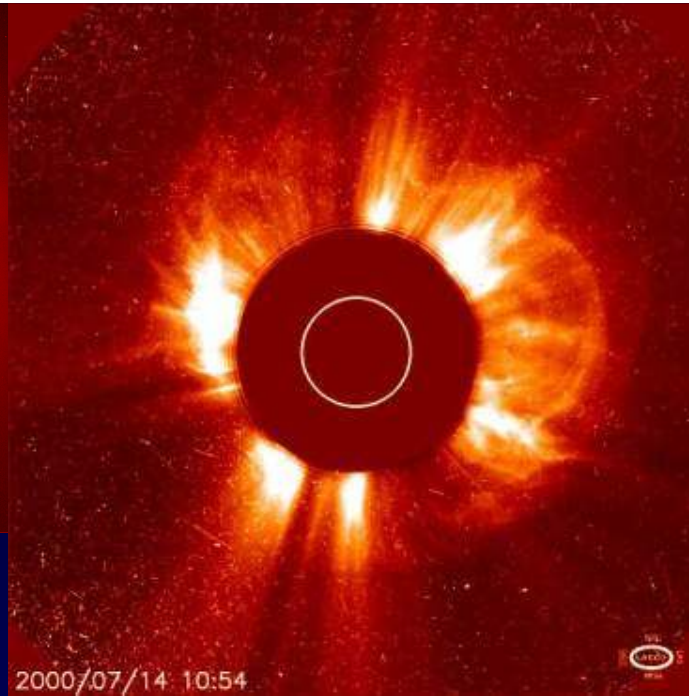
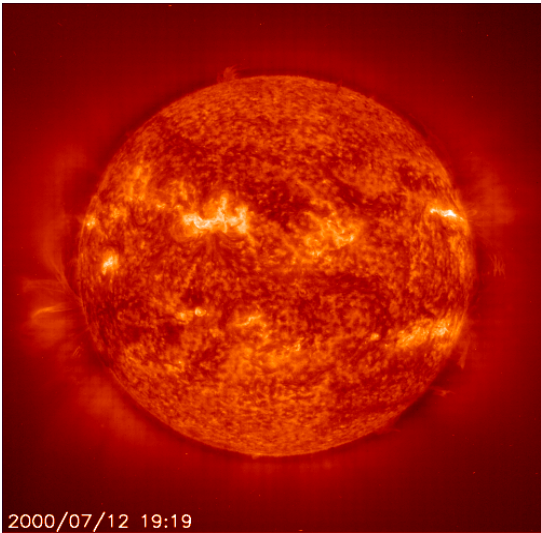


Nyitott ablakon június száll,  
madár csiripel, csacsog egyre,  
s a betáncoló napsugár  
aranyport szór az üvegekre.

Dsida Jenő: Június (részlet)

# A sugárzás I.

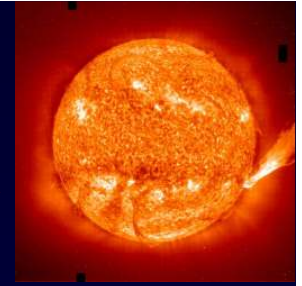


## Definíció:

A sugárzás az energia-átadás egyik módja, melynek során a sugárzást kibocsátó fizikai rendszer energiát ad át környezetének, miközben belső energiájának egy része sugárzási energiává alakul át.



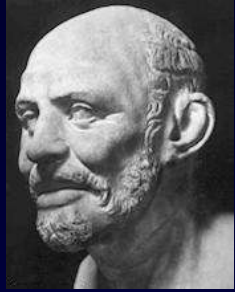
## Az időjárási és éghajlati jelenségek energiaforrása a Nap



Az éghajlati elemek mindegyike a sugárzás függvénye:

- ✓ légnyomás;
- ✓ hőmérséklet;
- ✓ szél;
- ✓ csapadék;
- ✓ páratartalom;
- ✓ felhőzet;





*„Némely világokban nincsen sem Nap sem Hold, másokban azok nagyobbak, mint a mi világunkban, megint másokban pedig több van belőlük... Vannak olyan világok, amelyekben nincsenek élőlények, nincsenek fák és nincs semmi nedvesség.”*

*Democritos (i.e. 460-370)*

**A teljességtől eltekintve - a legfontosabb tényezők a mai Föld kialakulásához vezető úton:**

- 1) Csillagászati:** bolygóképződés, stabil keringési pálya;
- 2) Geológiai:** felszíni aktivitás (pl. lemeztektonika);
- 3) Biológiai:** az illékony gázok eltávozása, szén- és nitrogénciklusok, az élet megjelenése;

# A Nap

Nicholas Copernicus, lengyel csillagász (1473 -1543)

