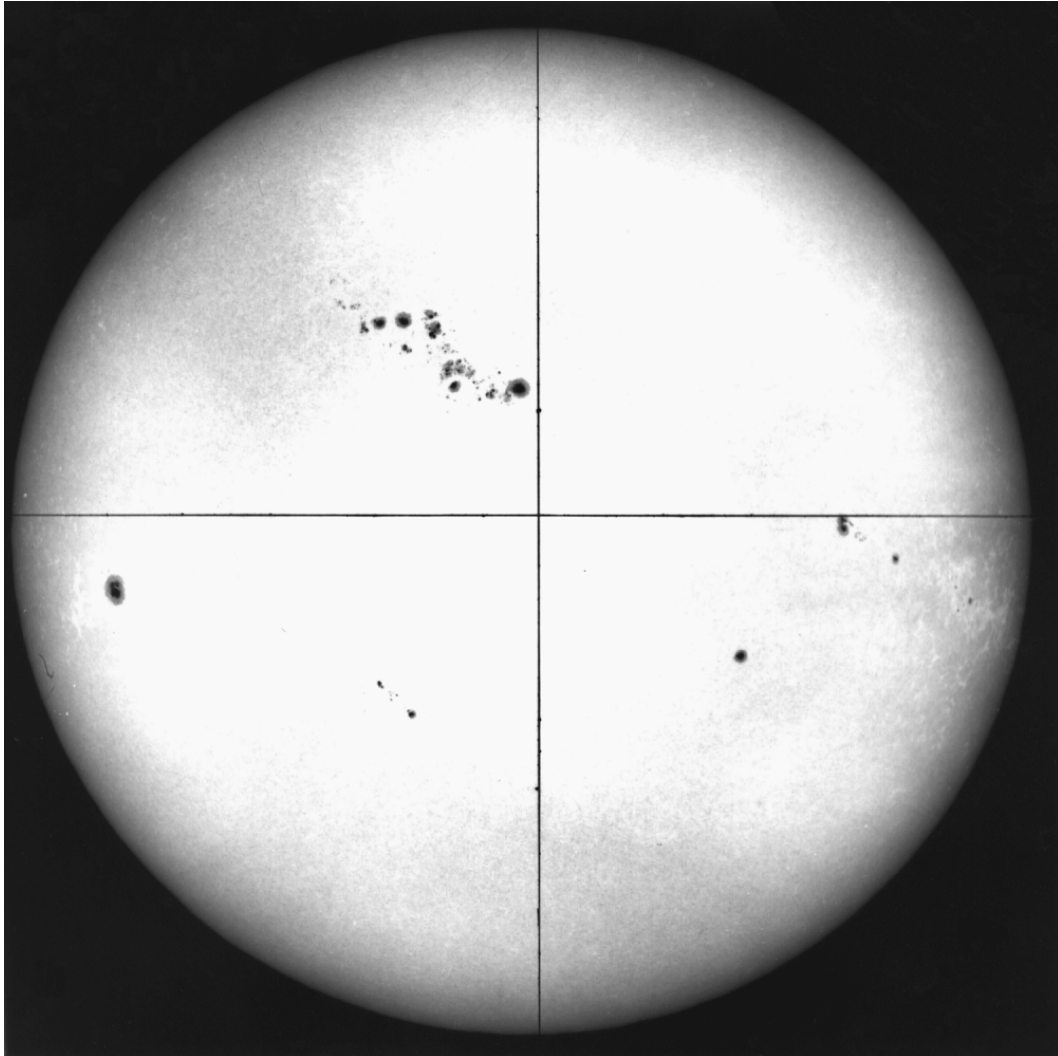


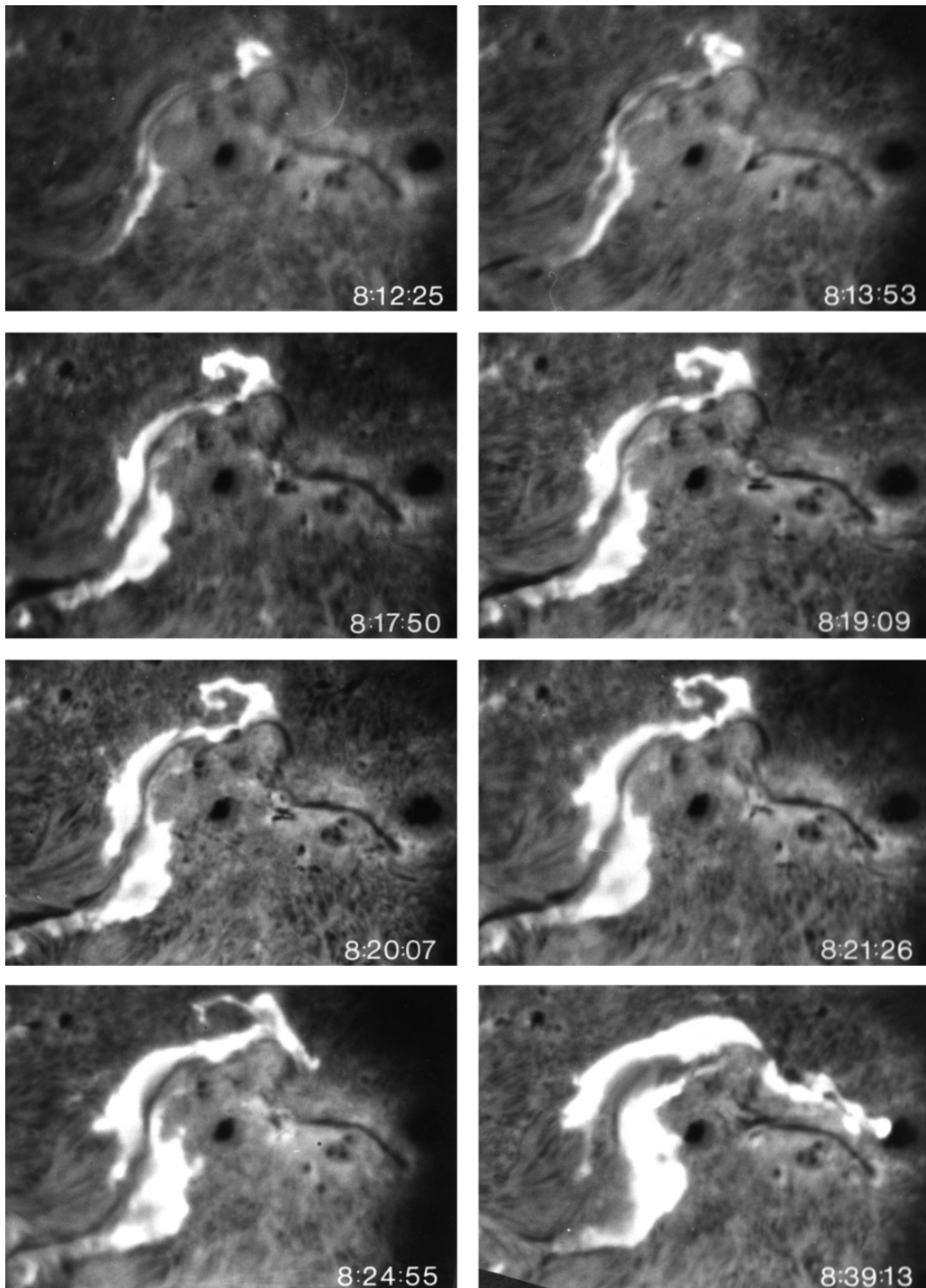
1. Napfoltok, flerek

Kivetítő ernyővel, vagy fénygyengítő okulárral megfigyelve a napkorongot, gyakran láthatók rajta sötétebb foltok, *napfoltok* (1. ábra). Ezek többnyire csoportokban jelentkeznek, átlagosan 11 évenként nagyobb számban. Sötét mag, *umbra* látható a belsejükben, amelyet kevésbé sötét *penumbra* vesz körül. Már a



1. ábra. A napkorong 1981. május 16-án, 08:15:27 világidőkor. (MTA CsKI Napfizikai Obszervatórium megfigyelési anyagából, észlelő Győri Lajos)

múlt században észrevették, hogy a napfoltok száma és a földmágneses háborgások száma párhuzamosan változik, de a földi változások valódi okait csak akkor sikerült felderíteni, amikor a Nap látszó felszíne, a *fotoszféra* fölötti réteg, a *kromoszféra* megfigyelése is lehetségessé vált. Ehhez olyan műszer volt szükséges, amely



2. ábra. Az 1. ábrán látható nagy foltcsoportban lezajló fler kezdeti szakasza $H\alpha$ - $0,5 \text{ \AA}$ filtergramokon, 1981. május 16-án. Időpontok világidőben. (MTA CsKI Napfizikai Obszervatórium megfigyelési anyaga, észlelők Gerlei Ottó és Nagy Imre.)

a Nap színeképéből kivágta a hidrogén Balmer-sorozatának legerősebb, $6563 \text{ \AA}$ hullámhosszúságú $H\alpha$ színeképvonalát, és ebben a szűk hullámhossz-tartomány-

