

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Matematikai és Természettudományi Értesítőt az Akadémia 1882-ben indította
A Matematikai és Fizikai Lapokat Eötvös Loránd 1891-ben alapította

LXIII. évfolyam

11. szám

2013. november

MI A BAJ A NAPFOLTOKKAL?

Kálmán Béla
MTA CsFK Csillagászati Intézet

A naptevékenységi ciklus

A kutatók aktív emlékezete többnyire legfeljebb 50 évre nyúlik vissza: jól emlékeznek az egyetemen tanultakra és a pályafutásuk alatt történetekre, de az ennél régebbi megfigyeléseket már csak az irodalomból ismerik (ha érdeklődők). Emiatt volt nagy felbolydulás a napfizikusok körében az utóbbi 5-6 évben, mert a napfoltok szokatlanul kezdtek viselkedni. A naptevékenység vizsgálata a csillagászat olyan területe, amelynek közvetlen gyakorlati haszna is van (lásd *Ludmány András* cikkét a *Fizikai Szemle* 2012. júniusi számában). A jelenségek fizikai alapja a Napon található mágneses terek időbeli változása, amelyek legkönnyebben látható jelei a napfoltok. Ezek magjában erős (0,2-0,4 T), a felszínre közel merőleges mágneses mező található, amely leállítja a konvektív energiaszállítást a mélyből, valamint lehetővé teszi a jobb energiátranzportot a magasabb rétegekbe (kromoszféra, korona), így a foltmag (umbra) hőmérséklete nagyjából 2000 fokkal alacsonyabb a környezet 6000 K körüli hőmérsékleténél. A mostani napciklus egyik „legfoltosabb” Napját az 1. ábra mutatja.

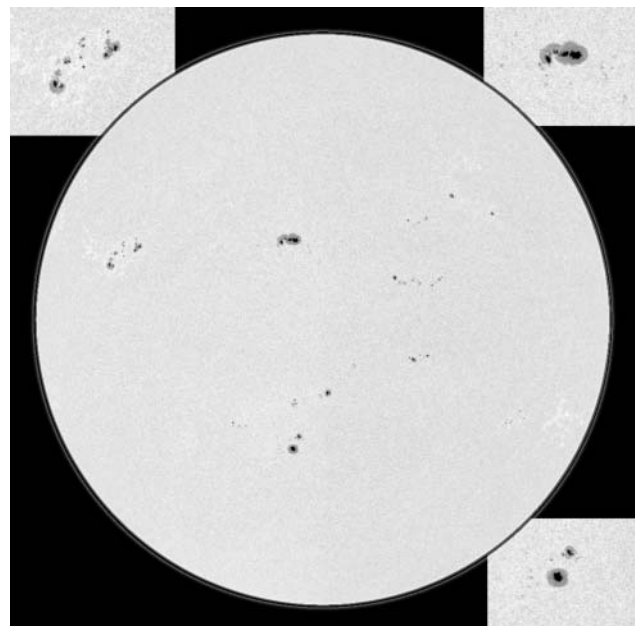
Galileo Galilei és *Christopher Scheiner* 1610-es évek eleji megfigyelései után a napfoltokkal nem sokat tudtak kezdeni a csillagászok. Az érdeklődés akkor nőtt meg, amikor a 19. század közepén *Alexander von Humboldt* a *Kosmos* 3. kötetében közölte egy német amatőrcsillagász, *Heinrich Schwabe* megfigyeléseit, miszerint a napfoltok számában egy körülbelül 10 éves ciklus figyelhető meg. A világhírű Humbolt könyvét „röptében” azonnal fordították németből angolra, és az angol fordító hölgy *Edward Sabine* felesége volt. Sabine az angol birodalomban végzett földmágneses észleléseket koordinálta és dolgozta fel, így azonnal észrevette, hogy a napfoltok száma és a földmágneses háborgások száma párhuzamosan változik. Ezzel vette kezdetét a Nap földi hatásainak, az

űridőjárásnak tanulmányozása. Ekkor állította fel Zürichben csillagvizsgálóját *Rudolf Wolf*, ennek egyedüli feladata a napfoltok számának megfigyelése és a régi megfigyelések újbóli feldolgozása volt. Ő vezette be a naptevékenység jellemzésére a róla elnevezett *Wolf-féle napfolt-relatívszámot*, amelynek definíciója:

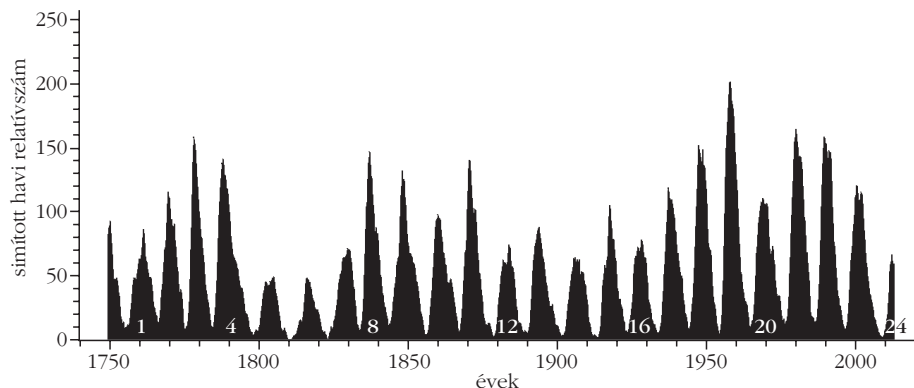
$$R_z = k(10g + f),$$

ahol R_z a relatívszám, k a megfigyelőtől és az obszervatóriumtól függő normáló szorzó, g a napfoltcsoportok száma, f pedig az egyes foltok össz-száma.

1. ábra. A Nap 2013. május 16-án ($R_z = 135$, egyik legnagyobb ebben a maximumban). Kinagyítva néhány jelentősebb napfoltcsoport (NASA Solar Dynamics Observatory).



Wolf a történelmi feljegyzésekből 1849-től tudott az adott év minden egyes napjára megfigyeléseket gyűjteni, így megállapítani a napciklus menetét (2. ábra), az átlagos hosszának 11 év körüli érték adódott, elég nagy szórással. Mind a ciklusok magassága, mind a hossza eléggé változó (1. táblázat). Az első, teljesen napi észlelésekkel lefedett ciklust Wolf 1-gyel jelölte meg, amely számozás azóta is használatban van. Eszerint most a 24.



2. ábra. A naptevékenység alakulása 1750 óta, a ciklusok számozásával.

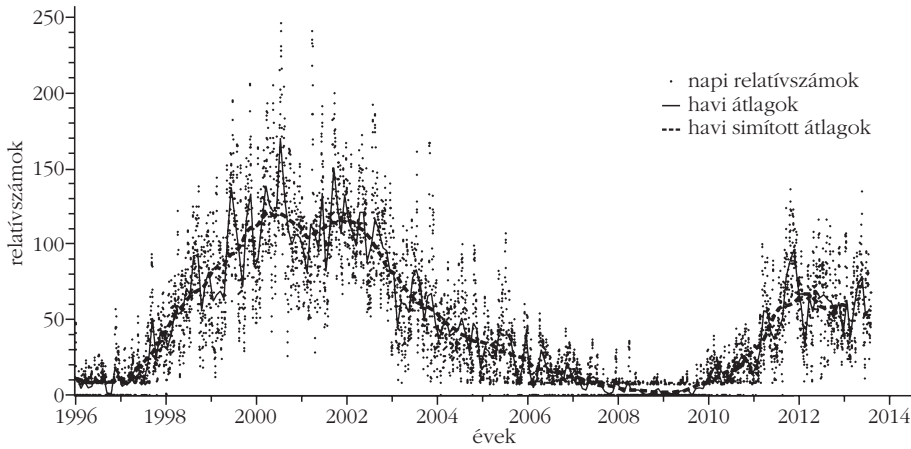
ciklus zajlik. A 3. ábrán, amely a 23–24. ciklusokat mutatja, a relatívszám más tulajdonságait is megfigyelhetjük. A definíció szerint a legkisebb, nullától különböző értéke ($k = 1$ esetén) 11. Jelenleg általában $k = 0,8$, így a legkisebb értékek 8 körüliek. Az is látható, hogy a napi értékek erősen szórnak, ezért célszerű például havi középértékeket venni a naptevékenység átlagos szintjének meghatározásához. Ez a görbe is még erős ingadozásokat mutat (a nagyobb napfoltcsoportok élettartama körülbelül hónap nagyságrendű), ezért a napciklusok meghatározásához (Wolf szerint) 13 hónapos mozgó közepelést alkalmaznak, a két szélső pont 0,5 súllyal szerepel. Az így meghatározott átlagot hívják *simított napfolt-relatívszám*nak. A megadott maximum- és minimumértékek és -időpontok erre vonatkoznak. Emiatt bizonytalanok a napfizikusok, amikor választ kell adni arra, hogy bekövetkezett-e már a napfoltmaximum (-minimum). Ezt ugyanis csak a tényleges maximum (minimum) után legalább 10 hónappal lehet eldönteni (vagy még akkor sem).

