

## A MAGASLÉGKÖR GEOMÁGNESES VIHAROK IDEJÉN

Illés Erzsébet  
MTA Csillagvizsgáló Intézet

A 100 kilométeren felüli légkör összetételére és fizikai állapotára vonatkozó elképzeléseket csak az űrkorszak kezdete óta tudjuk mérésekkel ellenőrizni. Mint ismert, egy a légkörben mozgó objektumra sebességével ellentétes irányú fékezőerő hat, és ez az erő többek között az ellenálló közeg sűrűségével arányos. Mivel a légsűrűség a magassággal exponenciálisan csökken, egy ellipszispályán keringő holdat a perigeuma körüli, legsűrűbb légréteg fékezi legjobban. A fékezés okozta energiavesztés miatt a pálya nagytengelye, és ezzel együtt a

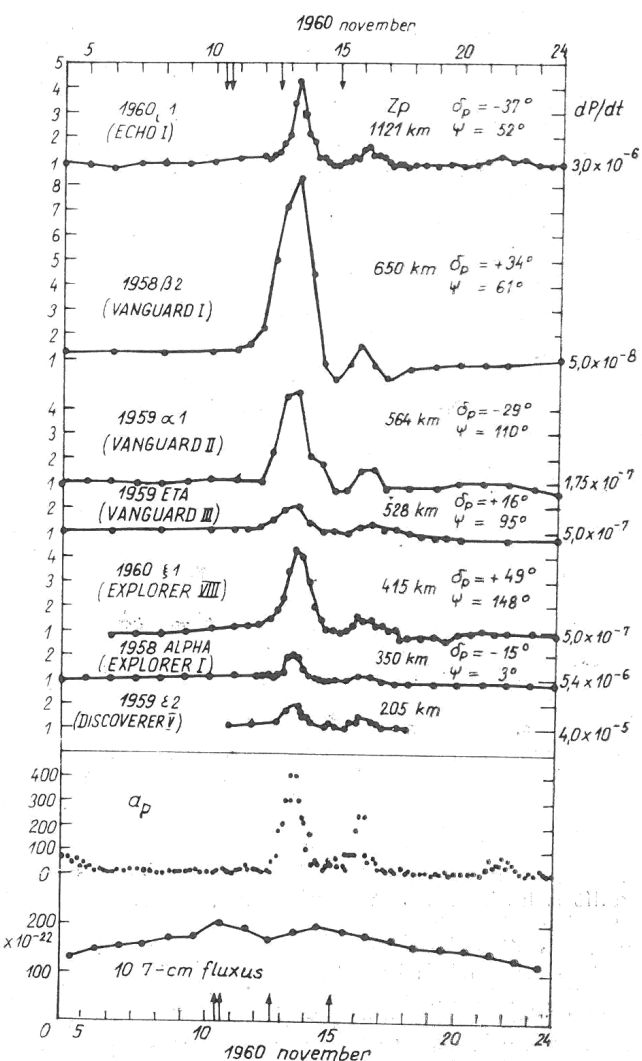
keringés periódusa egyre csökken, a pálya egyre jobban hasonlít a körhöz. Tehát megfordítva, ha megfigyeljük mesterséges holdak periódusváltozását, következtetni tudunk a pálya perigeuma körüli légréteg sűrűségére. E kutatásokra bármely céllal felbocsátott mesterséges hold felhasználható, csak a viszonylag olcsó földi megfigyelő berendezések szükségesek.

Közvetlenül 1957 után meg is kezdődtek ilyen módszerrel a légsűrűségi vizsgálatok. A mérési eredményekből már ekkor látható volt, hogy a légkör nem változat-

lan és halott, hanem a Nappal együtt élő, lüktető burok Földünk körül. Adott hely felett adott magasságban ezer százalékos sűrűség-ingadozások is előfordulnak. Viszonylag egyszerűen leválaszthatók voltak a naptevékenység ciklusával, a Nap tengelyforgásával, a Föld keringési és tengelyforgási periódusával párhuzamosan jelentkező 11 éves, 27 napos, féléves és egy napos periódusú ingadozások, de fennmaradtak olyan aperiodikus fluktuációk, amelyek nagy része, mint Jacchia már 1959-ben kimutatta, a földi mágneses tér viharával mutat korrelációt. Feltehetőleg mindkét jelenséget a napkitöréseket követő korpuszkuláris sugárzás hozza létre.

