

Változó naptevékenység

BARANYI T., GYENGE N., GYÓRI L., KORSÓS M.,
LUDMÁNY A.[@], MURAKÖZY J.

MTA CsFK CsI Napfizikai Obszervatórium, 4010 Debrecen, Pf. 30.

[@]E-mail: ludmany@tigris.unideb.hu

A Nap mágneses tereinek hosszú távú viselkedését, a szoláris dinamófolyamat sajátosságait leginkább a napfoltok tér- és időbeli mintázatainak vizsgálatával lehet feltárni, ennek eszközei a greenwichi és debreceni napfoltkatalógusok. Az utóbbi évek eredményei közül említésre méltó a félgömbi ciklusok fáziskülönbségeinek 4 + 4 ciklusnyi periódusa, a foltkeletkezés axiálszimmetriától való eltérése és annak dinamikája, a Spörer-diagramnak a torziós oszcilláció sebességterével való összefüggése, adalékok a naptevékenység hosszú távú változásához, illetve új fejleményként fler-előrejelzési kutatások a nagyfelbontású katalógusadatok elemzése révén.

Baranyi, T., Gyenge, N., Győri, L., Korsós, M., Ludmány, A., Muraközy, J.: Varying solar activity

The long-term behaviour of solar magnetic fields, the properties of solar dynamo process can be studied mostly by examining spatial and temporal patterns of sunspots, the tools of this work are the sunspot catalogues of Greenwich and Debrecen. Among the achievements of the recent years the following results are worth mentioning: the 4+4 cycle period of the phase-lags of solar hemispheric cycles, the non-axisymmetry of spot emergence and its dynamics, the connection of Spörer-diagram with the velocity field of torsional oscillation, evidences for the long-term variation of solar activity, and as a new progress, flare-forecast investigations by using high-resolution sunspot data.

Beérkezett: 2012. május 9.; *elfogadva:* 2012. szeptember 12.

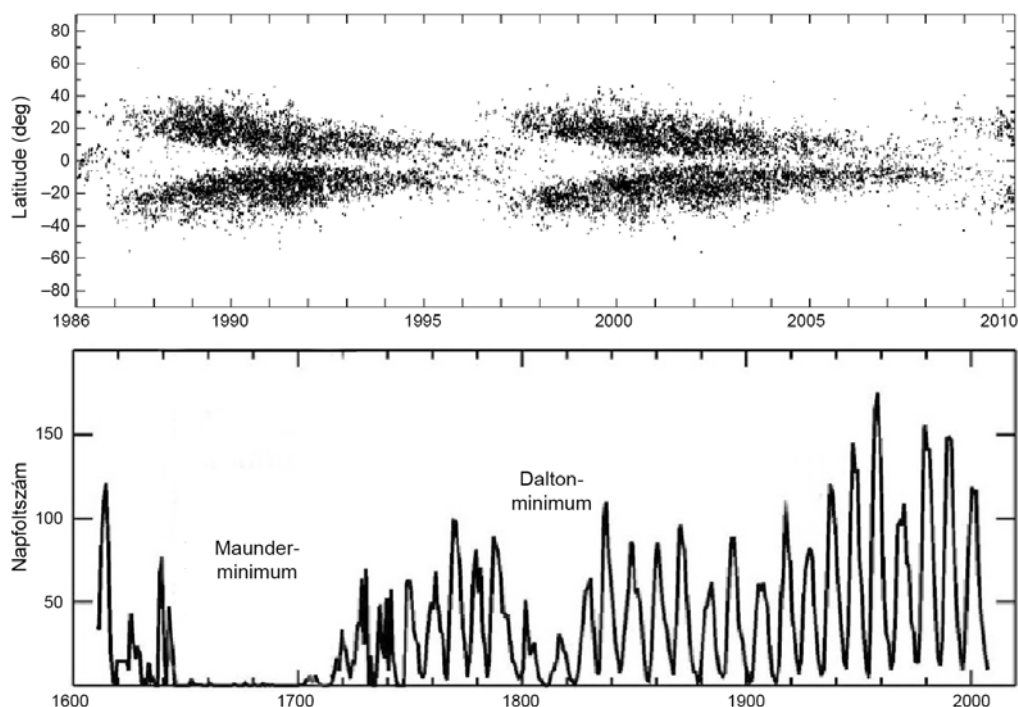
A „naptevékenység” gyűjtőfogalom a Nap mágneses tereinek változásait és eseményeit jelöli. A Nap plazmaanyaga jelentős mennyiségű töltést tartalmaz, ezek áramai mágneses tereket keltenek. Azt a folyamatot, melyben mechanikai (mozgási) energiából mágneses energia jön létre, dinamófolyamatnak nevezzük. Ennek mechanizmusa igen bonyolult sebességtereket feltételez. A plazma-asztrofizika egyik alapvető felismerése a Cowling-féle antidinamó tétel, mely szerint stacionárius tengelyszimmetrikus mágneses tér nem lehetséges, más szóval, ha egy köráram (forgó plazma) létrehoz egy poloidális mágneses teret, az tartósan nem maradhat fenn. Az asztrofizikai mágneses terek tehát csak úgy létezhetnek, ha a különböző struktúrájú mozgásterek folyamatosan alakítják azokat egyik alakzathoz a másikba oda-vissza, vagyis a naptevékenység csakis változó lehet.

