

A JÁRULÉKOS FÜTÉSEL KAPCSOLATOS UJABB EREDMÉNYEK

Illés Erzsébet

MTA Csillagászati Kutató Intézete

Bevezetés

A korábbi ionoszféra-magnetoszféra szemináriumokon (IV,V,VII,X,XI) folyamatosan beszámoltam az $S_{10.7}$ defektussal kapcsolatos kutatásaimról. Emlékeztetőül itt csak annyit, hogy a felsőlégkör sűrűségváltozásainak vizsgálatát tűztem ki célul olyan időszakokban, amikor a 27 napos sűrűségváltozást indexként jellemző 10.7 cm-es rádiósugárzás ($S_{10.7}$) 27 napos periodicitásában zavar áll be: hosszú, egyenletes sorozat közben vagy után hiányzik egy-egy maximum. Az általam feldolgozott 59 hold 7 éves megfigyelési anyagából levezetett fékeződési adatok azt az eredményt adták, hogy az $S_{10.7}$ görbe alapján várható 74 helyett 158 maximum lép fel a légsűrűségben. E maximumok sajátosságai alapján arra következtettem, hogy korotáló áramokból a magnetoszférán keresztül hosszabb időközesséssel betáplált energia hozhatja létre őket. Leírásukra a C_{DR} galaktikus kozmikus sugárzási indexet javasoltam, amelyről bebizonyítottam, hogy a felsőlégköri modellekben a naptevékenység leírására legalább annyira alkalmas, mint az $S_{10.7}$ index.

A C_{DR} csökkenések után azonban nem minden esetben találtam sűrűség-növekedést, de ez a munkahipotézisem alapján sem várható mindig. Ezért a soproni geofizikus kollégákkal való konzultációk alapján olyan közvetlen paramétert kerestünk a sűrűség-növekedések jellemzésére, amely akkor és csak akkor jelez, ha ténylegesen fellép energiabetáplálás.

Először felmerült a kérdés, hogy valóban új fűtési mechanizmust kell-e feltételezni?

Tölcsér-diagram és K_p eloszlás

A Tranzit holdak fékeződésével kapcsolatban Almár Ivánnal, Borza Tiborral és Horváth Andrással végzett közös kutatásunk [1] egyik mellék-eredménye volt az u.n. tölcsér-diagram.

A mért és a Jacchia-71 modell sűrűségek aránya (f) az $S_{10.7}$ függvényében ugyanis az $S_{10.7}$ csökkenésével sok esetben egyértelműen növekvő szórást mutat. Más szavakkal: ha az $S_{10.7}$ a csucs érték körül van, akkor a mért és a modellbeli sűrűség is maximum körüli értéket mutat. Kis $S_{10.7}$ -nél azonban a modell-értékekhez képest a mért sűrűségérték kicsi is és nagy is lehet --- valamilyen más paramétertől függően. Tehát ezen f értékekben nem maradt olyan függés az $S_{10.7}$ -től, amely a ζ modellformuláiban egyetlen tényező alkalmas megválasztásával leírható lenne. Tölcsér-diagramot alkotnak a pontok egyébként több más hold anyagánál is (1. ábra).

A modellekben a naptevékenység hatását jelző másik paraméter a K_p . Az új fűtés szükségességének kérdése úgy is megfogalmazható, vajjon a K_p extrém kis értékeinél koncentrálnak-e szisztematikusan a sűrűségmaximumok? Ez esetben ugyanis arról lenne szó, hogy K_p kis értékeinél nem kielégítő a légköri modell. (Nagy K_p -k esetére Almár Iván doktori disszertációja tárgyalja a modellek hibáit.)

A kérdés megválaszolására két eloszlási görbét konstruáltam. A K_p értékek eloszlását vizsgáltam a 7 éves megfigyelési időintervallum alatt egyrészt az általam talált "felesleges" maximumok, másrészt az $S_{10.7}$ -el magyarázható sűrűségi maximumok idején. Az eredmény a 2. ábrán látható. Az eloszlásban nincs lényeges különbség. Eszerint nincs olyan tendencia, hogy extrém kis (vagy extrém nagy) K_p értékeknel lépnek fel "felesleges" sűrűségi maximumok.

A későbbiekre maradt még annak a kérdésnek a megvizsgálása, hogy a kis $S_{10.7}$ értékeknel f -ben fellépő szórás nem a K_p szerint rendeződik-e? Amennyiben ez a vizsgálat negatív eredménnyel zárul majd, akkor kimondhatjuk, hogy az eddigi paraméterekkel ($S_{10.7}$, K_p) nem lehet leírni az általam talált "felesleges" sűrűség-növekedéseket. Ez természetesen még mindig nem jelenti azt, hogy új fűtési mechanizmust kell feltételezni! Lehetséges, hogy csak arról van szó, hogy az $S_{10.7}$ és a K_p együttesen sem elegendő a felsőlégkör naptevékenységgel kapcsolatos változásainak a leírására, létezik náluk jobb vagy őket kiegészítő paraméter.

Mindenesetre új paramétert kell keresni --- akár az eddigieket kiegészítő akár új fűtési mechanizmust jellemző feladattal.

Ionoszféra paraméterek és semleges légköri sűrűségváltozások párhuzamos vizsgálata

A Bencze Pállal és később März Ferencsel folytatott konzultációk alapján került a megvizsgálandók listájára több ionoszféra és magnetoszféra

paraméter, amelyekkel való korreláció esetleg a fizikai mechanizmusra is utalhat. Így került sorra a MIA (mean ionospheric absorption) és ismét az foF2 paraméter.

Az foF2 használata felmerült már a Pap Judit által végzett kutatások kapcsán, a vele való konzultációk során is. Akkor azonban elsősorban csak a nyers foF2-t vizsgáltuk. Megállapítható volt ugyan, hogy az éjszakai oldal erősebben reagál valamely geomágneses viharra, mint a nappali, de a vizsgálatok abbamaradtak egyrészt, mert a nyers foF2 változása túlságosan komplex, másrészt, mivel Pap Judit leszűkítette disszertációja témáját a napállandó kutatására.

Bencze Pál a Δ foF2, vagyis egy 30 napos középtől való eltérés vizsgálatát javasolta, amely kevésbé terhelt különböző egyéb effektusokkal, mint a nyers foF2. Ez a vizsgálat folyamatban van olyan Δ foF2 értékekkel, ahol egy bizonyos órában meghatározott foF2-ből az ugyanezen órára vonatkozó 30 napos átlagértéket vonjuk le.

Miután a Δ foF2 és a MIA változása is elég sok paramétertől függ, a semleges légkör sűrűségváltozási profilja viszont nem ismert elég nagy időfelbontással, az egybevetést --- a fizikai mechanizmusra vonatkozó munkahipotézis hiányában --- gátolta az az 5-10 napos bizonytalanság, amellyel a légsűrűségi maximum helyét meg lehetett adni. A viszonylag lapos maximumok és minimumok így lehetetlenné tették a jel/zaj viszony javítását a szuperponált epochák szokásos módszerével.

