

# Napfáklyák: hangyabolyok hangyák nélkül

"Small Is Beautiful" a jelszó mostanában a napfizikában: hirtelen mindenkít, legyen elméleti szakember vagy veterán észlelő, a Nap felületének a létező műszerekkel még épphogy — vagy egyáltalán nem — felbontható részletei izgatnak. Az újkeletű divat egészen háttérbe szorítja a napléggkör jó öreg monstrumait: a napfoltokat, protuberanciákat, sőt még a látványos pukkanásuk okán (a csillagászok is csak nagy gyerekek!) ki nem hunyó érdeklődéssel övezett napkitöréseket is. A napléggkör színpadának korábbi mellékszereplői, a fáklyák, viszont a figyelem középpontjába kerültek.

A nagy felhajtás háttérében az elmúlt másfél évtized gyors technológiai fejlődése áll. A mai nagyteljesítményű szuperszámítógépek lehetővé teszik a Nap felszínközeli rétegeiben végbemenő konvektív mozgás egyenleteinek nagypontosságú numerikus megoldását, még mágneses tér jelenlétében is. Erre a feladatra az asztrofizikusok pár évtizede még reménytelenül legyintettek; megoldása most lehetővé teszi a napfelszínen látott, a felbontási határt alig meghaladó granulációs mintázat értelmezését. (A granulációról és társairól l. Ludmány András Mozgások a Nap légkörében c. cikkét, Csillagászati évkönyv; 1985, 170. oldal).

Egyidejűleg az észlelési technika a szög- és spektrálfelbontás látványos javulását eredményezte. A technikai fejlődés nyomán felfedett részletek pedig olyan izgalmasaknak bizonyultak, hogy ma már a napfizikusok biztosra veszik: a naptevékenységet szabályozó folyamatok megértésének kulcsa a legkisebb léptékekben van.

## Csővezünk

Ha most sorra kívánjuk venni a kisléptékű szerkezet vizsgálatának fő állomásait, azokig a hatvanas évek derekán végzett számítógépes szimulációkig kell visszanyúlnunk (elsősorban N.O. Weiss neve említendő), amelyek megmutatták, hogy a Nap plazmájában végbemenő konvektív mozgások az eredetileg jelenlevő gyenge mágneses teret "összesöprik" vékony erővonal csövekké (fluxuscsővekké), melyekben a térerősség igen jelentős, míg közöttük gyakorlatilag nulla. A jelenséget fluxuskilökésnek vagy fluxusexpulzióknak hívják. Ahogyan a granulák (a felszálló, meleg konvektív elemek) véletlenszerűen keletkeznek és megsemmisülnek, úgy keletkeznek és oszolnak szét a fluxuscsővek is — de bármely adott időpontban a mágneses fluxus zöme csövekbe összpontosul.

Ezt az elméleti várakozást az észlelések (J.O. Stenflo és mások) a 70-es évek közepére erősítették meg. Kitűnt, hogy a fluxus legalább 80%-a valóban vékony függőleges csövekben van jelen, amelyek a felszálló, meleg granulákat elválasztó hidegebb leszálló áramlásban, az ún. intergranuláris hálózatban találhatók (1. ábra). Különösen erősen koncentrálódnak ezenfelül a szupergranulák közötti fotoszferikus hálózatban.

Mielőtt tovább mennénk, nem árt tisztázni: a csövek olyan vékonyak (valószínűleg 100 km körüli átmérőjűek), hogy mai műszereinkkel nem láthatjuk őket. Honnan tudunk akkor róluk? A válasz ugyanaz, mint a csillagok esetében: bár a csillagok mai műszereinkkel általában felbonthatatlanok, mégis sok mindent tudunk légköriük szerkezetéről színeképük alapján. Egyszerűen úgy modellezzük a csillaglégkört, hogy az észlelt spektrumot a lehető legjobban reprodukálni tudjuk. Csakhogy a fluxuscsővek a Nap felszínének kevesebb,

mint 1%-át borítják (úgy szoktuk mondani: a "kitöltési tényezőjük" kisebb, mint 0,01), a Nap színképében tehát elhanyagolható módosulást okoznak. A Nap teljes fényéből azonban mégiscsak kiszűrhető a fluxuscsovek járuléka, ugyanis a mágneses térben kisugárzott fény polarizált. Így részletes spektrometriai és polarizációs mérések alapján a fluxuscsovek szerkezete felderíthető.

