

Geomágneses pulzációk, a bolygóközi tér, a magnetoszféra és az ionoszféra az 1999. augusztus 11-i napfogyatkozás idején

VERŐ JÓZSEF¹ (témavezető), BENCZE PÁL¹, CSONTOS ANDRÁS¹, HEILIG BALÁZS¹, SZENDRŐI JUDIT¹, ZIEGER BERTALAN¹

OTKA nyilvántartási szám: T 032173 (Magnetoszféra- és bolygóközitér-kutatás pulzációkkal, 2000–2002), valamint TS 408048 (Földi elektromágnesség, 2002–2004)

J. VERŐ, P. BENCZE, A. CSONTOS, B. HEILIG, J. SZENDRŐI, B. ZIEGER: Geomagnetic pulsations, interplanetary space, magnetosphere and ionosphere during the 11. 08. 1999 solar eclipse

The solar eclipse on 11. 08. 1999 took place from a geomagnetic point of view at a most favourable area and time. Both from the shadow of the Moon and from adjacent regions, many geomagnetic and ionospheric data could be collected together with interplanetary space data (satellite WIND). Geomagnetic pulsations revealed significant changes in frequency, amplitude and polarisation. The results are interpreted in terms of interplanetary and magnetospheric-ionospheric conditions. The amplitude decrease is supposed to be due to a switch-off of field line resonance (FLR).

Az 1999. augusztus 11-i napfogyatkozás geomágneses szempontból kivételesen kedvező helyen és időben játszódott le. Az árnyék Közép-Európán söpört végig, ahol viszonylag sok geomágneses obszervatórium működik, és japán, német, valamint magyar–amerikai csoportok létesítettek ideiglenes állomásokat is. Ugyancsak hozzáférhető több ionoszféra-szondázó állomás adatsora. A bolygóközi térre vonatkozó adatokat a WIND mesterséges bolygó szolgáltatja. Ezeknek az adatoknak az összegyűjtése meglehetősen sokáig elhúzódott. Az értelmezés körül hosszadalmas vita bontakozott ki. A fenti két ok miatt az eredményeket ismertető tanulmány csak 2007 elején jelenhet meg.

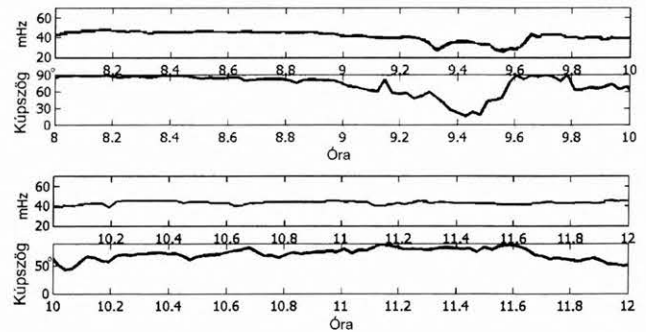
Az adatok összegyűjtésében, feldolgozásában és értelmezésében német részről H. LÜHR professzor, japán részről K. YUMOTO és Y. TANAKA, cseh részről J. STRĚŠTÍK vett részt.

1. Bolygóközi tér

Ahhoz, hogy az észlelt hatásokat egyértelműen a napfogyatkozáshoz lehessen rendelni, ismernünk kell a bolygóközi tér állapotát, pontosabban azt, hogy a napfogyatkozás idején történt-e ott olyan változás, amely befolyásolhatta a Pc3 típusú, 15–45 s periódusú geomágneses pulzációk paramétereit. A bolygóközi térre vonatkozó adatokat egyrészt a WIND mesterséges hold időben a terjedési időnek megfelelően eltolt adatai szolgáltatották, másrészt pedig következtetni lehet rájuk az UW (Upstream Waves) típusú pulzációk periódusa alapján. Az UW pulzációk ugyanis a magnetoszféra előtti bolygóközi térben keletkeznek, és periódusuk a bolygóközi térben lévő mágneses térerősségével van fordított arányban. Ez a periódus a magnetoszférán át való terjedés során sem módosul. Emiatt az UW jelek periódusa nem függ az észlelő állomás (geomágneses) szélességétől. Különböző szélességen fekvő állomások pulzációinak koherenciája így az UW periódusánál a legrövidebb.