Ezért a Bencze Pállal és März Ferencsel végzendő közös kutatáshoz a következő javaslatot tettem. Vonjuk be a vizsgálatokba azokat az eddig általam figyelmen kívül hagyott "felesleges" sűrűség-növekedéseket, amelyeket 5-10 nappal korábban geomágneses vihar előzött meg. Ha feltételezzük, hogy ezek ugyanolyan mechanizmussal jönnek létre, mint a többi, akkor kihasználhatjuk, hogy a szuperponált epochák módszeréhez az A_p csucs a vihar idején jó illesztési pontot ("markert") szolgáltat. Tekintsük nulla-napnak az A_p csucskor napjait. A jó illesztés miatt így várhatóan megnő a jel/zaj viszony, s a vihar utáni időszakban esetleg található egy vagy több alkalmas paraméter. Tisztázható továbbá a késési idő is.

A geomágneses utóhatás

Ennek a késési idő keresésnek a mellékterméke a geomágneses utóhatás felfedezése a semleges felsőlégkörben.

A szuperponált epochák módszerét (SZEM) Budapesten programoztuk be Nagy Máriával az MIA SZTAKI CDC-3300-as számítógépére. A MIA adatok März

Ferenctől, az foF2 adatok Pap Judittól származnak. Az foF2-ből a Δ foF2 görbék előállítására az adatkezelő programot szintén Nagy Mária készítette.

A mesterséges holdak fékeződéséből kapott \mathcal{Q} és f értékeket leosztva holdanként a saját átlagértékükkel ($\mathcal{Q}/\bar{\mathcal{Q}}$ illetve f/\bar{f}) olyan értékekhez jutottunk, amelyek az összes holdra közös adat-file-ban kezelhetők. Ezekből naponta közepelve az aznap rendelkezésre álló összes hold megfelelő adatait $\mathcal{Q}/\bar{\mathcal{Q}}$ -ra is és f/\bar{f} -ra is egy-egy értékű adatsort kaptunk az idő függvényében.

A SZEM programot lefuttattuk az A_p , C_{DR} , $S_{10.7}$, MIA, f/\bar{f} és $\mathcal{Q}/\bar{\mathcal{Q}}$ adatsorokra, valamint a Δ foF2 óránként külön-külön vett adatsoraira. Ehhez azt a 14 geomágneses vihart használtuk, amelynél $A_p > 60$, és ahol 20 napon belül nem előzte meg a vihart egy másik erős geomágneses aktivitás. A SZEM program eredményét a 3. ábrán közöljük.

A szuperponált MIA görbe mutatja a jól ismert vihar-hatást a viharral egyidőben, valamint 6-8 nap késéssel azt az ionoszférikus utóhatást, amelyet a geofizikában jól ismernek [2, 3].

Látható, hogy az f/\bar{f} görbén a MIA utóhatással párhuzamosan szignifikáns maximum lép fel, holott tökéletes modell esetén egység körüli szórásnak kellene mutatkoznia. Ezt a szuperponált MIA maximummal párhuzamosan fellépő sűrűség-növekedést neveztem el semleges felsőlégköri geomágneses utóhatásnak.

A sűrűség-görbén ($\mathcal{Q}/\bar{\mathcal{Q}}$) ez az utóhatás úgy jelentkezik, hogy a vihar idején megnövekedett sűrűség nem csökken le azonnal az A_p görbével párhuzamosan, hanem sokkal lassabban, és csak 8-10 nap után tér vissza a nyugalmi szintre.

A szuperponált $S_{10.7}$ görbe mutatja, hogy a vihar után látható sűrűség-növekedést az $S_{10.7}$ nem magyarázhatja.

A szuperponált A_p görbe természetesen az éles A_p csucst mutatja; ezeket a csucsokat illesztette össze a SZEM program.

A szuperponált C_{DR} görbén a viharral egyidőben, illetve kis, 1 napnál nem nagyobb időközéssel a jól ismert Forbush csökkenés látható.

A szokásos, 1 napnál nem nagyobb időközéssel figyelembe vételével sem az A_p sem a C_{DR} görbe nem tud magyarázatot adni a geomágneses utóhatásra.

A jelenség finomszerkezete és a fizikai mechanizmus feltárása a soproni kollégákkal tervezett további közös kutatásunk célja. A jelenséggel kapcsolatban fontosnak tartjuk megjegyezni, hogy a MIA és az f/\bar{f} között fellépő párhuzamosság nem azt jelenti, hogy a MIA utóhatást kiváltó, a plazmaszférából kiszórt 40keV-nél nagyobb energiájú elektronok lényeges fűtést jelenthetnek a semleges légkör számára. Inkább csak jelzésnek te-

tekinthetjük a MIA utóhatást, amely indikálja bármiféle részecskeprecipitáció létét.

