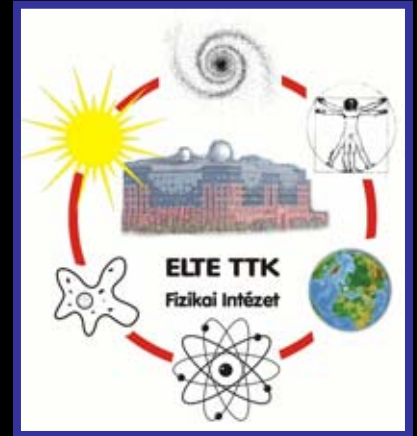


Az atomoktól a csillagokig

Előadássorozat az ELTE Természettudományi Kar Fizika Intézetében

ÉLTETŐ CSILLAGUNK: A NAP



Forgácsné dr. Dajka Emese

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Földrajz és Földtudományi Intézet

Csillagászati Tanszék



Éltető csillagunk – a Nap



"... a Nap negyedik planéta, fél szerint meleg és száraz, patrónusa a gazdának, külső ékességnek, értelemnek és tisztaságnak. A sárga színt kedveli és pokár ízt. Vasárnapnak és szerdai éjnek planétája, mely a negyedik égen forog. Azért mondatik Solnak deákul, és Napnak magyarul, hogy az ő fényével meghaladja a többi csillagokat mind, avagy hogy ő egyedül világosít meg mindent, a mi e földön van. A Nap mindennap előmegy, a többi csillagok pedig mind hátrább mennek; A Nap gömbölyü és tüzes természetü, nyolczszor annyi, mint a föld."

(Idézet a *Csízio vagyis a csillagászati tudománynak rövid és értelmes leírása* című könyvből - XVI. század)



Az előadás vázlatja



- **Miért is tanulmányozzuk a napot? – Kérdések és válaszok**
- **Jelenségek a Napon**
- **A Nap felépítése**
- **A jelenségek háttere**

Az előadás vázlatja



- **Miért is tanulmányozzuk a napot? – Kérdések és válaszok**
- Jelenségek a Napon
- A Nap felépítése
- A jelenségek háttere

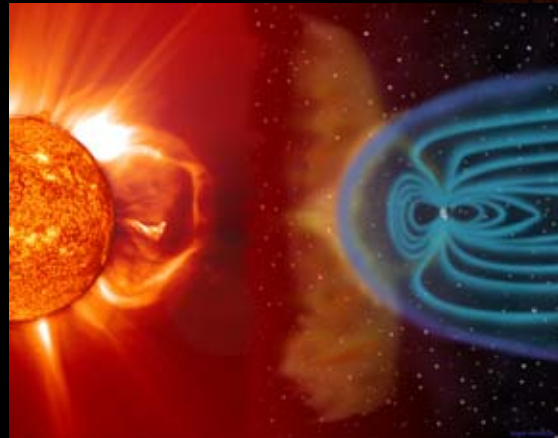
Miért is tanulmányozzuk a Napot?



- a Nap és a földi éghajlat kapcsolata



- űridőjárás



- Napunk, mint csillag

- legnagyobb fizikai laboratóriumunk a Nap



Miért is tanulmányozzuk a Napot?



A Nap és a Föld éghajlatának kapcsolata:

A földi élet számára döntő fontosságú, hogy a Nap sugárzása nagyjából állandó, hiszen viszonylag kis változásai is beláthatatlan következményekkel járnának. Ezért is fontos tanulmányoznunk, hogyan működik, milyen változások figyelhetők meg rajta, ezen változásoknak mi az oka, valamint ezek összességében milyen hatással vannak a földi életre.

Dendrokronológia

Mit mesélnek nekünk a fák?
Az évgűrűk rejtette végtelen történetek

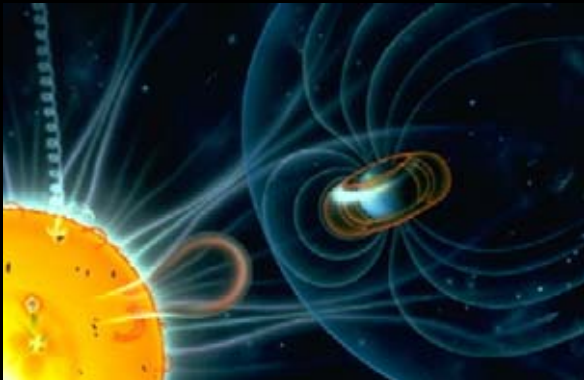


Miért is tanulmányozzuk a Napot?



Űridőjárás

Még a nyugodt Nap esetén is kibocsátott töltéssel rendelkező részecskékből álló folyamatos "szél" fúj a Napból, melyet természetesen megzavarnak a Nap aktivitási jelenségei.



Miért is tanulmányozzuk a Napot?



Napunk, mint egy csillag

Naprendszerünk központi égiteste sok szempontból kitüntetett fontosságú. Ugyan a csillagászat szempontjából a Nap egy közönséges csillag, semmilyen fizikai tulajdonsága nem emeli ki a többi csillag közül, egy szempontból azonban igen különleges: viszonylagos közelsége miatt az egyetlen csillag, melynek felületén apróbb részleteket is megfigyelhetünk, illetve kisebb változásokat is nyomon követhetünk. Ezért az elméleti csillagmodellek fő próbája a Nap, mert ha a modell a Napot helyesen írja le, akkor nagy valószínűséggel alkalmazható más csillagokra is.



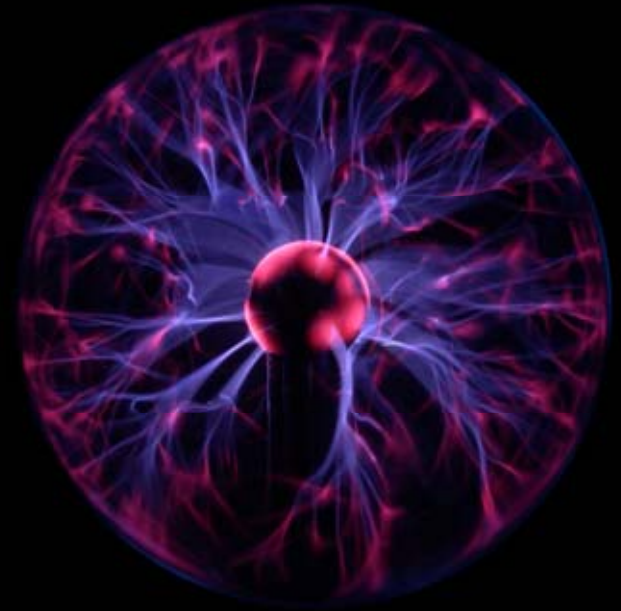
Miért is tanulmányozzuk a Napot?



Legnagyobb fizikai laboratóriumunk a Nap

Az Univerzum látható anyagának zöme többé-kevésbé **ionizált gáz**, azaz plazma alakjában van jelen, melyben belső áramlások folynak. A **plazma** áramlása során a benne levő szabad töltések mozgása elektromos áramot jelent, ez viszont mágneses teret kelt. A mágneses tér viszont visszahat a töltések mozgására, vagyis a közeg áramlására.

A mágneses tér és az áramló vezető közegek kölcsönhatását a magneto-hidrodinamika (elterjedt rövidítéssel: MHD) vizsgálja.



Miért is tanulmányozzuk a Napot?

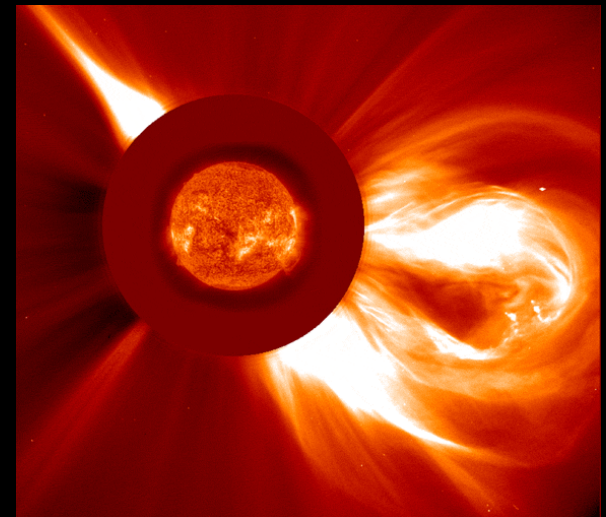
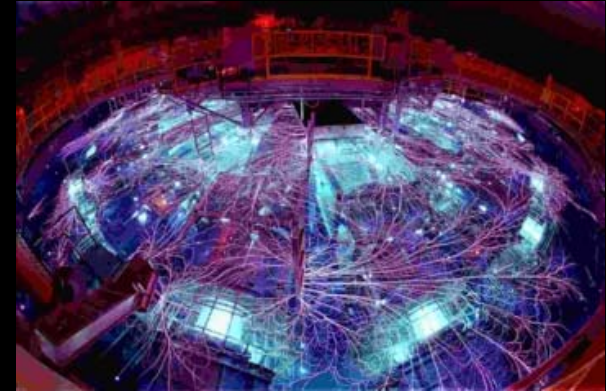


Legnagyobb MHD laboratóriumunk: a Nap

A csillagok forró anyagában zajló mozgások az MHD fontos alkalmazási területét jelentik. Az ott uralkodó extrém fizikai viszonyok laboratóriumainkban jórészt elérhetetlenek, s a folyamatok pusztán léptéke is utánózhatatlan földi körülmények között.

A legtöbb csillag túlságosan messze van ahhoz, hogy a benne zajló folyamatokat teljes részletességgel megfigyelhessük.

De szerencsénkre található egy csillag tőlünk alig karnyújtásnyi távolságra is: ez a Nap.