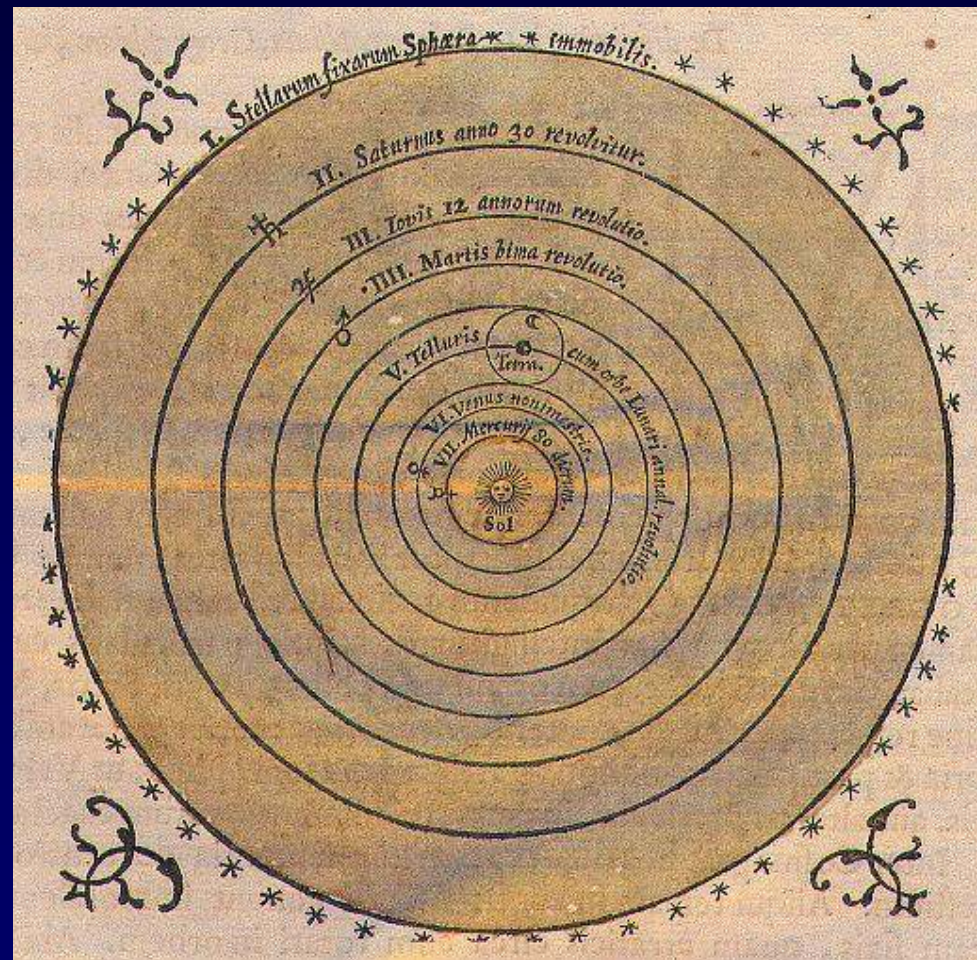
„Mindennek a közepén van a Nap...  
Helyénvalóan mondták rá egyesek, hogy  
a világegyetem lámpása, mások pedig,  
hogy annak esze, megint mások, hogy  
annak uralkodója ....Valóban, mint egy  
királyi trónon ülve, a Nap kormányozza a  
bolygók családját, melyek körülötte  
keringenek.”

