséges hold segítségével meghatározták a belső sugárzási öv földkörüli elhelyezkedését és abban szintén találtak excentricitást. Ebből a Föld mágneses terének excentricitására  $150^\circ \text{ E}$  és 450 km adódott, az előző adattal jól megegyezően (Goresakov, 1962.).

A belső mag excentricitását a Finch-Leaton mágneses excentricitással azonosítva az egyenlítői ellipszis nagytengelyének iránya  $29,8^\circ$  W, a nagy és kis tengelyének különbsége pedig 376 (188) méter. Az adatok számértéke a mágneses évszázados változás jelen szakaszában lassan nő.

A különböző geodéziai mérések az egyenlítői ellipszis irányára és méreteire ezekhez hasonló, általában azonban elég szórt adatokat adnak, ezért egyesek kételkednek a Föld háromtengelyűségében, pedig az adatok szórása egyáltalában nem csodálatos. Hiszen a Föld alakját általában tömegeloszlása szabja meg és az nem szorítható merev matematikai formákba. Számítási eredményeink attól függenek, hogy milyen helyre és időre vonatkozó adatrendszerekből kiindulva értük el azokat. A legáltalánosabb, legegyszerűsebb és a felszíni helyi hatóktól legkevésbé befolyásolt adatokat nyilvánvalóan a mesterséges holdak pályáinak torzultságából nyerhetjük. I. Izsák a Vanguard II. és III. mesterséges holdak adatai alapján 1960-ban a nagytengely irányára  $33^\circ - 32^\circ$  W, és a tengelyek közti különbségre 222–184 métert kapott (Izsák, 1961). Azonos irányt és kicsit nagyobb tengelykülönbséget adott többek között a Transit 4. A. mesterséges hold (King-Hele, 1962). Heiskanen szerint is a mesterséges holdak általában  $30^\circ$  W irányt és 200–300 méter tengelykülönbséget adnak (Heiskanen, 1963).

Láthatjuk tehát, hogy ezeknek a megegyező adatoknak a fényében alig kételkedhetünk a Föld háromtengelyűségében, és a mesterséges holdak pályaelemeiből számított adatok teljesen megegyeznek a földmag-excentricitásból számítottakkal.

Ez a megállapítás annál értékesebb, mert a mesterséges holdak pályáit az egész Föld gravitációs tere befolyásolja és a mérések esetleges időbeli változást sem tartalmaznak.

K. Jung a geodéziai adatok időbeli csoportosításával arra a megállapításra jutott, hogy az egyenlítői nagytengely iránya az idő folyamán nyugati irányban mozog. A momentán értékeket adó mesterséges hold adatok is valóban nyugatabbra adják a nagytengely irányát, mint amit a hosszú időn át gyűjtött felszíni geodéziai adatokból nyerünk. Ezek az adatok mind alátámasztják a földmag excentricitására és mozgására vonatkozó elgondolást. Ha pedig ez fennáll, akkor annak fizikai következményeit is le kell vonni.

Nyilvánvaló, hogy a Föld nem homogén egyensúlyi alakzat, csak bizonyos közelítéssel tekinthető annak. Erre mutatnak a különböző geodéziai mozgások, földrengések, hegyképződés, sarokvándorlás, stb. Az általános geofizika egyik legfontosabb feladata éppen annak a megállapítása, hogy milyen jelenségek magyarázatánál kell már bevezetni a homogén egyensúlyi alakzattal szemben a természetesebb inhomogén földfelépítést. Egy inhomogén és excentrikus (ez is az inhomogeneitás egyik fajtája) felépítésű Földnek több szabadsági foka van, mint az eddigi homogén koncentrikus gömbhéjakból felépített formának, és ezért jobban használható sok földfizikai jelenség leírására és alkalmasabb egy átfogó elméleti földalak számára.