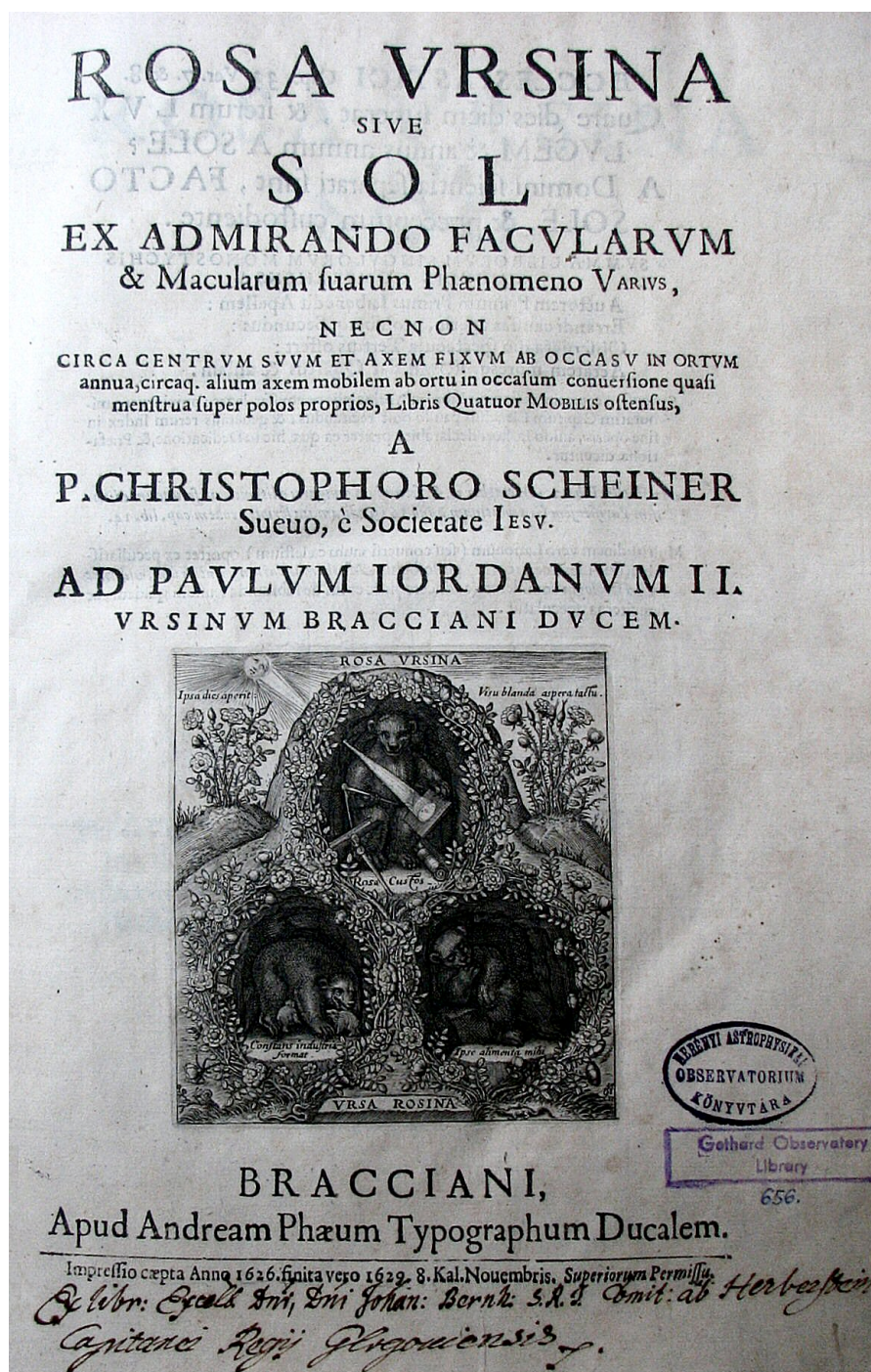
ban alkotott képet. A fehér fényben átlátszó kromoszféra itt átlátszatlan, ezért megfigyelhető. A kromoszféra-képeken a napfoltcsoportokban gyakran tűntek fel gyorsan (néhány perc alatt) kifényesedő területek (2. ábra), ezek a *flerek*. A földi hatások egy része, pl. az ionoszféra-zavarok a nagyobb flerekkel egyidejűleg, más hatások, pl. földmágneses háborgások, sarki fény, néhány óra – néhány nap múlva jelentkeztek. Mint a későbbi vizsgálatok felderítették, a flerekben a naplégkör magasabb rétegei (kromoszféra, korona) igen magas (7×10^6 K) hőmérsékletre hevülnek fel, ami fokozott ibolyántúli, röntgen- és részecskesugárzást okoz, ezek befolyásolják a Föld kozmikus környezetét. Jelenlegi tudásunk szerint a flerek energiáját a napfoltcsoportok mágneses tere szolgáltatja, ezért a napfoltok mozgásának vizsgálata segíthet a flereket létrehozó instabil mágneses konfigurációk felderítésében. Az utóbbi évtizedekben, főleg űreszközökről történt megfigyelések során fedezték fel a *koronakitöréseket* (Coronal Mass Ejections = CME), amelyek során a napkoronában található, addig nyugodt mágneses szerkezet destabilizálódik, és egy kifelé tartó "buborék" formájában elhagyja a Napot. Ezt okozhatja fler is, vagy aktivizálódó nyugodt protuberancia, de lehet ok csak mágneses térátrendeződés is. A CME-k hatása szintén érezhető a földmágneses térben.

1.1. A naptevékenység kutatásának rövid története

A napfoltokról már több, mint háromezer éve tudunk. Egy i.e. XII. századból származó kínai jós-csonton olvasható: „*Lesznek a Napon jelek? Valóban vannak rajta jelek*” (Schöve 1983, 26. old.). Európában az első feljegyzett megfigyelést *Arisztotelész* tanítványának, *Teofrasztosz*-nak tulajdonítják az i.e. IV. századból, aki „*De Signis Tempestatum*” c., töredékesen fennmaradt munkájában az időjárás jóslására felhasznált előjelek közt megemlíti a napkorongon látható sötét foltokat (Hardy 1991, Schöve 1948a, 1948b, 1950). Ezután Európában a kereszténység elterjedésével az arisztotelészi fizika volt érvényben, amely a Napot szeplőtlen égi tűznek tartotta, így sokáig nem foglalkoztak tanulmányozásával. A távcső előtti korszak megfigyeléseinek döntő többségét a keleti (kínai, japán, koreai) krónikák tartalmazzák. Wittman és Xu (1987a,b) listája 235 észlelést sorol fel -164 és 1684 közt, ebből csak 8 nem távol-keleti. Yau és Stephenson (1988) összeállítása szintén 235, kizárólag keleti, szabad szemmel végzett megfigyelést közöl a -164 és 1918 közti időszakból. Szabad szemmel azonban csak a legnagyobb napfoltok láthatók (amelyek területe nagyobb, mint a látható félgömb kb. 500 milliommódrésze), így a részletes megfigyelésekre csak a távcső alkalmazása után került sor. Ezek a korai

észlelések viszont fontosak a naptevékenység hosszútávú viselkedésének tanulmányozásához.

A középkorban a csillagászati megfigyelések döntő többségét az iszlám országokban végezték, fennmaradtak pl. észlelések a Merkúr és a Vénusz áthaladásáról a Nap előtt, ezek egyike-másika napfolt is lehetett. A reneszánsz korszakában ismét feltámadt az érdeklődés Európában a természettudományok iránt, beleértve a csillagászati megfigyeléseket is, Kopernikusz pl. felhasználta az arab észleléseket. Kepler 1607. május 28-án számításai alapján úgy vélte, hogy a Merkúr átvonulását látta a Nap előtt (Kepler 1609), de később rájött, hogy egy napfoltról volt szó, ebben a megfigyelésben esik először szó a penumbráról és az umbráról (Wittman és Xu 1987 a,b). A csillagászatban a valódi áttörést a távcső alkalmazása hozta el. A XVII. század elején többen is észlelték a Napot és rajta a napfoltokat (T. Harriot, J. Fabricius, G. Galilei, C. Scheiner). Az első megfigyelést valószínűleg Harriot végezte, az első publikáció Fabriciusé (Fabricius 1611), de Galilei és Scheiner megfigyelései a jelentősek. Mindketten nagyjából egyidejűleg, 1611-ben kezdték a napfoltokat megfigyelni. Scheiner álnéven (*Apelles post tabulam latens*) hamarabb publikálta megfigyeléseit, emiatt prioritási vita is támadt kettőjük között. Galilei, szokásos vehemenciájával magának követelte az elsőbbséget, és bebizonyította, hogy a napkorongon látható sötét foltokat nem a Nap előtt elvonuló bolygók okozzák, hanem a Nap felszínén találhatók (Galilei 1615, Koestler 1996). Galilei figyelme ezután másfelé fordult, míg Scheiner gondos megfigyeléseket végzett 1611 és 1625 közt, a napkorong kivetítésével rajzokon rögzítette a látott napfoltokat. Ezeknek leírását 1630-ban a *Rosa Ursina...* c. hatalmas (kb. 800 oldalas) könyvben tette közzé (Scheiner 1630), amelyben a napfoltok látszólagos elmozdulásaiból megállapítja a Nap forgási sebességét, és egyenlítőjének hajlását az ekliptika síkjához. Rajzain jól megkülönböztethető az umbra és a penumbra, ő adja a *fáklya* (*facula*) nevet a napkorong szélén a többnyire napfoltcsoportok környezetében látható fényesebb képződményeknek. Felismeri, hogy a napfoltok csak a Nap egyenlítőjének bizonyos környezetében találhatók, és megjegyzi, hogy az egyenlítőhöz közelebbi foltok forgási sebessége nagyobb.



3. ábra. A Rosa Ursina címlapja

A *Rosa Ursina* után még Hevelius közöl napfolttrajzokat (Hevelius 1647), ezután majdnem két évszázadig a napfoltok kikerülnek a csillagászok érdeklődési köréből. Ez részben a *Maunder-minimummal* magyarázható, a Nap aktivitásának jelentős csökkenésével a XVII. sz. második felében, amelyet E. W. Maunder vett észre először (Maunder 1890), majd nemrégiben J. Eddy hívta rá fel ismét a figyelmet (Eddy 1976). Másik ok lehetett, hogy a *Rosa Ursina* részletes tanulmányai után a csillagászok nem nagyon tudtak újat mondani a napfoltokról.