A jelenlegi ciklus furcsaságai

A 23. ciklus a szokás szerint folyt, a napfizikusok az azt megelőző 4 (19–22.) ciklus alatt elkényelmesedtek, mert azok hossza mind 11 év körüli volt (4. ábra). Igaz, magasságuk különbözött, de a 23. ebbe még beleillett. A maximumban sem volt semmi szokatlan, elég tipikus a kettős csúcs. Az első a ciklus elejére jellemző, amikor sok kis folt van, a második akkor alakul ki, amikor a felszín alatti konvektív zóna már megtelik az addigi foltcsoportok mágneses erővonalainak kötegeivel és elszaporodnak a bonyolult csoportok. (A Nap anyagának állapota miatt a plazmában a mágneses tér diszzipációs lecsengése évszázados nagyságrendű!) Ezután elkezdődött a relatívszám csökkenése, és 2004 végén még nyugodtan jósolták a szakemberek 2006-ra a minimumot, 2010-re a 24. ciklus előzőhöz hasonló magasságú maximumát. A csökkenés azonban egyre laposodott, és az új ciklus foltjai csak nem akartak megjelenni. Ezeket ugyanis az egyenlítővel való nagyobb távolságuk és a lecsengő ciklus foltcsoportjaihoz képest fordított mágneses szerkezetük miatt könnyen meg lehet különböztetni. Még 2008 elején sem értük el a mi-

nimumot, bár január 4-én már megjelent egy fordított mágneses szerkezetű kis foltcsoport a Nap északi félgömbjén. Ekkor jelentek meg olyan címekek hírek, mint *Hova lettek a napfoltok?* vagy *Megszűnik a naptevékenység?*, a szakemberek pedig nem nagyon tudták, hogy mit jósoljanak. Először fordult elő, hogy a követ-

1. táblázat					
A naptevékenységi ciklusok adatai					
ciklus-szám	minimum ideje	R_z min.	maximum ideje	R_z max.	hossz (év)
1.	1755,21	8,4	1761,46	86,5	11,17
2.	1766,38	11,2	1769,71	115,8	9,08
3.	1775,46	7,2	1778,38	158,5	9,25
4.	1784,71	9,5	1788,13	141,2	13,58
5.	1798,29	3,2	1805,13	49,2	12,25
6.	1810,54	0,0	1816,38	48,7	12,75
7.	1823,29	0,1	1829,88	71,5	10,59
8.	1833,88	7,3	1837,21	146,9	9,67
9.	1843,54	10,6	1848,13	131,9	12,42
10.	1855,96	3,2	1860,13	98,0	11,25
11.	1867,21	5,2	1870,63	140,3	11,75
12.	1878,96	2,2	1883,96	74,6	11,17
13.	1890,13	5,0	1894,05	87,9	11,92
14.	1902,04	2,7	1906,12	64,2	11,50
15.	1913,54	1,5	1917,62	105,4	10,08
16.	1923,62	5,6	1928,29	78,1	10,08
17.	1933,71	3,5	1937,29	119,2	10,42
18.	1944,12	7,7	1947,37	151,8	10,16
19.	1954,29	3,4	1958,20	201,3	10,51
20.	1964,79	9,6	1968,87	110,6	11,41
21.	1976,20	12,2	1979,96	164,5	10,00
22.	1986,20	13,0	1989,54	158,5	10,17
23.	1996,37	8,0	2000,29	120,8	12,59
24.	2008,96	1,7	2012,12?	66,9?	
átlag:					10,57



3. ábra. A legutóbbi és a jelenlegi, 23–24. napszciklus.

kező ciklusra nem egy, hanem két különböző előrejelzést adott ki az ezzel megbízott testület, mert a szavazáskor két egyforma tábor alakult ki a korábbi, magasabb, illetve későbbi, alacsonyabb maximum pártján.