— . . —

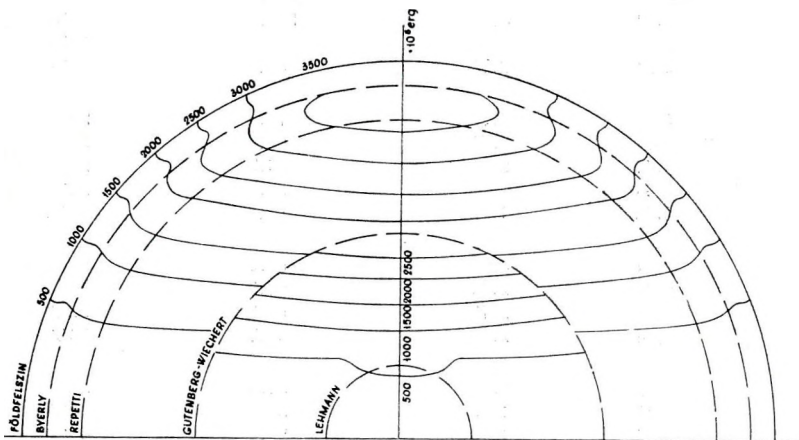
A leírt változások természetesen jelentős energia-átalakulással is járnak. Vizsgáljuk meg, hogy ebből a szempontból milyen energiák jöhetnek számításba. Ha feltételezzük a Föld bizonyos mértékű nem centrikus jellegű anyagi

inhomogeneitását, akkor a földforgás mozgási energiája jelentőssé válik. Az egyenlítőn a Föld kerületi sebessége 465 méter/sec, tehát ott a földanyag a hangnál lényegesen nagyobb sebességgel mozog, és mert óriási tömegekről van szó, a fellépő kinetikus energiák is igen nagyok.

A Föld különböző részeinek energiája különböző, mert a tengely körüli forgás hengerszimmetriája keveredik a sűrűségnek nagyjából centrikus szimmetriájával. Ez a két tényező szabja meg a Föld különböző mélységeiben az egységnyi térfogatú földanyag mozgási energiáját. Ezt az értéket nyilván megkapjuk, ha képezzük a

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \rho r^2 \omega^2$$

szorzatot, ahol  $\rho$  a földanyag sűrűsége a vizsgált pontban,  $r$  a távolsága a forgástengelytől,  $\omega$  a szögsebesség. A megfelelő adatokat az I. táblázat 1–2–3. oszlopában és a 3. ábrán közöljük.



3. ábra. 1 cm<sup>3</sup>-nyi földanyag forgási energiája a mélység függvényében

Фиг. 3. Энергия вращения 1 см<sup>3</sup> земного материала в функции глубин

Fig. 3. The rotational-energy of 1 cm<sup>3</sup> Earth's material in the function of depth

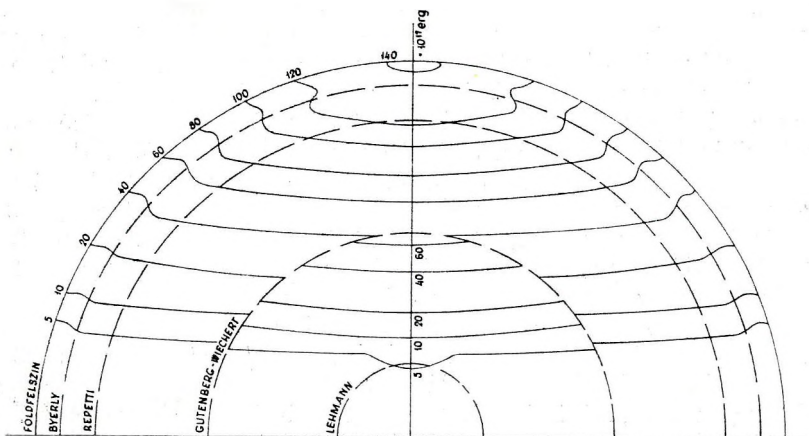
Ha nem csak egy térfogategység energiáját keressük, hanem a tengely körül  $r$  sugarú 1 cm<sup>2</sup> keresztmetszetű körgyűrű mozgási energiáját vizsgáljuk, akkor

$$\delta E_{\text{gyűrű}} = \pi \rho r^3 \omega^2$$

képletet alkalmazva kapjuk az I. táblázat 4. oszlopát. Az eredményeket pedig a 4. ábrán ábráztuk.