Közölték a megfigyelt napfoltok leírását, S. Gray Cambridge-ben egy napfoltcsoportban látott „villámszerű fellobbanást” is feljegyzett észlelési naplójában 1705. dec. 27-én (Hoyt és Schatten 1996), később A. Wilson leírta a *Wilson-effektust*, azaz hogy a nagyobb napfoltok a napkorong pereme közelében bemélyedésnek tűnnek (Wilson 1774). A napfoltok azonban be lettek sorolva az ismert, de nem túl érdekes csillagászati jelenségek közé. Több esetben meghatározták a Nap forgástengelyének helyzetét és forgási sebességét egy vagy néhány napfolt egymásutáni megfigyeléseiből, de ezek az eredmények elég nagy szórást mutattak.

Gyökeresen megváltozott a helyzet a XIX. sz. második felében. A változást egy német amatőr csillagász, az eredetileg patikusként indult H. S. Schwabe megfigyelései indították el. Schwabe Dessauban felállított magánobszervatóriumában 1826-tól kezdve minden derült napon megfigyelte a Napot. Eredetileg a J. Leverrier által megjósolt Vulkán bolygót akarta megfigyelni a napkorong előtti áthaladása közben, amelynek létre a Merkúr mozgásában található, akkor még érthetetlen perturbációk utaltak (ma már tudjuk, hogy ezek Einstein általános relativitás-elméletével magyarázhatók). Schwabe ugyan nem fedezte fel a Vulkánt, de rendszeres napmegfigyelései során feljegyezte a napfoltok számát. Az évek során összegyűjtött hosszú megfigyeléssorozatban feltűnt neki egy bizonyos szabályosság. Először még kommentár nélkül publikálta 12 év megfigyeléseit (Schwabe 1838), majd később hosszabb időtartamra ismét közzétette a napfoltszámokat és az évenkénti foltnélküli napok számát (Schwabe 1844), megjegyezve, hogy egy nagyjából 10 éves ciklus figyelhető meg a napfoltok gyakoriságában. A kevéssé ismert amatőr cikkei nem okoztak nagy feltűnést, így nyugodtan folytatta tovább megfigyeléseit. Az áttörés 1851-ben következett be, amikor A. Humboldt monumentális *Cosmos* c. munkájának 3. kötetébe felvette Schwabe táblázatát, kiegészítve 1850-ig. Humboldt könyvének eredeti német kiadásával párhuzamosan készült angol fordítása is, amelyet E. Sabine felesége készített. Sabine volt megbízva az angol gyarmatbirodalomban a XIX. szd. második negyedében felállított földmágneses obszervatóriumok felügyeletével. A müncheni geomágneses obszervatóriumban J. Lamont már 1851-ben észrevette, hogy 1835 és 1850 közt a földmágneses deklináció változásaiban egy $10\frac{1}{3}$ éves ciklus figyelhető meg. Tőle függetlenül Sabine is megtalálta ezt a ciklust a Torontóban és Hobarthban végzett mérésekben, sőt az is feltűnt neki, hogy a földmágneses háborgások száma párhuzamosan fut Schwabe napfoltszámaival. Az összefüggés nagyon feltűnő volt, amit az is bizonyít, hogy egy éven belül még R. Wolf Zürichben és A. Gautier Genfben is felfedezte. Az iránytűnek a navigációban játszott fontos szerepe miatt a napfoltok és a Föld mágneses tere

közi összefüggés felkeltette az érdeklődést a napfoltok iránt. Wolf a zürichi csillagvizsgálóban elkezdte a rendszeres napfolt-észleléseket, és kidolgozott egy egyszerűen meghatározható mérőszámot, az ú.n. *napfolt-relatívszámot* a naptevékenység szintjének jellemzésére, amely azóta is használatban van. Ezenkívül hatalmas munkával felkutatta és összegyűjtötte a régi napfolt-megfigyeléseket, ezekből rekonstruálva a napfoltciklus menetét vissza egészen 1700-ig. A hosszú sorozatból megállapítható volt, hogy a ciklus hossza átlagosan 11,1 év, elég nagy ingadozásokkal. A relatívszámok meghatározását Wolf után Zürichben A. Wolfer, W. Brunner és M. Waldmeier folytatták 1980-ig, ettől kezdve a napfolt-relatívszám adatközpont Brüsszelbe került. Itt A. Koecklenbergh folytatta a munkát, akitől 1994-ben P. Cugnon vette át a stafétabotot. Újabban D. Hoyt és K. Schatten folytatja Wolf munkáját a régi napfolt-észlelések összegyűjtése és feldolgozása terén (Hoyt és Schatten, 1998a, b), újraértékelve különösen a XVIII. századi adatokat.

A Nap-Föld kapcsolat felfedezése felkeltette az érdeklődést a Nap és a napfoltok iránt. A XIX század végén két jelentős megfigyelő is foglalkozott a napfoltok megfigyelésével, és a Nap forgási elemeinek meghatározásával a napfoltok látszólagos elmozdulásaiból. R. C. Carrington (Carrington 1863) kb. 1000, G. Spörer (Spörer 1878, 1881, 1886, 1895) kb. 4600 napfoltcsoport kimérése alapján határozták meg a Nap forgási sebességét és forgástengelyének helyzetét, ezáltal a héliografikus (Naphoz kötött) koordinátarendszert. Évtizedeken át ez a két, kissé eltérő koordinátarendszer párhuzamosan használatban volt (Konkoly pl. a Spörer-félt használta késői megfigyeléseiben), csak kb. 1928 után kezdődik a Carrington-rendszer kizárólagos használata.

Carrington és Hodgson nevéhez fűződik az első publikált fler-megfigyelés is, 1859. szeptember 1-én (Carrington 1860; Hodgson 1860), amelyet a folytonos színképtartományban, fehér fényben észleltek (bár az előzőekben már szó esett egy 1705-ben megfigyelt fehér flerről is). Ezután mások is leírtak még néhány fehér flert, de a flerek valódi gyakoriságát és jelentőségét csak a kromoszférikus (K, H α) megfigyelések (spektrohéliográf, spektrohélioszkóp, Lyot-szűrő) mutatták meg.

Hamarosan a kivetítés és a fénygyengítő napokulárok használata mellett az akkortájt elterjedő fényképezést is bevonták a Nap megfigyelésébe. Angliában Warren de la Rue 1858 és 1872 közt fényképezte rendszeresen a Napot, hogy egy teljes 11 éves ciklust megörökítsen, de tovább nem tudta folytatni munkáját. A fontos programot ezért a Királyi Greenwichi Obszervatórium vette át. Az 1874-es és 1882-es Vénusz-átvonulások fotografikus rögzítésére a Dallmeyer cég több fotohéliográfot is készített W. de la Rue távcsövének alapján, ezekből az egyikkel

kezdték meg a megfigyeléseket 1874 áprilisában Greenwichben. Ez a távcső több, mint 100 évig szolgált, egészen addig, míg 1977-től a Nemzetközi Csillagászati unió (IAU) megbízásából az MTA debreceni Napfizikai Observatóriuma vette át a fotohéliográf programot. A többi Dallmeyer fotohéliográf a Vénusz-átvonulási expedíciók után szétkerült szerte a világban Mauritiusra, Dehra Dún-ba (India) és Fokvárosba, ahol hozzájárultak a Greenwich Photo-Heliographic Results (GPHR) napfoltkatalógus mindennapos észleléseihez. Ez a katalógus máig is a napfoltciklus statisztikai kutatásainak alapanyaga, hosszú, homogén adatsorával.

A napfizika súlypontja a századfordulón átkerült az Amerikai Egyesült államokba, ahol G. E. Hale a Mt. Wilson Observatory létrehozásával az akkori világ legnagyobb naptávcsöveit építette meg, felfedezte a napfoltok mágneses terét és megalkotta a spektrohélioszkópot, tehát egyrészt a naptevékenység fizikai alapjait tisztázta, másrészt a kromoszféra-megfigyelések megindításával a flerek tanulmányozását kezdte el. Több spektrohélioszkóp adományozásával Hale egy megfigyelőhálózatot is szervezett körben a Földön, amely rendszeresen napi 24 órában figyelte a kromoszférát, a flereket. Sokat köszönhet a napfizika a Nemzetközi Geofizikai Évnek (IGY, 1957-58), majd utódainak, a Nemzetközi Nyugodt Nap Évnek (IQSY, 1964-65) és a Nap Maximum Évnek (SMY, 1979-81). Ezeknek a nemzetközi megfigyelési kampányoknak a során sikerült hatalmas adatmennyiséget gyűjteni részben a napaktivitásról, részben annak földi hatásairól, így jobban megérteni a fizikai folyamatokat. A napfizikai kutatások hangsúlya a század közepétől napfoltok tanulmányozásáról inkább a flerek felé tolódott el, míg a legutóbbi egy-két évtizedben már a napkorona került sorra.