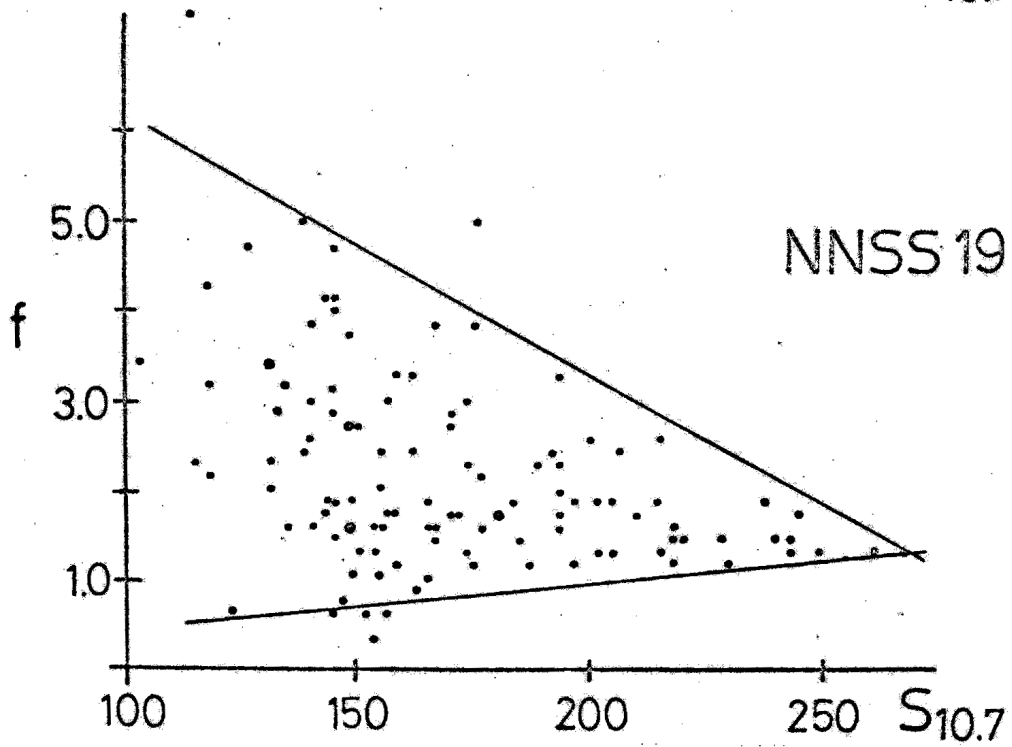
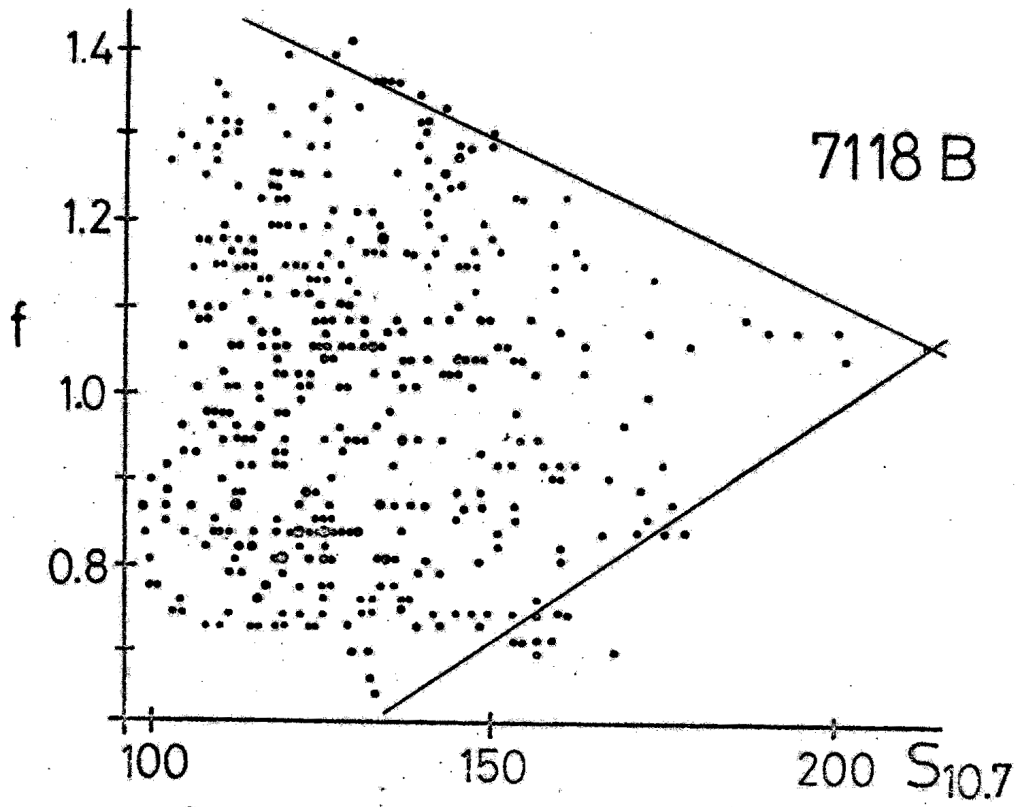
A semleges légköri utóhatás két komponensből tevődhet össze. Egyrészt a geomágneses vihar idején hirtelen betáplált energia lassabban adódik át a semleges komponensnek, mint ahogy eddig hittük. Másrészt lehetséges, hogy a plazmaszférából az ionoszférikus utóhatást létrehozó részecskeprecipitáció idején más energiájú részecskék is érkeznek, ami az adott magasságban töltéscsere révén közvetlen fűtést is jelenthet a semleges komponensnek.

Ehelyütt is szeretném köszönetemet kifejezni Bencze Pálnak, Verő Józsefnek és März Ferencnek, továbbá Pap Juditnak, Czuczorné Miletits Juditnak, Sátori Gabriellának és Holló Lajosnak a hasznos konzultációkért, Nagy Máriának a programok készítéséért és futtatásáért, Decsy Pálnak az adatfelvitelben és rajzkészítésben nyújtott segítségéért, ugyancsak a CDC számítógép személyzetének mindig segítőkész hozzáállásáért.

Irodalom

1. Almár, I., Illés, E., Horváth, A., Borza, T.: Orbital Evolution of NNSS Satellites. In print.
2. Lauter, E.A., Knuth, R. J. Atmos. Terr. Phys. 29, 411-417, 1967.
3. Belrose, J.S. In: Propagation of Radiowaves at Frequencies below 300 kc/s. Agardograph 74, 149. Pergamon Press London, 1964.

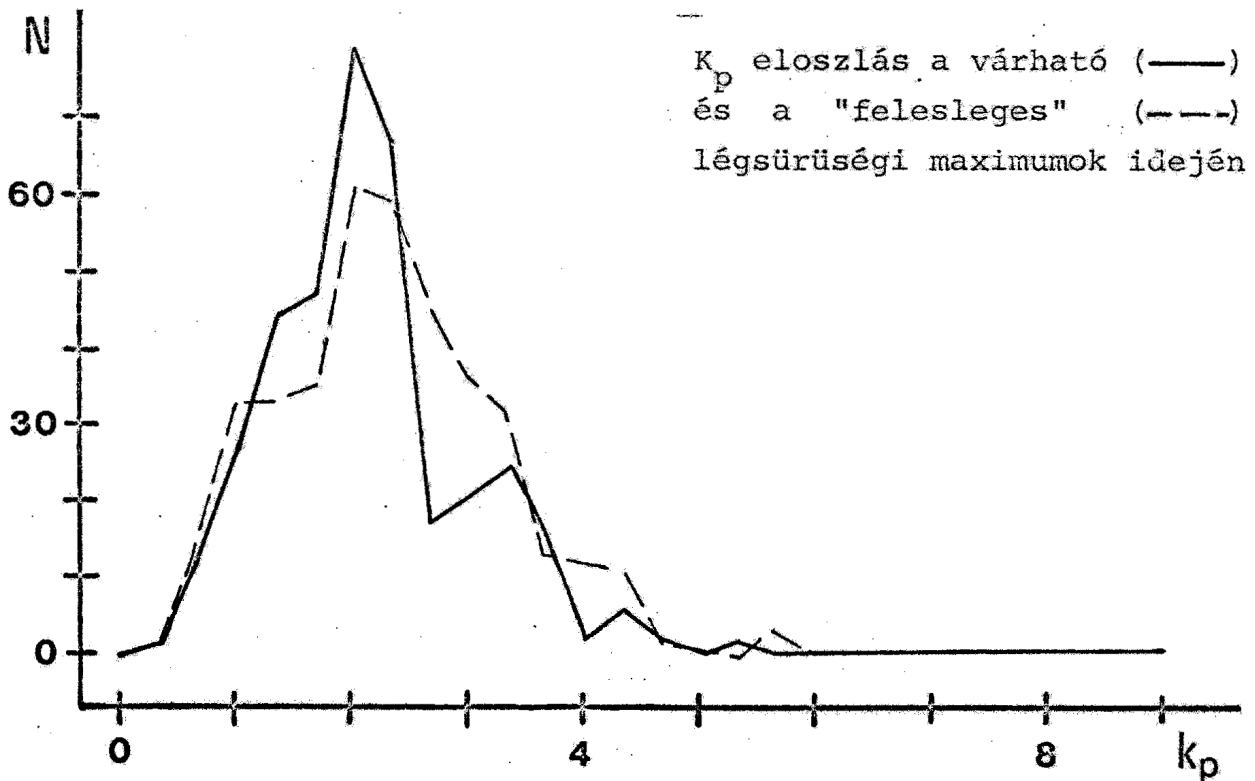
$$f = \frac{\varphi_{\text{obs}}}{\varphi_{\text{model}}}$$