## A FÖLD ANYAGÁNAK FORGÁSI ENERGIÁJA KÜLÖNBÖZŐ MÉLYSÉGEK BEN

$r$	$\rho$	$\Delta E = \frac{1}{2} \cdot (r\omega)^2 \cdot \rho$	$\delta E = 2\pi \cdot r \cdot \Delta E$	6,371 - $r$
6,371 km	3,32	3,58 · 10 <sup>9</sup> erg	143,3 · 10 <sup>17</sup> erg	0 km
6,338	3,38	3,60	143,6	33
6,271	3,47	3,62	142,8	100
6,171	3,55	3,59	139,2	200
6,071	3,63	3,55	135,6	300
5,971	3,89	3,68	138,2	400
5,871	4,13	3,78	139,5	500
5,771	4,33	3,83	138,9	600
5,671	4,49	3,84	136,7	700
5,571	4,60	3,79	132,7	800
5,471	4,68	3,72	127,9	900
5,371	4,80	3,68	124,1	1000
5,171	4,91	3,49	113,3	1200
4,971	5,03	3,30	103,1	1400
4,771	5,13	3,10	93,0	1600
4,571	5,24	2,91	83,5	1800
4,371	5,34	2,71	74,4	2000
4,171	5,44	2,51	65,9	2200
3,971	5,54	2,32	57,9	2400
3,771	5,63	2,12	50,4	2600
3,571	5,68	1,92	43,1	2800
3,473	9,57	3,06	66,9	2898
3,371	9,85	2,97	63,0	3000
3,171	10,11	2,70	53,8	3200
2,971	10,35	2,42	45,3	3400
2,771	10,56	2,15	37,5	3600
2,571	10,76	1,89	30,5	3800
2,371	10,94	1,63	24,3	4000
2,171	11,11	1,39	18,9	4200
1,971	11,27	1,16	14,4	4400
1,771	11,41	0,95	10,5	4600
1,571	11,54	0,75	7,4	4800
1,389	14,20	0,72	6,3	4982
1,250	16,85	0,69	5,4	5121
1,171	16,96	0,61	4,5	5200
971	17,05	0,42	2,6	5400
771	17,12	0,27	1,3	5600
571	17,16	0,14	0,5	5800
371	17,19	0,06	0,1	6000
171	17,20	0,01	0,0	6200



4. ábra.  $1 \text{ cm}^2$  keresztmetszetű forgástengely körüli gyűrű anyagának forgási energiája a mélység függvényében

Фиг. 4. Энергия вращения материала кольца вокруг оси вращения с поперечным сечением  $1 \text{ cm}^2$  в функции глубин

Fig. 4. The rotational-energy of a  $1 \text{ cm}^2$  cross-section concentric ring in the function of depth

A 3. és 4. ábrából kitűnik, hogy az egyenlítő környékén  $1 \text{ cm}^3$  anyag földforgásból származó mozgási energiája  $3,6 \cdot 10^9$  erg, vagyis 36 kg tömeget 1 méter magasra emelne.  $1 \text{ cm}^2$  keresztmetszetű forgástengely körüli egyenlítői gyűrű energiatartalma pedig  $1,4 \cdot 10^{19}$  erg. Ezzel az energiával 140 ezer tonnát 1 km magasba emelhetnénk. Elgondolható, hogy ekkora energiának csekély töredéke is tekintélyes gyűrődéseket és töréseket okozhat az egyensúly megbomlása esetén. A sűrűségdifferencia miatt a különböző felületek között a Föld belsejében is felléphetnek nyíróhatások. Főleg ott, ahol nagy az egymás melletti részek közötti energia-különbség, vagyis nagy az energia-gradiens.

A Föld összes forgási energiája  $2,1 \cdot 10^{36}$  erg. Ha ez az energia egyenes-vonalú egyenletes mozgásban nyilvánulna meg, akkor hatására Földünk 260 méter/s tekintélyes, ágyúlövedék sebességgel repülne. Ez a hasonlat is mutatja ennek a mozgási energiának a nagyságát.

Ez az energia azonban nem állandó. Geológiai megállapítások szerint az év napjainak a száma mintegy 600 millió évvel ezelőtt a Kambrium elején 424; 350 millió évvel ezelőtt a devon korszakban pedig 400 volt. Jelenkori csillagászati megfigyelések szerint a nap hosszának évi csökkenése  $\sim 2 \cdot 10^{-5}$  s. A nap hosszának évi relatív változása tehát  $2,3 \cdot 10^{-10}$  s. Az ennek megfelelő energiaváltozás pedig  $9,7 \cdot 10^{26}$  erg. Az évi energiacsökkenés tehát az összes földrengési energiák 400-szorosa.