A pulzációk tevékenységét befolyásolja a napszél sebessége, valamint a bolygóközi mágneses tér kúpszöge (a tér irányának a Nap–Föld vonallal bezárt szöge).

A 1. ábra mutatja az UW jelek alapján számított várt periódust, illetve a kúpszög értékét a napfogyatkozás körüli időszakban. Részletes elemzés alapján az európai napfogyatkozás időtartama alatt (0900–1200 UT) nem történt olyan változás ezekben a paraméterekben, amely különösebben befolyásolta volna a geomágneses pulzációk tevékenységét. A várt és észlelt UW periódusok nagyjából megegyeznek, a kúpszög értéke többnyire 45°-nál nagyobb. Ennek a kedvezőtlen értéknek dacára az UW megjelenése egyértelműen kimutatható.



1. ábra. A bolygóközi tér, illetve a napszél hatása a Föld felszínén észlelt pulzációkra. A két felső csík a 0800 és 1000, a két alsó 1000 és 1200 UT között mutatja a változásokat. Mindkét szakasz felső részén az öt állomás keresztkorrelációs függvénye alapján meghatározott frekvencia szerepel. Az alsó részen a kúpszög értéke látható WIND mérések alapján

Fig. 1. Effect of the interplanetary space and of the solar wind, respectively on geomagnetic pulsations. The top two curves show changes in the interval 0800–1000 UT, the bottom two those during 1000–1200 UT. In both cases the top curve represents pulsation frequencies computed with the help of cross-correlation functions of pulsation data from many stations. The bottom curves show the cone angle based on WIND measurements

¹ MTA GGKI, H-9401 Sopron, Pf. 5

2. Ionoszféra

A napfogyatkozás az ionoszféra szempontjából azt jelenti, hogy az ionoszférát alkotó ionok és elektronok keletkezéséhez vezető ionizáló sugárzás, a Nap elektromágneses sugárzása részben, vagy majdnem teljesen megszűnik, éjszakai állapotnak megfelelő körülmények alakulnak ki. Ennek következtében az elektron-, illetve ionsűrűség jól észlelhető csökkenést mutat. Az elektronsűrűséggel arányos mennyiségek a Nagycenki Széchenyi István Geofizikai Observatóriumban az ionoszféra rádióhullámok függőleges beeséssel történő szondázása útján meghatározhatók. Ezek a mennyiségek a szondázás eredményeként kapott ionogramokról olvashatók le. Az ionizáló sugárzás szelektív abszorpciója következtében az ionoszférában kialakuló rétegződések kritikus frekvenciája (foE , $foF1$, $foF2$) a rétegek maximális elektronsűrűségével arányos.

A 2. ábrán az foE és $foF1$ kritikus frekvenciák, illetve az ezeknek megfelelő elektronsűrűség változását látjuk a napfogyatkozás idején. Nagycenken az F2 réteg elektronsűrűsége alig változott, ami annak tulajdonítható, hogy az obszervatórium a totalitás zónájába esett. Az E rétegben a közvetlenül a napfogyatkozás előtt észlelt és a minimális elektronsűrűség hányadosa 2,6 volt. A totalitás zónájától északra és délre, nagyrészt hasonló földrajzi hosszúságon fekvő ionoszféra állomások mérési adatai alapján az ionoszférában a napfogyatkozás hatása a totalitás zónájára merőleges irányban északra és délre mintegy 2600 km volt. A totalitás zónájának az irányában ez a távolság ~ 3300 km volt. A napfogyatkozás hatásának az időtartama Nagycenken az E rétegben 2 óra és 46 perc, a maximum időpontja 10 óra 47 perckor (UT) volt észlelhető. A mérési adatok elemzése arra enged következtetni, hogy a napfogyatkozás hatása az ionoszférában nemcsak az ionizáló sugárzás változásával függ össze, hanem annak kialakulásában dinamikai (áramlási) folyamatoknak is szerepük van.