A földi hatások fontossága miatt a Nap megfigyelésében bizonyos mértékig kettéválik a rendszeres *napszolgálat* (amely pl. az Egyesült államokban a légierő meteorológiai szolgálata keretében működik), és a napfizikai kutatásokkal foglalkozó obszervatóriumok (pl. Big Bear, Debrecen, Hawaii, Kiev, Kitt Peak, Krím, La Palma, Meudon, Mt Wilson, Ondrejov, Peking, Pic du Midi, Potsdam, Pulkovo, Sacramento Peak, Tenerife, Tokyo, Usszurijszk, Wroclaw, Yunnan). Az utóbbiak egy része szolgálat jellegű, rendszeres megfigyeléseket is végez speciális, egyedi műszereivel, ennek adatait az Interneten rendszerint hozzáférhetővé is teszik. Külön helyet foglal el a Boulderben (USA, Colorado) lévő NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), amelyben két csoport is foglalkozik a naptevékenységgel, egyrészt a *Space Environment Center*, amely nagyrészt a légierő obszervatóriumhálózatára alapozva az operatív riasztást és előrejelzést (SESC-PRF) adja, másrészt a *National Geophysical Data Center*, amely archiválja és közzéteszi az egész világból származó megfigyeléseket. Ez utóbbinak kiadványa a *Solar-Geophysical Data* (SGD), amely egy-két-hat

hónapos késéssel közli a megfigyeléseket, ezért a megfigyelések feldolgozásában alapvető jelentőségű. A tudományos közleményekben, az aktív vidékek (napfoltcsoportok) SGD (NOAA) számozását alkalmazzák legelterjedtebben egyértelmű jelölésükre, a továbbiakban itt is ez lesz használva.

Sok új eredményt hoztak a Nap kutatásában a mesterséges holdak és űrszondák. Ezek egyrészt közvetlen helyszíni méréseikkel a naptevékenység hatásainak fizikai folyamatait tisztázták, másrészt a Föld légkörén kívül tartózkodva, annak zavaró hatásaitól (felhők, képminőség romlása, fényszórás, elnyelés) mentesen tudták vizsgálni a Napot. Az *OSO* sorozat holdjai után a *Skylab* űrállomás és a *Szaljut* sorozat egyes tagjainak fedélzetén is voltak napmegfigyelő műszerek. A Skylab segítségével sikerült először hosszabb ideig és részletesen tanulmányozni a napkoronát. Az *Interkozmosz* műholdsorozat egyes tagjai is a Nap megfigyelésére lettek felbocsátva, de ezek kevésbé voltak sikeresek. Nagyon jelentős eredményeket hozott viszont az *SMM* műhold (1980 - 1989), bár 10 hónap után tájolórendszere elromlott, így ez lett az első földkörüli pályán kijavított űreszköz (1994), ami ezután még évekig működött, 1989 decemberi megsemmisüléséig. Jelenleg a japán *Yohkoh* és az ESA-NASA által közösen üzemeltetett *SOHO*, valamint az amerikai *TRACE* látja el rendszeresen a kutatókat a kromoszféra és a napkorona képeivel, amelyek az ibolyántúli és röntgentartományban készülnek. Ezek a megfigyelések gyakorlatilag azonnal (1-2 órán belül) hozzáférhetők az Interneten. Jelentős áttörés várható majd a 2006-ban felbocsátott *Hinode (Solar-B)* japán-amerikai műholdtól, amelynek fedélzetén az eddigiekben szokásos röntgen- és ibolyántúli távcsövek mellett egy 50 cm-es optikai távcső és a hozzá illesztett *vektor-magnetográf* 200 km felbontással méri a fotoszférikus mágneses tereket. A másik jelentős űrkísérlet a *Stereo*, amelynek iker-űrszondái, a Stereo A (*Ahead*) és B (*Behind*) közvetlenül a földpálya mellett, de a Földtől évi 28 fokkal lemaradva, ill. a Földet ugyanilyen sebességgel egyre megelőzve keringenek a Nap körül, így lehetővé téve a Föld irányába induló koronakitörések térbeli szerkezetének és sebességének meghatározását. A Stereo szondák műszerei követik a SOHO műszerezettségét, a mérések könnyebb összehasonlíthatósága miatt.

1.2. A Nap szerkezete

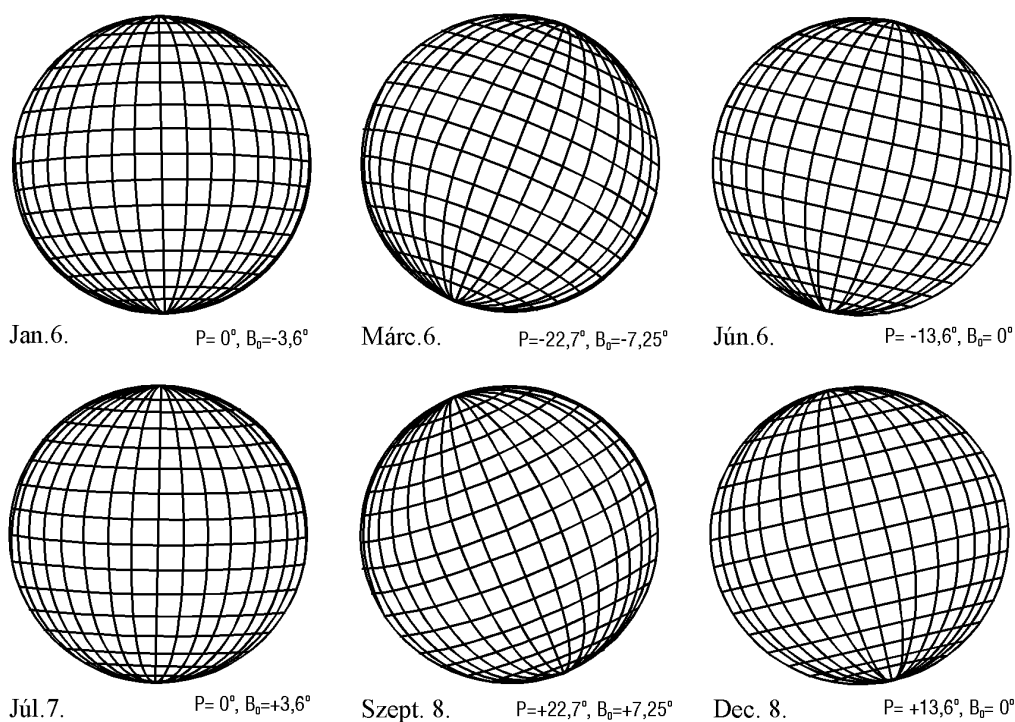
A napfoltcsoportok fejlődésének tanulmányozásához hasznos áttekinteni a hátteret, magának a Napnak a tulajdonságait, amelynek a felszínén megjelennek. A Nap átmérője $1,392 \times 10^9$ m. Közepes távolsága a Földtől 1 csillagászati egység (CsE), azaz $1,49597870 \times 10^{11}$ m, a tényleges távolság a földpálya excentricitása

($e = 0,0167$) miatt 1,7%-al kisebb v. nagyobb lehet az év folyamán. Ennek megfelelően a napkorong közepes látszó átmérője 1919,26'' (kb. $0,5^\circ$), amely szintén $\pm 1,7\%$ -os ingadozást mutat. A napkorongon közepes távolságban 1''-nek 725,3 km felel meg.

A Nap középpontja körül, a magban történik az energiatermelés, a hidrogénatommagok összeolvadása héliummagokká, és a tömegvesztesség energiává alakulása. Ez az energia elektromágneses sugárzás formájában indul a felszín felé. A centrális $1,5 \times 10^7$ K hőmérséklet kifelé haladva csökken, és mivel a fúziós reakciók sebessége nagyon erősen hőmérsékletfüggő, a sugár kb $1/3$ -nál már megszűnik az energiatermelés. Az energia innen sugárzás (a hőmérséklet miatt főleg röntgensugárzás) formájában szivárog a felszín felé. Mivel a fotonok elnyelése és kisugárzása véletlenszerű irányokban történik, ez a folyamat igen lassú. A középpontban felszabaduló energia $10^6 - 10^7$ év alatt jut ki csak a felszínre. Eközben az eredetileg alapvetően röntgensugarakból álló eloszlásból a felszínen az 5785 K effektív hőmérsékletnek megfelelően főleg látható fénykvantumok lesznek. A centrumból kifelé haladva, kb. a sugár 0,74-szeresénél az anyag állapotjellemzői úgy változnak, hogy *konvektív instabilitás* lép fel, azaz a konvektív mozgások hatékonyabban tudják az energiát a felszín felé szállítani. Ezért a felszín alatti réteg, a *konvektív zóna*, állandó turbulens konvektív mozgásban van. Ennek nyomai a felszínen is megfigyelhetők (granuláció, szupergranuláció).

A Nap felszínének a *fotoszféra* alsó határát szokták tekinteni, ahol a Nap anyagának optikai mélysége a folytonos színekép 500 nm-es hullámhosszánál egységnyi ($\tau_{500} = 1$). Eddig láthatunk be a fény segítségével a Napba. A hőmérséklet ezen a szinten kb. 8000 K, de kifelé rohamosan csökken, mindössze 500 kilométerrel magasabban, a fotoszféra felső határán már csak 4200 K. A Földről nézve ez a vastagság kisebb, mint 1 ívmásodperc, ezért látjuk a napkorongot éles szélűnek, de a *szélelsötétedés* (ld. 1. ábra) tanúskodik a fotoszférában történő hőmérsékletváltozásról. Gyakorlatilag az összes fény ebből a rétegből érkezik hozzánk. E fölött helyezkedik el a *kromoszféra*, amelyben a hőmérséklet kifelé haladva ismét emelkedik, felső határának a $T = 25000$ K szintet szokás tekinteni. Ez egy „átlagolt” naplégkör-modellben kb. 2000 km-nek felel meg, de a kromoszféra szerkezete erősen inhomogén, a belőle kinyúló *szpikulák* 5-10 000 km magasságot is elérnek. A napszínekép legerősebb elnyelési vonalaiban ($H\alpha$, Ca^+K) a gáz már a kromoszférában átlátszatlanává válik, így ezekre a színeképvonalakra hangolt keskenysávú (0,1 nm) szűrőkkel megfigyelhető.