E változékonyság legrégebben ismert eleme a ciklikus viselkedés, közismertebb nevén a 11-éves napfoltciklus (1. ábra). Ennek során a globális poloidális tér (amikor a Nap globális mágneses tere dipól jellegű) az alacsonyabb szélességi zónák nagyobb szögsebessége (az ún. differenciális rotáció) miatt felcsavarodik, és két – északi és déli – toroidális tér jön létre. A két tórusz a ciklus során közelít az egyenlítőhöz, és ezekből helyenként mágneses fluxuskötegek emelkednek a felszínre, melyeknek a felszínnel való met-

szeteit napfoltokként észleljük. A felbukkanó napfoltok száma eleinte növekszik, majd egy maximum után csökken, és mire a tóruszok elérik az egyenlítőt, a fluxusfelbocsátásuk is megszűnik. Ekkorra azonban már készen áll az új dipóltér ellenkező mágneses polaritással és indul az új ciklus. A folyamat tehát a globális poloidális és toroidális mágneses terek váltakozó egymásba alakulásaként írható le.

Az itt nagyon röviden vázolt folyamatban a legnagyobb elméleti kihívást annak megértése jelenti, hogy hogyan jön létre a következő ciklus kiindulópontjaként az új poloidális tér. Az említett mozgásterek közül a legrégebben ismert a differenciális rotáció, ez nagy léptékű, globális sebességtér hasonlóan a nehezebben kimutatható meridionális áramlásokhoz. Vannak azonban kis léptékű sebességterek is, mégpedig a konvektív mozgásoké, melyek a Nap gömbjének külső 30%-ában az energiatranszportot végzik, valamint a rotáció következtében minden elmozdulásra ható Coriolis-elfordulások. E folyamatok tényleges szerepét kell feltárni a dinamóelméletnek.

A Napfizikai Obszervatórium adatbázisa és kutatási profilja elsősorban ebbe a jelenségkörbe enged betekintést, a jelen írás azt a címet is viselhetné, hogy változó naptevékenység debreceni szemmel. A feladat magának a ciklusnak a változékonyságát feltérképezni. Érdekes jelenségek: a cik-