**A Nap sugárzása a Föld időjárásainak szülőhelye.**

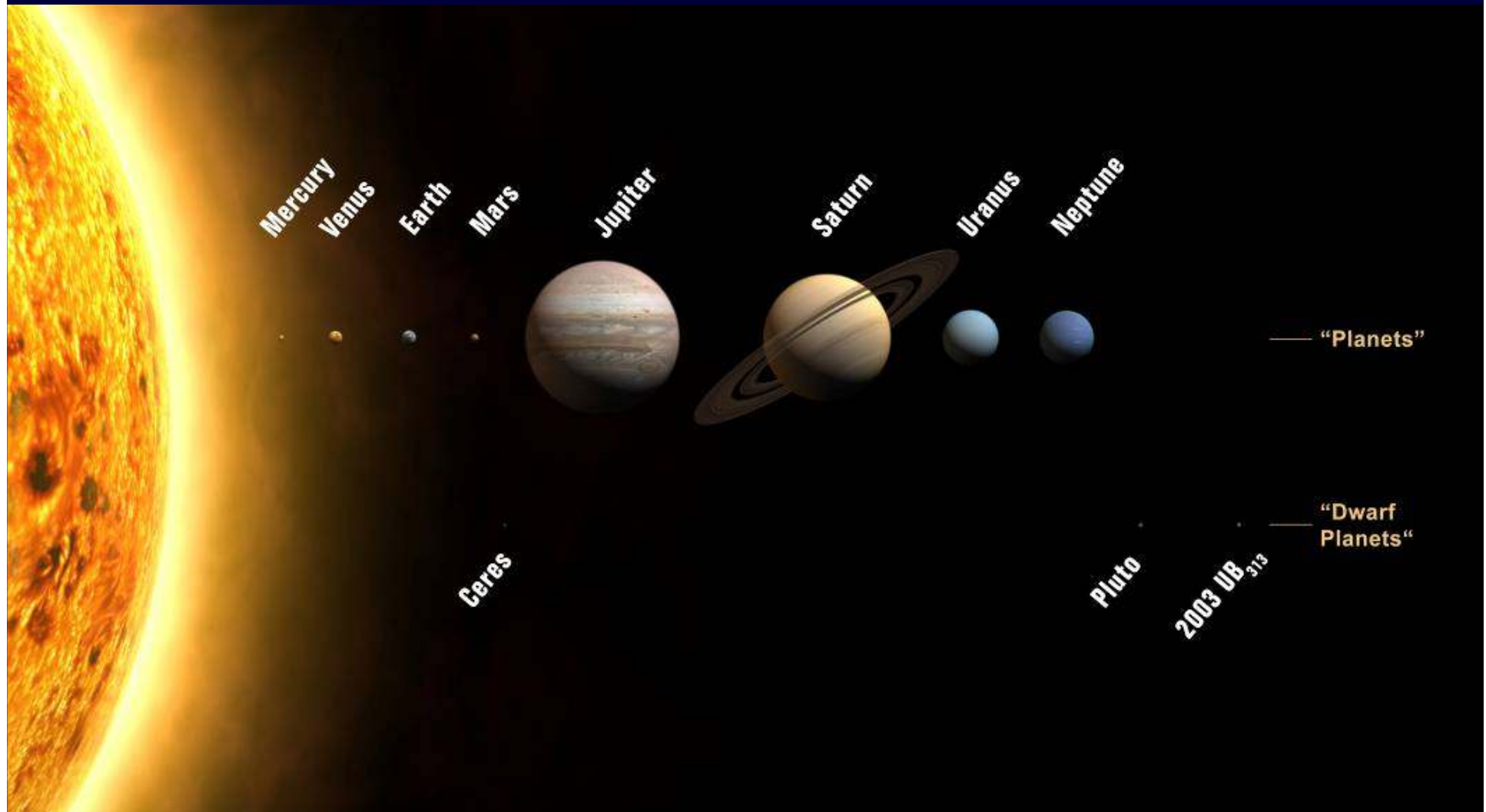


# A Nap

Nicholas Copernicus tette a középpontba



# A Naprendszer



# A Nap és a bolygók

Sun



Jupiter

Earth

Pluto