A kromoszféra felső határán helyezkedik el az *átmeneti réteg* (transition region), amelyben a hőmérséklet hirtelen változik a kromoszféra ~ 10000 K értékéről a *napkorona* 10^6 K értékére. Az átmeneti rétegben keletkezik sok ibolyántúli színképvonal. A napkorona fénye a fotoszférának 10^{-6} része, ezért sokáig csak teljes napfogyatkozások alkalmával volt megfigyelhető, mert ezt a halvány fényt a légköri szórt fény teljesen elnyomja. Sugárzása több részről tevődik össze, látható fényben néhány erősen ionizált elem (Fe X, Fe XIV, Ca XV) színképvonalai (E-korona), a szabad elektronokon szóródó, erősen polarizált fény (K-korona) és a külső részeken túlsúlyba kerülő, a bolygóközi porszemekken kis szög alatt szóródó fotoszféra-fény (F-korona). Hőmérsékleti sugárzásának maximuma az 1-3 nm körüli hulláhhosszú röntgentartományba esik, ezért (mivel a fotoszféra itt gyakorlatilag nem sugároz) a légkörön kívülről, megfelelő röntgéntávcsövekkel állandóan megfigyelhető. A korona sűrűsége egyrészt nagyon inhomogén, másrészt sugárirányban kifelé haladva erősen csökken. A magas hőmérséklet miatt a napfelszíntől bizonyos távolságra a gázcseppcskék eléri a szökési sebességet, és egy sugárirányú kifelé áramlás, a *napszél* indul el, amely az egész Naprendszert betölti. A flerek, protuberancia-erupciók és a koronakitörések ennek szerkezetét megzavarva hatnak a Föld magnetoszférájára.



4. ábra. A heliografikus koordinátarendszer változása az év során.

A Nap felszínén megfigyelhető jelenségek helyzetének megadására szükséges egy *héliografikus koordinátarendszer* meghatározása, azaz a Nap forgástengelyének, forgási sebességének és egy kezdő meridiánnak a megadása. A XVIII-XIX. században többen is foglalkoztak ezzel a kérdéssel, a jelenleg használt rendszert R.C. Carrington vezette be (Carrington, 1863) 1853 és 1861 közt végzett mérései alapján. Eszerint a Nap forgástengelye és az ekliptikára merőleges irány közti szög $7^{\circ} 15'$, a Nap egyenlítője felszálló csomójának ekliptikai hosszúsága az 1850-es epochára $73^{\circ} 40'$, a Nap sziderikus forgási ideje 25,38 nap, kezdő meridiánnak pedig az lett kijelölve, amely 1854. január 1-én 0^h GMT-kor haladt át a felszálló csomón. A felszíni objektumok héliografikus szélességének (B) és hosszúságának (L) meghatározásához a csillagászati évkönyvek rendszeresen közlik minden nap 0^h világidőre a koordinátaszámításhoz szükséges három mennyiséget: a Nap forgástengelyének a vetülete és az égi északi irány közti szöget (P), valamint a napkorong középpontjának héliografikus szélességét (B_0) és hosszúságát (L_0). A megfigyeléseknél használatos még a *centrálmeridiántól* (a Nap pólusán és a látszó napkorong középpontján átmenő meridiántól) való hosszúság-különbség (L_{CM}), kelet (E) v. nyugat (W) felé. Így pl. egy, az északkeleti részen lezajlott fler helyzete megadható, mint N21 E43. A Nap a keleti oldal felől a nyugati felé forog, így egy valódi tájolású napképen, mint pl. az 1. ábra, balról jobbra haladnak a napfoltok. A képek a továbbiakban ilyen irányításúak lesznek. A héliografikus koordinátarendszer éves változását a 4. ábra mutatja.

A jelenleg általánosan használt Carrington-koordinátarendszer 1984-ben veszélybe került, mert az IAU koordinátarendszerekkel foglalkozó munkacsoportjának (amelyben napkutató szakember nem volt) határozata alapján az angol-amerikai Nautical Almanac egy 1981-ben megjelent új meghatározás (Stark & Wöhl, 1981) alapján kezdte közölni a héliografikus koordináta-alapadatokat. Ugyanekkor más évkönyvek a Carrington féle adatokat használták. A helyzet tisztázása után e sorok írója körlevelet küldött szét az IAU két érintett bizottsága (10. – Naptevékenység és 12. – A Nap légkörének szerkezete) minden tagjának, egy előrenyomtatott válaszlevelezőlappal, amelyen jelezhatték, hogy a régi, vagy az új koordinátarendszert részesítik előnyben. A több, mint 400 kiküldött levélre 124 válasz érkezett, amelyből 99 (80%) volt a Carrington rendszer megtartása mellett, 20 (16%) ellene és 5 (4%) tartózkodott. A közvéleménykutatás alapján, a szerző távolléte miatt –kérésére– V. Bumba képviselte az ügyet az IAU XIX. Közgyűlésén Új Delhiben, ahol a 10 Bizottság határozatot hozott a Carrington féle héliografikus koordinátarendszer használatának folytatásáról (*Trans. IAU*, XIXB, p.45, resolution C6, 1985).

A Carrington koordinátarendszer merev testként forog, de már Scheiner észrevette, hogy az egyenlítőtől távolabb eső foltok lassabban forognak, ez a *differentiális rotáció*. A múlt század második felében Carrington és Spörer (mellettük Faye is) meghatározták azt is, hogy ez milyen törvény szerint változik a héliografikus szélességgel. Később ilyen célra a színeképvonalak Dopplertolódását is felhasználták, pl. Howard és Harvey (1970). Eredményeiket, néhány modern eredménnyel együtt az alábbi táblázat adja:

A Nap sziderikus elfordulási szöge naponként a szélesség függvényében

Carrington, 1863	$\xi = 14,42^\circ - 2,75^\circ \sin^2 B$
Faye, 1865	$\xi = 14,37^\circ - 3,10^\circ \sin^2 B$
Spörer, 1874	$\xi = 8,55^\circ + 5,80^\circ \cos^2 B$
Maunder, 1922	$\xi = 12,43^\circ + 2,01^\circ \cos^2 B$
Newton & Nunn, 1951	$\xi = 14,38^\circ - 2,96^\circ \sin^2 B$
Howard & Harvey, 1970	$\xi = 13,76^\circ - 1,74^\circ \sin^2 B - 2,19^\circ \sin^4 B$ (spektroszkópikus)

Itt ξ a naponkénti sziderikus elfordulás szöge, B a héliografikus szélesség. A napfoltokból meghatározott forgássebesség pontosságát erősen befolyásolja a napfoltok sajátmozgása, egy debreceni vizsgálat (Dezső és Kovács 1994) szerint csak a nyugodt, öreg, egyedülálló napfoltok felhasználása révén lehet azonos eredményt kapni a Doppler-mérésekkel.

Az utóbbi évek hélioszeizmológiai mérései szerint a differentiális rotáció csak a konvektív zóna sajátja, a sugárzási zóna merev testként forog (l. pl. Kosovichev et al., 1997). A közepes szélességeken egy darabig a mélységgel nő a forgási sebesség. Ennek is szerepe van a napfoltcsoportok fejlődése során.

1.3. A napfoltok és napfoltcsoportok tulajdonságai

Már Galilei észrevette, hogy a napfoltok változtatják alakjukat, valamint hogy csak a Nap egyenlítőjének két oldalán, nagyjából a 30° héliografikus szélességeig fordulnak elő. Scheiner a *Rosa Ursiná*-ban „királyi zónák”-nak nevezte ezeket a szélességeket. A részletes kutatások csak a múlt század közepén kezdődtek, a napfoltciklus felfedezése után. Carrington, Spörer és Wolf is leírja, hogy a minimum után a foltok általában a nagyobb szélességeken jelentkeznek, maximum táján az egész folt-zóna aktív, majd a ciklus az egyenlítő közelében, de azt el nem érve hal el. Ezt a „Spörer-törvényt” grafikusan nagyon szépen ábrázolta E.W. Maunder (1904), azóta gyakran idézett „pillangó-diagramján” (ő

ugyan még ék-diagramnak hívta), amelyben a napfoltcsoportok héliografikus szélességét tüntette fel az idő függvényében.

Fontos tulajdonsága a napfoltnak v. napfoltcsoportnak a területe, a naptevékenységet a relatívszám mellett lehet jellemezni a foltok által borított terület nagyságával is. Megkülönböztetnek *látszó területet*, (A_P) amelyet a látszó napkorong milliomodrészében szokás megadni, a foltcsoportok fejlődésének vizsgálatánál azonban fontosabb a *korrigált terület*, (A_C), amelynél figyelembe veszik a Nap gömbalakja miatt fellépő vetületi torzulást. Ezt a látható Nap-félgömb milliomodrészében szokás megadni, amely mértékegységnek nincs általánosan elfogadott rövidítése, a továbbiakban *m.s.h.*-val lesz jelölve (millionth of solar hemisphere). A különböző egységek és a geometria miatt