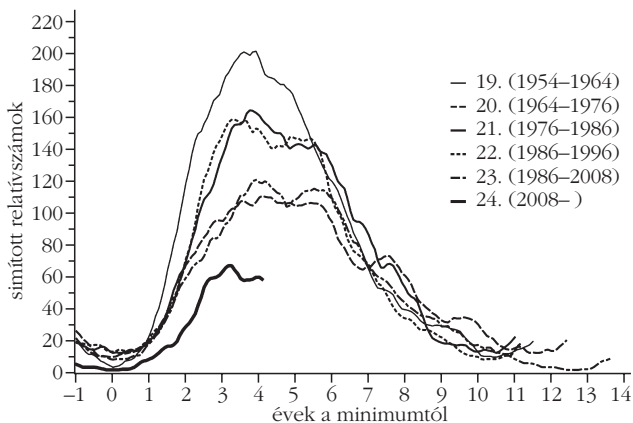
A 24. ciklus azonban, ha későn is, de megindult, és jelenleg is tart. Az előző öthöz képest alacsonyabb, de messze nem elhanyagolható, komolyabb flarek és földi hatások is előfordultak már, például 2011 októberében vagy 2013 májusában. A 23. és 24. ciklus közti szokotlanul mély és elhúzódó minimum azonban komolyan befolyásolta a bolygóközi teret. A Naprendszeret betölti a Nap legkülső, ritka és néhány millió fokos rétegéből, a *napkoronából* állandóan sugárirányban kifelé áramló és a napkorona mágneses tereit is magával hordozó *napszél*. Ez a csillagközi térben egy buborékot, a *belioszférát* alakítja ki, amelyen belül a napszél a meghatározó. Külső határát, amely a Nap–Föld-távolság körülbelül százszorosánál található, mostanában lépik-lépték át a Voyager űrszondák. A napszél „gubancos” mágneses tere szétszórja a Tejútrendszerből érkező nagy energiájú galaktikus kozmikus sugárzás részecskéit, ezért minél magasabb a naptevékenység (több mágneses tér jut a napszélbe), annál kevesebb nagy energiájú galaktikus részecske jut hozzánk. (Ennek speciális esete az egyes nagy napflarek után a galaktikus kozmikus sugárzás erősségében hirtelen bekövetkező, majd néhány nap alatt megszűnő csökkenése, az úgynevezett Forbush-

magas lesz a mostani maximum, mint az előző. Sőt 2012 végén már látható volt, hogy a simított relatív szám februárban egy helyi maximumot ért el 66,9-del, és utána csökkent. Lehetséges, hogy elértük már a maximumot? Egy 2013 eleji előadásomban azt a választ adtam, hogy lehetséges, de várjuk ki a végét! Ha megnézzük az 5. ábra hasonló ciklusait, még erős ingadozás várható (be is következett), és nem kizárt, hogy jön még egy, az eddiginél magasabb maximum, mint a 12. vagy 16. ciklusban. Ezért legalább 2015-ig kell várni, hogy megmondhassuk, mikor is volt valóban a 24. naptevékenységi ciklus maximuma.

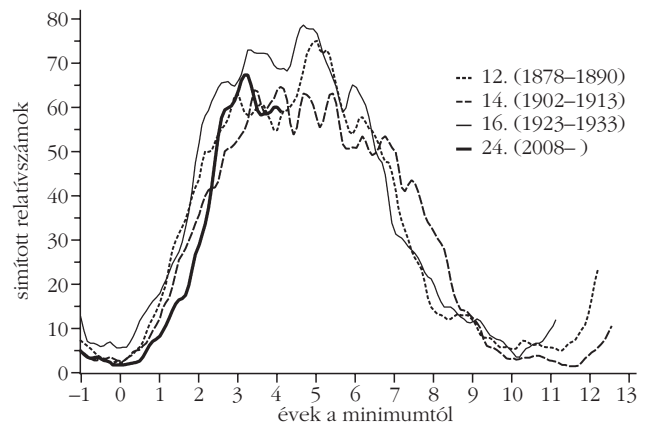
A napfolt-relatív számok problémája

A napfoltciklussal jelentkező problémák felvetették a naptevékenység hosszú távú változásai mellett az adatok megbízhatóságának problémáját is. A klímaváltozás kutatásában szerepet játszhat például az, hogy magasabb naptevékenység esetén néhány ezrelékkal megnő a Nap össz-sugárzása, a napállandó. A relatív szám, bár nem fizikai mennyiség, mégis jellemzi a naptevékenység intenzitását, ebből van a leghosszabb adatsor, és más, szintén a naptevékenységgel párhuzamosan változó geofizikai paraméterek esetében megállapítható egy korrelációs összefüggés, így azok múltbéli viselkedése

4. ábra. Az utóbbi 5 ciklus a mostanival összehasonlítva.