Az előadás vázlatja



- Miért is tanulmányozzuk a napot? – Kérdések és válaszok
- **Jelenségek a Napon**
- A Nap felépítése
- A jelenségek háttere

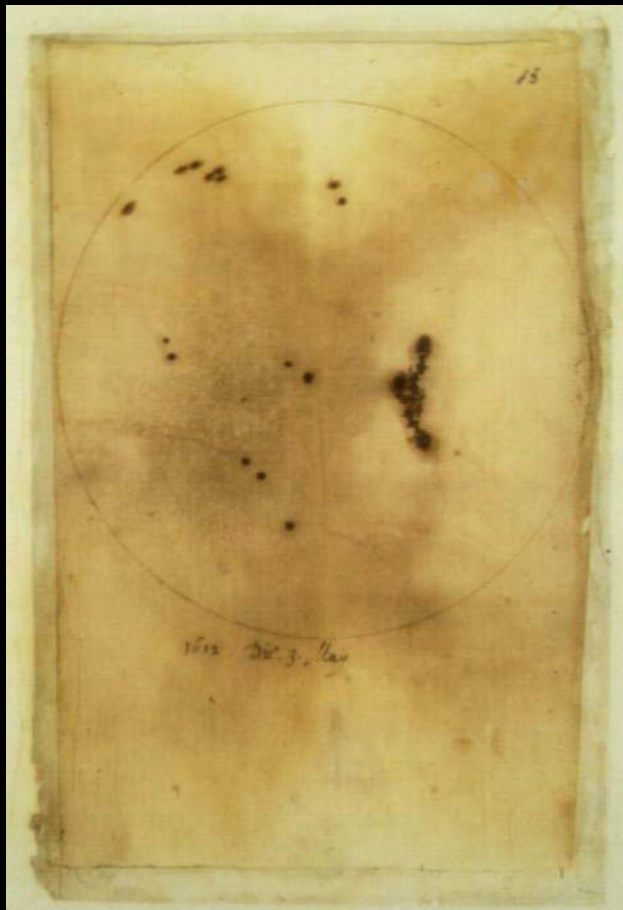
Jelenségek a Napon - napfoltok



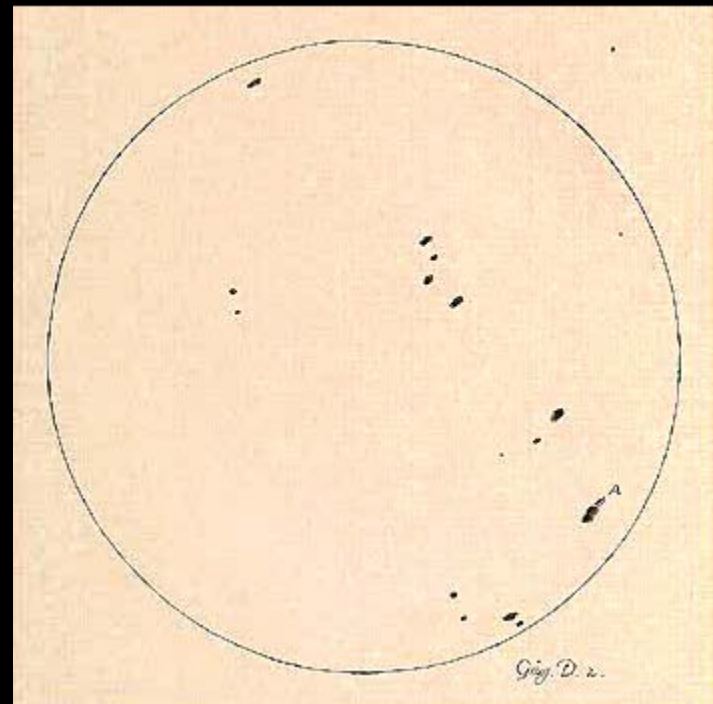
Napfoltok:

- az **első feljegyzések** a Napon látott sötét foltokról **az i.e. IV. századból származnak** (Theophrastos)
- Európában nagyon kevés távcső előtti napfoltmegfigyelés maradt fent, viszont keleten, **Kínában, Koreában, Japánban** szerencsére jóval **rendszeresebb feljegyzéseket találunk**
- Európában az első napfoltmegfigyelések a távcső csillagászati alkalmazásának kezdetén, az **1610-es évek elején** történtek: többen is írnak a Napon látható sötét területekről, közülük **Galilei** volt az, aki megfigyelései alapján **bebizonyította, hogy a foltok valóban a Nap felületén találhatók**, és vele együtt forognak, nem pedig előtte elvonuló apró bolygók

Jelenségek a Napon - napfoltok

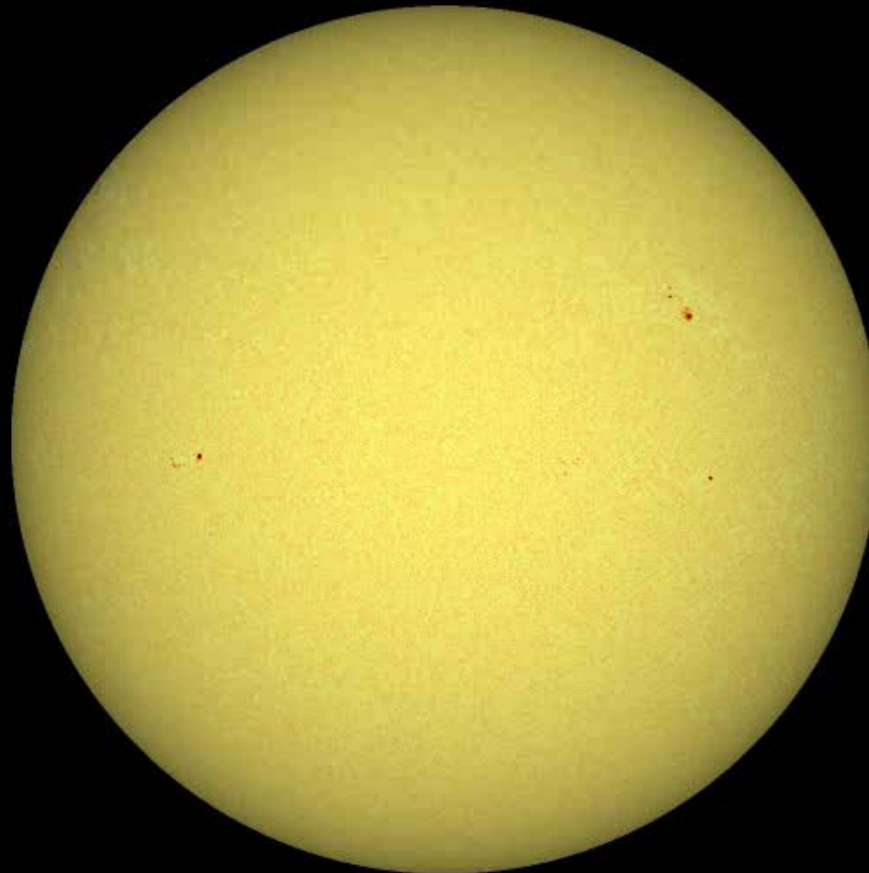


Galileo Galilei, Napfolt-észlelés
1612. május 3.



Galileo Galilei napfolt-észleléseiből
készült animáció

Jelenségek a Napon - napfoltok

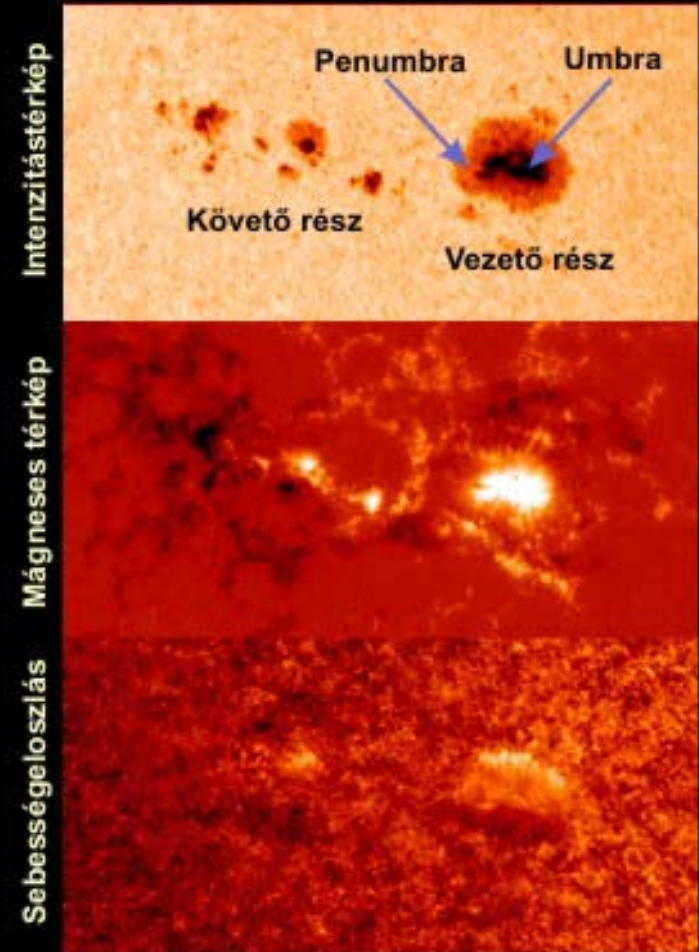


2001-ben észlelt napfoltokból készült videó (MDI/Tom Bridgman)

Jelenségek a Napon - napfoltok



- a napfoltok tanulmányozásában új korszakot jelentett Hale, a Mt. Wilson-i obszervatórium alapítójának új, általa konstruált műszere, mellyel a napfoltok több, alapvető fizikai jellemzőjét sikerült meghatározni
- Hale kimutatta, hogy a napfoltokban erős mágneses tér található
- a napfoltok a fotoszférában úszó mágneses tér-koncentrációk, és emiatt látjuk a napfoltokat sötétnek a melegebb fotoszférában



A képen egy napfoltcsoport látható több aspektusból.

Jelenségek a Napon - napfoltok



Animáció egy feltörő mágneses fluxushurokról, melyből a Nap felszínén egy napfolt alakul ki. Az animáció vége felé látható, hogy a mágneses hurokban átkötődés történik, amely kitöréshez vezethet. (SOHO/ESA/NASA)

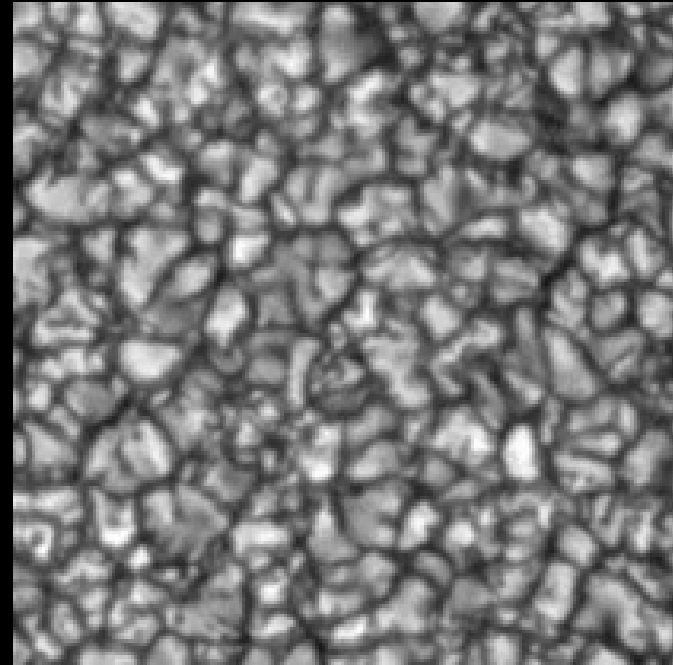
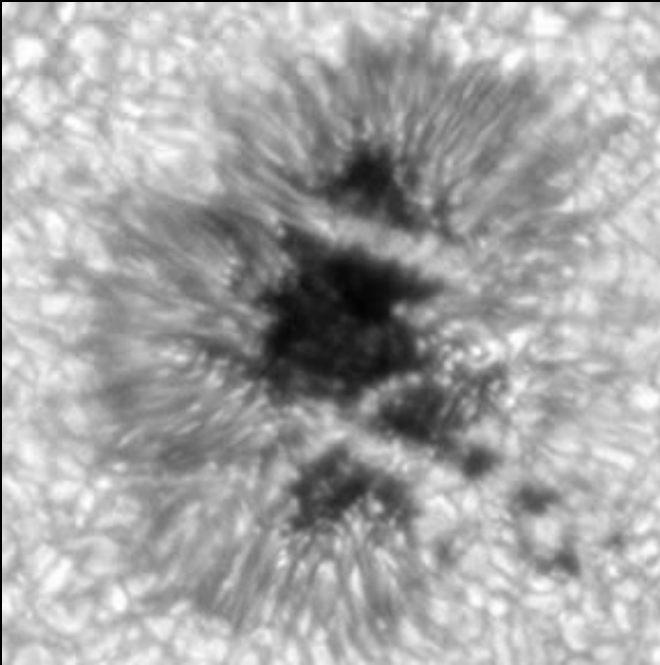
Jelenségek a Napon - granuláció