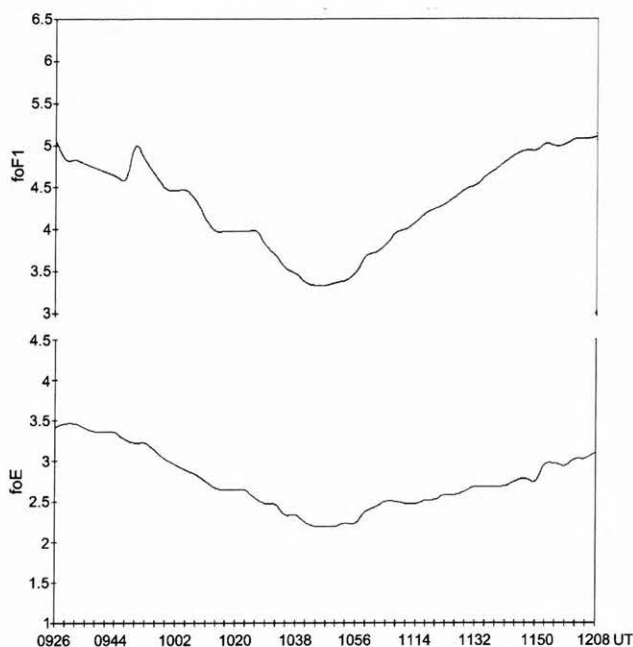
3. A geomágneses pulzációk tevékenysége a napfogyatkozás alatt

Abból a többé-kevésbé bizonyított feltevésből indultunk ki, hogy a Pc3 pulzációk kétfajta jel keveredéséből állnak. Az egyik a már említett UW. Ezek a jelek a magnetoszférában keveset módosulnak, de a felszínen észlelhető polarizációjukat az ionoszféra erősen befolyásolja. A polarizáció változása az észlelt, megváltozott ionoszféra alatt alig befolyásolja a jelek amplitúdóját.

A másik típus az erővonal rezonancia (Field Line Resonance, FLR) az UW által gerjesztve a magnetoszférában alakul ki. A rezonancia periódusát az erővonal hossza, a mágneses térerősség és az erővonal menti töltött részecskesűrűség határozza meg. Az ionoszférában csökkenő töltött részecskesűrűség, és felfelé terjedő hatása miatt a rezonancia periódusa a napfogyatkozás alatt megváltozhat. Ennek következtében a rezonancia — legalábbis egy időre — leáll. Az ebből eredő amplitúdócsökkenésnek a teljességében kell legnagyobbak lennie, és a csökkenésnek együtt kell mozognia az árnyékfolttal.

A mért adatok alapján a napfogyatkozás ideje alatt valóban bekövetkezett amplitúdócsökkenés, de ez még nem bizonyítja, hogy ez a csökkenés a napfogyatkozás eredménye, hiszen hasonló események nem ritkák, pl. a napfo-

gyatkozás előtt néhány órával is előfordult. A FLR jellegű pulzációk tipikus csomagszerű megjelenése a teljes fogyatkozás alatt ugyan eltűnt, de ez még nem elegendő bizonyíték, ehhez az említett két törvényszerűséget kell ki mutatnunk.



