

Muraközy Judit

**Napfoltmozgások és -eloszlások kapcsolata
szoláris sebességterekkel**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

FIZIKA DOKTORI ISKOLA

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

Mb. vezetője: Dr. Palla László egyetemi tanár

RÉSZECSKEFIZIKA ÉS CSILLAGÁSZAT PROGRAM

Programvezető: Dr. Csikor Ferenc egyetemi tanár

Témavezető: Dr. Ludmány András kandidátus

MTA CsFK CsI Napf zikai Obszervatóriuma

Debrecen, 2013

Bevezetés, célkitűzések

Napunk mágneses plazmaanyagának a történéseit a mágneses és sebességterek állandó kölcsönhatásának a folyamata alakítja, ezeket a történéseket nevezzük gyűjtőnéven naptevékenységnek. A folyamatot globális léptékben valamilyen dinamómechanizmus határozza meg, melyhez globális és kisebb léptékű sebességterekre egyaránt szükség van. Az előbbieket a differenciális (egyenlítő felé növekvő szögsebességű) rotáció és a meridionális cirkuláció képviseli, kisebb léptékben a konvektív áramlás, illetve a minden elmozdulásra érvényes Coriolis-hatás érvényesül. Mindegyikük játszik valamilyen szerepet a mágneses terek fejlődésében, tanulmányozásuk pedig sok esetben valamilyen mágneses alakzat követésével, vagy feltérképezésével történik.

Témaválasztásaimat elsősorban az motiválta, hogy intézetem, az MTA CsFK Napfizikai Observatóriuma gondozza a legrészletesebb napfoltadatbázisokat, a Debrecen Photoheliographic Data (DPD) és SOHO/MDI–Debrecen Data (SDD) katalógusokat, melyek egyedülálló lehetőséget nyújtanak bizonyos jelenségek részletes vizsgálatához.

Vizsgálati adatok és alkalmazott módszerek

Ahhoz, hogy a mágneses- és sebességterek kapcsolatát tanulmányozni tudjam, napfolt adatok felhasználására volt szükségem. Erre a célra elsősorban a Napfizikai Observatórium napfoltkatalógusát, a Debrecen Photoheliographic Data-t (DPD) (Győri és munkatársai, 2011) használtam fel, mely ma már 1977-től, de a vizsgálat idején csak a 22. napciklustól, azaz 1986-tól tartalmazott adatokat. A DPD az egyetlen klasszikus (földfelszíni észlelésekre alapozott) napfoltkatalógus, amely nemcsak foltcsoport adatokat tartalmaz, hanem az összes, az adott napon megfigyelhető folt terület és pozíció adatait is.

Ez az anyag lehetőséget nyújt olyan vizsgálatokra is, melyeket hosszabb távú és részletes adatok hiányában eddig nem lehetett elvégezni.

Természetesen a hosszabb időskálán lezajló folyamatok tanulmányozásához elengedhetetlen volt a Greenwich Photoheliographic Results (GPR) nevű napfoltkatalógus használata is (Greenwich Royal Observatory, 1976), amely az 1874-től és 1976-ig tartó időintervallumra tartalmaz foltcsoport adatokat. A maradék 10 éves rést pedig a Solnechnye Dannye nevű napfoltkatalógus (továbbiakban: SD) (Kislovodsk Observatory, 2007) alkalmazásával töltöttem ki.

Mivel az előrejelzések és az észak–déli aszimmetria vizsgálatok homogén adatsort követeltek meg, a három katalógus kalibrálását is elvégeztem. Ezt az tette lehetővé, hogy az SD és a másik két katalógus által lefedett időszak között van átfedés. Ennek segítségével tudtam a DPD-t a GPR-hez kalibrálni. Ezután homogén adatsoron lehetett vizsgálni az előbb említett jelenségeket.

A foltcsoportok morfológiájának és fejlődésének tanulmányozására a SoHO/MDI–Debrecen Data (továbbiakban: SDD) adott lehetőséget, mivel ez az egyetlen olyan részletes adatbázis, amely nem csak pozíció- és területadatokkal szolgál a foltokról, hanem azok mágneses adataival is. Így lehetővé teszi a foltcsoportok morfológiájának nagy számú vizsgálatát is, azok vezető–követő részeinek megkülönböztetésével. Az észlelést végző űrtávcső szolgálati ideje (1996-2010) miatt az SDD nem alkalmas a hosszú távú vizsgálatokra.