Már az első mérések azzal a meglepő eredménnyel jártak, hogy a csövekben a térorosság nagyobb még a fluxusexpulzió alapján vártnál is: 1—2 kilogauss nagyságrendű (azaz közel áll a napfoltokban mért 2—3 kG-hoz). Ennek elméleti magyarázatát a hetvenes évek második felében a konvektív kollapszus mechanizmusában találták meg (E.N. Parker, H.C. Spruit). A konvektív kollapszus lényege a következő. A — kezdetben még gyengébb — mágneses tér a csőben gátolja a konvekciót, tehát a csőben levő anyag energiautánpótlás híján hűlni kezd. A csökkenő hőmérséklet, valamint a környezeténél hidegebb anyag leszálló mozgása miatt csökkenő sűrűség a nyomást is csökkenti, így a külső nyomás a csövet összepréseli, miáltal a tér felerősödik. A konvekció gátlása és a leáramlás fokozódik, ami további összepréselődéshez vezet, egészen addig, amíg a mágneses tér energiasűrűsége (kb. 1500 gauss térorosságnál) el nem éri a külső gáz termikus energiasűrűségét (úgy is szokás mondani, a mágneses nyomás eléri a külső gáznyomást). Ekkor a külső nyomás nem tudja tovább összepréselni a csövet, és stabilizálódik a kilogauss nagyságrendű térorosság. A csőben a sűrűség igen alacsony marad. A kis sűrűség miatt a csövekben mélyebbre lelátunk, mint rajtuk kívül, ezért a vékony fluxuscsovek általában fényesebbek környezetüknél (a mélyebb rétegek forróbbak). A vastagabb csövek belseje hidegebb (kevésbé "szűrődik be" a külső hő), így ezek a fotoszférában sötétebbek környezetüknél (pl. napfoltok).

A kis fluxuscsovek valóban észlelhetők az intergranuláris hálózatban kis fényes pontok, az ún. filigré alakjában. A filigré lehet egy vagy több fluxuscso. (Ne feledjük, hogy a csövek nem bonthatók fel.) A vizsgálatok azt mutatják, hogy a csöveken belül a térorosság vízszintes irányban kb. konstans, és csőről csőre is kevésbé változik. A Nap nyugodt és erősebb mágneses terű aktív vidékei között a fő különbség tehát a kitöltési tényezőben van: az aktív régiókban a csövek egyszerűen "sűrűbben vannak", de nagyjából ugyanolyanok. A sűrűn egymás mellett elhelyezkedő csövek az aktív régiókban a filigrénél nagyobb fényes pontokat alkotnak. Ezek a nagyobb, könnyebben felbontható pontok viszont már régóta jólismert alakzatok építőkövei: a napfáklyákról van szó, amelyekről jól tudjuk, hogy "füzérszerű" szerkezetet mutatnak, kisebb, ún. fáklyapontok konglomerációjából állnak. Mintha homályos üvegen át néznénk egy hangyabolyt: bár az egyes hangyákat nem tudjuk kivenni, a feketeség eloszlása a boly helyét jól mutatja.

## Érdeemes pizsmogni

Az eddig elmondott, évtizedes eredmények nem számítanak igazi újdonságnak, mint ahogy az a szintén a hetvenes évekből eredő felismerés sem, hogy a granuláció valódi jellemző mérete is műszereink szögfelbontása alatt van, tehát az általunk látott granulák csak a legnagyobbak, illetve több kisebb granulára felbontatlan együttesei. Alapvető változás várható e téren az ezredfordulóig, a készülő új műszerek ugyanis várhatóan a jelenlegi 1"-ről (kb. 700 km-ről) 0,1"-re (70 km-re) szorítják le a felbontási határt, így a granulák és vékony fluxuscsovek közvetlenül észlelhetővé válnak.