Granuláció:

- a zavartalan fotoszférában jól látható **a felszín alatti áramlások következményeként a granulációs szerkezet**
- az egyes granulák **látszó mérete 1"-2" körül van (kb. 700-1500 km)**, ez a távcsöveknek a földi légkör turbulens mozgásai által meghatározott felbontóképességéhez hasonló nagyságú
- nagy felbontású fotoszféraképeket, amelyeken az apróbb részletek is láthatóak, csak magas hegyekre telepített, vagy léggömbön magasba felbocsátott távcsövekkel lehet készíteni, továbbá űreszközökről
- a nagy felbontású fotoszféraképek alapján **a granulák átlagos élettartamára a 10-20 perc körüli érték jellemző, míg az áramló plazma sebessége kb. 7 km/s**, mely jóval magasabb, mint a szuperszonikus sebesség

Jelenségek a Napon - granuláció



A svéd Vacuum Solar Telescope teleszkóppal készített videó egy napfoltról, és a granulák mozgásáról.

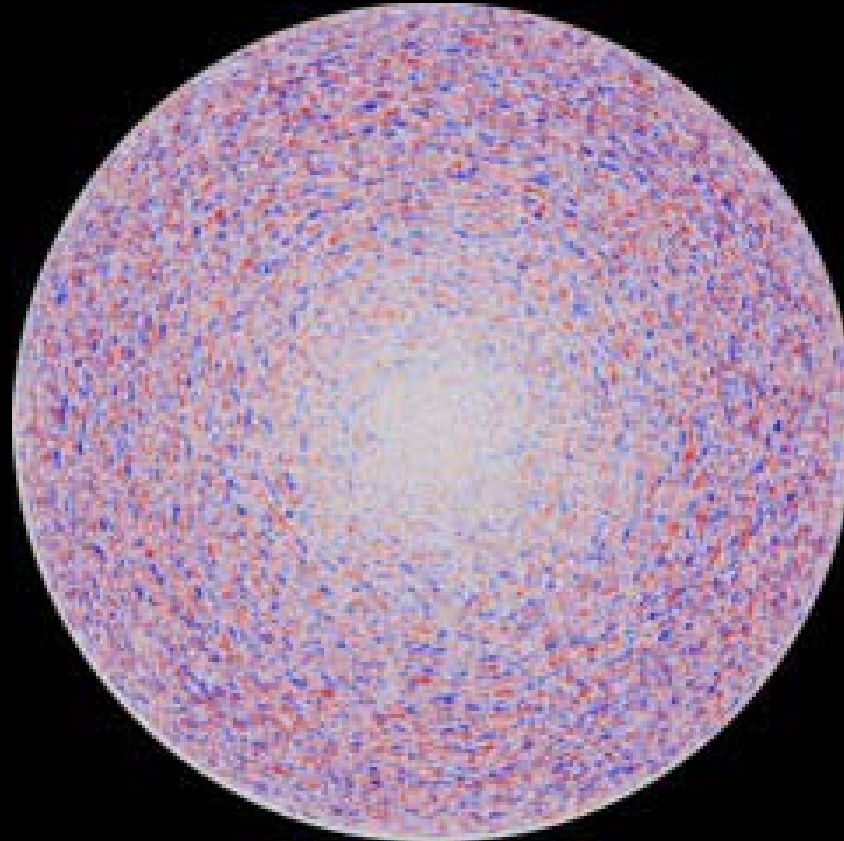
Jelenségek a Napon - szupergranuláció



Szupergranuláció:

- a konvekciós mozgások útján felszínre törő konvekciós celláknak több jellemző mérete ismert: granulák (kb. 700-1500 km), **szupergranulák (30000 km átmérőjű konvektív cellák)**
- míg a granuláció szemcsés szerkezete megfelelő nagyítású távcsővel rögtön szembetűnő, addig **a szupergranuláció csak egyes jelenségekben, mint például a vízszintes sebességeloszlásban mutatkozik**
- a sebességeloszlás meghatározásából jól látható, hogy **vannak a napkorongon olyan területek, melyek felénk közelednek** (az onnan érkező fény hullámhossza a kék színek tartomány felé tolódik el), míg vannak, **melyek távolodnak tőlünk** (ezen területekről érkező fény hullámhossza a vörös felé tolódik)
- a szupergranulák **átlagos élettartama 1-2 nap**, bennük az áramlás sebessége kb. 0,5 km/s.

Jelenségek a Napon - szupergranuláció



A vízszintes sebességeloszlásban megfigyelhető szupergranulációs szerkezet. (SOHO/MDI)

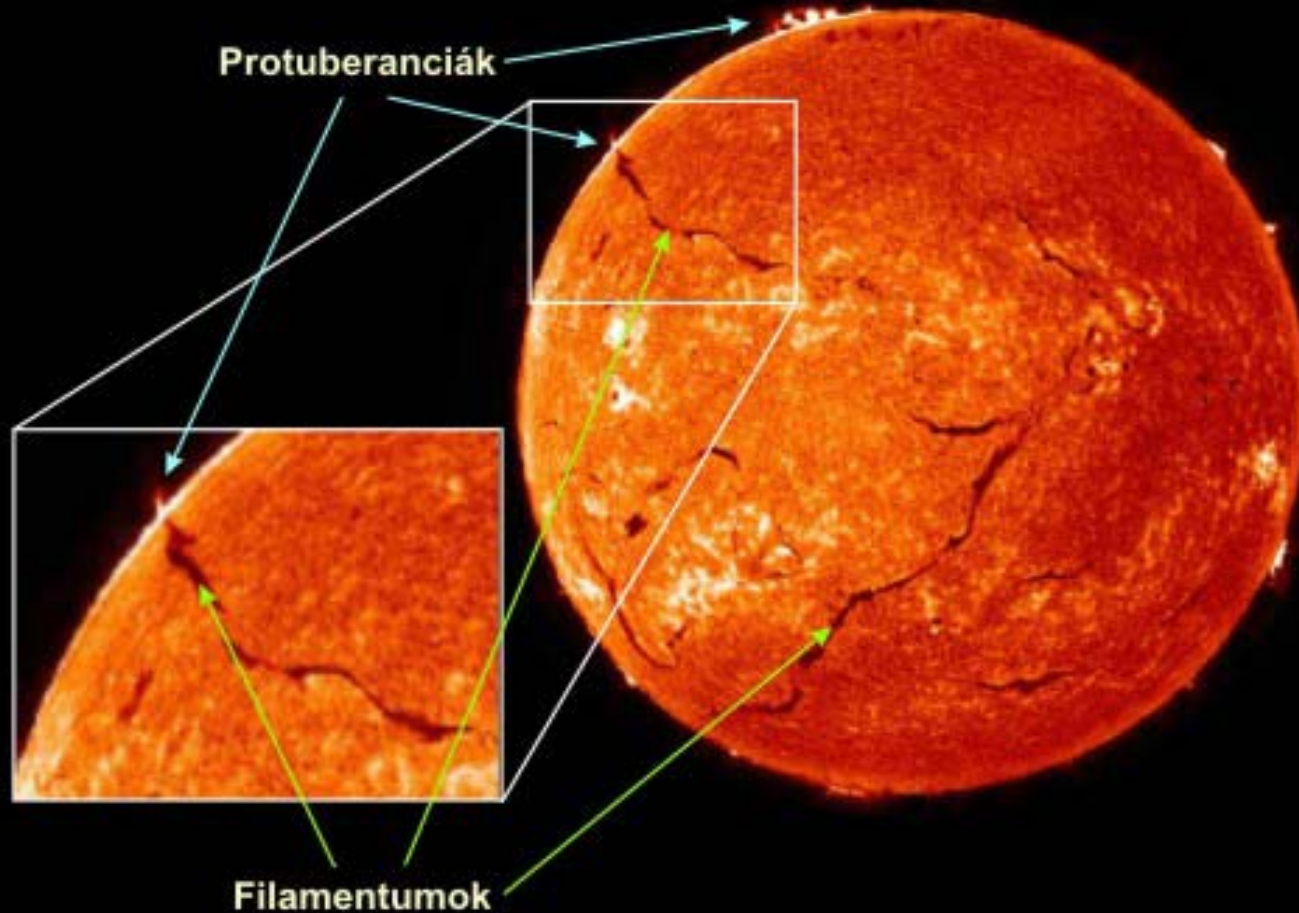
Jelenségek a Napon - protuberanciák



Protuberancák és Filamentumok:

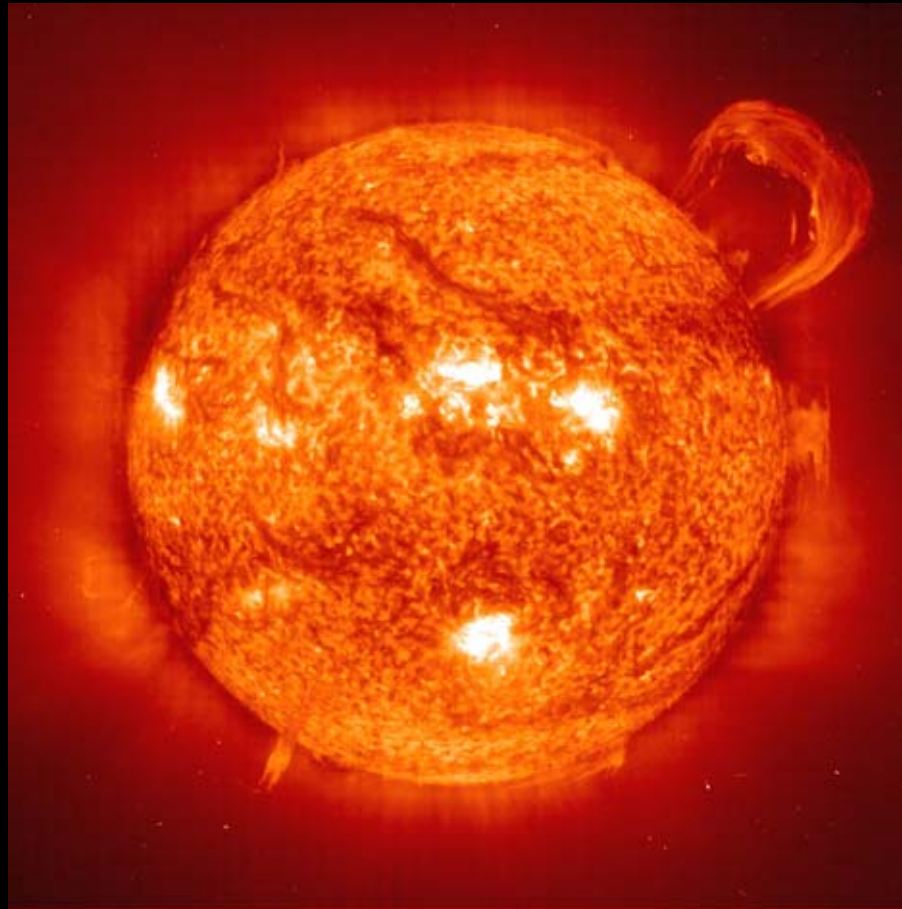
- a napkitörésekkel némileg rokonságban vannak, de nem tévesztendő össze velük
- a Napról készült képeken a hidrogén élénkvörös emissziós vonala (H_{α} vonal) nem szűnik meg a napkorong szélénél, hanem **fényes vonalként helyenként és időnként a napkorongtól kisebb-nagyobb távolságban is megfigyelhető**, melyet **protuberanciáknak** neveznek
- a technika fejlődésével nemcsak a napkorong peremén túl, hanem magán a korongon is lehetett látni, csak a fényes háttéren mint sötét, fonálszerű képződmények jelentkeztek, melyet **filamentumoknak** neveznek
- tehát **a filamentum és a protuberancia egy és ugyanazon képződmény a Napon**
- a protuberanciák a Nap anyagának, pontosabban a kromoszférának a felszín felett lebegő darabjai

Jelenségek a Napon - protuberanciák



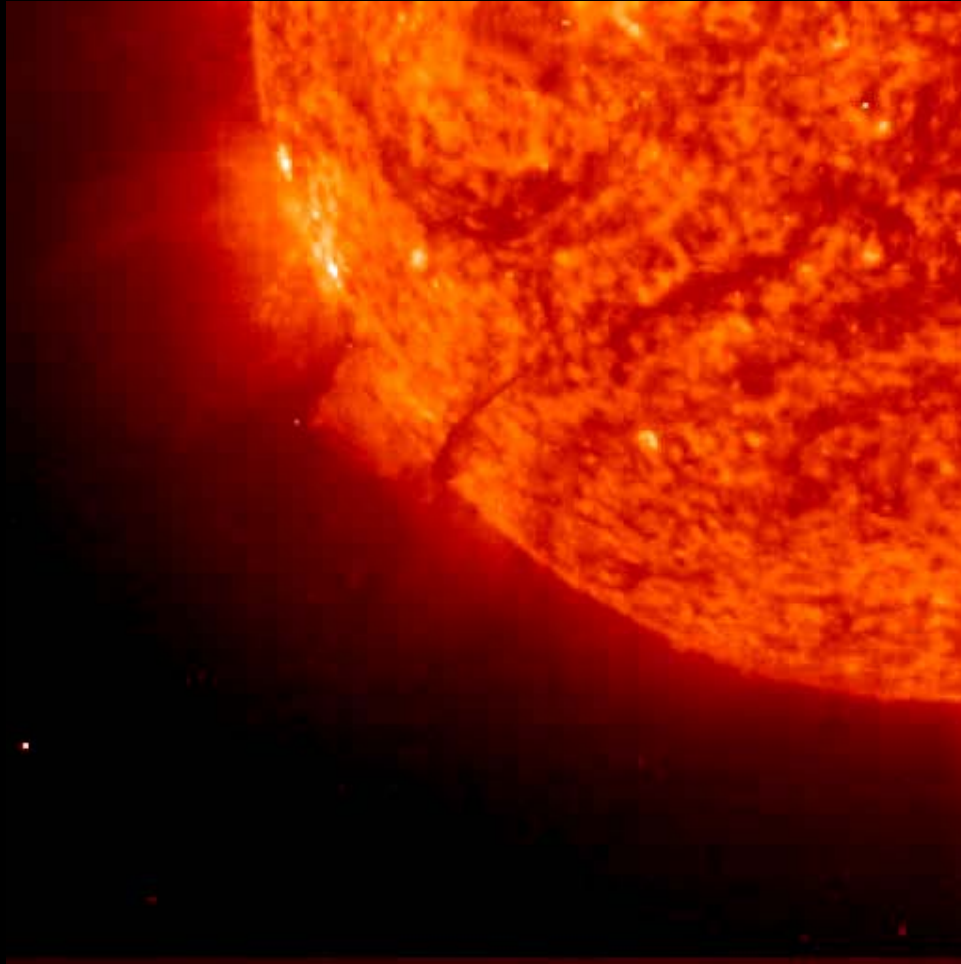
A képen a napkorongon, illetve a napkorong szélén megfigyelhető filamentumok, illetve protuberanciák láthatók.

Jelenségek a Napon - protuberanciák



A napkorong szélén megfigyelhető hatalmas protuberancia. (SOHO/ESA/NASA)

Jelenségek a Napon - protuberanciák



Eruptív protuberancia (SOHO/ESA/NASA)

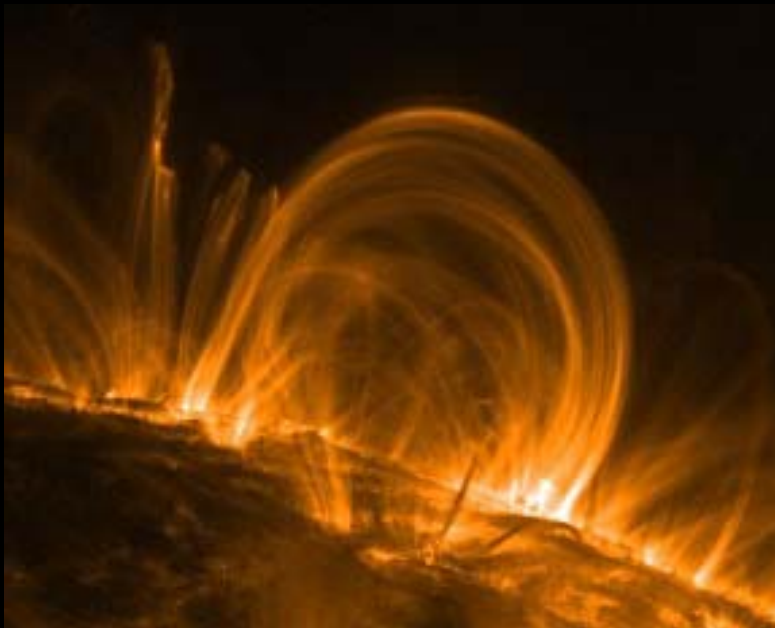
Jelenségek a Napon - koronahurkok



Koronahurkok:

- koronahurkokat az aktív területek környezetében találunk, ezen alakzatok kialakulásában a zárt mágneses tér játszik szerepet
- a koronahurkok az aktív vidékekből a koronába felnyúló ívek, melyek lábai a viszonylag "hidegebb" rétegekben, a fotoszférához közel figyelhetők meg
- a koronahurkok néhány napig vagy hétig élnek, de ezalatt nagyon gyorsan változnak
- a napkitörések közelében található koronahurkok természetesen jóval rövidebb ideig figyelhetők meg a napkorongon

Jelenségek a Napon - koronahurkok



A mozgó képen egy aktív vidék felett elhelyezkedő koronahurkot figyelhetünk meg. (SOHO/ESA/NASA)

Jelenségek a Napon - napkorona

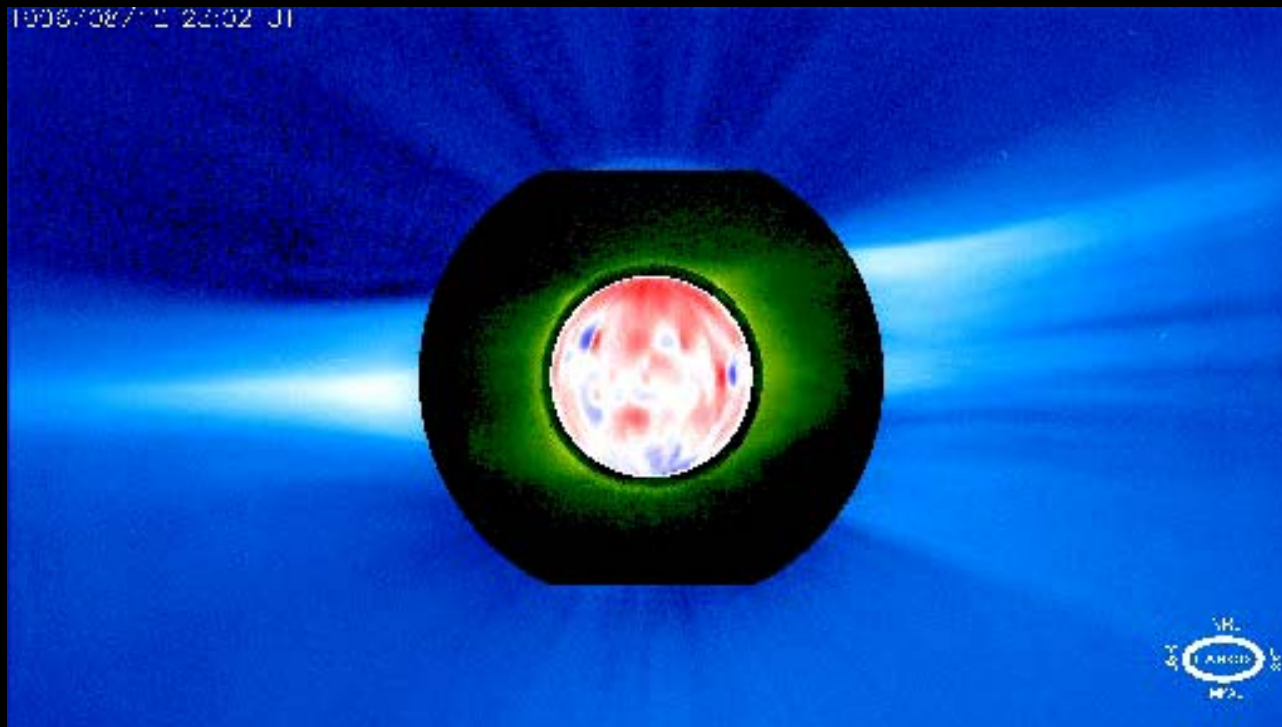


Napkorona:

- a teljes napfogyatkozások alkalmával figyelhető meg, amikor láthatóvá válik a napkorona gyöngyházfényben világító rétege
- ez a szigorú értelemben vett **naplégkör legkülső része**, mely folyamatosan megy át a napszélbe és a bolygóközi térbe
- az utóbbi évtizedekben két új lehetőség is nyílt a napkorona fogyatkozásokon kívüli megfigyelésére: a **koronográf** és a Föld légkörén kívüli **űreszközökről** történő megfigyelések
- a napkorona fényének tanulmányozásából kiderült, hogy **hőmérséklete igen magas, millió fokok**



Jelenségek a Napon - napkorona



A napkorongon mért fotoszférikus mágneses tér (Wilcox Solar Observatory). A korona alsó részeiről készült felvételek a Fe XIV vonala segítségével készültek, míg a korona külső részeiről fehér fényben készült megfigyelés. (1996. augusztus 13.-szeptember 8. SOHO/ESA/NASA)

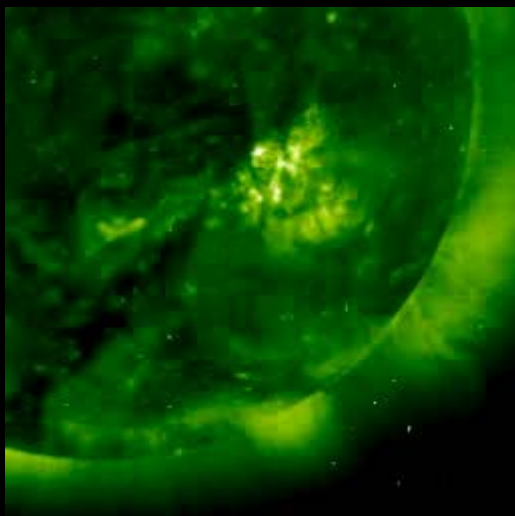
Jelenségek a Napon - napkitörések



Napkitörések (Flerek)

- míg a napfoltokat már több ezer éve ismeri az emberiség, addig az **első napkitörést** csak a **XIX. század közepén** figyelte meg **Carrington** angol csillagász
- a "különös jelenséget" leírva Carrington azt is megemlítette, hogy utána kb. fél napra **sarki fény** volt megfigyelhető
- a flerek igen látványos jelenségek, melyek során rövid idő - maximum egy-másfél óra - alatt **igen nagy energia szabadul fel**; a legnagyobb napkitörések közben egy-két óra alatt akár 10^{20} J energia is felszabadulhat
- flerek **csakis aktív vidékek fölött jelennek meg**, ezért a flerek és a mágneses terek kapcsolata szembeötlő

Jelenségek a Napon - napkitörések



BBSO, H-ALPHA

2002JUL22 20:42:45

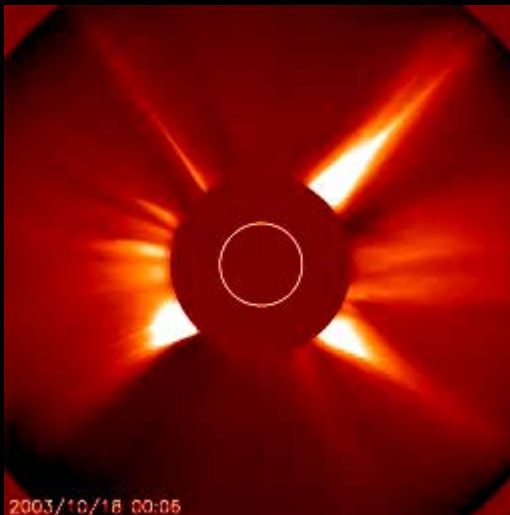
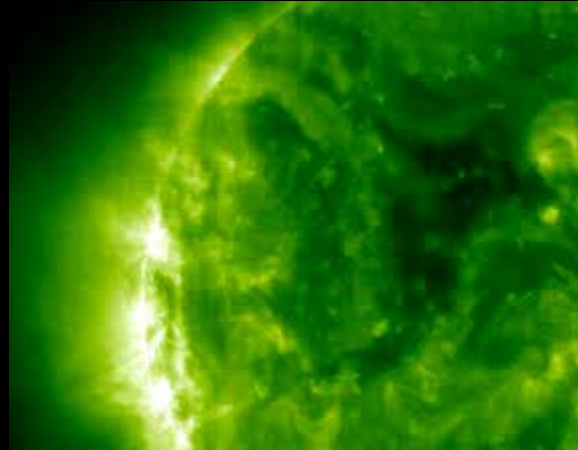
Jelenségek a Napon – CME-k



CME-k (Coronal Mass Ejection)

- a **flerek látványos kísérőjelensége lehet a CME** - Coronal Mass Ejection, magyarul korona-anyagkidobódás, régebbi nevén koronatranziens
- a flerek folyamán végbement erővonal-átrendeződésnek olyan következménye is lehet, hogy az **aktív vidék fölötti mágneses fluxuskötegek elszakadnak a felszínhez közeli részeiktől és szabaddá válva óriásira (a napátmérő sokszorosára) fúvódnak fel** majd nagy sebességgel eltávoznak a Naptól
- a CME-k **a naprendszer legnagyobb összefüggő alakzatainak** tekinthetők
- egy átlagos CME-vel kidobott anyag tömege kb. egymilliárd tonna lehet (a nyugodt Nap ennyit bocsát ki a napszél révén kb. negyedóra alatt), sebessége 20 km/s-től 1200 km/s-ig terjedhet

Jelenségek a Napon – CME-k



2003. október 17. – november 7. (SOHO/ESA/NASA)

Jelenségek a Napon - szabályszerűségek



A szabályszerűségek a Napon megfigyelt jelenségekben:

A napfoltok számának jellemzésére R. **Wolf** 1848-ban bevezette a **napfolt-relatívszámot**, és gondosan feldolgozva a Galilei és Scheiner óta végzett összes napmegfigyelést, 1700-ig vissza tudta követni a napfoltciklust, megállapítva annak pontosabb időtartamát, a **11,1 évet**.

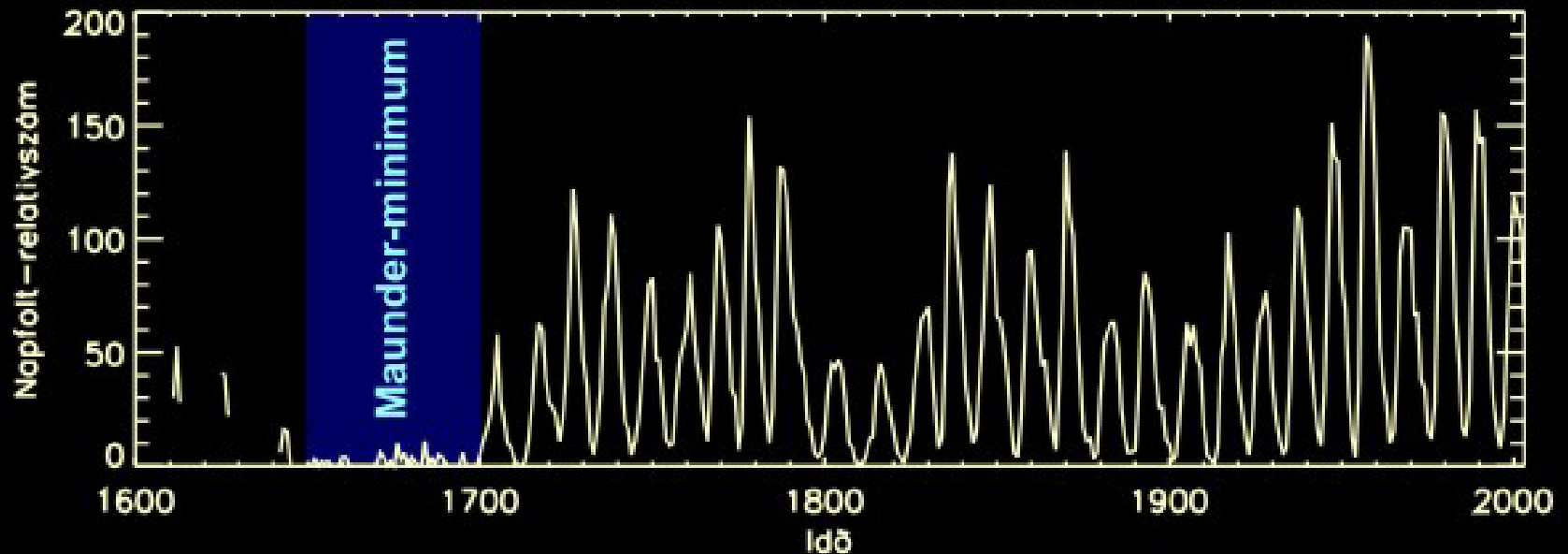
▪ Napfoltciklus jellemzői:

- a maximumok magassága és a ciklus tartama erősen változó
- a minimumtól a maximumig gyorsabb az emelkedés, többnyire 3-4 év körüli, míg a csökkenés lassúbb
- ha ábrázoljuk a napfoltcsoportok szélesség szerinti eloszlását, akkor kapjuk az ún. pillangódiagramot.