Ilyen mesterséges hold megfigyelések alapján — a gáztörvények felhasználásával — több felsőlégköri modelttel konstruáltak. Ezek a modellek feltételezik, hogy a hőmérséklet a magassággal növekszik, és néhány száz kilométertől kezdve aszimptotikusan közelít egy állandó értékhez, az ún. exoszferikus hőmérséklethez. Továbbá megadják, hogy különböző exoszferikus hőmérsékletkénel hogyan változik a sűrűség, a nyomás és a kémiai összetétel a magassággal. A Naptól függő, periodikus változásokat úgy építik be a modellekbe, hogy csak az éppen érvényes exoszferikus hőmérsékletet emelkedik a járulékos fűtés következtében, a hőmérsékleti profilok változatlanok maradnak. Így a kívánt időpontra az összes ismert effektus fázisa alapján kiszámítják az éppen érvényes exoszferikus hőmérsékletet, amely meghatározza a hőmérsékletet, és vele együtt a többi paraméter magasságfüggését.

A Csillagvizsgáló Intézet Sziputyikmegfigyelési Csoportjában a geomágneses viharokkal kapcsolatos felsőlégköri fluktuációk tanulmányozásával foglalkozunk, a továbbiakban csak erre a jelenségre térek ki.



1. ábra

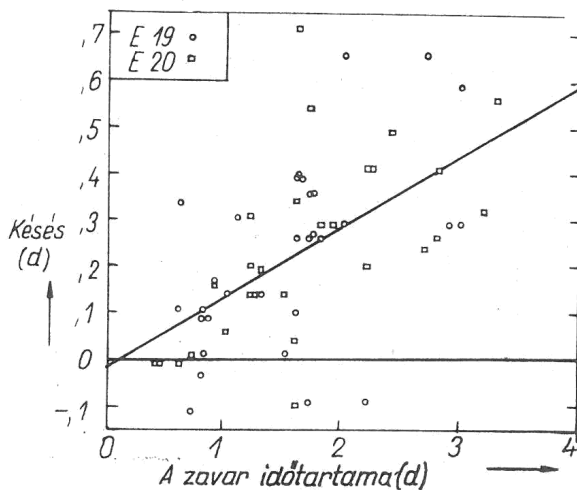
Több hold pályaanalíziséből ugyancsak Jacchia mutatta ki elsőnek, hogy geomágneses viharok idején a geomágneses indexek ( $K_p$ ,  $a_p$ ,  $A_p$ ) maximumát bizonyos időközönként mindenütt az egész Földön egységesen légsűrűség és hőmérsékleti maximum követi (1. ábra), amelynek amplitúdója  $a_p$ -vel arányos. Feltételezve, hogy ilyenkor is változatlanok a hőmérsékleti profilok,  $K_p$  amplitúdójú geomágneses vihar esetén az exoszferikus hőmérséklet emelkedését  $\Delta T_g = 28 K_p + 0,03 e K_p$ -nek vette, ahol  $K_p$  hatása 6,7 órás késéssel jelentkezik a hőmérsékletben. Még a Jacchia által 1970-ben publikált, legújabb légköri modell is ugyanígy veszi figyelembe a geomágneses aktivitást, vagyis egy évtized alatt sem sikerült a jelenség térbeli és időbeli lefolyását teljesen tisztázni.<sup>1</sup>