$$A_C = A_P / 2 \cos \Theta,$$

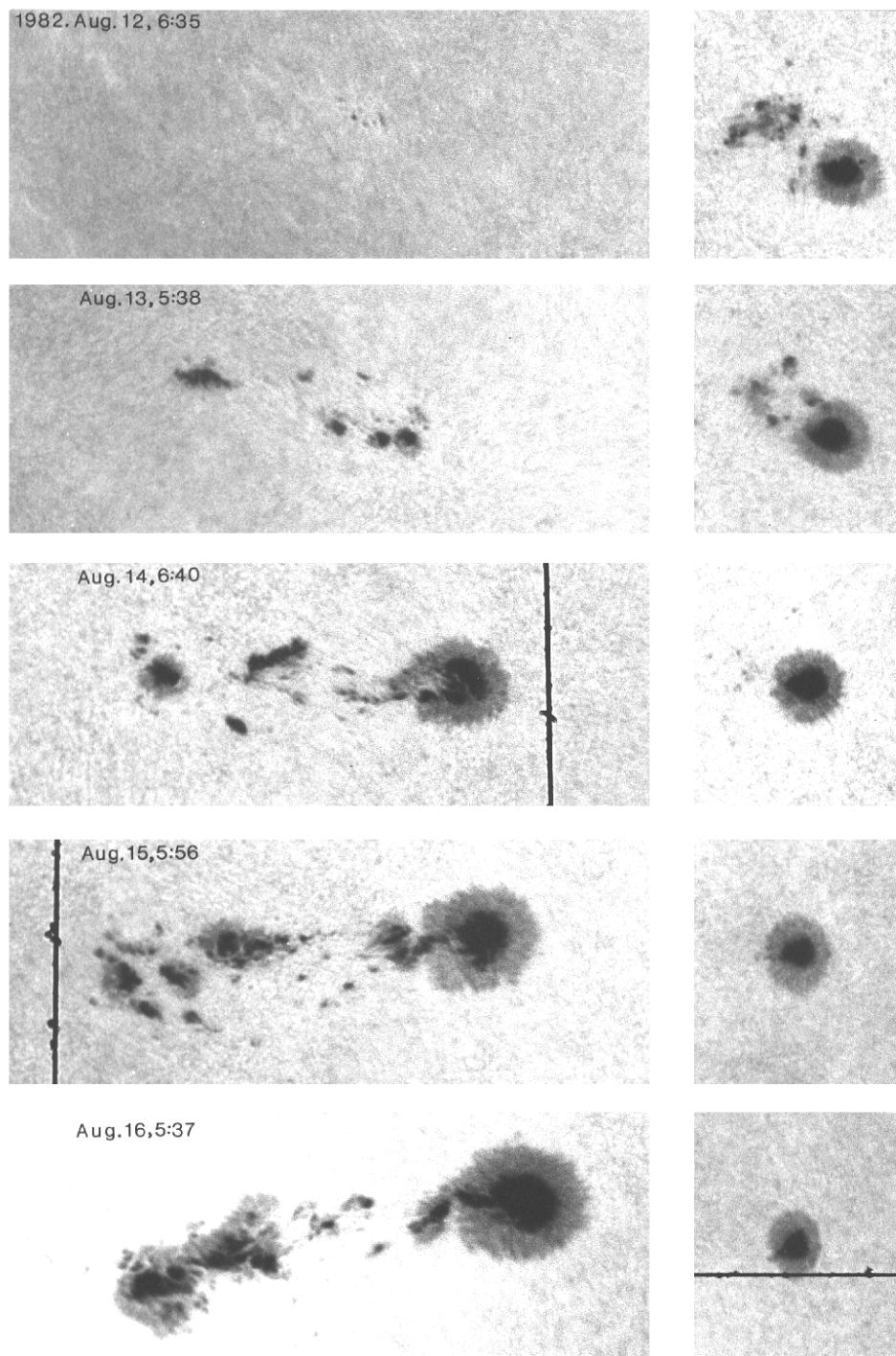
ahol Θ az ún. héliocentrikus szög, amely a Nap középpontjából a látszó napkorong középpontjához és az adott napfolthoz húzott félegyenesei közti szög. A megfigyelt legnagyobb napfoltcsoport területe (1947. ápr. 8-án) 6132 m.s.h. volt, általában 1500 m.s.h.-nál nagyobb számú jelentős napfoltcsoportnak. A napkorong közepén ~500 m.s.h. a szabad szemmel láthatóság határa.

A napfoltcsoportok döntő többsége hosszúkás, nagyjából a Nap egyenlítőjével párhuzamosan helyezkedik el. A Nap forgása szerint elől haladó, vezető részén, amelyet a *preceding* szó rövidítésével *p*-résznek szokás nevezni, rendszerint egy nagyobb, szabályos, kerek folt található. A középső részekén gyakran semmi, vagy csak kisebb foltok, míg a forgás szerint hátul haladó, követő (*following*, *f*) részben ismét valamivel nagyobb, de szétszórtabb foltok vannak. A foltok ilyen eloszlása miatt a napfoltcsoportokat bipoláris szerkezetűnek nevezik, annál is inkább, mert mint G.E. Hale mérései a Mt. Wilson Obszervatóriumban kimutatták (Hale, 1908), a napfoltokban erős (0,2 – 0,4 T) mágneses tér található, és a bipoláris szerkezet a mágneses térben is kifejeződik (a foltcsoport *p*-része ellenkező mágneses polaritású, mint az *f*-rész). Hale és munkatársai rendszeres megfigyeléseik eredményeit 1938-ban foglalták össze (Hale és Nicholson, 1938). A Hale-törvények alapvetőek a napciklus fizikájának megértésében:

- 1.) *Azonos (északi v. déli) féltekén azonos naptevékenységi ciklusban a p-foltok polaritása (vezető polaritás, p-polaritás) mindig azonos.*
- 2.) *A másik féltekén a vezető polaritás ellentétes.*
- 3.) *A következő naptevékenységi ciklusban a vezető polaritások felcserélődnek.*

Ebből következően a naptevékenységi ciklus teljes hossza, az ún. mágneses ciklus 22 év.

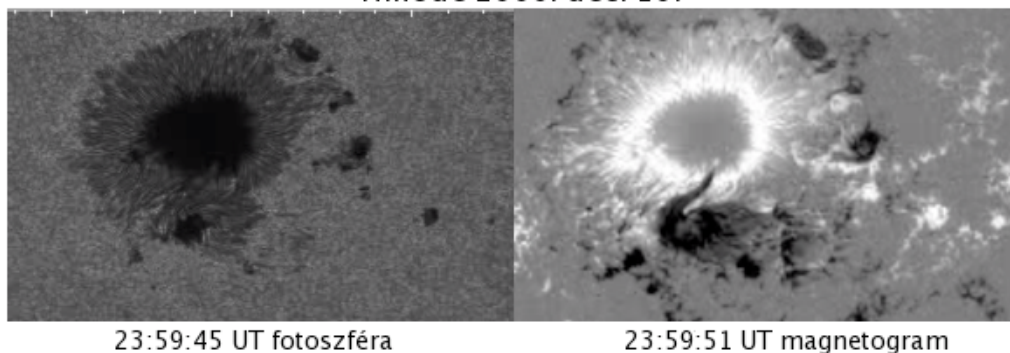
Hale és munkatársai megállapították, hogy a napfolt-umbrákban a mágneses tér nagyjából merőleges a felszínre, ezért lehet beszélni északi v. déli polaritású umbrákról. Jelenlegi tudásunk szerint *nem* léteznek olyan umbrák, mint amilyeneket Bray és Loughhead feltételez (Bray és Loughhead 1964, 219 l., 5.19 ábra), miszerint egy umbrán belül eltérő mágneses polaritású területek is lehetnek.



5. ábra. Egy kialakuló és egy visszafejlődő foltcsoport naponkénti változásai. (MTA CsKI Napfizikai, Obszervatóriuma, Debrecen)

Egy umbra vagy teljesen déli, vagy teljesen északi polaritású, azonos penumbrában lévő különböző polaritású umbrákat fényes híd választ el egymástól. (Azonos polaritású umbrákat is választhat el fényes híd, de ez morfológiailag eltérő: granulációszerű fényes pontokból áll, míg a különböző polaritású umbrákat penumbraszerű szálakból álló híd választja el.) Ezeket az elgondolásokat azonban valószínűleg pontosítani kell, mivel a Hinode japán űrszonda 0,2" felbontású megfigyeléseinek már a kezdetén, 2006. dec. 10-én rögzített egy furcsa mágneses szerkezetet (6. ábra), amelynek magyarázata lehet pl. egy erősen csavart vízszintes fluxusköteg. Szabályos foltok esetében az umbra központjában a felszínre merőleges a mágneses tér, kifelé haladva egyre jobban hajlik a felszínhez húzott merőlegeshez, az umbra-penumbra határon kb. 30° -al, míg a penumbra-fotoszféra határon már közel párhuzamos is lehet a felszínnel. A napfoltok mágneses terének szerkezetével a 3. fejezet foglalkozik részletesebben.

Hinode 2006. dec. 10.



6. ábra. Egy ellentétes polaritású kísérő foltokkal övezett nagy napfolt bonyolult mágneses szerkezete. A magnetogramon fehér az északi, fekete a déli mágneses polaritás (Hinode, JAXA)

A napfoltcsoportok keletkezésükkor mint *pórusok* jelennek meg, ezek kb. granula nagyságú, umbra sötétségű, penumbra nélküli képződmények. A mágneses tér bennük merőleges a felszínre, és már eléri a 0,15 – 0,2 T nagyságot. A pórusok területe ezután növekszik, különösen a foltcsoport *p*-részében gyakran fordul elő azonos polaritású pórusok összetartó mozgása és összeolvadása, közben a *p* és *f* rész széttartó mozgást végez. Bizonyos nagyságot elérve a pórusok peremén megjelenik a penumbra, kifejlődik a tipikus bipoláris napfoltcsoport. Ez a folyamat gyorsan, néhány nap alatt lezajlik (4. ábra), ezután a foltcsoport több hétig élhet. Élete során először a közepén lévő kis foltok, később a követő (*f*) rész rendszerint felbomlik, eltűnik, és megmarad a *p* folt, mint szabályos, kerek napfolt, majd néhány hét alatt ez is eltűnik.