# A Jupiter és a többi bolygó

Jupiter

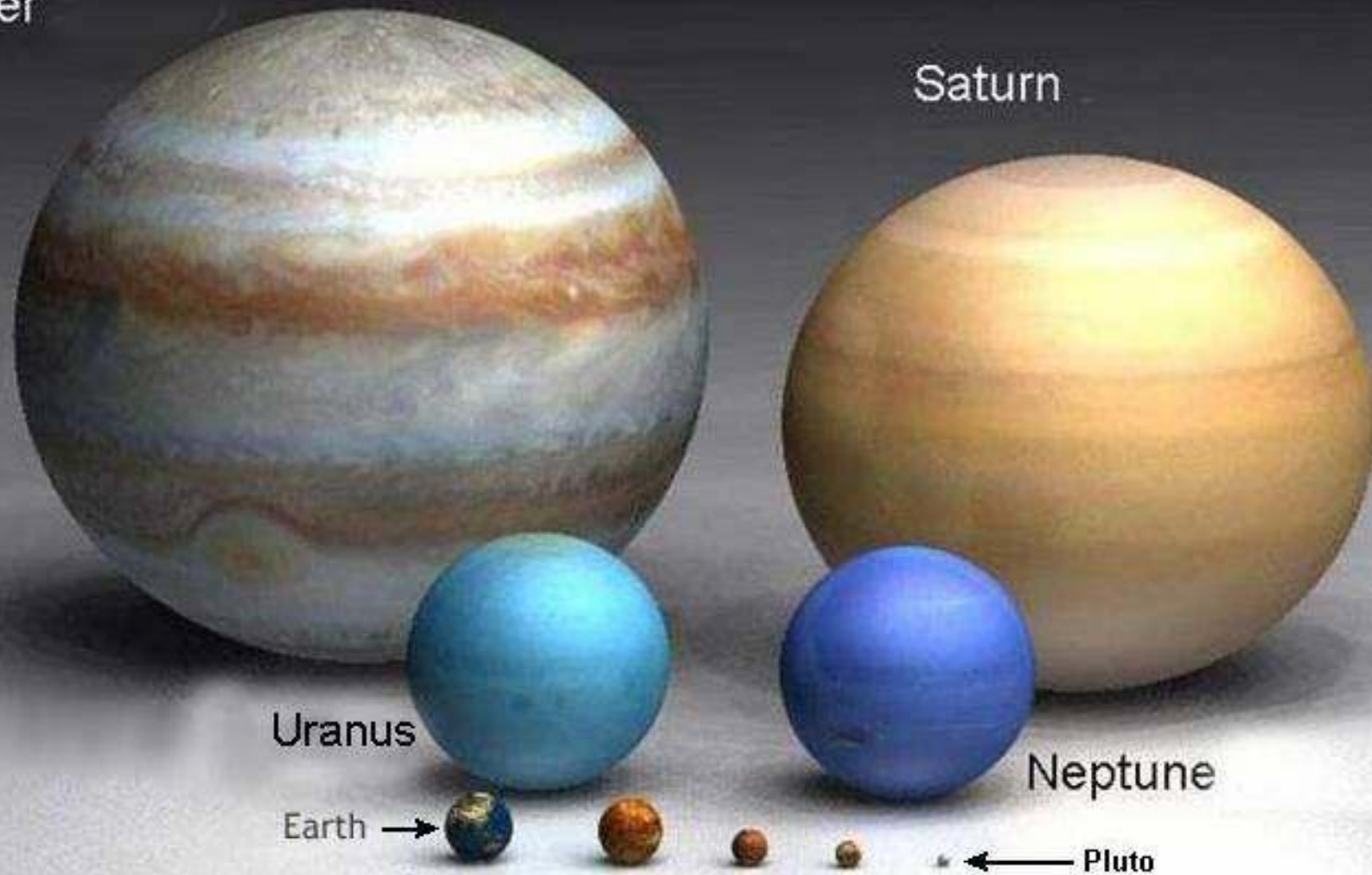
Saturn

Uranus

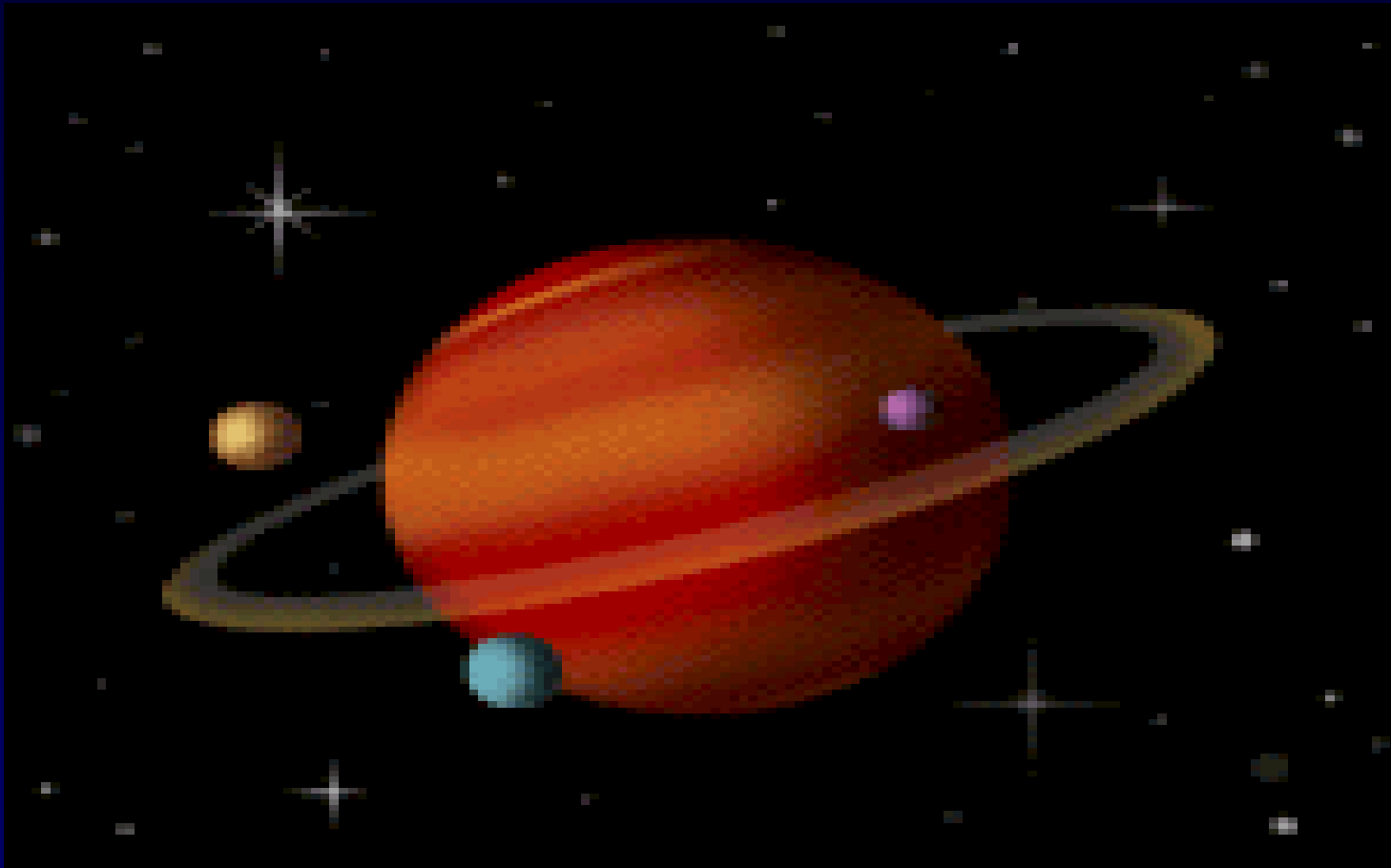
Neptune

Earth →

← Pluto



# A bolygók keringése a Nap körül

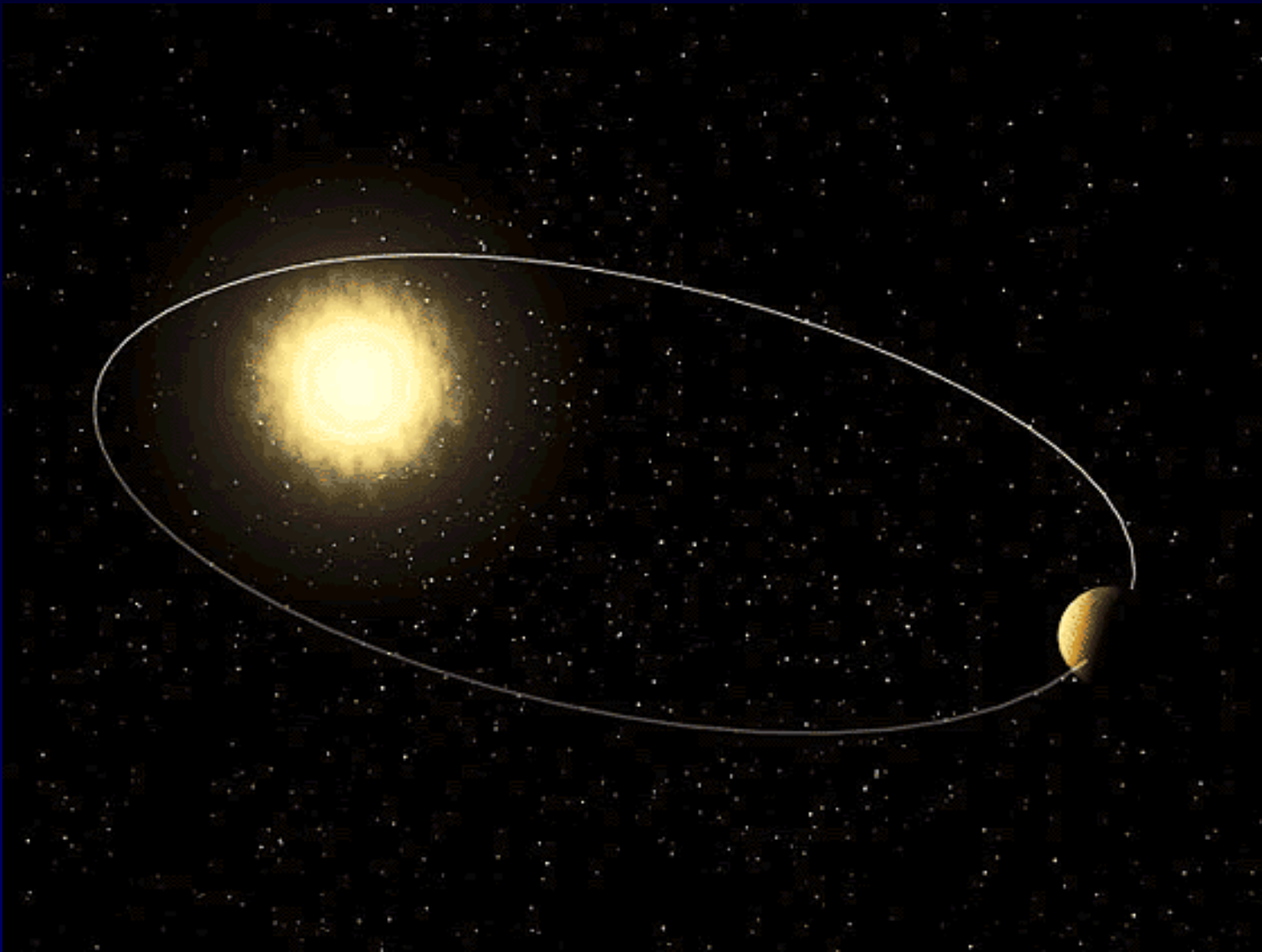