A forgássebesség-csökkenés természetesen a mozgás-energiának potenciális energiává változásával is magyarázható. A Föld tágulása következtében ui. a Föld tehetetlenségi nyomatéka megnövekszik és ennek következtében is csökken a forgássebesség. Az energia-egyensúly megbomlása szem-

pontjából közömbös, hogy a forgássebesség-csökkenésnek mi az oka, valószínűleg azonban összetett jelenségekről van szó és a kinetikus energia egy része hőenergiává is változhat. Vizsgáljuk meg ezzel kapcsolatban, hogy mekkora a belső mag hátrálásából származó energiakülönbség.

Legyen a belső mag 350 km-rel excentrikus (ez volt az utolsó 100 évben az excentricitás átlagértéke), sűrítsük tömegét a középpontba. Forgás esetén ennek az excentrikus magnak az energiája  $1,6 \cdot 10^{32}$  erg ( $0,8 \cdot 10^{32}$  erg).\* A mag évi  $0,2^\circ$ -ot mozdul el, vagyis 1 év alatt a forgás által megtett szög 650 ezredrésszel változik. A mag energiája tehát  $5 \cdot 10^{26}$  erg-gel ( $2,5 \cdot 10^{26}$  erg-gel)\* csökken. Ebből is láthatjuk, hogy a forgássebesség-csökkenés egyik lényeges oka a belső mag nyugati irányú mozgása lehet.

Érdekes ezeket az energiákat összehasonlítani a Föld hőenergia-vesztésével. A hőáram átlagos értéke ui.  $1,2 \cdot 10^{-6}$  cal/cm<sup>2</sup>/sec. Egész gömbfelületre 1 évre és mechanikai energiára átszámítva ez az energiamennyiség  $8,0 \cdot 10^{27}$  erg (1 cal =  $4,186 \cdot 10^7$  erg). A mag kisebb forgássebességéből származó energiakülönbség a hőenergia veszteségnek mintegy 20-ad része. A belső súrlódás tehát nem teljesen elhanyagolható része Földünk hőháztartásának.

#### IRODALOM

Barta Gy., 1959. A föld mágneses sarkainak és középpontjának időbeli vándorlásáról. Geofizikai Közlemények, VIII. kötet, 1–2. szám.

Barta Gy., 1962. A Föld háromtengelyűségének kapcsolata a földmágneses tér excentricitásával. Geofizikai Közlemények, X. kötet, 1–4. szám.

Burlackaja S. P., 1963. Isszledovanije magnitnovo polja Zemli v prosluje ephi arheomagnitnium metodom. Insztitut fiziki Szibirszkovo otdelenija AN SzSzsZR, Krasnojarszk.

Cook, A. H., 1963. Sources of Harmonics of Low Order in the External Gravity Field of the Earth. Nature, Vol. 198. June 22.

Fanselau G., 1959 Geomagnetismus und Aeronomie. Band III., Berlin.

Gorcakov E. V., 1962. Raszpolozszenije vnutrennevo radiacionnovo pojasza i magnitnoje polje Zemli.

Heiskanen W. A., 1963. Die neuesten Erkenntnisse der physikalischen Geodäsie. Zeitschrift für Vermessungswesen. 88. Jahrgang, Heft 7., Stuttgart.

Izsák I., 1961. A Determination of the Ellipticity of the Earth's Equator from the Motion of two Satellites. Research in Space Science, Special Report No. 56. Smithsonian Institution Astrophysical Observatory, Cambridge 38, Massachusetts, January 30.

King D. — Hele, 1962. Satellites and Scientific Research. London, Routledge and Kegan Paul.

Vogel A., 1963. Secular Variations in the Lower Harmonics of the Earth's Gravity Field Due to Convection Currents in the Earth's Core. Meddlelande fran geodetiska institutionen vid Upsala universitet No. 7.

\* A földmag választott sűrűségkülönbségének megfelelően.