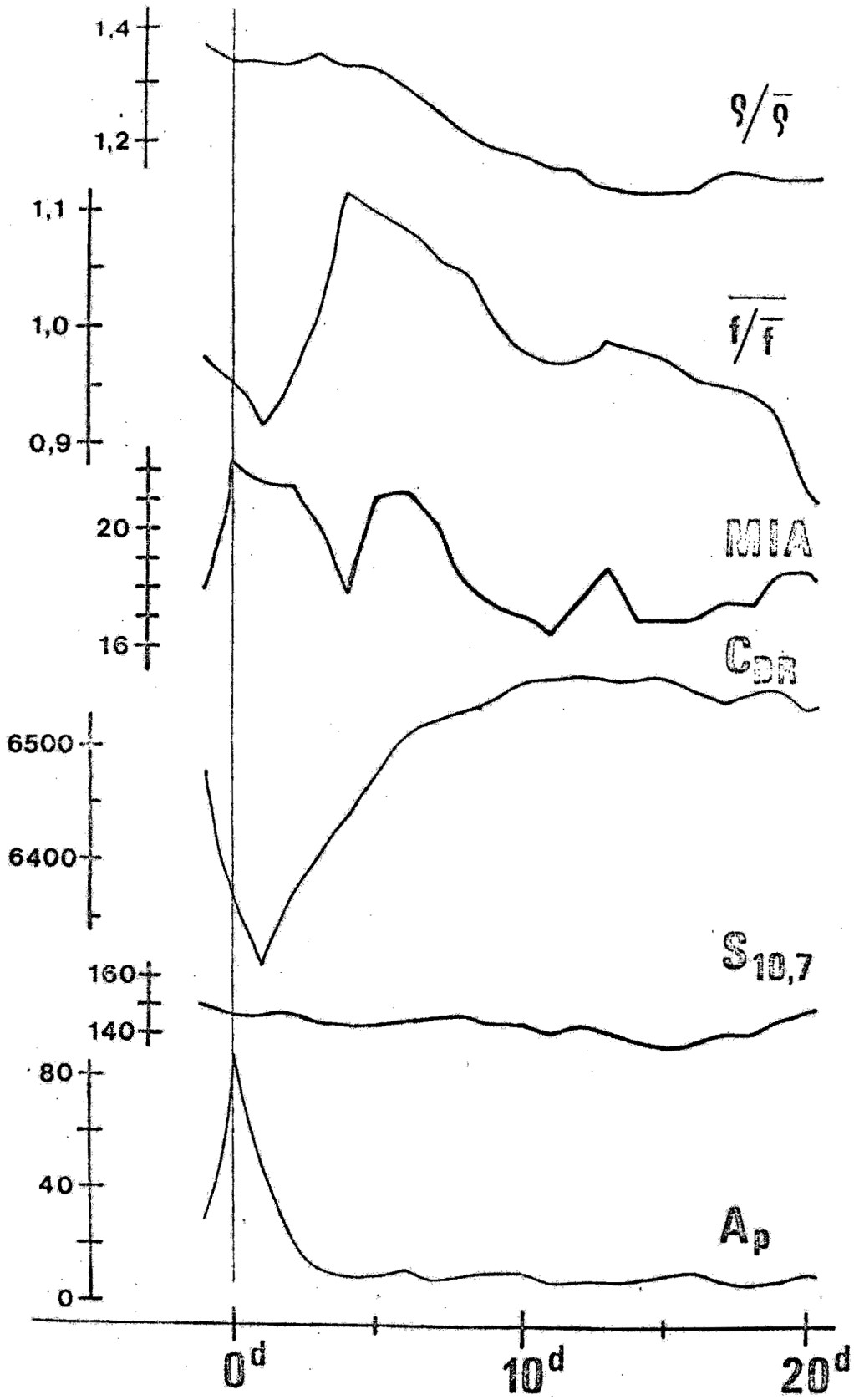
1. ábra

A SZEM programhoz felhasznált geomágneses viharok

D á t u m	MJD	A_p max
1967. máj. 2.	39613	83
1967. dec. 31.	39855	64
1968. jun. 10.	40018	100
1968. nov. 1.	40161	122
1969. márc. 20.	40304	85
1969. máj. 15.	40356	130
1969. szept. 30.	40494	85
1970. márc. 9.	40652	150
1970. ápr. 20.	40697	84
1970. aug. 15.	40815	115
1970. dec. 15.	40934	63
1971. máj. 20.	41088	70
1971. dec. 16.	41302	68
1972. jun. 20.	41485	122



2. ábra



3. ábra

A FELSŐLÉGKÖRI NAPSZAKOS EFFEKTUS EGYES VONÁSAI

ILL M.(1), BERGER C.(2), BARLIER F.(2)

- (1) MTA Csillagászati Kutatóintézet Bajai Observatóriuma, BAJA
- (2) Centre d'Etudes et de Recherches Géodynamiques et Astronomiques, GRASSE, Franciaország

1. BEVEZETÉS

A napszakos effektus a felsőlégkör egyszerűnek tűnő, de mindmáig nem kielégítő mértékig megismert jelensége. Az effektus alapja az a megfigyelés, hogy a légsűrűség napi változásainak menetében a hajnali órákban (4 h LST körül) találjuk a legkisebb értéket, míg a legnagyobbakat délután (14 h LST táján) lehet megfigyelni. A műholdak fékeződéséből levezetett első mérési sorozatok egybevetése után nyilvánvalóvá vált, hogy az effektus A sűrűségi amplitudója ($A = \rho_{\max} / \rho_{\min}$) változik a magassággal, de függ a naptevékenységtől is.