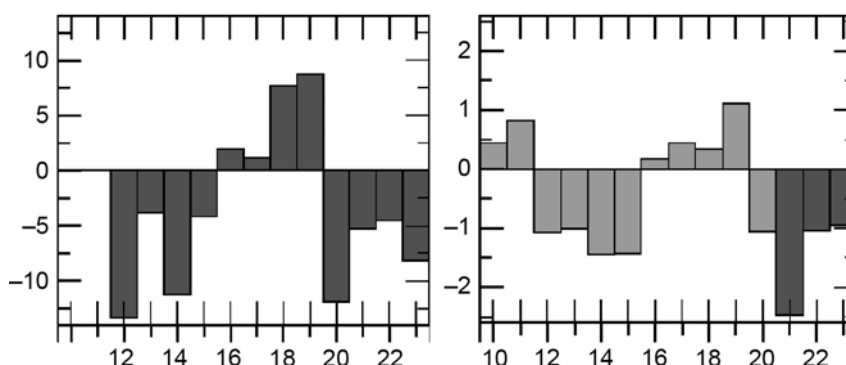


1. ábra A 11-éves ciklus legfontosabb időbeli mintázatai. Felül: a napfoltcsoportok heliografikus szélességének vándorlása az egyenlítő felé a debreceni napfoltkatalógus alapján a 22. és 23. ciklusban (Spörer-diagram). Alul: a napfoltrelatívszám négyszáz éves változása

Figure 1 The most important patterns of 11-year cycle. Upper panel: the equatorward migration of heliographic latitudes of sunspot groups from the Debrecen sunspot catalogue in cycles 22 and 23 (Spörer-diagram). Lower panel: the variation of sunspot number in the last 400 years

lusok burkológörbéjének ingadozásai – mint a kb. 90 éves Gleissberg-ciklus, a ciklusok leállása és újraindulása – mint az ún. Maunder-minimum a 17. században és a többi elhúzódó minimum, az egymás utáni gyenge ciklusok – mint a Dalton-minimum a 19. században, továbbá a mostani, a 24. számú ciklus kb. 2 éves késése és a vártnál gyengébb aktivitása, ami jelenleg sok találgatásra ad okot. A napciklusnál rövidebb, ún. közepes periódusok is fontos célpontok, ezek között a kb. 3,5 éves és a kb. 1,3 éves ingadozások látszanak különösen lényegesnek.

A jelenségkör vizsgálatának egyik legfontosabb eszköze sok évtized óta a Greenwich Photoheliographic Results (GPR, 1874–1976), a klasszikus napfoltkatalógus, mely napi rendszerességgel adja meg a foltcsoportok súlypontjának koordinátáit és összterületét. A napciklusra vonatkozó tudásunk jelentős részben ezen adatok elemzéséből származik. A katalógus készítését 1976-ban befejezték, azóta a Nemzetközi Csillagászati Unió felkérésére a Napfizikai Observatórium dolgozik a folytatáson. A Debrecen Photoheliographic Data (DPD) katalógus 2011-ben érte el a GPR



2. ábra A félgömbi ciklusok fáziskülönbségei két módszerrel. Vízszintes tengely: a ciklusok sorszáma. A bal oldali diagram az időbeli eltolódást mutatja hónapokban greenwichi és debreceni adatok alapján, a jobb oldali diagram a félgömbi aktivitások közepes szélességeinek különbségét mutatja fokokban zürichi (világos) és debreceni (sötét) adatok felhasználásával