Ezt a fejlődést próbálja követni a Zürichben 1938-ban bevezetett, majd Waldmeier által 1947-ben véglegesen kialakított osztályozás, amely A-tól J-ig 9 stádiumot különböztet meg. Bár ezt sokáig és sokan használták, nem fejezte ki eléggé a napfoltcsoportok teljes bonyolultságát, ezért jelenleg inkább a P. McIntosh által 1969-ben Boulderben bevezetett típusokat használják (7. ábra). Ez már három betűből áll, az első nagyjából a zürichi osztálynak felel meg (elhagyva a G és J osztályt), a második a legnagyobb folt penumbrájának szerkezetét, a harmadik pedig a foltcsoport közepének „betöltöttségét” jellemzi. A pontos definíciók a következők:

<i>Módosított zürichi típus</i>	<i>Legnagyobb folt penumbrája</i>	<i>McIntosh féle foltcsoport típusok</i>
A 		 <i>Folteloszlás</i>
B 	x	
C 	r	
D 	s	x
E 	a	o
F 	h	i
H 	k	c

7. ábra. A McIntosh féle foltcsoport-osztályozás.

Első betű: módosított zürichi típus.

- A* egypólusú, unipoláris pórús v. póruscsoport, penumbra nélkül;
- B* bipoláris póruscsoport, penumbra nélkül;
- C* bipoláris csoport, az egyik polaritású foltok körül már kialakult penumbrával (ha a csoport hossza nagyobb, mint 5° , típusjele már *D*);
- D* bipoláris csoport, mindkét polaritás esetében penumbrával, a csoport hossza 10° -nál kisebb;
- E* ugyanaz, mint *D*, de hossza $10^\circ \dots 15^\circ$ közötti;
- F* ugyanaz, mint *D*, de a csoport 15° -nál hosszabb
- H* egypólusú folt, penumbrával, a kísérő kis pórúsok 3° -nál közelebb vannak a nagy folthoz (ha a penumbra nagyobb, mint 5° , a csoport típusjele *D*)

Második betű: a legnagyobb folt penumbrája.

- x* nincs penumbra;
- r* csökevényes penumbra;
- s* szimmetrikus, jól fejlett penumbra, $2,5^\circ$ -nál kisebb átmérővel;
- h* ugyanaz, mint az *s* jelű de; $2,5^\circ$ -nál nagyobb;
- a* aszimmetrikus penumbra, $2,5^\circ$ -nál kisebb átmérővel;
- k* ugyanaz, mint az *a* jelű de; $2,5^\circ$ -nál nagyobb;

Harmadik betű: a foltok eloszlása a csoporton belül.

- x* egyedülálló folt;
- o* nyitott csoport, a vezető és követő rész teljesen elkülönül;
- i* közbeeső típus, középen néhány penumbra nélküli kis folttal;
- c* zárt, tömör csoport, több folttal középen, melyekből legalább egynek van penumbrája (előfordulhat, hogy az egész csoport egyetlen penumbrában helyezkedik el);

A McIntosh osztályozás népszerűségét egyrészt az adja, hogy a NOAA által működtetett adatbázis és előrejelző rendszer használja, másrészt sokkal egyértelműbb a kapcsolat a McIntosh típusok és a várható fler-aktivitás közt. A legaktívabb csoportok rendszerint *Dkc* ill. *Ekc* besorolásúak.

A napfoltok sajátmozgását először Peters (1855) írta le, a jelenséget sokáig csak mint zavaró tényezőt tekintették a Nap forgási elemeinek meghatározásánál. Carrington és Spörer is leírták a foltok széttartó mozgását a foltcsoportok keletkezése után, az ő munkájukat folytatta Brunner (1913) Zürichben, a századunk közepéig összegyűjtött tapasztalatokat Waldmeier (1955, 161. o.) összegzi: a napfoltok sajátmozgása szélességben jelentéktelen, a foltcsoport kialakulásánál a *p* foltok gyorsabban mozognak előre (nyugatra), mint az *f* foltok hátra (keletre); a *p* folt előremozgása kb. addig tart, amíg a foltcsoport növekszik, azután lassan hátrafelé kezd mozogni, az *f* folt lassan hátrál, és kb. 5 nap után nem mozog tovább. Bemutat egy példát is, amelyben egy bipolárisnak látszó csoport két korábbi különálló csoport fennmaradó *p* foltjaiból sajátmozgások révén alakul ki, tehát nem valódi bipoláris csoportról van szó.

Az általános törvényeken kívül egyes kutatók leírták egy-egy különleges napfoltcsoportban a foltok sajátmozgását. Secchi (1875) a bonyolultabb szerkezetű napfoltok gyorsabb mozgását vette észre, Flammarion (1892) a napfoltok mozgását a földi ciklonok pályájával hasonlította össze, míg Fényi Gyula (1896) egy eruptív protuberanciával kapcsolatos folt gyors mozgására hívta fel a figyelmet. A régi napfoltmozgás-irodalomról rövid összefoglaló található e sorok írójának kandidátusi disszertációjában [11a].

Az 1960-as évek végén Debrecenben, az MTA Napfizikai Obszervatóriumában Dezső Loránt indított el kutatási programot napfoltok pontos pozíciómeghatározására és ebből levezetett sajátmozgások tanulmányozására. Ebben a munkában az Obszervatórium minden kutatója, így e sorok írója is bekapcsolódott. Ma már, a fizikai háttér ismeretében, a napfoltok mozgásában a konvektív zónából felbukkanó mágneses fluxus-csövek feljutását vizsgáljuk, amelyek energiát juttatnak a naplégkör felső rétegeibe, így végső soron a naptevékenység egyes jelenségeinek okozói.

1.4. Fotoszférikus mágneses terek

Az előző fejezetben már volt szó arról, hogy a napfoltcsoportokban erős, a felszínre közel merőleges mágneses tér található. Ennek tanulmányozására Hale még a spektrográf rése elé helyezett polaroidot és $\lambda/4$ lemez-mozaikot használt, manapság a *magnetográfok* és *vektor-magnetográfok* szolgálnak erre a célra. A fizikai alap a *Zeeman-effektus*, amely szerint a mágneses térben lévő atomok színeképvonalai felhasadnak, az eredetileg egyszerű vonal három összetevőre bomlik fel (az egyszerű Zeeman-effektus esetében), a középső (π) komponens helyben marad, a két szélső (σ) komponens szimmetrikusan tolódik el. A felbomlás nagyságát a következő képlet adja:

$$\Delta\lambda_{\text{norm}} = \pm 4,67 \times 10^{13} \lambda^2 H,$$

ahol $\Delta\lambda_{\text{norm}}$ a σ komponensek elmozdulása, λ a hullámhossz Ångströmben, H pedig a mágneses tér Gaussban. Az egyes komponensek viszonylagos erőssége és polarizációja a mágneses tér és a látóirány által bezárt szöggel függ össze, így emissziós (fényes) színeképvonalak esetében ha a mágneses tér irányában nézünk (longitudinális tér), csak a két σ komponens látható, amelyek ellentétes irányban cirkulárisan polarizáltak. Ha a térre merőlegesen végezzük a megfigyelést, a π komponens erősebb, és a mágneses tér vetületének irányában, míg a két σ komponens erre merőlegesen lineárisan polarizált. Általános esetben mindhárom komponens látható, elliptikus polarizációval.

A színeképvonalaknak azonban csak elenyésző kisebbsége mutatja az egyszerű, triplet felhasadást, általában az atomi energiaszintek háromnál több alnívóra hasadnak fel mágneses tér jelenlétében (a kvantumszámaiktól függően), ezért a két energiaszint közti különbségek száma is megnő, valamint a felhasadást sem az előző képlet adja, hanem

$$\Delta\lambda = g \Delta\lambda_{\text{norm}},$$

ahol $\Delta\lambda_{\text{norm}}$ az előző képlet szerint adódó felhasadás, g pedig az ún. *Landé-faktor*, az energiaszintek kvantumszámaiból kiszámítható korrekciós tényező, amely 0 és 3 közt változik, bonyolultabb felhasadások esetében, ahol pl. tizenöt komponensre bomlik a színeképvonal, több értéket is felvehet. Az eddigiekből látható, hogy a mérésekre célszerű olyan színeképvonalat használni, amely triplet, azaz egyszerű

felhasadást mutat, g értéke legalább 2,5, és lehetőleg a színek vörös, vagy még inkább infravörös tartományában van, mivel a felhasadás a hullámhossz négyzetével arányos. Külön jelentősége van a $g = 0$ értékű színekpvcvonalnak, ezek érzéketlenek a mágneses térre, profiljuk nem torzul el emiatt a napfoltokban, így a fizikai paraméterek (nyomás, hőmérséklet, turbulens sebességek) pontosabban meghatározhatók. Mindkét típusú színekpvcvonalból már több évtizede listák készültek, pl. Stellmacher és Wiehr (1970), Harvey (1973).