A vizsgálatok nagy részénél az eloszlások torzulásához vezetne, ha a foltcsoportokat minden észlelt időpontjukkal fgyelembbe venném, ezért az esetek többségében azokat csak egyszer, legnagyobb területű állapotukban, azaz fejlődésük csúcsán vettem fgyelembbe. Azonban a dolgozat témája eléggé szerteágazó, így a konkrét vizsgálati módszereket az egyes fejezetek elején részletezem.

Ahhoz, hogy a napfoltok szélesség szerinti eloszlását össze tudjam vetni a torziós hullámok helyzetével, ez utóbbiról is adatokra volt szükségem, melyek Ulrich (2009)-tól származnak.

Minden vizsgálathoz saját fejlesztésű, Pascal nyelven írt programokat, illetve SQL és Bash Shell scripteket használtam.

Tézisek

Napfoltok szélességi eloszlásainak kapcsolata a torziós hullámokkal

1. Megmutattam, hogy a fejlődésük csúcsán lévő napfoltok számának és területének szélességi eloszlása és a torziós hullámok között jól észrevehető kapcsolat fgyelhető meg. A legtöbb és legnagyobb területű folt az előrehaladó hullám pólus felőli nyírási szélességére esik (Muraközy és Ludmány, 2006, 2011a,b).

-
2. Az előretartó torziós sáv egyenlítő felőli oldala (egyenlítő oldali nyírási szélesség) a foltok keletkezésének jól definiált alsó határa (Muraközy és Ludmány, 2011a,b).
 3. Vizsgálataink szerint a foltcsoportok komplexitásának szélességi eloszlása és a torziós hullámok helyzete között nem mutatható ki kapcsolat (Muraközy és Ludmány, 2011a,b).
 4. Elképzelésünk szerint a toroidális mágneses fluxusköteg, amely a konvektív zónától egy bizonyos magasságig terjed, akadályt jelenthet a feláramlásnak. Ezen a szélességi zónán kívül, azaz ettől egyenlítő-, illetve pólusirányban az áramlás erősebb lehet, mint a tórusz fölött, s így az körbefolyja a tórusz képezte akadályt. A tórusz fölött ez a visszaforduló áram a torziós sáv pólus felőli oldalán egyenlítő irányúvá, az egyenlítő felőli oldalon pedig pólus irányúvá válik. Így az egyenlítő felé folyó áramlás a Coriolis-erő hatására keleti, miközben a pólus felé folyó áramlás nyugati irányú lesz az északi féltekén, s ezek adják a torziós öv előrehaladó és lemaradó sávjait (Muraközy és Ludmány, 2011a,b).

Coriolis-hatások napfoltcsoportokon

5. Az 1986-1998-as időszakra vizsgáltam a foltcsoportok azimutális és meridionális irányú elmozdulásait a fejlődési csúcuk körüli négy napban, majd meghatároztam az ezek alapján számolt korrelációs együtthatók szélességi eloszlását. Ez a korreláció az egyenlítőnél eltűnik, és abszolút értéke monoton nő a magasabb szélességek felé, illetve pozitív a déli és negatív az északi féltekén (Muraközy és Ludmány, 2008a,b).
6. Ahhoz, hogy az előző pontban említett korreláció időfüggését vizsgálni tudjam, megismételtem az előbbi vizsgálatot minden egyes évre külön-külön. Megmutattam, hogy a korreláció a maximum felé haladva egyre erősödik, majd a leszálló ágon eltűnni látszik (Muraközy és Ludmány, 2008a,b).
7. A 22. ciklus maximumának környékén egy Gnevyshev-bemélyedés volt megfigyelhető a cikluscsoportban. Vizsgálataink szerint az előző pontban említett korreláció az 1988-89-es években erősödni látszott, majd 1990-ben gyengült, de aztán 1991-ben

ismét erősödött. Ezek alapján úgy tűnt, hogy kapcsolat lehet a két jelenség között (Muraközy és Ludmány, 2008a).

8. Az 5. és 6. pontban leírt vizsgálatokat megismételtem a GPR éveire is. Az 1946-1950-es és 1956-1960-as időszakon ismét megvizsgáltam a korrelációs együtthatók értékét, s ezzel megerősítettem a DPD éveire kapott eredményeinket (Muraközy és Ludmány, 2008a).
9. A GPR éveire végzett vizsgálatok nem erősítik meg a 7. pontban leírt feltételezést, miszerint a Gnevyshev–bemélyedés okozná a korreláció visszaesését (Muraközy és Ludmány, 2008a).