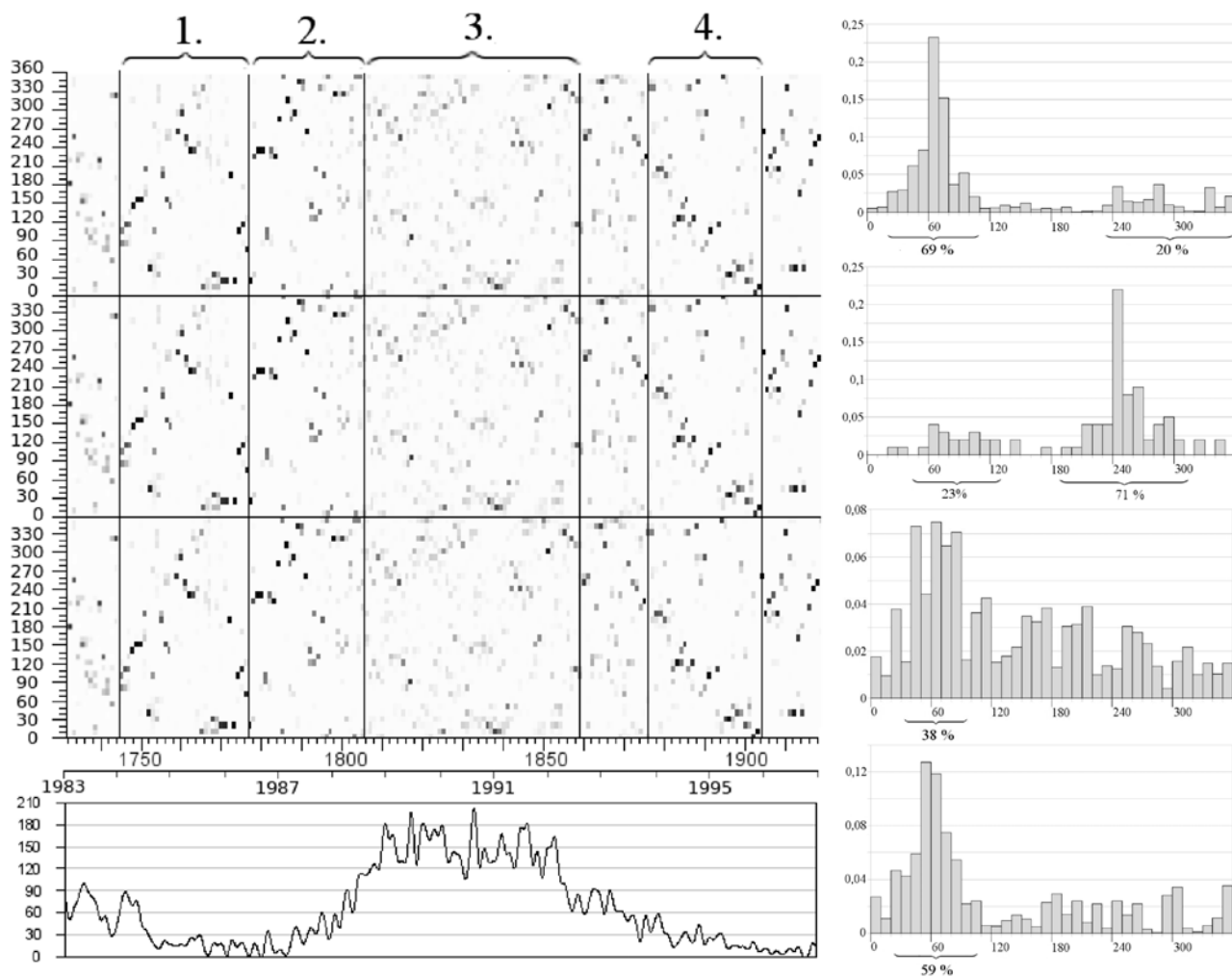
Figure 2 Phase lags of hemispheric cycles by two methods. Abscissae: cycle numbers. The left diagram shows the time shifts in months based on Greenwich and Debrecen data, the right diagram shows the differences between mean latitudes of hemispheric activities in degrees by using Zürich (light) and Debrecen (dark) data

utáni időszak teljes lefedettségét, a két anyagon együtt immár 150 év napfolttevékenysége vizsgálható.