2. MEGFIGYELT AMPLITUDÓ-VÁLTOZÁSOK

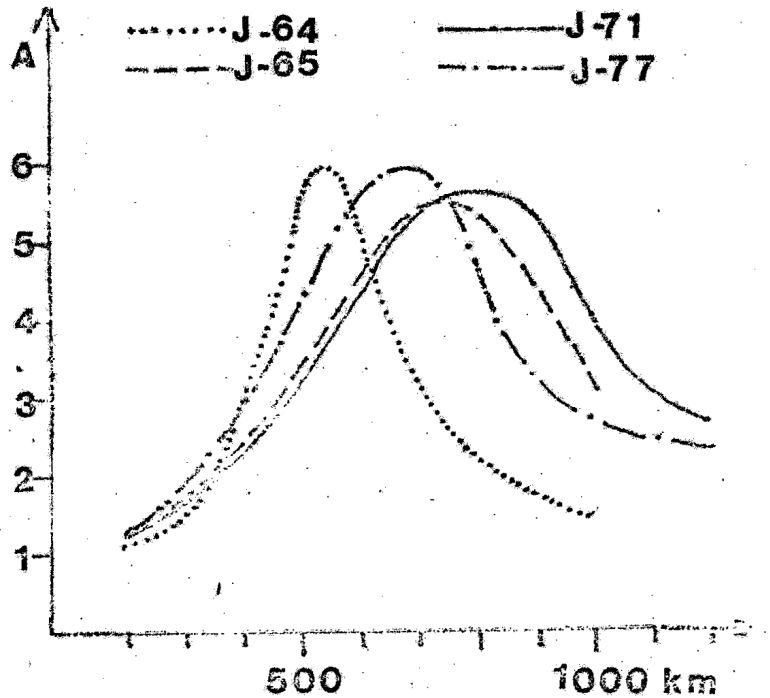
Priester szerint (1) 1958-ban (naptevékenységi maximum idején) a napszakos effektus amplitudója 200 km magasságban mintegy $A=1,15$ volt, de (a következő évben, csaknem ugyanolyan naptevékenység mellett) 562 km magasságban már $A=5$, míg 660 km magasságban $A=8$ értéket figyeltek meg. Ha ezt összevetjük azzal, hogy az ECHO-1 fékeződéséből (1960-61-ben) 1200 km magasságban Roemer $A=4$ amplitudót kapott (2), akkor igazoltnak tűnik, hogy az A sűrűségi amplitudó a magassággal növekszik ugyan, de valahol 600-800 km táján eléri maximumát, majd ismét csökken.

Számos mérés mutatta ki azt is, hogy A függ a naptevékenységtől. King-Hele szerint (3) 200 km magasságban a fenti $A=1,15$ amplitudó a naptevékenységi minimum táján (1963-ban) már $A=1,7$ -re növekedett, sőt Marov öt Kozmosz-hold fékeződéséből erre a magasságra $A=1,9$ értéket vezetett le (4), (5). Ezekkel összhangban Slowey kimutatta (6), hogy az 1958-59-ben 270 km-re kapott $A=1,5$ amplitudó a naptevékenység jelentős csökkenése mellett 1963-ban már $A=2,1$ -re növekedett. Mindezek után ellentmondásnak tűnt Cook megállapítása (7), amely szerint 1200 km magasságban az amplitudó a naptevékenységgel párhuzamosan csökkenő tendenciát mutatott: az 1960-61-ben mért $A=4$ amplitudó már $A=2$ -re csökkent.

Ez utóbbi "ellentmondás" késztetett bennünket arra, hogy a kérdést közelebbről megvizsgáljuk. A mai, jónak mondott légköri modelleknek az említett változásokat tükrözniük kellene, sőt: fenti "ellentmondás" feloldása is megközelíthető egy megfelelő modell segítségével.

3. A NAPSZAKOS EFFEKTUS A LÉGKÖRI MODELLEKBEN

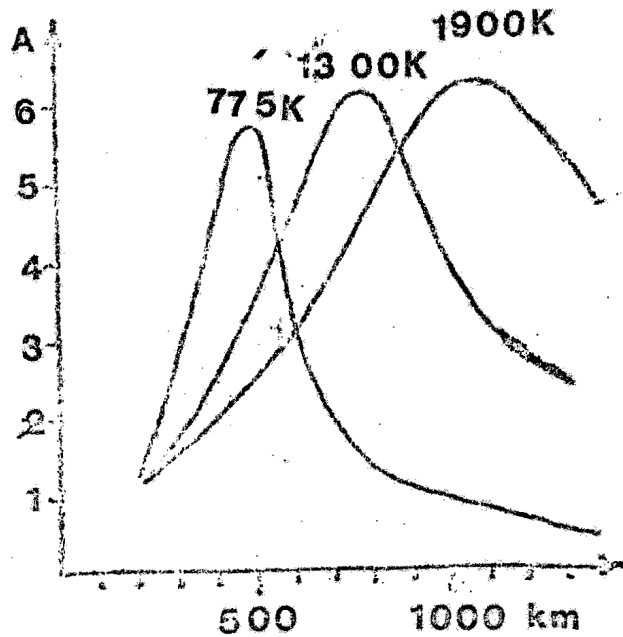
A modellek általában nem adják meg explicit formában a napszakos effektus amplitudóját, így azt az exoszférikus hőmérséklet napi menete alapján kell kifejtteni. Az effektussal kapcsolatban meglevő nagyfokú bizonytalanságról árulkodik az 1. ábra, amelyen azt mutatjuk be, hogy Jacchia 4 különböző modelljében hogyan változik a napszakos effektus amplitudója a magasság függvényében (gyenge naptevékenység mellett). Szembetűnő pl. az, hogy egyik modell sem éri el a megfigyelt $A=8$ maximális értéket. Az is figyelemreméltó, hogy még a két legu-



1. ábra

többi modell (J-71 és J-77) között is jelentős a különbség, főleg abból kifolyólag, hogy nem tudjuk biztosan, mely magasságnál maximális az amplitudó. E modellek alapján csak annyit lehet megállapítani, hogy valahol 500-800 km között, vagyis a hélium-övezetben, az amplitudó csökkenni kezd. Ezt a jelenséget a modellek szerzője nem említi, tehát magyarázatát sem adja meg.

A napszakos effektus amplitudójával kapcsolatos kérdések azért is bonyolultak, mert az nemcsak a magasságnak, de a naptevékenységnek, vagyis az exoszférikus hőmérsékletnek is függvénye. Utóbbi függés vizsgálatára a J-77 modellt választottuk.