2. ábra. Az elektronsűrűséggel arányos foE és $foF1$ frekvencia-paraméterek változása a napfogyatkozás időszakában a Nagycenki Geofizikai Observatóriumban függőlegesen kisugárzott rádióhullámokkal végzett ionoszféra-szondázás alapján

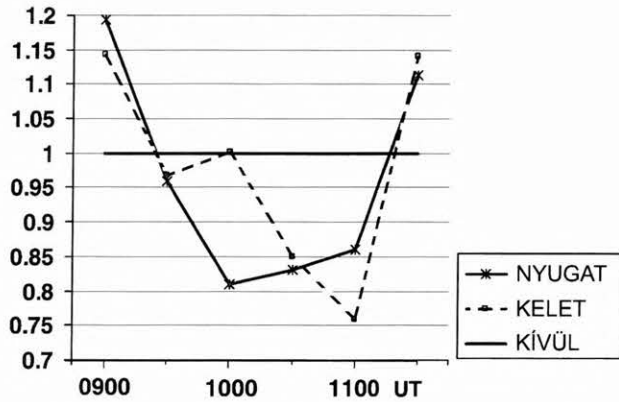
Fig. 2. Variations of the frequency parameters foE and $foF1$ being proportional with the ionospheric electron density as measured at the Nagycenk Geophysical Observatory based on soundings by vertically transmitted radio waves

A Nagycenki Observatórium a teljesség sávjában helyezkedett el, ezért ennek adatait használtuk fel más állomásokkal való összehasonlításban. A dél-csehországi Budkov Observatórium esetében a fogyatkozás mértéke 98% volt. Azt tapasztaltuk, hogy a két állomáson észlelt pulzációk amplitúdójának aránya a nagycenki teljesség bekövetkezésekor jelentősen megváltozott, mégpedig úgy, hogy a nagycenki amplitúdók a budkoviakhoz képest is csökkentek. Ennek az lehet a magyarázata, hogy mindaddig, amíg a teljes árnyék el nem éri Nagycenket, az elektromágneses ionizáló sugárzás szintje a két állomáson alig tér el egymástól, míg a teljesség időpontjában Nagycenken ilyen sugárzás nincsen, Budkovban pedig, ha kevés is, de van.

Délnyugat-Angliával, ahol az árnyék elérte Európát, nehéz volt összehasonlítást végezni, mert itt az FLR periódusa sokkal hosszabb, mint az árnyék közép-európai szakaszán. A déli féltekén lévő konjugált terület közelében (Dél-Afrika) ugyancsak tapasztalható volt amplitúdócsökkenés, mégpedig úgy, hogy annak időbeli menete leginkább annak az állomásnak adatsorához hasonlított, amely a dél-afrikai állomás konjugált pontjához legközelebb esett.

Az összes rendelkezésre álló állomást 3 csoportra osztottuk: egy-egy, a nagymérvű napfogyatkozás nyugati és keleti részén fekvő, valamint egy távoli csoportra. A két előbbi csoport amplitúdóváltozását a távoli csoportra vo-

natkoztattuk. Az eredmény a 3. ábrán látható. A nyugati csoportban az amplitúdócsökkenés korábban következik be, mint a keletiben, az árnyék mozgásának megfelelően. A csökkenés mértékével kapcsolatban figyelembe kell venni, hogy sem a napfogyatkozás sávjában lévő állomások nem esnek mind a teljesség zónájába, sem a távoli állomások nem mentesek a részleges napfogyatkozástól. Ennek figyelembevételével becslésünk szerint az amplitúdócsökkenés mértéke mintegy 1/3 faktorról fejezhető ki, vagyis durván megegyezik az UW jeleknek az FLR mechanizmus által történő erősítésével. Az FLR jelek frekvenciájának növekedését is ki lehetett mutatni a napfogyatkozás ideje alatt. A változás mértéke megfelelt az elméletileg várható értéknek.



3. ábra. A pulzációk napfogyatkozás okozta amplitúdócsökkenésének mozgása. A nyugati és a keleti csoport amplitúdóját távoli „kívül” csoport amplitúdójára vonatkoztattuk. A csoportok szétválasztása meglehetősen önkényes

Fig. 3. Movement of the amplitude decrease due to the solar eclipse. Amplitudes in the Western (“Nyugat”) and Eastern (“Kelet”) groups of stations are referred to the average of distance (“kívül”) stations. Stations are rather arbitrarily distributed into groups