Egyformán zajlik-e a ciklus a két félgömbön? Azt vizsgáltuk, hogy lehetséges-e összefüggés a félgömbi (északi és déli) ciklusok fáziskülönbsége és intenzitása között. Az derült ki, hogy az adatokkal lefedett időszakon egy hosszú távú váltakozás zajlik: négy ciklus során az északi félgömb vezet, a következő négyben pedig a déli, majd újból az északi (2. ábra). Kiderült, hogy korábbi időszakra Waldmeier (1971) is hasonló viselkedést talált Zürichben, az ő eredményeit felhasználva, valamint módszerét a debreceni adatokra alkalmazva kaptuk a 2. ábra jobb oldali diagramját, amely immár 14 ciklusra kiterjedően mutatja a jelenséget. A váltakozás periódusának hossza a vélelmezett Gleissberg-ciklus hosszával mérhető össze, melynek talán ez jelenti a megerősítését, és elvezethet a háttéréhez. Természetesen

nem tudhatjuk, hogy sokkal hosszabb távon is működik-e ez a váltakozás (ezt persze még magáról a napciklusról sem tudhatjuk), de ez a feltűnő szabályosság felveti azt a kérdést, hogy lehetséges-e hosszú távú memóriája a szoláris dinamó valamely kulcsszereplőjének. (Muraközy, Ludmány 2012)

Hol (a felszín mely pontjain) bukkanhatnak fel aktív vidékek (napfoltcsoportok)? A szoláris dinamó működésének kezdettől ez az egyik legérdekesebb kérdése, véletlenszerű-e a felbukkanás helye, vagy valamilyen térbeli struktúra kitüntetett környékéhez köthető. Az 1. ábrán látható szélességbeli mintázat, a Spörer-szabálynak nevezett egyenlítő irányú aktivitásvándorlás már a 19. században is ismert volt, de a hosszúságbeli eloszlás, az ún. aktív hosszúságok vizsgálata a mai napig nehezebb feladat. A kérdés ugyanakkor elméletileg igen lényeges, hiszen a tengelyszimmetriától való eltérés fontos mélybeli struktúrák indikátora. A mód-



3. ábra Bal oldali diagram: 10°-os hosszúságintervallumok foltterület-adatai az összes foltterület százalékában Carrington-rotációnként az északi félgömbön 1983–1996 között, a Nap kerülete háromszor van egymás alá rajzolva. Alatta: a 22. ciklus profilja. A kiugró értékek vonulatára parabolát illesztettünk, négy időszakot számokkal jelöltünk. Jobb oldali diagramok: a parabola mentén haladva a kijelölt négy időszak aktivitásának hosszúságbeli eloszlása. Az első és második diagram különbsége jelenti a flip-flop jelenséget

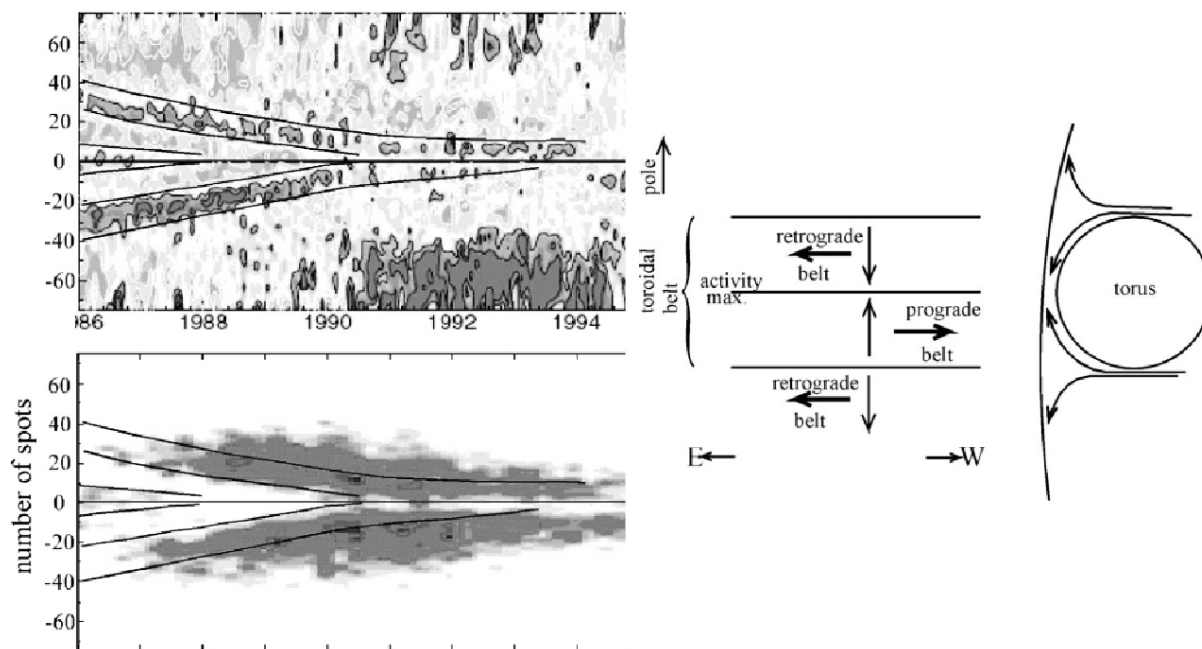
Figure 3 Left diagram: sunspot area data of 10° longitude bins in percentage of the total sunspot area by Carrington rotations in the northern hemisphere between 1982–1996, the solar circumference is plotted three times under each other. Bottom panel: time profile of cycle 22. A parabola has been fitted on the path of enhanced values, four intervals are marked by numbers. Right diagrams: longitudinal distribution of activity along the path of the parabola. The difference between first and second diagrams means the flip-flop event