Ennek oka elsősorban az, hogy egy-egy vihar idején kevés mérés áll rendelkezésre a jelenség teljes analizéséhez. A geomágneses viharral párhuzamosan fellépő felsőlégköri zavar jellemezhető a zavar időközönkénti és amplitúdójával, amelyek mindegyike függhet a földrajzi szélességtől, a magasságtól, a napszaktól és a geomágneses vihar időtartamától. Tehát egyetlen vihar idején párhuzamosan sok hold periódusváltozását kellene követnünk, mégpedig egyrészt különböző perigeumirányú és magasságú holdakét, hogy a zavar irány- és magasságfüggése megállapítható legyen, másrészt olyan kitűnő időfelbontás és pontosság szükséges, hogy az egy-két nap karakterisztikus idejű zavar teljes idő-profilja kirajzolódjon. Mivel a geomágneses viharok előre nem jelezhető módon, szabálytalan időközönként lépnek fel, észlelési kampányt sem lehet szervezni egy-egy vihar idejére, s ezért a minden követelményt kielégítő megfigyelési anyag rendkívül ritka. Az 1. ábrán bemutatott helyzet mindkét szempontból kivételes és egyedülálló, mert egy hatalmas vihar idején, párhuzamosan 7 holdról állt rendelkezésre kellő pontosságú megfigyelési anyag.

A stagnálás másik oka, hogy a különböző kutatók által kapott eredmények gyakran egymásnak ellentmondóak.

Nézzük most a legújabb megfigyelési eredményeket. Roemer 210 sűrűségfluktuáció statisztikus feldolgozásából azt kapta, hogy az időközönként ( $\Delta t$ ) függ a geomágneses zavar időtartamától ( $\Delta \tau$ ) (lásd 2. ábra)

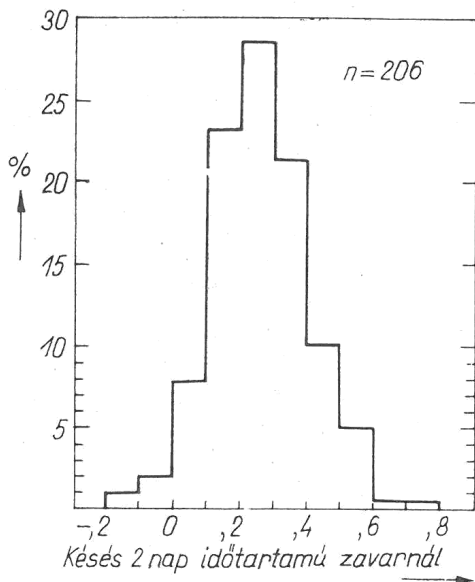
$$\Delta t = 0,13 \Delta \tau + 0,01$$



2. ábra

viszont független annak amplitúdójától, a földrajzi szélességtől, magasságtól és napszaktól; ugyanakkor de Vries talált szélességfüggést az időközönkéntben. Átlagos értékre a különböző szerzők 0 órától 17 óráig terjedő adatokat is publikáltak! A legkiterjedtebb vizsgálat,

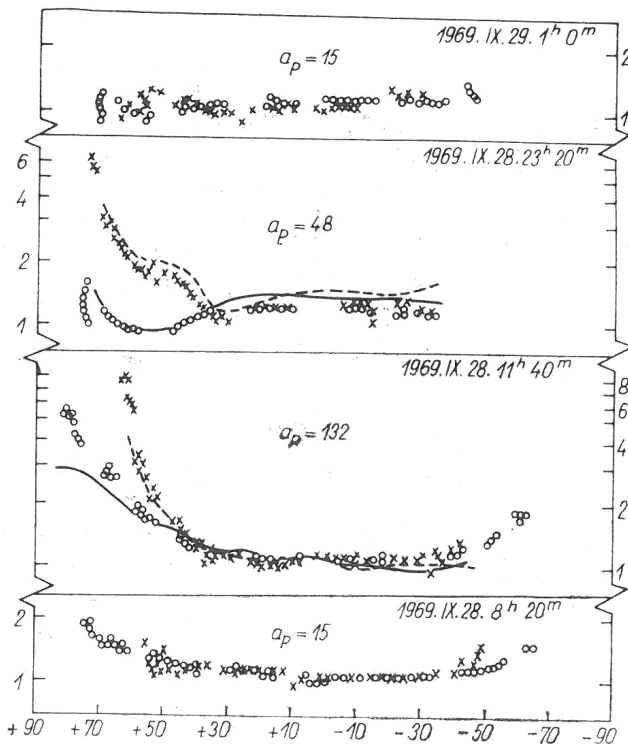
<sup>1</sup> A cikk megírása óta megjelent modelljében Jacchia (1971. júl.) 200 km alatt a sűrűség-növekedést geomágneses viharok idején már nemcsak az exoszferikus hőmérséklet függvényének tekinti, hanem formuláját egy empirikus,  $K_p$ -től függő additív taggal módosítja.