Előrejelzések a 24. ciklusra

10. A DPD, a GPR és az SD nevű napfoltkatalógusok segítségével különböző módszereket követve becslést tettem a 24. napciklus maximumának lehetséges nagyságára. E módszerek a következők.
 - (a) **A foltmentes napok száma minimumban** prediktív jelentőségű lehet, mert több foltmentes nap ritkább fúxusfelbukkanást, tehát gyenge kezdést jelent, amely gyenge folytatásra és maximumra utalhat. Így a minimumok utáni évben észlelt foltmentes napok számait és a ciklusok maximumainak kapcsolatát vizsgálva egyenes arányosság mutatható ki. Ezért a 24. ciklus minimuma időpontjának és az az utáni egy évben regisztrált foltmentes napok számának segítségével e ciklus amplitúdója 51.4 ± 11.3 -ra becsülhető.
 - (b) **Kezdőszélesség – Waldmeier–effektus** A foltcsoportok ciklusok szerinti szétválogatása után Gauss–függvényt illesztettem az egyes ciklusprofilokra, a havi átlagos szélességek eloszlását gyökfüggvénnyel közelítettem. Ezek segítségével meghatároztam, hogy az egyes ciklusok során a minimum után mikor észlelhető a teljes napkorongon havonként legalább 6, illetve 14 különböző foltcsoport. Ezekben az időpontokban vett átlagos havi szélességeket vettem a ciklus kezdőszélességének.

A Waldmeier–effektus értelmében a 6-os és 14-es foltcsoportszámú fázis időpontjainak különbsége és a ciklusok maximuma között egyenes arányosság

van. Ezt kihasználva 5 kezdeti időpontbeli (8 és 10 hónappal a ciklus kezdete után, a felszállóág 25%-os fázisánál, illetve 6 és 14 havi foltcsoportszámot elérő időpontokban) szélességhez határoztam meg a várható cikluserősséget. Ezek alapján 33.8–46.4 átlagos havi foltcsoportszám közötti értékeket kaptam becslésként a 24. ciklus maximumára.

11. A Waldmeier–effektust felhasználva, és a ciklus prof ljárja illeszthető Gauss–görbe paraméterei alapján, a 24 ciklus maximumának valószínű időpontja 2013 májusára tehető.

Észak–déli aszimmetria

12. Az északi és déli félteke aktivitása között mind nagyságbeli, mind időbeli aszimmetria f gyelhető meg. Megvizsgáltam, hogy a vezető félgömb aktivitása nagyobb-e, mint a lemaradóé. Ezen vizsgálatokat másoktól eltérően úgy végeztem el, hogy az egyes ciklusok egészét vettem f gyelembe és nem a havonta véletlenszerűen kialakuló különbségeket (Muraközy és Ludmány, 2010).
13. Ezek segítségével megállapítottam, hogy a 11 éves cikluson felül egy 2x4-es Schwabe–ciklus is megf gyelhető, melynek során 4 ciklusban az északi félteke aktivitása időben előresiet, majd a következő 4 ciklus alatt a déli aktivitás veszi át az időbeni vezető szerepet. Ezután egy nagy ugrás következtében újból az északi féltekéé lesz a kezdeményező szerep (Muraközy és Ludmány, 2010, 2012).
14. Az előző pontban említett viselkedést többfajta módszerrel sikerült igazolni: az aszimmetria-index fel- és leszálló ágon mutatott különbségéből kétfajta eljárással is, illetve a félgömbi ciklusok átlagos szélességeinek különbségéből. Vizsgálataimat egy független adatsor, a félgömbi napfoltrelatívszám alapján is megismételtem, továbbá kibővítettem Waldmeier (1971) zürichi adatokat használó eredményeivel. Minden adatsor és módszer konzisztens eredményt nyújtott (Muraközy és Ludmány, 2012).
15. Megállapítottam, hogy nem mutatható ki meggyőzően precedencia–cikluserősség kapcsolat, vagyis a fáziskülönbség nem korrelál az intenzitáskülönbséggel (Muraközy és Ludmány, 2012).