szertani nehézségnek az az oka, hogy az a hosszúsági zóna, amelyből az átlagosnál nagyobb valószínűséggel emelkednek ki fluxuskötegek, vélhetőleg egy olyan mélységbeli struktúrához tartozik, melynek rotációs szögsebessége különbözik a felszínén. Carrington-féle szögsebességétől. Ennek elkülönítése alkalmas stratégiát igényel, a módszertani megközelítés sok korábbi munka eredményét befolyásolta. A Napfizikai Observatórium vizsgálatai a korábbiaknál nagyobb térbeli felbontásra és hosszabb időintervallumra épülnek, így sikerült láthatóvá tenni az átlagosnál nagyobb aktivitású zóna vándorlását a felszínhez képest és ezt követve meghatározni a zóna szélességét különböző időszakokban (3. ábra). Az ábrán jól látható, hogy a 2. számú időszakban, az aktivitási zóna átkerül a Nap túlsó oldalára, ez a foltos csillagoknál is megfigyelt flip-flop jelenség (Gyenge et al. 2012).

Honnan (milyen mélyről) bukkannak fel aktív vidékek? Erre a kérdésre jelenleg eléggé általánosan elfogadott válasz az, hogy az ún. konvektív zóna aljáról, a tachoklin zóna fölött elhelyezkedő toroidális mágneses térből válik ki egy fluxusköteg, és valamilyen instabilitás következtében felhajtóerő hat rá, majd a felszínre emelkedik. Egyik újabb eredményünk (Muraközy, Ludmány 2011) árnyalhatja ezt a képet. A napfoltcsoportok Spörer-diagramjának és a torziós oszcilláció térképének összehasonlítása (4. ábra) azt a modellt látszik alátámasztani, mely szerint a kifelé tartó konvektív áram a toroidális teret megkerülve Coriolis-