2. ábra

A 2. ábrán az amplitudó magasságfüggését három különböző hőmérséklet: 775K, 1300K és 1900K mellett mutatjuk be. A görbék közös vonása, hogy az amplitudó bizonyos magasságig növekszik, majd egy maximális érték után ismét csökken. Látható, hogy az amplitudó maximális értéke alig függ a naptevékenységtől. A görbéknek igen fontos vonása, hogy növekvő hőmérséklet mellett az amplitudó egyre nagyobb magasságoknál éri el maximális értékét. Kiderül, hogy ez a jelenség okozza a megfigyelt "ellentmondást". A görbék eltolódása következtében ui. pl. 500 km magasságban a gyenge naptevékenységhez tartozó $A=5,7$ -es amplitudó magasabb exoszférikus hőmérséklet mellett **l e c s ö k k e n** a felére, ugyanakkor pl. 1000 km magasságban az $A=1$ érték **m e g n ö v e k s z i k**

a hatszorosára! Így tehát Cook fentebb említett, "ellentmondásosnak" tűnő megfigyelése nem téves, sőt nagyon is helyes.

A 2. ábra görbéi azt is mutatják, hogy 200 km magasságban az amplitudó csak igen kevésbé függ a naptevékenységtől. Másrészt, a 775K-hez tartozó görbéről az is leolvasható, hogy bizonyos magasságtól kezdve az amplitudó kisebb 1-nél, vagyis az éjszakai sűrűségérték nagyobb a délinél. Ez összhangban van azokkal az elméleti következtetésekkel, amelyek a légköri hidrogén viselkedését írják le. Így tehát az amplitudó értékéből az is megtudható, hogy mely légköri tartománytól kezdve domináns komponens a hidrogén.

A görbék azonban a felsőlégkör másik jellegzetes vonását is jól tükrözik. Ismeretes, hogy a felsőlégkörben uralkodó diffúz egyensúlyi állapot mellett, a magasság növekedésével az egyes légköri komponensek koncentrációja a molekulatömegükkel arányosan csökken. Ennek az a következménye, hogy a felsőlégkörben az egyes komponensek szinte rétegszerűen helyezkednek el, vagyis egy adott magasságon valamely komponens dominál. Így pl. 200 km felett a domináns komponens az atomi oxigén, feljebb a hélium, és még feljebb a hidrogén. Egy adott hőmérsékleten az oxigén koncentrációja gyorsabban csökken a magassággal, mint a héliumé, ezért bizonyos magasságban a két komponens koncentrációja már egyenlő, sőt ennél nagyobb magasságokban az oxigén részaránya egyre kisebbé válik és innentől kezdve már a hélium a domináns komponens.

Mindezek ismeretében igen érdekes, hogy az a magasság, ahol e két komponens koncentrációja egyenlővé válik, pontosan megegyezik a 2. ábrán látható

amplitudó-görbék maximumainak helyével. Így tehát a napszakos effektus tanulmányozása még azt is elárulja, hogy mely magasságban vált szerepet az oxigén és a hélium. Fentiek figyelembevételével a 2. ábráról leolvasható, hogy a hélium-övezet alsó határa a hőmérséklet növekedése következtében akár 600 km-rel (!) feljebb tolódhat. De az is kitűnik a görbékről, hogy a légkör felmelegedését elsősorban okozó EUV-fűtés a héliumövezetben egyáltalán nem effektív.

4. HULLÁMJELENSÉGEK A FELSŐLÉGKÖRBEN

A napszakos effektus elkerülhetetlenül előtérbe hozza a felsőlégkör energia-háztartásának kérdését is. Nyilvánvaló, hogy a termoszférában lejátszódó fizikai folyamatok csak az energia-háztartás ismeretében érthető meg és írható le kellő pontossággal. A felsőlégkör energiaforrásai között első helyen szokás említeni az EUV-abszorpciót, de jelentékeny szerepe van a korpuzkuláris sugárzásnak és az ezzel kapcsolatos Joule-fűtésnek, valamint a légkör alsóbb részeiből, pl. a mezoszférából érkező hullámok disszipációjának a termoszféra alsóbb rétegeiben. Az ezekből a forrásokból származó energia természetesen nem külön-külön jelentkezik, de ha pl. kiválasztunk egy olyan időszakot, amelynek folyamán a naptevékenység nem mutat nagyobb változásokat (gyenge naptevékenység idején), és az esetleges geomágneses viharokat is elimináljuk, akkor az ilyen mérések alkalmasak pl. a hullámdisszipáció következtében fellépő légköri változások tanulmányozására. Természetesen, a napszakos, vagyis 24 óra periódusú változás akkor is megmarad (még a leggyengébb nap-

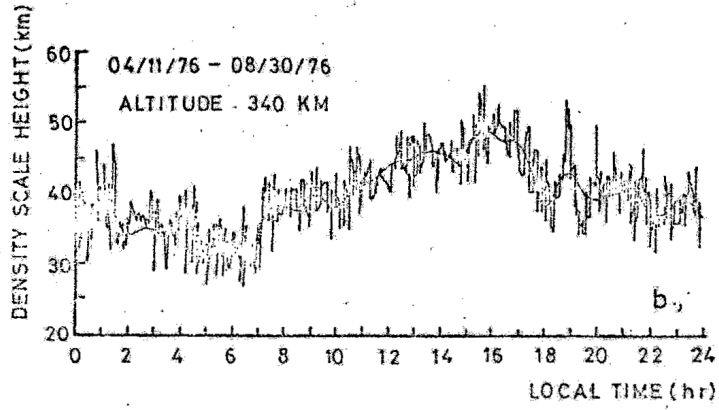
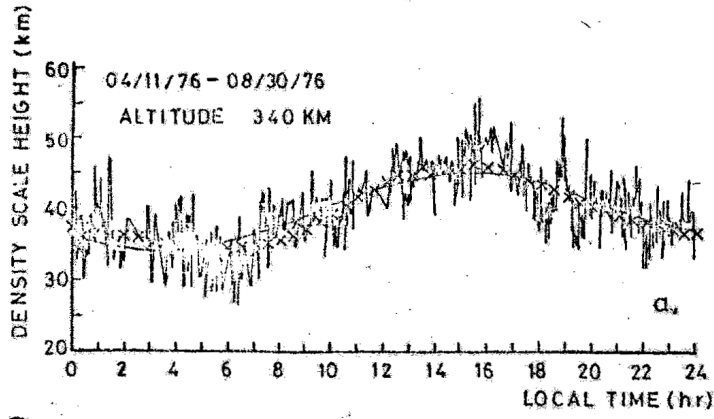
tevékenység mellett is), de viszonylag könnyebben lehet vizsgálni más, szuperponálódó hullámjelenségeket, periodicitásokat is.