3. ábra

Roemeré, ugyancsak nagy szórást mutat a megfigyelt időkésekben (3. ábra).

A geomágneses zavar *amplitúdójáról* viszont egyértelműen bebizonyítottak tekinthető, hogy a földrajzi szélességgel együtt növekszik. A 4. ábra az OGO-6 mesterséges hold műszereinek a helyszínen végzett („in situ”) mérései alapján a légköri összetevők sűrűségének változását mutatja különböző mágneses szélességeken (valószínűbb, hogy az egész jelenség mágnesesen kontrollált). Egymás alatt 4 mágnesesen zavart időpontban látjuk a nitrogén és oxigén komponens sűrűségét — a zavar kezdete előtti, nyugodt napra normalizálva. Fel-tűnő, hogy a légköri reakció először a sarkvidékeken jelentkezik; másrészt az a tény, hogy itt a nitrogén sűrűsége (x-szel jelölve) jobban nő, mint az oxigéné (o-el jelölve), arra utal, hogy a sűrűség-növekedést melegedés okozza. Valóban, az OGO-6 közvetlen hőmérsékletmérései a sarkok fölött 100 foknyi melegedést mutattak ki.



4. ábra

Látható, hogy a vihar leszálló ágára már közepes szélességeken is reagál a légkör, azonban ez nem interpretálható a hőmérséklet növekedésével. Hasonló eredményekre vezettek az OVI-15 mesterséges hold in situ mérései is. *Jacchia* maga pályaanalízisei alapján szintén úgy találta, hogy  $\varphi > 55$  foknál 15–25%-kal nagyobb a sűrűség növekedése, ezt az eredményt modelljében azonban még nem vette tekintetbe. Roemer az effektus szélességfüggésére a következő képletet adja

$$\Delta T_g = (21,4 \sin |\varphi| + 17,9) \bar{K}_p + 0,03 e \bar{K}_p$$

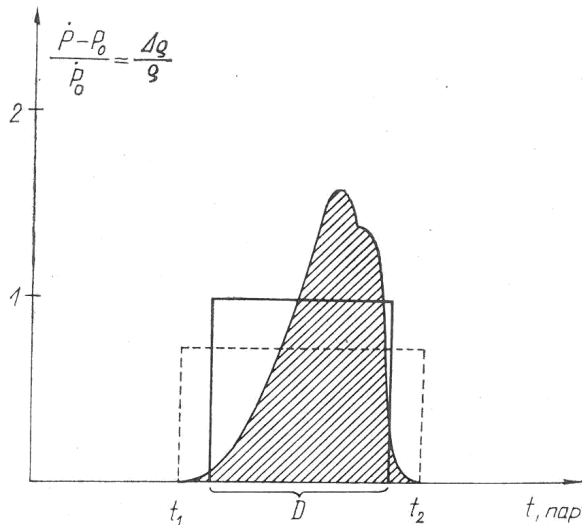
ahol  $\bar{K}_p$  a 0,4 napra csúszó közepeléssel kapott  $K_p$  érték. Szerinte ezenkívül az éjszakai oldalon 30%-kal nagyobb a sűrűség-növekedés, vagyis vagy az éjszakai oldal erősebben reagál egy járulékos fűtésre, vagy a hóforrások eloszlása napszakfüggő.