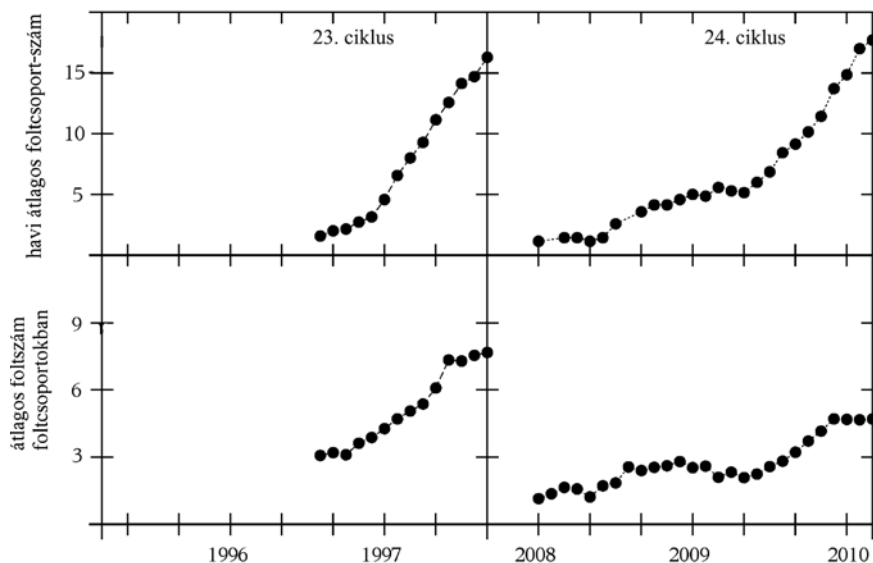
elfordulást szenved, és ez alakítja ki a torziós sebességi sávokat. Mivel a torziós sávok oszcillációs mérések szerint csak kb. 0,9 napsugárnyi mélységig mutathatók ki, ez azt is jelentheti, hogy a globális mágneses tórusz elemei a konvektív zóna aljától, (kb. 0,71 napsugárnyi mélységtől) ilyen magasságig terjedhetnek ki. Ha ez így van, akkor nem minden aktív vidék a tachoklin zóna mélységéből emelkedik a felszínre.

A napciklus jövője. Az 1b ábrán a naptevékenységre vonatkozó leghosszabb adatsor, a napfolt-relatívszám négyszáz éves diagramja látható. A 17. század második felében csak elhanyagolhatóan csekély aktivitást figyeltek meg, tehát a napciklus átmenetileg akár le is állhat; az ábrán látható fél évszázados minimumot Maunder-ről nevezték el. Mivel közvetett információk azt jelzik, hogy ilyen kiterjedt minimumok korábban is előfordultak, felvetődik a kérdés, hogy a mostani, a 24-es sorszámot viselő ciklus kétéves késése és a korábbiaknál lassabb fejlődése és gyengébb intenzitása lehet-e előjele egy kiterjedt minimumnak a nem túl távoli jövőben. Erre egyéb közvetett információk mellett Penn és Livingston (2011) három adatsora utal, mely szerint 1990 óta a foltokban mért mágneses tér, valamint a foltok kontrasztja fokozatosan csökken, a foltokban mért hőmérséklet pedig fokozatosan nő. A debreceni adatokból az 5. ábra diagramjai rajzolhatók fel, ezek a 22–24. ciklus kezdeti időszakát mutatják. Amikor a 24. ciklus elérte azt az aktivitási szintet, mint korábban a 22. és 23. ciklus, akkor a



4. ábra Bal oldali diagramok, felül: a napfelszín torziós hulláma 1886–1995 között (Ulrich, Boyden 2005), a függőleges tengely a heliografikus szélességet mutatja, a sötétszürke sáv a rotációs profilhoz képest előretartó, a halványoszürke sáv a hátramaradó sáv, határvonalaitat felrajzoltuk; alul: a napfoltok számának szélességbeli eloszlása a felső diagram határvonalaiival. Jobb oldali diagram: a torziós hullám lehetséges modelljének sematikus rajza

Figure 4 Left diagrams, top: the torsional wave on the solar surface between 1886–1995 (Ulrich, Boyden 2005), y axis shows the heliographic latitude, the dark grey and light grey belts show the prograde and retrograde belts with respect to the rotation profile, their separating borders are indicated by lines; bottom: the latitudinal distribution of sunspot group number with the borderlines of the upper diagram. Right diagram: schema of a possible model of torsional wave



5. ábra | Foltszámok összehasonlítása a 23. és 24. ciklus elején. Felső diagramok: 16-os havi átlag foltcsoport-szám elérésének folyamata a két ciklusban. Alsó diagramok: foltcsoportokon belüli átlagos foltszámok ugyanezen időszakban