A Nap színekpvcében sötét elnyelési vonalak láthatók, melyek szélessége akkora, hogy legalább 500 – 1000 Gauss mágneses tér kell teljes felhasadásukhoz. Ezért a vonalprofil mentén változó polarizációt használják fel a magnetográfok a mágneses tér mérésére a teljesen fel nem hasadt, csak kiszélesedett vonalak esetén. További nehézség, hogy az elnyelési vonalak miatt mindenképpen valamilyen fotoszféra-modell alapján kell kiszámítani a magnetográf érzékenységet, a fotoszféra szerkezete azonban eltér a napfoltokban és azokon kívül. A magnetográfok többsége a mágneses tér látósugárirányú (longitudinális) komponensét méri, mivel a cirkuláris polarizáció mérése egyszerűbb, kevesebb az instrumentális hiba, és az effektus lineáris. Az elérhető pontosság a Gauss törtrésze is lehet. Sok longitudinális magnetográf alkalmaz video-technikát, vagy hasonló, tehát képet alkot a napfelszínről, ezen a mágneses tér hiányát rendszerint szürke szín jelöli, az északi polaritást fehér, a déli polaritást fekete, a szürkétől való eltérés pedig a térerővel arányos. A transzverzális tér-komponens mérése sokkal nehezebb, az effektus kvadratikuss, tehát kis terek esetében kisebb, a lineáris polarizáció pedig nagyon érzékeny az instrumentális hatásokra, ráadásul a légköri szórt fény is lineárisan polarizált. Maga a mérés is bonyolultabb, a három komponens miatt, ráadásul van egy alapvető korlát is: a transzverzális komponens iránya kétértelmű, mivel a lineáris polarizáció síkjának vetülete határozza meg, ez két, egymástól 180°-ra eső megoldást ad. Mindezek ellenére több vektor-magnetográf is működik a világon, az egyik legelső a Krími Asztrofizikai Obszervatóriumban, (ezt már többször korszerűsítették), van a Pulkovói Obszervatóriumban, az Okayama Obszervatóriumban, a Mees Observatory-ban (Hawaii), a jelenleg legismertebbek a NASA Marshall Flight Center napfizikai csoportjánál (MSFC), a Big Bear Observatory-ban (California, USA) a pekingi obszervatóriumhoz tartozó Huairou Obszervatóriumban és legújabban a Kitt Peak National Observatory-ban találhatók. Ezek mindegyike viszonylag gyorsan végzi a mérést, de a színekpvcvonalnak csak a két szárnyában. A High Altitude Observatory (Climax, Colorado, USA) Stokes-polarimétere az egész vonalprofil végigméri, de emiatt egyszerre csak a napfelület egy pontjában, így egy aktív vidék bejárása félórába – egy órába is beletelik. Ennek ellentétéként a video-magnetográfok másodpercek alatt mérnek ki egy aktív vidéket, igaz, hogy kisebb pontossággal, de nagyobb térbeli felbontással. Több longitudinális magnetográfal is végeznek rutinszerű, mindennapos észleléseket, amelyek az Interneten néhány napon belül elérhetők, a legismertebb a Kitt Peak National Observatory egy ívmásodperc felbontású magnetográfja, amely a teljes napkorongot (2048×2048 képpont) leképezi naponta (ha nem felhős az idő), ennél valamivel rosszabb a felbontása a SOHO űrszonda MDI műszerének, amely 512×512 képpontból álló teljes napkorongra kiterjedő magnetogramot ad, ebből naponta két-három kerül a hálózatra. Az egyes napfoltcsoportokat mutató kis területet nagy felbontással ábrázoló vektor-magnetogramokat az Okayama, Big Bear, NASA MSFC és a Mees Observatory Internet-archivumában lehet megtalálni. A Kitt Peak National

Observatory magnetográfját longitudinálisból teljes vektor mérésére alakították át. Nagy előrelépést jelent a 2006 végén felbocsátott Hinode japán műhold, amely 0,2 ívmásodperc felbontással és néhány másodperces időbeli felbontással készíti rendszeres megfigyeléseket, igaz, a napkorongnak csak egy kis területéről.

1.5. Flerek

A földi hatások szempontjából a naptevékenység legfontosabb megnyilvánulásai a flerek, bár a koronakitöréseknek és a koronalyukaknak is jelentős szerepe lehet. Magyarra szokás időnként napkitörésnek, időnként kromoszférikus erupciónak fordítani, bár ez zavaró, mert összetéveszthető az eruptív protuberanciákkal. A protuberanciákban valóban anyagkitörés történik, és kapcsolatban is lehetnek (bár nem feltétlenül) a flerekkel. Az angol *flare* szó viszont (sok egyéb jelentése mellett) itt kifényesedést jelent, amely nem feltétlenül jár anyag kidobásával, ha viszont igen, akkor azt más néven (eruptív protuberancia, koronakitörés) nevezzük. A továbbiakban ezért a fler szó szerepel a jelenség, a hirtelen, nagymértékű energiafelszabadulás megnevezésére.

Bár a sokáig elsőnek tartott fler-megfigyelés publikálásakor Carrington (1860) már megjegyezte, hogy a fehér fényben megfigyelt rövid felfénylással egyidejűleg kisebb geomágneses zavar is volt, még óvatosan megjegyezte, hogy „egy fecske nem csinál nyarat”. A Hale által megalkotott spektrohéliográf, később spektrohélioszkóp, majd a mechanikus letapogatást nem igénylő Lyot féle H α -szűrő segítségével végzett monokromatikus megfigyelések a napszínkép legerősebb elnyelési vonalaiban (Ca II K, H α) kimutatták, hogy a hetekig -- hónapokig is létező aktív vidékekben viszonylag gyakran előfordulnak hirtelen, néhány perc alatt történő kifényesedések, amelyek jóval lassabban, fokozatosan halványulnak el, az egészen nagy területűek néhány óra alatt. Mivel kromoszféraképeken történt kifényesedésekről volt szó, a jelenségeket angolul (chromospheric) *flare*, franciául *eruption chromosphérique* németül *kromosphärische Eruption*, oroszul (солнечная) *вспышка* névvel illették. Mint látható, 2:2 az arány a *kitörés* és *kifényesedés* jelentésű szavak használatában.

Csak lassan derült ki, hogy a naptevékenység legtöbb földi hatásáért a flerek felelősek. Lord Kelvin még azzal cáfolta a Carrington által megemlített lehetséges hatást, hogy kiszámolta a megfigyelt csekély össz sugárzásnövekedés energiáját a Földön, és az r^{-2} -tel való csökkenés miatt ez valóban elhanyagolható. A megfigyelések azonban makacsul összefüggést mutattak a flerek és mágneses háborgások, később a flerek és ionoszférázavarok között. A tényleges összefüggések kiderítésében nagy szerepe volt a fentebb említett Nemzetközi Geofizikai Év, Nemzetközi Nyugodt Nap Éve és Nap Maximum Év összehangolt nemzetközi és tudományközi megfigyelési kampányainak, amelyben egyrészt sikerült felderíteni a flerek tulajdonságait (ha a bennük lezajló fizikai folyamatok részletes megértése még várat is magára), másrészt nyomonkövetni a flerekből kiinduló elektromágneses és részecske-sugárzás-növekedés terjedését és hatásait a Föld környezetére, magnetoszférájára és légkörére.

Az évtizedek során kiderült, hogy a kezdeti megfigyelések a flerek legkevésbé lényeges részeit mutatták. Fehér fényben a mai napig mindössze százas nagyságrendű flert figyeltek meg, a fotoszférába ez a jelenség ritkán jut el. A H α és más kromoszférikus vonalakban lényegesen gyakrabban megfigyelt kifényesedés is már következmény, a jelenlegi elképzelések szerint az alapvető

energiafelszabadulás a napkoronában történik. Az ellentétes irányú mágneses terek találkozásánál kialakul egy ún. X-pont, amely környezetében feltehetőleg turbulencia miatt a plazma vezetőképessége leromlik, kialakul egy áramréteg, amelyben a felhalmozott mágneses energia az ellenállás révén hőenergiává alakul át. A folyamat magas, több tízmillió fokok hőmérsékletre hevíti a napkorona anyagát, sőt bizonyos folyamatok révén a mágneses terekben nagy, néha relativisztikus energiákra felgyorsított részecskék is keletkeznek. Mivel a napkorona anyagának mozgását a mágneses tér határozza meg, a gyorsított részecskék az erővonalak mentén lezúdulnak a kromoszférába, és felhevítik. Ez figyelhető meg a kromoszférikus vonalakban. A felhevült anyag viszont elpárologva feltölti a mágneses erővonal-hurkokat, létrehozva a nagy flerek késői szakaszában gyakran megfigyelhető hurokprotuberancia-rendszereket. A Föld irányába a magas hőmérséklet miatt erős ibolyántúli- és röntgensugárzás indul, valamint az X-pontból kifelé is indulnak gyorsított részecskék, nyalábszerűen, vagy esetenként napszélbe befogódva.

A földi hatások egyrészt az elektromágneses sugárzások következményei, pl. az ionoszférazavarok, a felső légkör fűtésének egy része, ezek az optikailag megfigyelt flerrel egyidőben már jelentkeznek is a Föld nappali oldalán. A részecskék terjedési sebessége ritkán közelíti meg a fénysebességet, így esetenként két-három nappal a fler után érik el a Föld környezetét, ahol a magnetoszférába bejutva mágneses viharokat, sarkifény erősödést, a sugárzási övezetek feltöltődését és más jelenségeket okozhatnak, ha egyáltalán ideérnek. A részecskék terjedése ugyanis nagyban függ eredeti irányuktól, energiájuktól és a napszélben lévő mágneses tértől. Ezért szükségesek a Stereo űrszondák megfigyelései a várható földi hatások előrejelzésére.

A továbbiakban bemutatásra kerül néhány konkrét fler, az energiatranszformáció térbeli és időbeli vizsgálata, becslés a felszabadult energiára (2. rész). Mivel a napfoltokban megjelenő mágneses tér energiája hajtja a naptevékenység jelenségeit, érdemes megismerkedni a napfoltcsoportok és napfoltok mágneses terének szerkezetével, a morfológiai határokkal (3. rész). A flerek erős összefüggést mutatnak a foltcsoportok fejlődésével, bonyolultságával, az egyes napfoltok mozgásával (4. rész), különösen érdekes a már létező mágneses tér (napfoltcsoport) kölcsönhatása az újonnan felbukkanóval (5. rész). Mindezek alapján kialakítható egy általános elképzelés a napfoltcsoportok fejlődése közben lezajló fizikai folyamatokról (6. rész).