Foltcsoportok fejlődése és morfológiája

16. A nagy számú mintán végezhető vizsgálatokat lehetővé tévő és mágneses adatokat is tartalmazó SDD katalógus segítségével megvizsgáltam, hogyan zajlik a foltcsoportok és azok vezető–követő részeinek fejlődése. A több, mint 300 olyan aktív vidéken elvégzett vizsgálat szerint amelyek a Nap Föld felőli oldalán keletkeznek, és érik el az egyensúlyi, azaz a maximális területű állapotukat, azt kaptam, hogy a foltcsoportok fejlődési sebessége egyenes arányos az egyensúlyi területükkel. A vezető és a követő részek eltérő időpontban érik el a maximális fejlettségi állapotukat. A vezető részek fejlődési sebessége nagyobb, mint a követő részeké, de a követő részek kb. 1 nappal korábban elérik a vezető részekénél kisebb maximális területű állapotukat (Muraközy, Baranyi és Ludmány, 2012, 2013).
17. A foltcsoportok kompaktságát vizsgálva előtűnik az aszimmetria. A vezető részeket kevesebb, de nagyobb területű folt alkotja, míg a követő részek általában kisebb, de több foltot tartalmaznak (Muraközy, Baranyi és Ludmány, 2013).
18. A foltcsoportok maximumban vett vezető–követő részeinek távolsága logaritmikus összefüggés szerint kapcsolódik a területhez (Muraközy, Baranyi és Ludmány, 2013).
19. Az aktív vidékek hosszúságbeli elmozdulásaira jellemző, hogy a foltcsoportok nagy része fejlődése során előre mozdul el, míg a kisebb területűek elmozdulása nem jelentős. Az előremozdulás mértéke a foltcsoport méretével nő. A vezető–követő részek szétválasztásával előtűnik, hogy a foltcsoportok nagy részének vezető része előre mozdul, míg ez a mozgás nem jellemző a követő részre (Muraközy, Baranyi és Ludmány, 2013).
20. A foltcsoportok dőlésszögeinek szélességi eloszlása szerint a negatív dőlésszögű, azaz a pólusok felé dőlő foltcsoportok általában a pillangódiagram szélein jelennek meg. A ciklus felszálló ágában a pozitív dőlésszögek vannak többségben, a számuk kettes, hármas faktossal nagyobb, mint a negatívaké, de a maximum után ez a különbség eltűnik, s a pozitív dőlésszögek száma közel azonos lesz a negatív dőlésszögekével (Muraközy, Baranyi és Ludmány, 2012).

-
21. A foltcsoportok konstans szélességeken mért dőlésszögei nem mutatnak ciklusfüggést, ami azt jelenti, hogy a foltcsoportok dőlését inkább a Coriolis–hatás szabályozza, mint a toroidális tér erővonalainak feltekeredése.

Következtetések

Az észak–déli félgömbi ciklusok fáziskülönbsége nem függ e ciklusok intenzitásának relatív mértékétől, azaz az időbeli vezetés nem jelent feltétlenül dominanciát. Így valamely más jelenség felelhet e hosszútávú változásért. Ilyen hosszútávú szabályszerűség az ismert dinamómechanizmusokkal nem magyarázható, hiszen ez esetben a dinamó valamely szereplőjének közel évszázados memóriával kellene rendelkeznie. Nem zárható ki azonban teljes mértékben a Nap inerciális mozgásának a ciklikus tevékenységre kifejtett moduláló hatása.

Az évtizedes időskálán lezajló torziós oszcillációnak és a napfoltok eloszlásának kapcsolata egy újfajta áramlási forma létét sejteti. Ezt támasztja alá az, hogy egyes elképzelések szerint a toroidális f uxorok nagy mélységbeli kiterjedésű, és jelen van a konvektív zóna alsó részében, miközben az összetartó mozgás a toroidális tér sávja fölött $0.82 R_{\odot}$ mélység fölött válik lehetségessé.

A ciklus felfutási fázisában a dőlésszögek eloszlásában tapasztalható kizárólagos pozitív dominancia arra enged következtetni, hogy a felszálló ág a Waldmeier–effektus és a kezdőszélesség mellett, a dőlésszögek szempontjából is a legkarakterisztikusabb fázisa a ciklusnak.

A kezdőszélesség–cikluserősség összefüggés azt jelzi, hogy az erősebb ciklust jellemző erősebb toroidális térből a f uxorok magasabb szélességeken bukkannak a felszínre. A Coriolis–erő a kiindulási szélességhez képest magasabb szélességek felé téríti el a kifelé mozgó f uxorokot és az eltérítés annál nagyobb, minél kisebb a B_0 , azaz a mágneses f uxorok sűrűsége értéke.

Az aktív vidékek félhavi időskálán mérhető fejlődési fázisának vizsgálata szerint a területnövekedés időfüggése lineáris. Ez azt jelezheti, hogy akármekkora is a foltcsoport, a növekmény/terület arány ugyanannyi, azaz a felbukkanás sebessége azonos minden méretre.

A foltcsoportok felbukkanásának legvalószínűbb menetrendje a következő. A felszínre a követő rész mágneses tere a normálhoz közeli, a vezetőé attól jobban eltérő szöggel

érkezik. A felszínen a követő rész a felbukkanás közelében marad, miközben a vezető előrehalad, minél nagyobb a foltcsoport, annál nagyobb mértékben. Ez az előrehaladás az elől haladó fúxusszakasz irányának a normálishoz való közelítése, a vezető–követő szakaszok irányainak szétnyílása révén valósul meg.