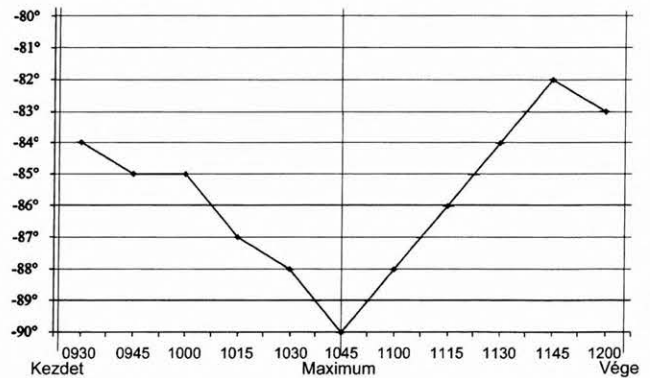
4. A geomágneses pulzációk polarizációjának változása a napfogyatkozás alatt

A polarizáció a geomágneses pulzációk jellemzésére használt paraméter (az amplitúdó és a periódus mellett). Mivel a pulzációk erővonal rezonanciára visszavezethető (FLR) típusának paraméterei a plazmaszféra elektronsűrűségétől is függenek, a plazmaszférában a plazmasűrűség alakulását az ionoszféra szabályozza, kézenfekvő volt az FLR típusú pulzációk polarizációjának a napfogyatkozás hatására létrejövő változásával is foglalkozni.

A polarizációt két paraméterrel jellemezhető, az egyik az ellipticitást meghatározó β tényező, a másik a polarizációs ellipszis elfordulásának a mértéke (ξ). Az ionoszférának

az utóbbi paraméterrel van kapcsolata. Az említett paraméterek egyébként a két komplex elektromos (E_x, E_z), vagy a mágneses komponensek (H, D) segítségével számíthatók ki. β előjele határozza meg a polarizáció irányát, amely -45° és 45° között változhat. Negatív β az óramutató járásával ellentétes, míg pozitív β az óramutató járásával egyező polarizációt jelez. Az elfordulás mértéke (ξ) -90° és 90° között változhat, amely az elektromos komponensek esetében az észak–déli iránynak felel meg. A mágneses komponensek polarizációs ellipszise az elektromos komponensek polarizációs ellipsziséhez viszonyítva az óramutató járásával ellentétes irányban mintegy 90° -kal elfordított helyzetben van.

Mivel a pulzációk az ionoszférán keresztül érik el a Föld felszínét, az ionoszféra a polarizációs ellipszis elfordulását idézi elő. Az elfordulás mértéke, ha az ionoszférát felülről nézzük, mintegy 90° az óramutató járásával ellentétes irányban. A polarizációs ellipszis elfordulását az egész ionoszféra hozza létre, ezért az elfordulást okozó Pedersen (az elektromos tér irányában jelentkező) és Hall (mind az elektromos, mind a mágneses térre merőleges) vezetőképességnek az ionoszféra vastagságára integrált értékére van szükség. A közel 90° -os elfordulás úgy jön létre, hogy a pulzációknak felülről az ionoszférába érkező nyugatkeleti irányú mágneses összetevőjét a Pedersen áram mágneses tere árnyékolja, és a Föld felszínén a Hall áram mágneses terét észleljük a pulzációk dél–északi mágneses komponenseként. Ily módon a polarizációs ellipszis 90° -kal elfordul az óramutató járásával ellentétes irányban. A napfogyatkozás idejére kiszámított integrált Pedersen és Hall vezetőképességek alapján a napfogyatkozás hatására a polarizációs ellipszis mintegy 6° – 8° -kal fordul el az óramutató járásával ellentétes irányban. Ez az ionoszféra adatokból levezetett érték jól egyezik a tellurikus mérésekből levezetett elfordulással (4. ábra).



4. ábra. FLR típusú pulzációk polarizációs ellipszisének az elfordulása a napfogyatkozás időszakában ionoszféra adatok alapján

Fig. 4. Rotation of the polarisation ellipse of FLR type pulsations due to ionospheric changes during the eclipse