A bolygók mérete, jellemzői, összetétele,  
s a Nap körüli keringési pályái eltérőek

De már a lángok is éppen látszatának,  
Mellyeket az égi lovak fúvallának;  
Szikrádzott a napnak rúdja a föld felett,  
Tűzbe, lángba borúlt az egész napkelet.  
Eltűnván a halvány hajnalcsillag szinte:  
Népének Citére elkészülőt inte;

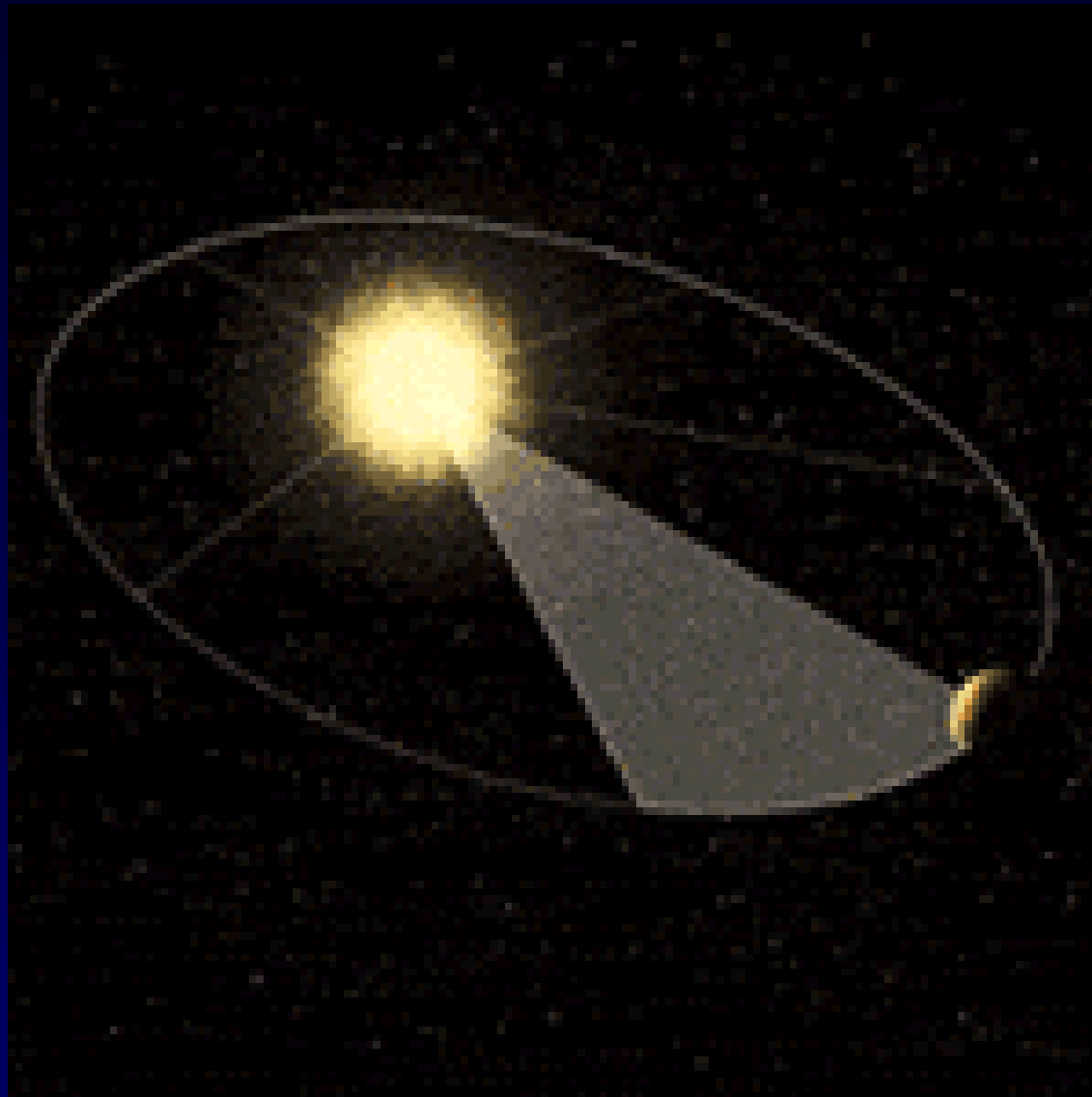
Csokonai Vitéz Mihály: Dorottya  
(részlet)