5. ábra. A mostanihoz hasonló korábbi ciklusok.



is kiszámolható. Évszázados változások elemzéséhez azonban még nem elég hosszú a Wolf-féle adatsor, ezért *Douglas Hoyt* és *Kenneth Schatten* kidolgozták a csoport-relatívszámot, amely az egyes foltokat nem veszi figyelembe, így sok régi megfigyelés felhasználhatóvá válik. Ezáltal és további kéziratok régi megfigyelések felkutatásával a naptevékenységi ciklust 1612-ig visszamenőleg rekonstruálni tudták, így az egyéb kutatások részére felhasználható adatsor terjedelme két és fél évszázadról négy évszázadra nőtt.

Az ilyen hosszú adatsorok esetében viszont fontos az adatok homogenitásának vizsgálata, nem történtek-e változások a mérési módszerekben. Az utóbbi években *Leif Svalgaard* kezdett ezzel a kérdéssel intenzíven foglalkozni, több nemzetközi konferenciát is szervezett a napfoltszámok kérdéskörében (<http://ssnworkshop.wikia.com/wiki/home>). A végső cél, hogy egy nemzetközileg elismert, megbízható adatsort hozzanak létre a napfolt-relatívszámokból, és megállapítsák az összefüggéseket a különböző geofizikai és más űridőjárási paraméterekkel. Már látszik, hogy az eddig használt adatokban két, korrigálásra szoruló ugrás is van: az 1946 előtti zürichi relatívszámokat meg kell szorozni egy 1,20-os faktorról, az 1885 előtti csoport-relatívszámokat pedig egy 1,47-os faktorról. Ez a két korrekció megszünteti a látszólagos ugrást egyes összefüggésekben, valamint kiegyenlíti a naptevékenység menetét. Eddig ugyanis úgy tűnt, hogy a naptevékenység folyamatosan növekszik az utóbbi két évszázadban. Pontosítani kell még az 1600-1800 közötti időszak adatait is.

Eltűnnek a napfoltok?

Egy másik érdekes jelenségre *William Livingston* és *Matthew Penn* amerikai kutatók hívták fel a figyelmet. Az arizonai Kitt Peak obszervatóriumban rendszere-

sen mérték a napfoltok mágneses terének erősségét, valamint a foltok magjának kontrasztját (sötétségét, hőmérsékletét). Az 1990-es évek végén elkezdett mérésorozatot azt mutatta, hogy a napfoltok mágneses terének erőssége fokozatosan csökken, ezzel kontrasztjuk is, azaz a foltok magja egyre melegebb és világosabb lesz. Ugyanakkor a napfoltszám és a napkoronából származó 10,7 cm-es hullámhosszú rádiósugárzás összefüggése is kezdett eltérni az eddigi értékektől. A mágneses térerősségek eloszlását alapsabban megnézve, a kutatók normális Gauss-eloszlást találtak egy átlag körül, amely átlag az idő előrehaladtával csökkent.

A jelenséget a kutatók a következőképpen magyarázták. Régóta ismert, hogy a legkisebb napfoltokban is legalább 0,15 T fluxussűrűségű mágneses tér található, ennyi minimálisan szükséges a sötét folt kialakulásához. Feltételezik viszont, hogy a napkorona rádiósugárzásánál nincs ilyen küszöbérték. Ezért, ahogy idővel csökken a mágneses tér koncentrációja, egyre kevesebb folt lesz. A kutatók az ezután következő, 25. napfoltciklus magasságát még a jelenleginél is kisebbre jósolják, extrapolált görbéjük szerint 2040-re teljesen el is tűnhetnek a napfoltok.

E sorok írója ettől nem tart. A 17 évre terjedő mérések szórása elég nagy, és ennek lineáris extrapolációja mindig veszélyes egy jóval hosszabb időskálájú jelenség esetében. Ráadásul most éppen egy közepes napfoltmaximum utáni alacsony csúcs közelében vagyunk, ami elhúzhatja az illesztést, tehát valószínűleg ismét erősödni fog a naptevékenység.

A Nap mindig tartogat valami meglepetést a kutatók számára, de ezzel segíti is a kutatókat. A napciklus tartalmaz egy jelentős véletlenszerű komponenst is, ezért olyan nehéz az előrejelzése. Az ilyen váratlan események azonban hasznosak a tudomány számára, mert segítenek szétválogatni a lényegest az esetlegestől.