Lényeges előrehaladáshoz vagy kellő mennyiségű in situ mérésre, vagy sok hold nagy időfelbontással, párhuzamosan észlelt periódusváltozás-görbéire lenne szükség; mindkettő elég reménytelennek látszik.

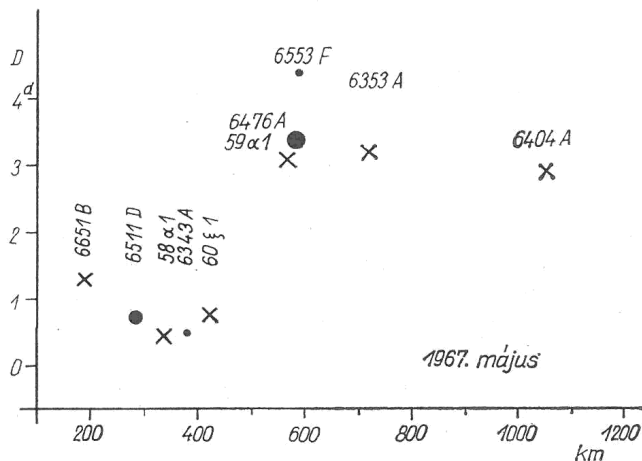
1970-ben Almár Ivánnal a geomágneses zavar során beérkező összenergia jellemzésére új paramétert vezet-tünk be: a relatív sűrűségváltozás görbe integrálját,

$$D = \int_{t_1}^{t_2} \frac{\Delta \rho}{\rho_0} dt = \int_{t_1}^{t_2} \frac{\Delta \dot{P}}{\dot{P}_0} dt$$

(mivel a periódusváltozás a perigeum fölötti sűrűséggel arányos). Ennek napban kifejezett mértékét *ekvivalens időtartamnak* neveztük el, definíciója az 5. ábráról nyilvánvaló.



5. ábra



6. ábra

Az új paraméter bevezetésének legfőbb előnye, hogy a változócsillagok kutatásában használt, ún. O-C módszert továbbfejlesztve ez a  $D$  érték akkor is meghatározható, ha csak a vihar előtti és utáni észlelések állnak rendelkezésünkre, tehát a vihar alatt nincs megfigyelés. Másik előnye, hogy nagy relatív pontossággal meghatározható, lehetővé téve, hogy a nagy mennyiségben rendelkezésre álló, de legalább egy nagyságrenddel pontatlanabb, vizuális megfigyelések is felhasználhatók legyenek. E módszerhez naponta egyetlen átvonulás észlelése is elegendő, sőt néha 1—2 nap ki is maradhat.

A módszer hátránya, hogy egyrészt speciális megfigyeléseket igényel (tudniillik a pálya egy bizonyos meghatározott pontján való áthaladást kell rögzíteni), másrészt csak azon feltétel mellett értelmezi az ekvivalens időtartamot, hogy a hold fékeződése a zavar előtt és után nagyjából azonos volt.

Az általunk használt eljárás előnye, hogy az eredmény a hold megválasztásától, és mindenféle légköri modelltől független. Adott vihar esetén értéke a perigeum helyétől függ csupán.

Előzetes eredményeink alapján a 6. ábrán bemutatjuk az 1967. május 26-i geomágneses vihar idején az ekvivalens időtartam magasságfüggését. Az ordinátán az azonos Nap-perigeum szögére redukált  $D$ -értékek szerepelnek. A pontok jelzik a vizuális észlelésekből O-C módszerrel meghatározott ekvivalens időtartamokat, a keresztek a Jacchia által publikált, nagy időfelbontású sűrűségváltozás-görbék integrálásával nyert értékeket. Látható, hogy 400 km felett a hatás addig növekszik, ameddig el nem érjük a hélium-övet (ez a jelenség a modellekben is tükröződik), viszont a 300 km alatt kimutatott növekedésről a modellek még nem tudnak. Intézetünkben folyamatban van egy általános feldolgozás az 1966—1970 közötti összes nagy geomágneses vihar idejére.