Kepler (1571 – 1630)  
bolygókra vonatkozó  
három mozgástörvénye



**Kepler első törvénye**

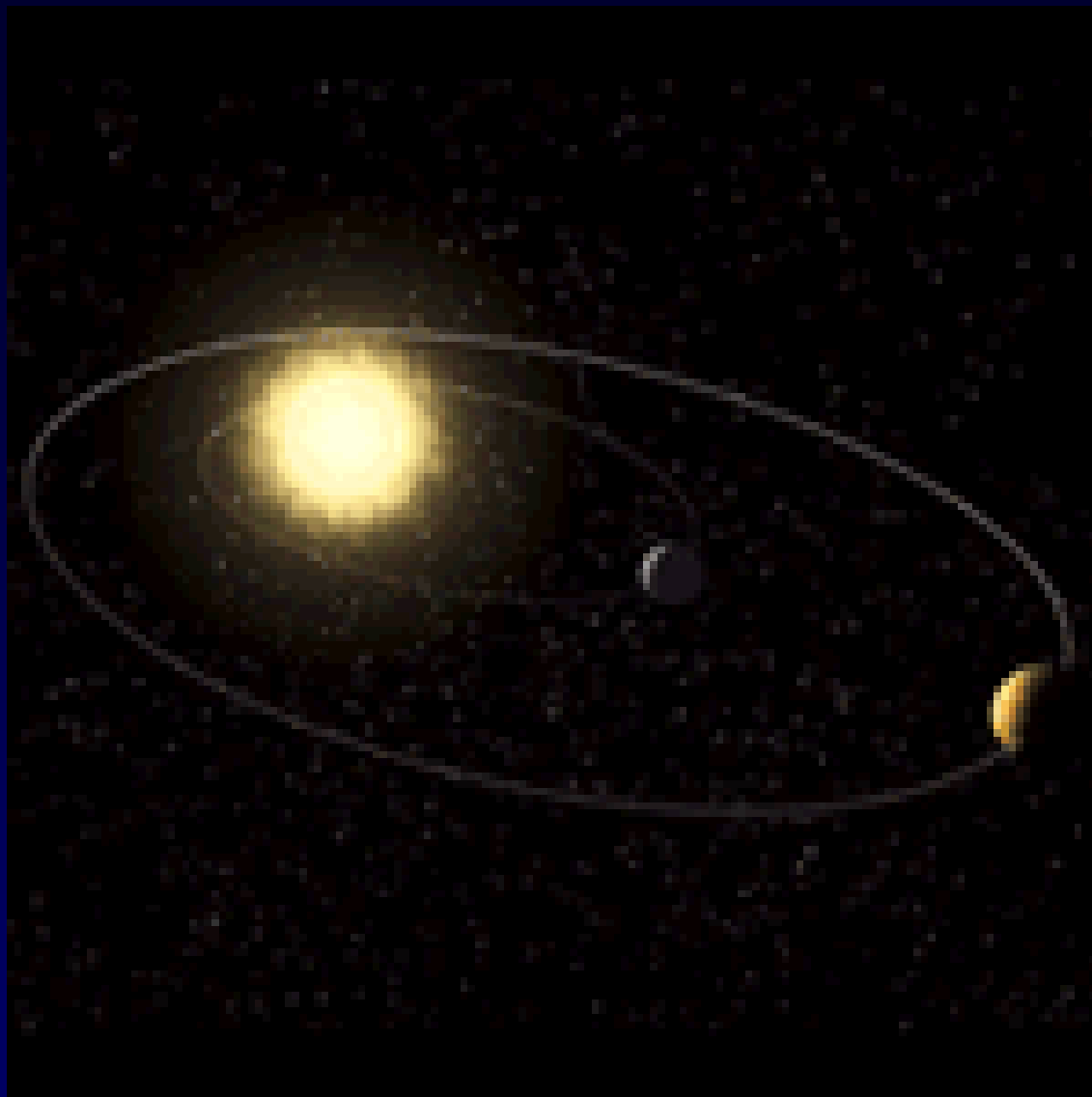
**A bolygók elliptikus pályán keringenek a Nap körül.**



### **Kepler második törvénye**

**A bolygók azonos időtartam alatt azonos területet futnak be a Nap körül.**





### Kepler harmadik törvénye

Egy bolygó Nap körüli keringési idejét a Naptól való távolsága határozza meg.