A vezető–követő részek foltszámaira és foltterületeire számolt aszimmetria-indexekre illesztett egyenes $AI_{ter}=0.11$ -es konstans tagja (offset) azt jelenti, hogy ha a két részben a foltszám egyenlő, akkor a vezető rész foltjainak átlagos területe 25%-kal nagyobb, mint a követő foltoké.

A $(\Delta L, \Delta B)$ korrelációk szélességfüggése a maximum tájékán gyengébb a vártnál. Ennek oka egyelőre nem világos, de mivel ez a fejlemény egy ciklusban egybeesett az ún. Gnevyshev–bemélyedéssel, az a sejtésem, hogy a globális mozgástérben maximum idején valamilyen átmeneti változás történik, és ha ez így van, az valószínűleg a meridionális áramlással kapcsolatos. E kérdés megválaszolása további kutatást igényel.

Publikációk a dolgozat témájából

Muraközy J., Baranyi T., Ludmány A.: 2013, "Sunspot Group Development in High Temporal Resolution", *Solar Physics* (közlésre elfogadva), doi:10.1007/s11207-013-0416-3

Muraközy J., Ludmány A.: 2012, "Phase lags of solar hemispheric cycle", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **419** (4), 3624-3630 doi:10.1111/j.1365-2966.2011.20011.x, ADS:2012MNRAS.419.3624M

Muraközy J., Baranyi T., Ludmány A.: 2012, "Development and morphology of leading-following parts of sunspot groups", *Central European Astrophysical Bulletin* **36** (1), 1-8 ADS:2012CEAB...36....1M

Muraközy J., Ludmány A.: 2011, "Considerations on the Spörer- diagram-torsional wave relationship", *Central European Astrophysical Bulletin* **35** (1), 45-49 ADS:2011CEAB...35...45M

-
- Muraközy J.**, Ludmány A.: 2011, "Correlations of magnetic features and the torsional pattern", *Physics of Sun and Star Spots Proceedings IAU Symposium* **273**, 394-398
doi:10.1017/S1743921311015626, ADS:2011IAUS..273..394M
- Muraközy J.**, Ludmány A.: 2010, "North-South differences of solar cycle", *Central European Astrophysical Bulletin* **34** (1), 99-107 ADS:2010CEAB...34...99M
- Muraközy J.**, Ludmány A.: 2008, "Cycle dependence of the latitudinal-longitudinal sunspot motion correlation", *Astronomy and Astrophysics* **486** (3), 1003-1007
doi:10.1051/0004-6361:20078456, ADS:2008A&A...486.1003M
- Muraközy J.**, Ludmány A.: 2008, "Temporal variations of Coriolis-turns in the photosphere", *Central European Astrophysical Bulletin* **32** (1), 133-139
ADS:2008CEAB...32..133M
- Muraközy J.**, Ludmány A.: 2006, "Connection of sunspot's distribution with the torsional wave", *Publications of the Astronomy Department of the Eötvös University* **17**, 23-28
ADS:2006PADEU..17...23M
- Muraközy J.**, Mező G., Ludmány A., Győri L.: 2005, "Search for possible connections of sunspot features and torsional waves", *Hvar Observatory Bulletin* **29**, 31-37
ADS:2005HvaOB..29...31M
- Brajša R., Verbanac G., Sudar D., Skokić I., Hanslmeier A., Wöhl H., Roth M., Ludmány A., **Muraközy J.**, MacLeod C. L., Ivezić Ž., Mursula K., Zhang L.: "A prediction for the 24th solar cycle obtained combining various methods", *Solar Physics* (referálás alatt)

Irodalomjegyzék

Győri L., Baranyi T., Ludmány A. és mások: 2011, "Debrecen Photoheliographic Data",
megtalálható: <http://fenyi.solarobs.unideb.hu/DPD/index.html>

Kislovodsk Observatory: 2007, "Solnechnye Dannye",
megtalálható: http://158.250.29.123:8000/web/Soln_Dann/

Greenwich Royal Observatory: 1976, "Greenwich Photoheliographic Results",
megtalálható: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwich.shtml>

Ulrich R. K.: 2009, "Doppler Zonal Supersynoptic Charts -The torsional oscillations",
lásd: http://ulrich.astro.ucla.edu/Big_web_images/torsional_data/zon_vel.jpg

Waldmeier M.: 1971, "The Asymmetry of Solar Activity in the Years 1959-1969", *Solar Physics*, **20**, 332-344