Azt várnánk tehát, hogy a hetvenes évek alapvető eredményei és a jövő évtized remélt frontáttörése között napjainkban visszafogottabb lehet az érdeklődés a kis léptékű viselkedés iránt. A valóságban viszont az érdeklődés

dés fellángolása tapasztalható az utóbbi években: kutatók százai vizsgálják világszerte a granuláció tulajdonságait, a granulák méretének és élet-tartamának eloszlását, fényességkontrasztjukat, sebességviszonyaikat, a granuláció jellemzőinek hely- és időfüggését, egyre részletesebben modellezzik a granulációs mozgást, a fluxuscsovek keletkezését és szerkezetét, mérik a filigré tulajdonságait, vizsgálják a mágneses elemek mozgását. Első pillantásra az ilyen aprólékos, a részletekben elmerülő, rendszerezgető kutatómunka anolyan a tudomány hátszágában szokásos (persze szintén igen fontos) pepecselésnek tűnhet, a homályban maradt részletek csiszolgatásának. Mi indokolja mégis, hogy ez a fajta munka a napfizikai kutatás front-vonalába került?

Elsőször is: e vizsgálatoknak a napfizikán messze túlmutató, általános asztrofizikai jelentősége van. A Nap közelsége folytán tűrhetően felbontható granulációs mozgás a konvekcióelmélet legfőbb próbaköve. A jó konvekció-elmélet pedig a csillagszerkezet és csillagfejlődés helyes modellezésének alfája és omegája, és ezen keresztül az egész Univerzum evolúcióját illető elképzeléseinkre is kihat. A csillagok mágneses aktivitásáról és ezzel összefüggő rotációjáról is egyre világosabbá válik, hogy ezek a "nulladik közelítésben" mellőzött tulajdonságok bizonyos körülmények között alapvető jelentőségűek lehetnek a csillagokban. A Nap esetére kidolgozott vizsgálati eljárások — mutat a felbontástól jórészt függetlenek — a csillagokra is alkalmazhatók, és alkalmazásuk során máris kiderült, hogy a készí típusú csillagok sokban hasonlítanak Napunkra: a mágneses fluxus csövekbe koncentráltan van jelen, melyek térerősségét (a konvektív kollapszus eredményeképpen) a fotoszferikus nyomás határozza meg; az általános térerősség tehát itt is a kitöltési faktortól függ. Feltételezhető, hogy sok más, csak a Napnál vizsgálható részlet is átvihető a hasonló csillagok esetére is.

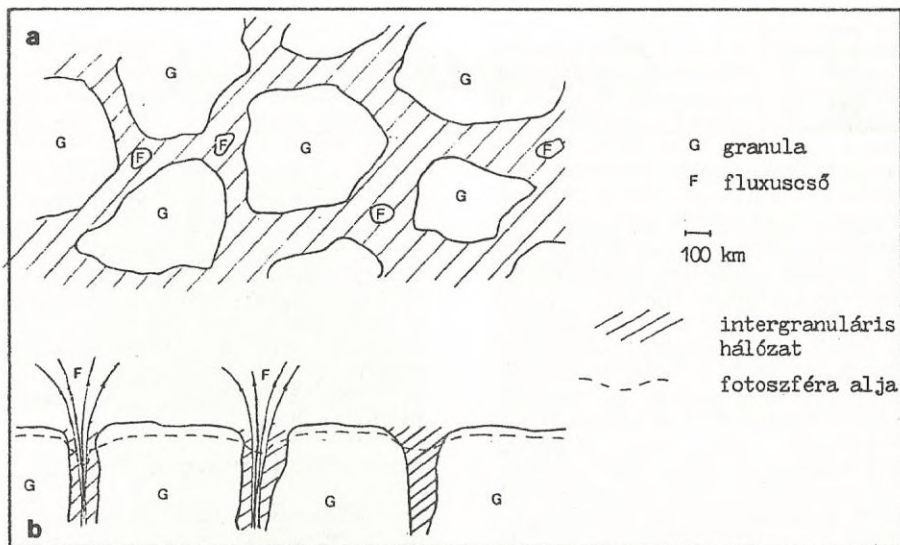
Másodszor: a Nap felületén a mágneses fluxus 99%-a a legvékonyabb csövek formájában jelenik meg; a legnagyobb csövek, melyeket a napfoltok alakjában észlelünk, csak a "jéghegy csúcsát" jelentik. A fluxus a konvektív zóna mélyéről érkezik, felszálló erővonalkötegekben, melyek feltörésének és a fluxus későbbi eltűnésének részletei tisztázatlanok — éppen mivel minden a kis léptékeken megy végbe. A fluxus feltörése és eltűnése, a csövek topológiájának változásai pedig a naptevékenység 11 éves ciklusának, a Nap-dinamó működésének megértése szempontjából kulcsfontosságú kérdések.