A 24 órás periódus felharmonikusainak, vagy általában hullámjelenségeknek a kimutatása fékezési sűrűségadatokkal eddig nem sikerült. Ennek oka részben az adatok kis pontossága, részben azok csekély időbeli és térbeli felbontóképessége. Más a helyzet pl. akcelerométeres mérések esetén, mint pl. a francia D5B-hold CACTUS akcelerométerének méréseiből kapott sűrűségadatoknál (8). Mivel a különféle eredetű hullámok disszipációja a felsőlégköri paraméterekben, de elsősorban a hőmérséklet-változásaiban tükröződik, ezért vizsgálatainknál a rendelkezésre álló akcelerométeres sűrűségértékek helyett inkább a sűrűségi skálamagassági adatokat használtuk, amelyek legjobban reprezentálják a hőmérséklet-változásokat.

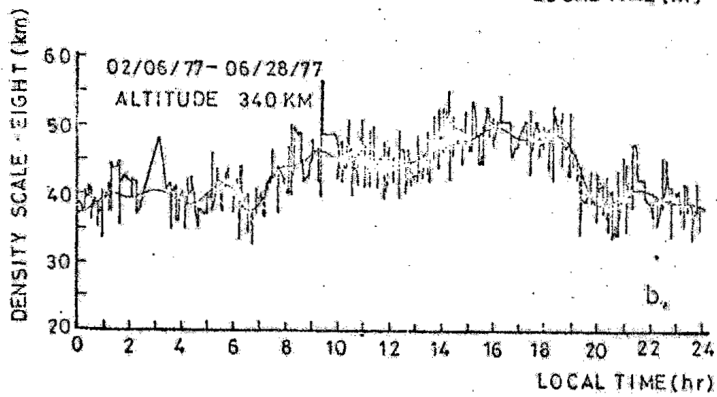
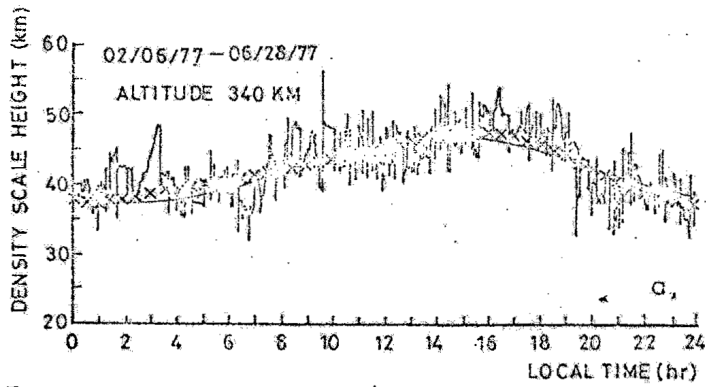
5. A NAPSZAKOS EFFEKTUS VIZSGÁLATA A SKÁLAMAGASSÁGGAL

A 3. és 4. ábrán a (9)-ben részletezett módszer szerint meghatározott sűrűségi skálamagasság-értékeket mutatunk be a helyi idő függvényében. Mindegyik ábra helyi időben egy-egy 24 órás intervallumot fog át, ami a naptári évben mintegy 140 napnak felel meg (a D5B perigeumvándorlása $\dot{\omega} = 2,57^\circ/\text{d}$ volt). Az ábrák 340 km magasságra vonatkoznak.

Mindegyik görbén jól kivehető a napszakos effektus maximuma 16 h LST táján, de számos mellékmaximum is látszik a görbe menetében, ami annak hullámzó jellegét kölcsönöz. Ez a hullámzó jelleg késztetett bennünket arra, hogy az adatokat egy spektrálanalízisnek vessük alá. Az analízisnél a Ferraz-



3. ábra



4. ábra

Mello által kidolgozott eljárást alkalmaztuk (10). A kapott spektrális együtthatókat az 5. ábrán mutatjuk be (a 24 órás periódus elhagyásával). Mindkét ábrán erőteljesen jelentkeznek a 12 órás periódus, de magasabb rendű felharmonikusok (8h, 6h, 4h) is jól kivehetők.

Az alábbi táblázatban megadjuk az első 7 felharmonikus P_i periódusidejének megfelelő A_i amplitudókat és φ_i fázisokat.

Periódus (h)	1976.04.11-08.30		1977.02.06-06.28	
	A_i (km)	φ_i (h)	A_i (km)	φ_i (h)
24,0	5,7	15,5	4,6	14,1
12,0	1,5	1,6	1,3	4,0
8,0	0,7	0,2	1,7	1,2
6,0	0,5	21,1	0,8	21,8
4,8	0,3	21,8	0,5	23,1
4,0	1,3	0,2	0,8	1,9
3,43	0,1	22,3	0,7	1,5
3,0	0,4	1,4	0,2	0,2

A kapott eredményeket numerikusan a következő formula reprezentálja:

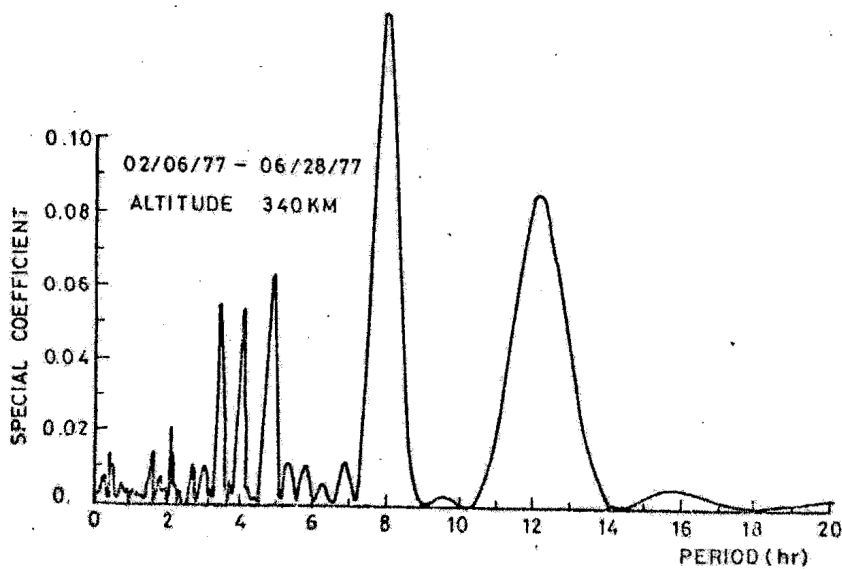
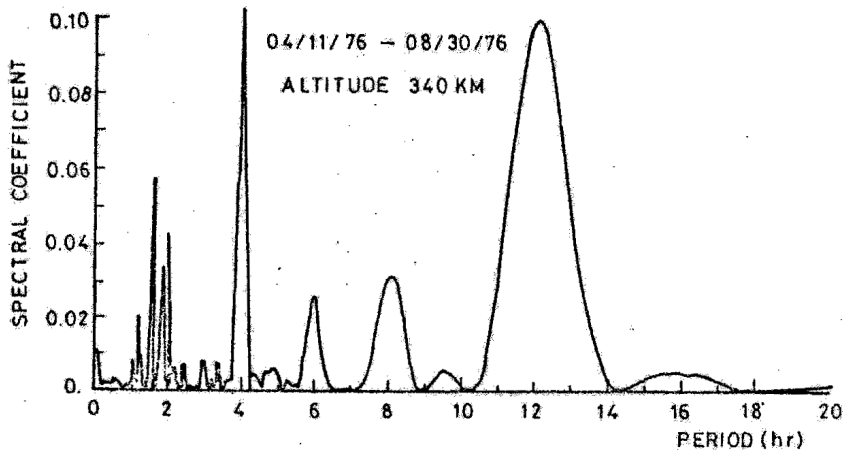
$$H = \sum_i A_i \cdot \cos \frac{2\pi}{P_i} (LST - \varphi_i)$$