Figure 5 | Comparison of sunspot numbers at the beginning of cycles 23 and 24. Upper diagrams: process of reaching the monthly mean sunspot group number of 16 in the two cycles. Lower diagrams: mean spot numbers within sunspot groups in the same time interval

foltcsoportok átlagban fele annyi foltot tartalmaztak, mint a 22. és 23. ciklus ugyanilyen fejlettségi foknál. Ez is azt sejteti, hogy a foltcsoportok eljelentéktelenedhetnek. A kérdés nincs lezárva, jelenleg intenzív vita tárgya, a gyengülés azonban tény, bár a Maunder-típusú minimum esélyére jelenleg nemigen lehet becslést tenni.

A fentiekből látható, hogy a debreceni obszervatórium elsősorban saját napfolt-adatbázisa, a bevezetőben említett DPD révén tud hozzájárulni a szoláris dinamó kérdéseéhez. A DPD elődjénél a greenwichi GPR-nél jóval részletesebb, a foltcsoportok pozíció- és területadatai mellett minden folt adatait is tartalmazza napi rendszerességgel. Az adott időszakban (1977–2012) ez az egyetlen ilyen részletes napfolt-adatsor. Az obszervatórium azonban elkészített egy ennél is részletesebb napfoltkatalógust az 1997–2011 időszakra, de ez már nem földfelszíni észlelésekre épül, hanem a SOHO/MDI űreszköz adataira. Ez a nagyszabású munka a Napfizi-

kai Obszervatórium által kezdeményezett és szervezett SOTERIA (Solar-TERrestrial Investigations and Archives) nevű FP7-es projekt keretében készült el. Az űreszköz észlelései lehetővé tették a másfél órás időfelbontást folyamatosan, továbbá a foltok mágneses adatainak megadását is. Ez megnyitotta a lehetőségét a foltcsoport-fejlődés részletes vizsgálatának. A SOTERIA folytatásaként megvalósult eHEROES (Environment for Human Exploration and Robotic Experimentation in Space) nevű FP7-es projekt keretében jelenleg egy olyan felerőrejelző módszeren dolgozunk, mely részletesen követné a foltcsoport-fejlődés olyan vonatkozásait, melyek a flert megelőző instabil állapotokhoz vezetnek. Ezek a vizsgálatok tehát már nem a naptevékenység hosszú távú változásait célozzák, hanem olyan rövid távú aktivitási folyamatokat, melyek egy viszonylag új kutatási terület, az űridőjárás jelenségköréhez tartoznak.

A tanulmány szerzői

Baranyi Tünde, Gyenge Norbert, Győri Lajos, Korsós Marianna, Ludmány András, Muraközy Judit

Hivatkozások

Gyenge N., Baranyi T., Ludmány A., 2012: Distribution of activity at the solar active longitudes. *Central European Astrophysical Bulletin* (elfogadva)
 Győri L., Baranyi L., Ludmány A., 2011: Photospheric data programs at the Debrecen Observatory. *Proceedings IAU Symposium 2010*, No. 273, 403–407, <http://fenyi.solarobs.unideb.hu/DPD/>
 Muraközy J., Ludmány A., 2011: Correlations of magnetic features and the torsional pattern. *Proceedings IAU Symposium 2010*, No. 273, 393–398

Muraközy J., Ludmány A., 2012: Phase-lags of solar hemispheric cycles. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 419, 3624–3630
 Penn M., Livingston W., 2011: Long-term evolution of sunspot magnetic fields. *Proceedings IAU Symposium 2010*, No. 273, 126–133
 Ulrich R. K., Boyden J. E., 2005: The solar surface toroidal magnetic field. *The Astrophysical Journal* 620, L123–L127
 Waldmeier M., 1971: The asymmetry of solar activity in the years 1959–1969. *Solar Physics* 20, 332–344