Végül, de nem utolsósorban: a fluxuscsovekkel kapcsolatos fényes pontok (filigré, fáklyák) a Nap luminozitásának nyhe növekedését eredményezik erősebb naptevékenység (= erősebb átlagos mágneses tér) idején. Ez a növekedés kb. kétszerese a napfoltok számának gyarapodása miatti csökkenésnek, ezért a napállandó (a Földet érő napsugárzás erőssége) a 11 éves napciklus során — és valószínűleg hosszabb időskálán is — néhány ezrelékkel ingadozik. Ennek földi életünk szempontjából természetesen komoly jelentősége van. (A napállandó változásában más okok is közrejátszhatnak.)

### Látott már Ön vékony fluxuscsovet?

Azt jelenti-e vajon a kis léptékek kutatásának előtérbe kerülése, hogy a kis felbontású műszerekkel rendelkező amatőrök számára a napfizikában nem maradt feladat? Semmiképpen.

Azon túlmenően, hogy a napfizikában végső soron minden mindennel összefügg, és a hagyományosabb területek, pl. foltmozgások vizsgálata, továbbra is igen fontosak, az amatőrök részt vállalhatnak a legkisebb, felbonthatatlan részletek kutatásában is, a fáklyaészleléseken keresztül.



1. ábra. A Nap felszínének szerkezete a 100 km-es léptékeken:  
 (a) felülnézet, (b) átmetszet

A napfizikusok ma rövidlátó entomológusok közösségéhez hasonlítanak, akik a hangyák életét tanulmányozzák. Hangyát életükben nem láttak: közülük a legélesebb szeműek is csak 3-4 szorosan egymás mellett álló hangyát képesek észrevenni. Mégis, a hangyák bolybeli eloszlását vizsgálgatva értékes információkra tehetnek szert a hangyatársadalom életére vonatkozóan. Világos, hogy ilyen szellemben a legvaksibb entomológusok is értékesen hozzájárulhatnak a munkához.

A rendszeres, igényes fáklyaészlelés természetesen csak tapasztalt, jól felszerelt amatőrnek való feladat. Hasznos, ha legalább 10 cm-es távcső van hozzá, nélkülözhetetlen a megfelelő szűrő. Gazdagabb országokban az amatőrök a hagyományos okulárszűrők helyett szinte kizárólag az objektív elé helyezett ún. apertúra-szűrőket használnak, amelyek az észlelő szemén kívül a távcsövet is védik a túlzott felmelegedéstől (a forró tubusban keletkező légörvények a képminőséget erősen lerontják). A szűrők mérettől és minőségtől függően 20 és 200 dollár közötti árban kaphatók a nagy optikai cégek-nél. Még jobb, persze drágább is, a H-alfa szűrő. Az észlelés fotografikusan történik. A fáklyaészlelések terén, ezen a hagyományos napobszervatóriumok által sajnálatosan elhanyagolt területen szorgalmas, jól felszerelt amatőrök igen fontos munkát végezhetnek.

Persze ha nem kívánunk ilyen nagylélegzetű munkába kezdeni, akkor is érdemes néha távcsövünket a Nap felé fordítva, hagyományos okulárszűrőn át a fáklyákban gyönyörködni. (Mindig kettős szűrőt használjunk!) A fáklyák a perem táján láthatók legjobban, most, napmaximum idején igen gyakran és nagy számban. Szerencsés esetben eloszlásukban felismerhetjük a fotoszferikus hálózat mintázatát, azaz a szupergranulációs cellák határát. A szép látványon túl izgalmassá teheti a fáklyaészlelést az is, hogy tudjuk: a távcsövünk felbontóképességénél vagy százszor kisebb mágneses fluxuscsővek válnak így láthatóvá számunkra.