Jelenségek a Napon - szabályszerűségek



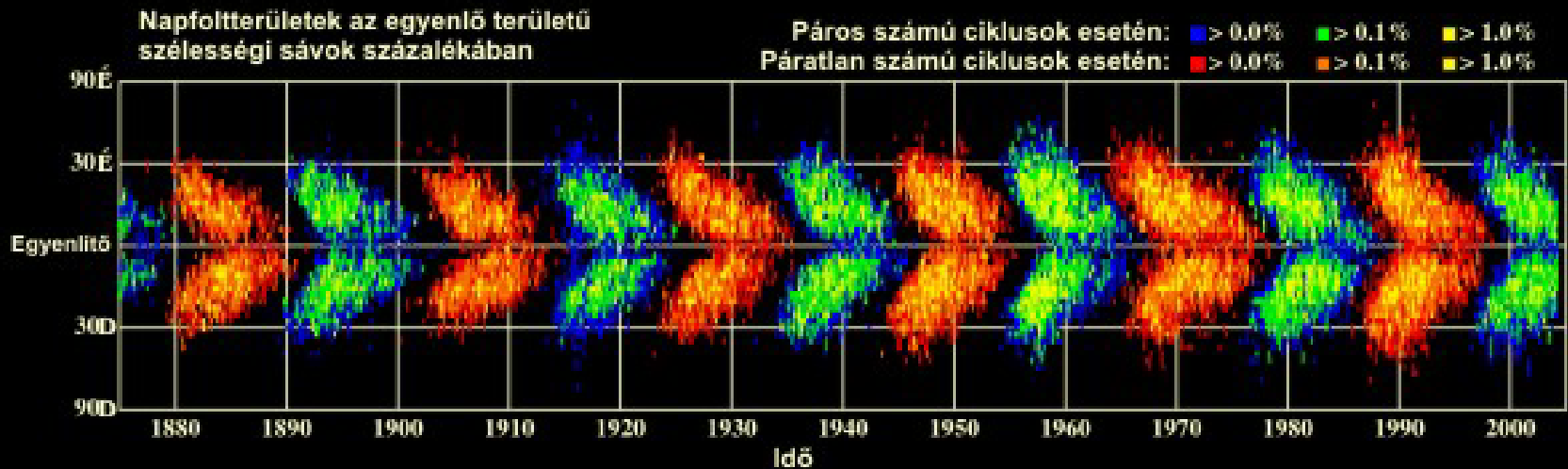
Napfoltciklus:



Jelenségek a Napon - szabályszerűségek



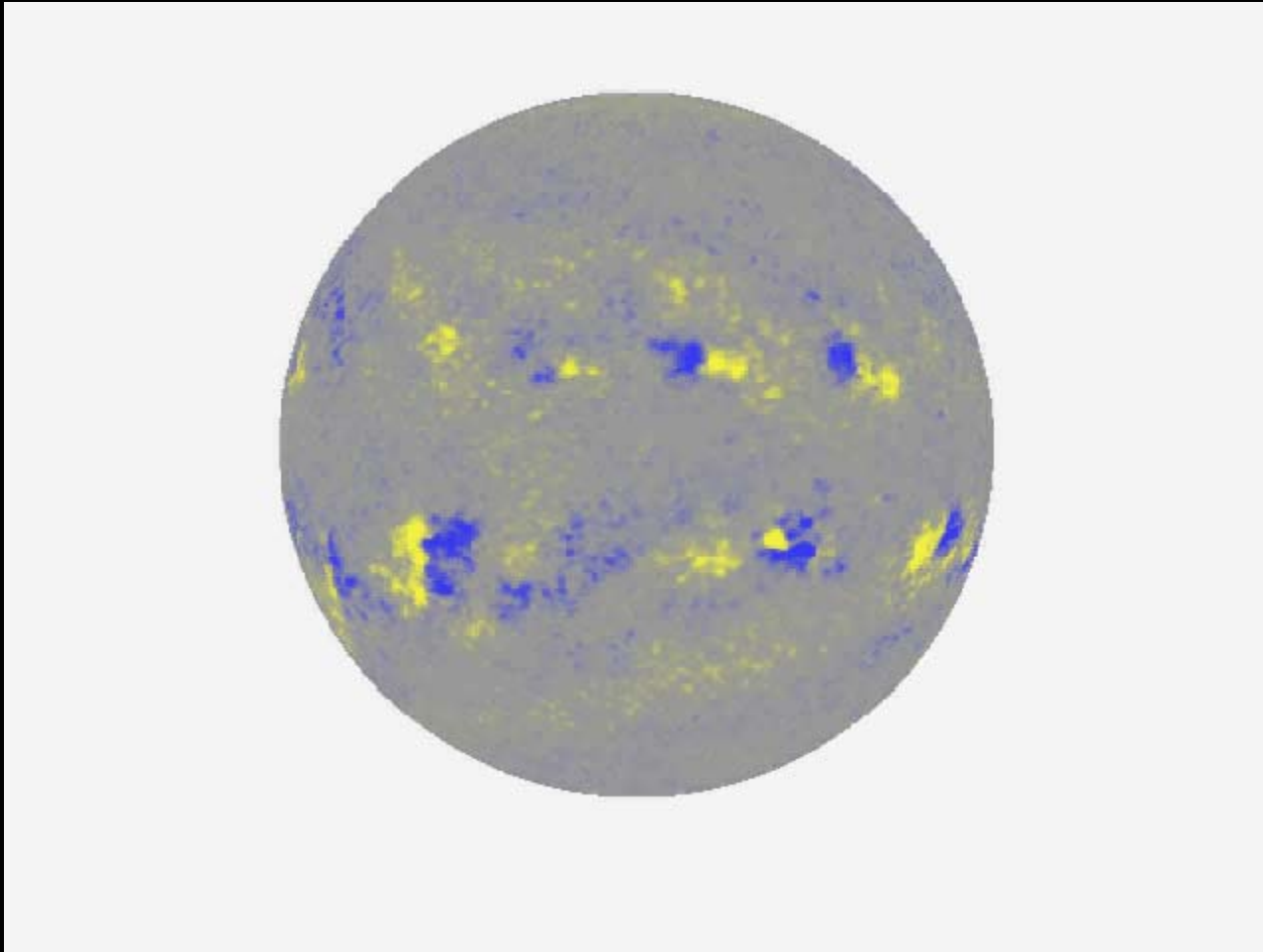
Pillangódiagram:



Jelenségek a Napon - szabályszerűségek



A napfoltok mágneses tulajdonságainak időbeli változása:



Jelenségek a Napon - szabályszerűségek



Aktivitási ciklusok:

- **11 éves Schwabe-ciklus** ⇒ számos **más jellegű adatsorban is kimutattak**, mint pl. geomágneses aktivitás, űridőjárás, klímaváltozás stb.
- az ún. **Gleissberg-ciklus** százados időskálájú ingadozás, mely a Schwabe-ciklus amplitúdójában figyelhető meg
- emellett **szuper-szekuláris ciklusokat** is találtak kozmogenikus izotópok adatsoraiban:
 - a **205-210 éves De Vries-ciklust**
 - egy **600-700 éves változást**
 - egy **2000-2400 éves ciklust**

Jelenségek a Napon - szabályszerűségek



Nagy minimumok:

Ezen reguláris változások mellett megfigyelhetők még **abnormálisan alacsony szintű aktivitási időszakok** is, mikor **az aktivitási mérőszámok jelentősen lecsökkennek**, vagy szinte nullához közelítenek.

- **Maunder-minimum** - időszaka az 1645 és 1715 évek közé esik
- **Spörer-minimum** - az 1450 és 1550 évek közé tehető
- **Wolf-minimum** - a 12. század környékén következett be
- **Dalton-minimum** - az 1790 és 1820 közé eső időszakban a napfoltciklus nem tűnt el teljesen, csak nagyon kis amplitúdóval volt jelen

Jelenségek a Napon



Apr 17 2002 23:59:32

Egy aktivitási terület különböző műszerekkel, különböző hullámhosszakon észlelve, más-más méretskálán. (SOHO/ESA/NASA)

Az előadás vázlatja



- Miért is tanulmányozzuk a napot? – Kérdések és válaszok
- Jelenségek a Napon
- **A Nap felépítése**
- A jelenségek háttere

A Nap felépítése



Honnan szerezhethetünk információt a Nap belsejéről?

Mivel a Nap belsejéről optikai információ nem nyerhető, ezért ezt sokáig csak elméletileg vizsgálható jelenségeknek tartották.

Elméleti megfontolások: a megfontolások arra vonatkoznak, hogy egy ilyen méretű és tömegű gázgömbnek kiszámítható a belső nyomás- ill. hőmérséklet-rétegződése, továbbá az, hogy az adott hőmérsékleteken és nyomásokon milyen fizikai folyamatok történhetnek.

Az utóbbi évtizedek hatalmas fejlődése révén azonban **ezek a belső struktúrák ma már empirikusan is vizsgálhatók**, mivel két fajta fluxus áthatol a napanyagon: a **neutrínóké** és a **nyomáshullámoké**.

A Nap felépítése - neutrínókísérletek

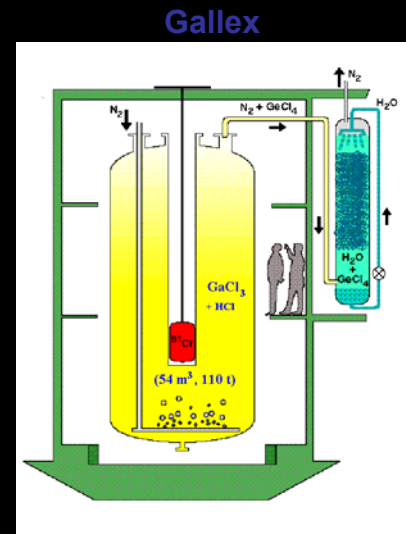
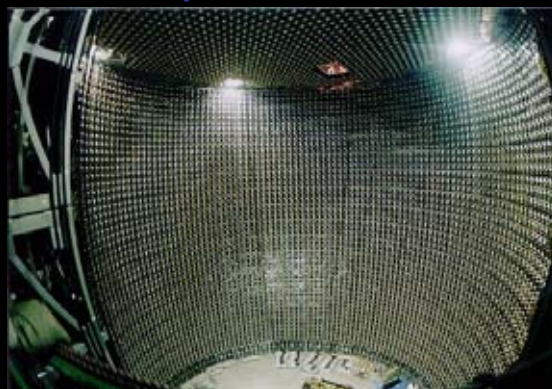


Híres napneutrínó-kísérletek:

Homestake (^{37}Cl neutrínó detektor)

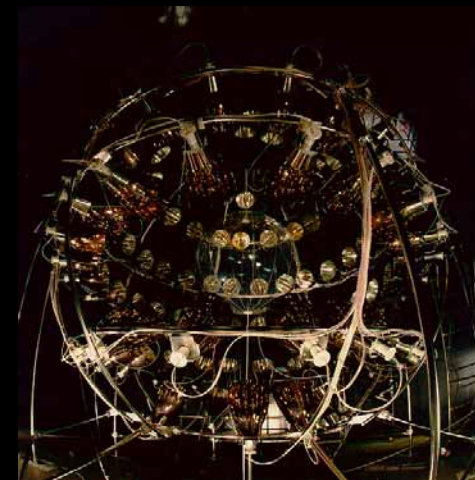


Superkamiokande



Borexino

Sudbury Neutrino Observatory (SNO)



A Nap felépítése - neutrínókísérletek



A napneutrínó-kísérletek eredményei:

Az eddigi napneutrínó-kísérletek azt mutatták, hogy a **Napból érkező neutrínók fluxusa alacsonyabb a vártnál**. Az eddig elért eredmények alapján egyértelművé vált egy új probléma a napkutatás területén, amelyet joggal neveznek "**Solar Neutrino Puzzle**"-nek, vagyis "**Napneutrínó-rejtélynek**"-nek



Standard Napmodell

a hibás napmodell lehetőségének
ellentmondanak a helioszeizmikus mérések



Neutrínóoszilláció

az oszcilláció csak abban az
esetben következhet be,
ha a neutrínók tömeggel rendelkeznek



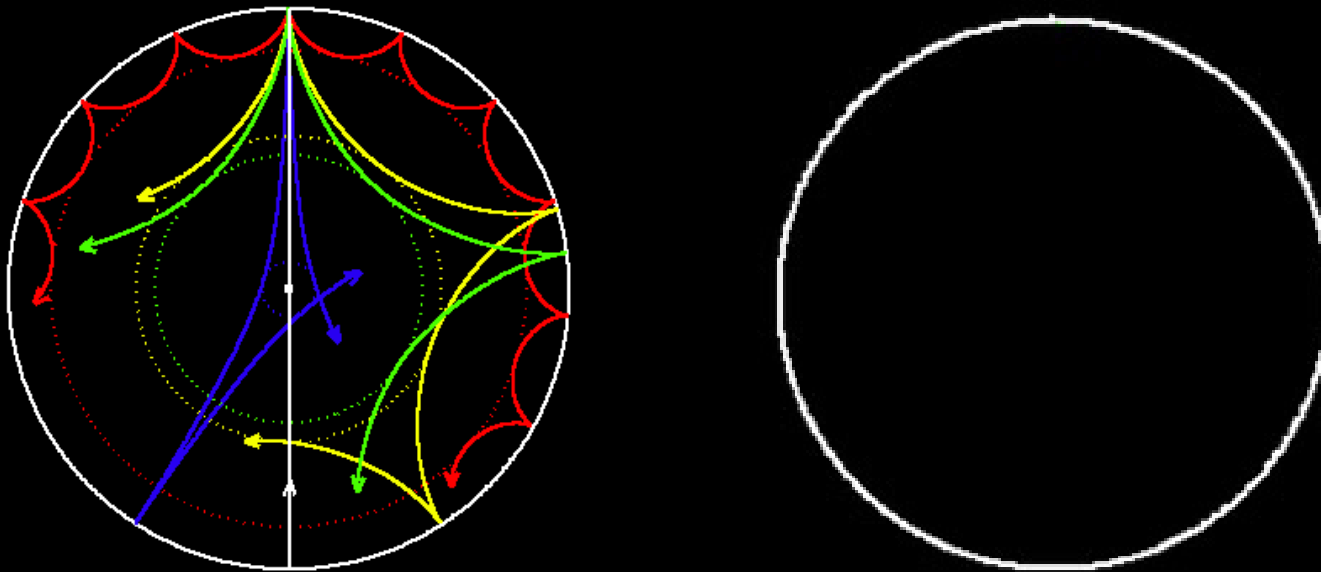
A Nap felépítése - helioszeizmológia



Helioszeizmológia:

- az **1960**-as években spektroheliográf segítségével fedezték fel a **Nap 5 perces oszcillációit**
- miután tanulmányozták a Nap 5 perces oszcillációt világossá vált, hogy ezen oszcillációk a **Nap nemradiális nyomáshullámokból származó sajátrezgései**, amely a fotoszféra alatti üregben, mintegy "bezárva" mennek végbe
- a Nap esetén megfigyelhető **óriási számú különböző sajátrezgés lehetőséget nyújt számunkra a Nap belső szerkezetének feltérképezésére**, ugyanis a különböző sajátrezgések a Nap más és más rétegeiben érik el maximális amplitúdójukat
- meg kell említeni, hogy Napunknak nemcsak a fentebb említett 5 perces oszcillációi léteznek, de a Nap hosszabb periódusú oszcillációinak mérése sokkal nehezebb

A Nap felépítése - helioszeizmológia



Szemléltető ábra, mely azt mutatja, hogy a különböző sajátrezgések a Nap más-más mélységben lévő rétegeibe hatolnak le.

A Nap felépítése - helioszeizmológia

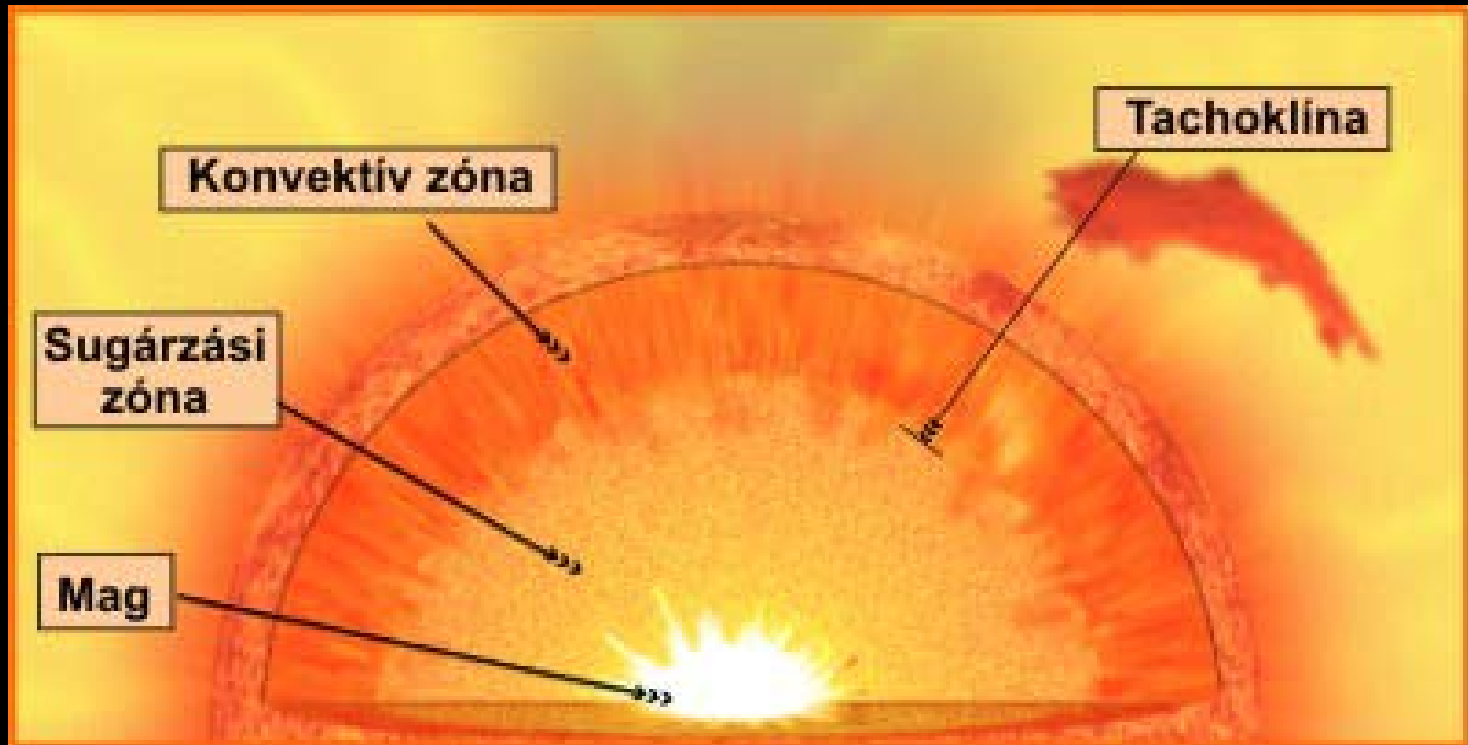


Az SOHO/MDI által készített dopplerogram, mely a Nap 5 perces oszcillációit mutatja

A Nap felépítése - napbelső



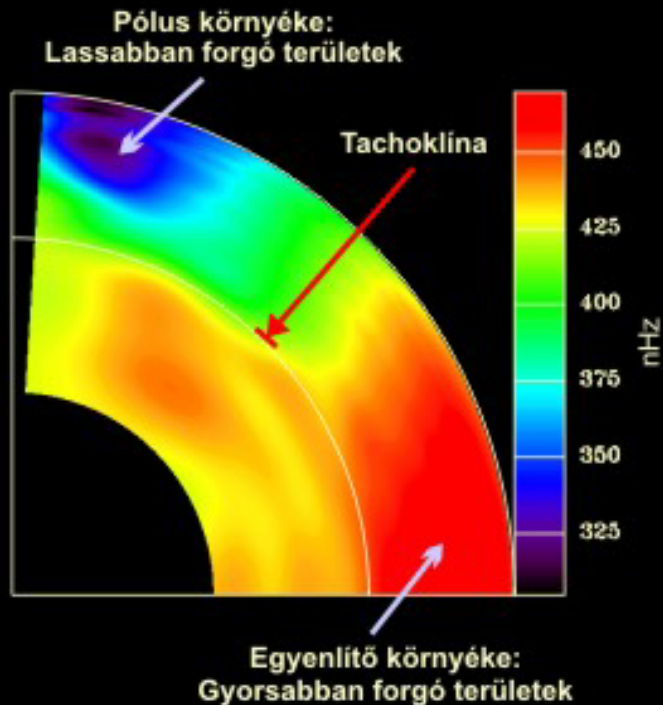
A napbelső felépítése:



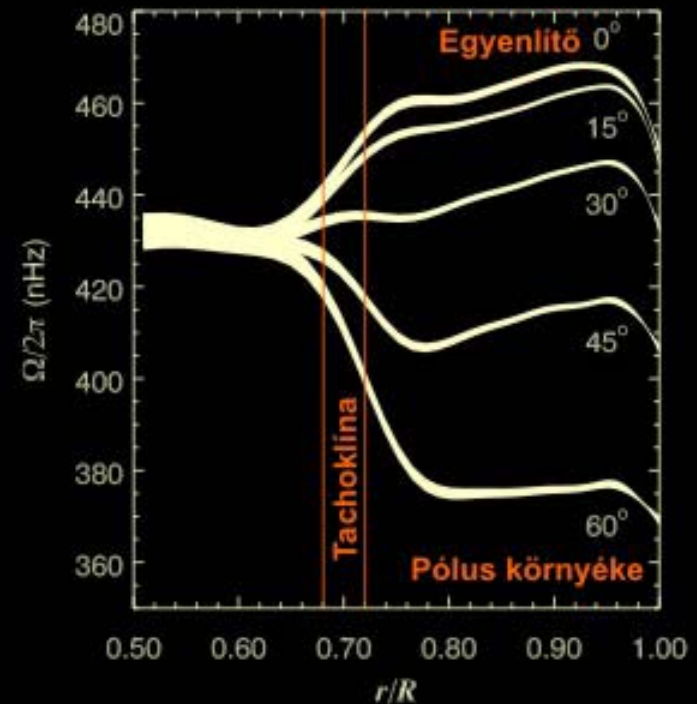
A Nap felépítése - sebességeloszlás



A napbelső sebességeloszlása:

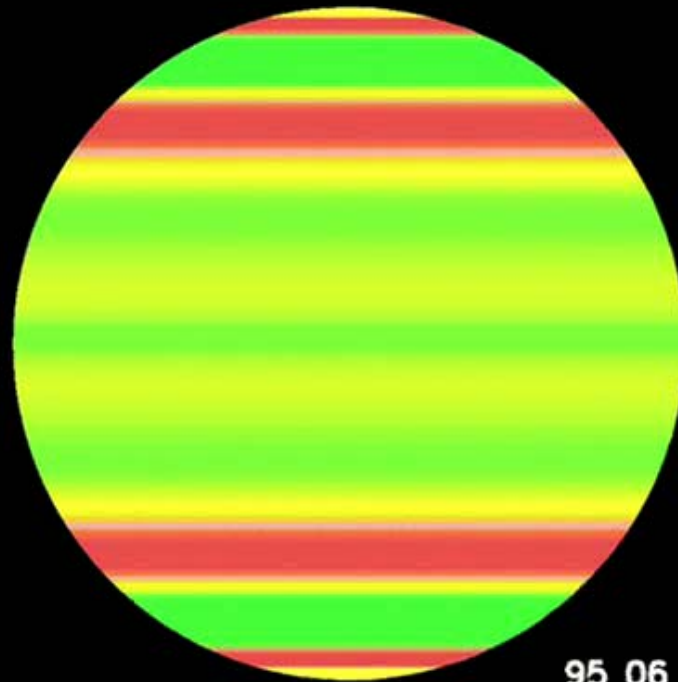


A Nap szögsebessége ($\Omega/2\pi$) a sugár és a szélesség függvényében.



A Nap sugárzási és konvektív zónája között egy vékony, átmeneti réteg található, a tachoklína.

A Nap felépítése - sebességeloszlás



A Nap sebességterének időbeli változása a SOHO/MDI műszer észlelései alapján.

Az előadás vázlatja



- Miért is tanulmányozzuk a napot? – Kérdések és válaszok
- Jelenségek a Napon
- A Nap felépítése
- **A jelenségek háttere**

A jelenségek háttere



A Nap mágneses tere:

- az eddigi **jelenségek magyarázatának kulcsa: a mágneses tér**
- mint azt említettük a csillagok anyaga ionizált gáz, azaz **plazma**, melyben belső áramlások folynak; a plazma áramlása során a benne levő szabad töltések mozgása elektromos áramot jelent, ez viszont mágneses teret kelt; a mágneses tér viszont visszahat a töltések mozgására, vagyis a közeg áramlására
- mai tudásunk alapján **a Nap mágneses terét**, melynek felszíni megnyilvánulásai a napfoltok, a fáklyamezők stb., **a Nap belsejében "működő" mágneses dinamó hozza létre**

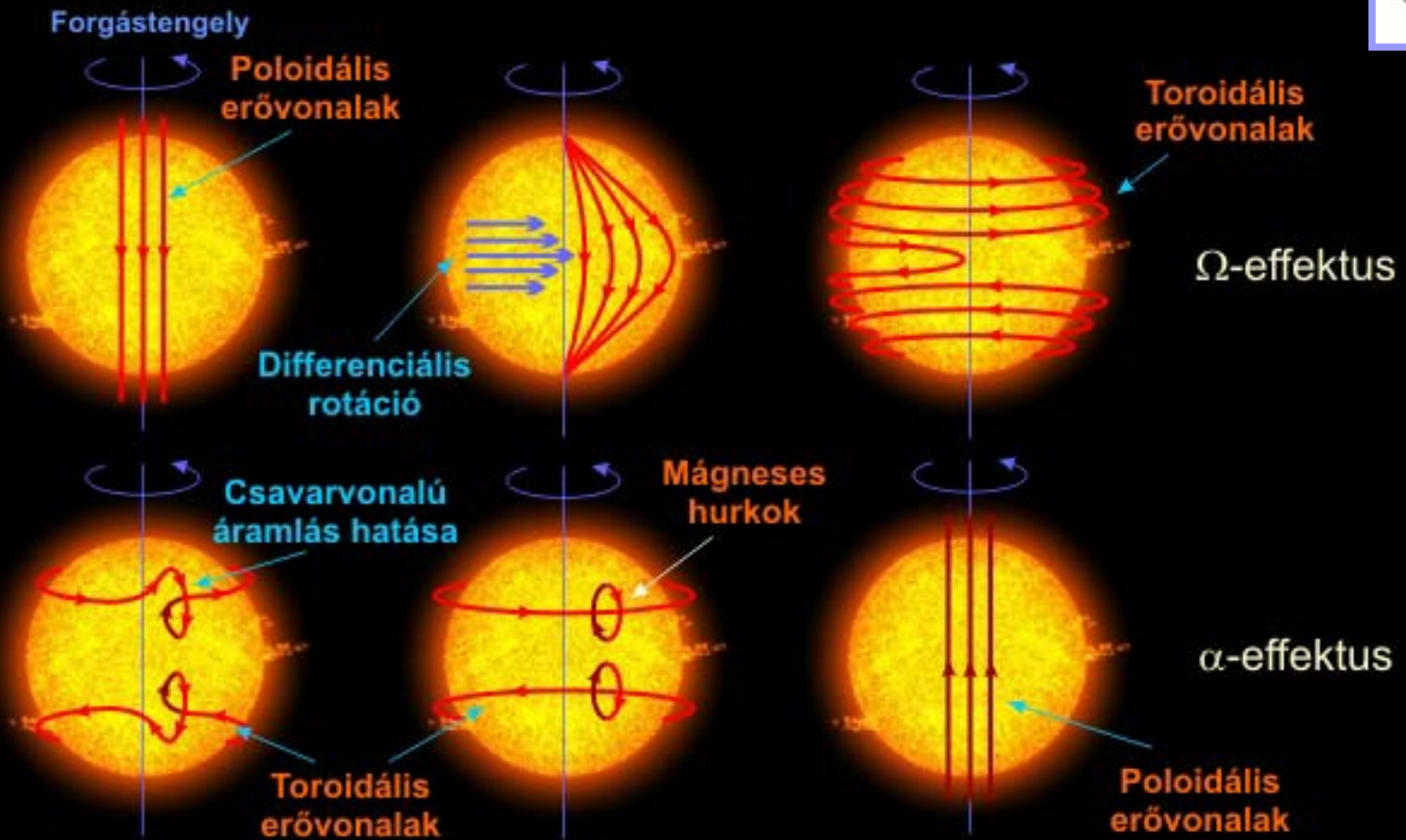
A jelenségek háttere



Napdinamó:

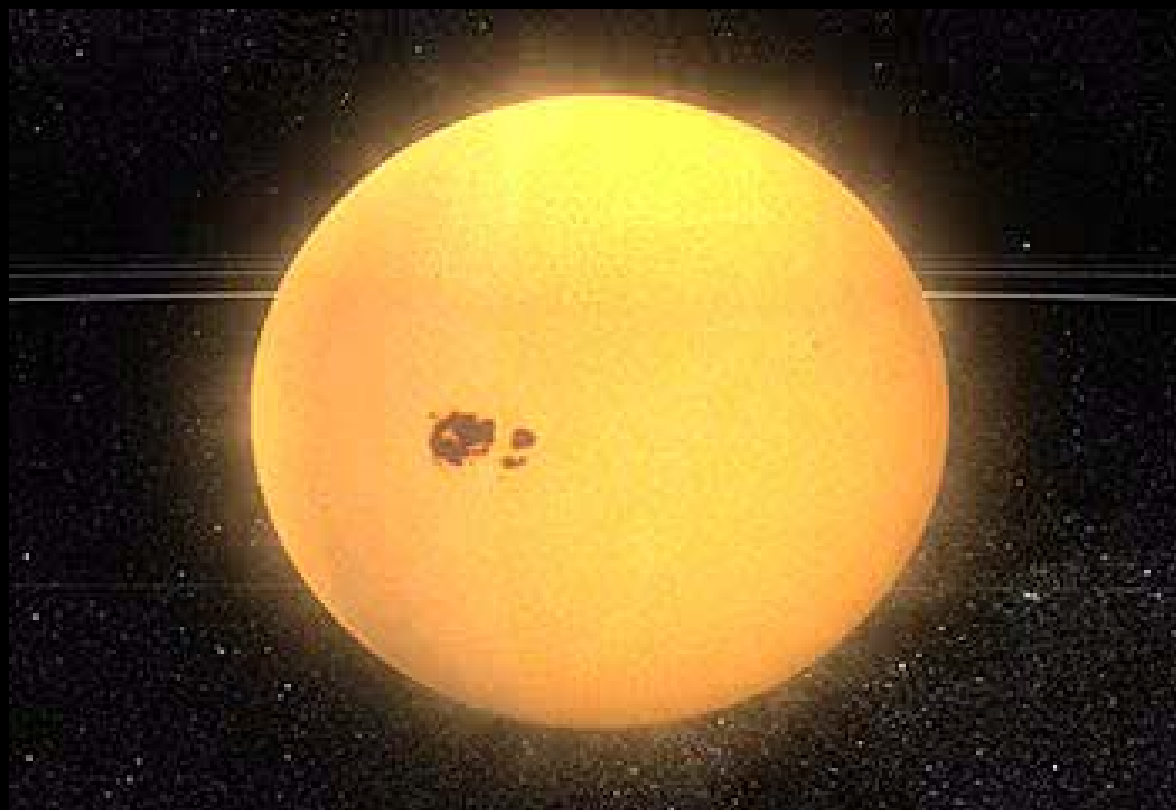
- általánosan elfogadott, hogy a dinamó a toroidális és a poloidális mágneses térkomponensek egymásba alakulása útján működik
- mágneses komponensek:
 - toroidális térkomponensnek nevezzük a mágneses térnek a szélességi körökkel párhuzamos összetevőjét
 - poloidális térkomponensnek nevezzük a szélességi körökre merőleges, a meridiánkörök síkjában fekvő mágneses tér összetevőjét
- az egyik legáltalánosabban elfogadott dinamómodell az α - Ω dinamó

A jelenségek háttere



Az ábra a Napban működő egyik legáltalánosabban elfogadott dinamómodell, az alpha-omega dinamót szemlélteti.

Összegzés



Animáció egy igen nagy erejű napkitörésről, ami nemcsak a Nap közvetlen környezetére van hatással, hanem jóval nagyobb méretskálán 100-150 CsE-en is.

Az előadás vége



Köszönöm a figyelmet!

Web: <http://astro.elte.hu>