6. AZ EREDMÉNYEK ELEMZÉSE, DISZKUSSZIÓ

A spektrálanalizisből kapott 24 órás periódussal rajzolt görbét a 3/a és 4/a ábrákon folytonos vonallal mutatjuk be. Ez a görbe a tényleges változásokat egyáltalán nem követi, csupán egy erősen simított átlaggörbét ad, amint az várható is volt. Ha a kapott 12 órás periódust is figyelembe vesszük, akkor kapjuk a kerestekkel megadott görbét, amely az előzőtől

nem sokban különbözik. Ha azonban H változásait az analízisből kapott mind a 15 felharmonikussal fejezzük ki, akkor a 3/b és 4/b görbéket kapjuk, amelyek igen szépen tükrözik a ténylegesen megfigyelt változásokat.

Volland és Mayr (11) egy elméleti tanulmányában a félnapos felharmonikus amplitudójáról kimutatja, hogy az a 24 órásnak 20-30%-át teszi ki. Táblázatunkból látható, hogy ez mindkét esetünkben teljesül (26% ill. 28%). De az is kitűnik a táblázatból, hogy a magasabb felharmonikusok mindkét esetben jelen vannak, és amplitudóik összege eléri a 24 órás amplitudó 30%-át, tehát egyáltalán nem elhanyagolhatók.



5. ábra

Bár eddig csupán a bemutatott két esetet elemeztük, már ezekből is kiderül, hogy az egyes felharmonikusok amplitudója (és főleg a fázisa!) nem állandó. Így pl. az első esetünkénél a 4 órás felharmonikus amplitudója ugyanakkora, mint a félnaposé, míg a második intervallumban csak fele akkora. Ugyanakkor a 8 órás felharmonikus amplitudója az első esetben a félnapos amplitudó $1/3$ -át teszi ki, míg a második esetben lényegesen nagyobb a félnaposnál. Ez, a fáziseltolódásokkal együtt arra utal, hogy a periódikusnak látszó változásokat inkább kvázi-periódikusnak kell tekintenünk.

A H skálamagasság megfigyelt változásai ecetenként igen tekintélyesek, pl. az éjezakai órákban ki téhetnek 7 km-t. Az adott körülmények között ez legalább 150K hőmérsékletváltozásnak felel meg. Vegyük figyelembe, hogy analízisünkhöz olyan időintervallumokat választottunk, amikor a naptövékonyég változásai a deciméteres fluxueban nem haladták meg a 10 egységet, vagyis ez a változás legfeljebb 20-30K hőmérséklet-változást okozhatott. Mivel ugyanakkor a geomágneses aktivitás is igen gyenge volt, nem marad más magyarázatunk, mint az, hogy a megfigyelt H-változások (= hőmérséklet-változások) energetikai forrása az alsó termoszfóra, ahol pl. a mezoszférából érkezett hullámok diszipálódtak.

Arra is felhívjuk a figyelmet, hogy sűrűség-adatokban már korábban is előfordultak olyan változások, amelyekre megfelelő magyarázatot nem lehetett adni (12), (13), (14), mivel azok nem származhattak EUV-abszorpcióból vagy geomágneses aktivitáshoz kapcsolódó fűtésből. Elméleti vizsgálatok szerint (11) a felsőlégrében létezniük kell kvázi-periódikus változásoknak, amelyek különböző hullámok (árapály, planetáris, gravitációs) terje-

désével és disszipációjával magyarázhatók. Mi a jelen tanulmányunkban kimutatott felharmonikusok magyarázataira ezeket a hullámjelenségeket tartjuk legvalószínűbbnek.

IRODALOMJEGYZÉK

- (1) Priester, W., Roemer, M., Volland, H.: The physical behaviour of the upper atmosphere deduced from satellite drag data.-*Spce Sc. Rev.*, Vol.6, pp.707-780.
- (2) Roemer, M.: Exospheric densities deduced from satellite drag data.-*Space Res.*, Vol. IV, pp. 244, 1964.
- (3) King-Hele, D.G., Quinn, E.: Air density at heights 180-300 km in th years 1962-64.-*Planet. Space Sc.*, Vol.13, pp. 693-705, 1965.
- (4) Marov, M.Ya.: Density of the upper atmosphere from data of soviet satellite drag.-*Space Res.*, Vol.V, pp.1140-1149, 1965
- (5) Marov, M.Ya.: The density of the upper atmosphere. *Ann. Géophys.*, Vol.22, pp.65-74, 1965.
- (6) Slowey, J.: Atmospheric densities and temperatures from the drag analysis of the Expl. 17 satellite.- *SAO Spec. Rep.*, No 157, 1964
- (7) Cook, G.E., Scott, D.W.: Exospheric densities near solar minimum from the orbit of Echo-2.- *Planet. Space Sc.*, Vol. 14, pp. 1149-1165, 1966.
- (8) Barlier, F. et al.: Experimentation en vol sur satellite d'un accélérometre de tres haute sensibilité.- *C.R. Acad. Sc.*, Paris, 281-B, pp. 145-148.
- (9) Ill, M.: Determination of scale height profiles.- *Space Res.*, Vol. XIX, pp.235-238, 1979.
- (10) Ferraz-Mello, S.: Estimation of periods from unequally spaced observations.- *Astron. J.*, Vol. 86., pp.619-624, 1981.

- (11) Volland, H., Mayr, H.G.: Theoretical aspects of the tidal and planetary waves propagation at thermospheric heights.- Rev. Geophys. Space Phys., Vol. 15, pp. 203-226, 1977.
- (12) Ill, M., Barlier, F., Jaeck, C.: Résultats de la comparaison de deux méthodes de détermination de densité.- Nabl I.Sz.Z., Vol.8, pp. 207-219, 1967.
- (13) Ill, M., Barlier, F., Kohler, P.: A remark on the semi-annual variation of air density.- Space Res., Vol.X, pp. 425-429, 1970
- (14) Illés-Almár, E. et al.: Motivation for an additional new index of solar activity in upper atmospheric models.-XXV.-th Cospar Meeting, Graz, Austria, 1984.