# Az energia-átadás fajtái (a Napot tekintve):

- elektromágneses sugárzás (98 %):

Jellemzői:

- ✓ hullámhossz ( $\lambda$ ,  $\mu\text{m}$ ;  $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ );
- ✓ frekvencia ( $\nu$ ;  $\text{s}^{-1}$ );
- ✓ terjedési sebesség ( $c$ ;  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ );
- ✓ sugárzás-intenzitás ( $I_0$ ;  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) (az egységnyi idő alatt kibocsátott energia);

$$c = \lambda \cdot \nu$$

$$c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

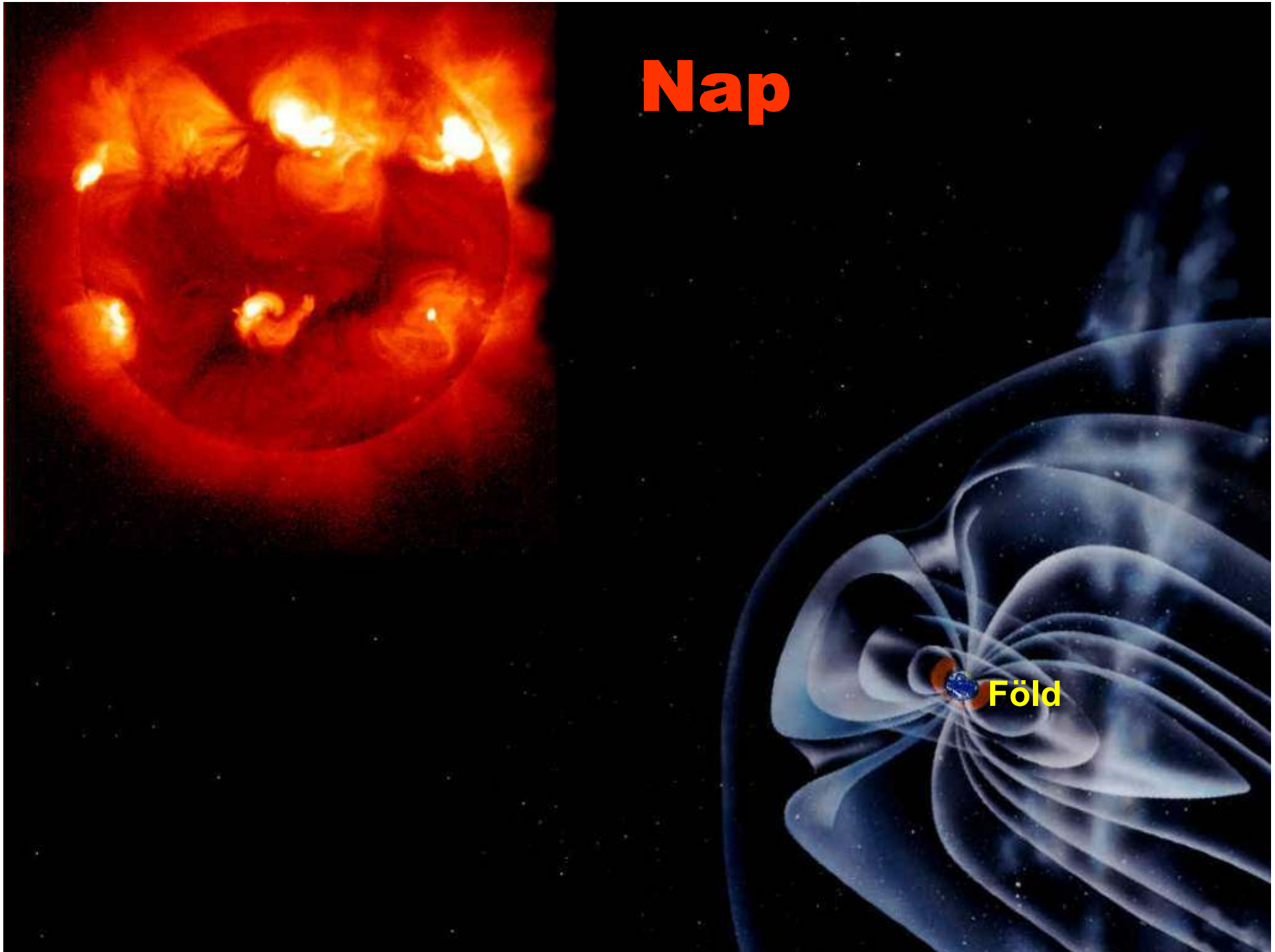
- ✓ minden irányban terjed;
- ✓ légüres térben is terjed;
- ✓ hőenergiává csak anyagi közegben alakul át;

- korpuszkuláris sugárzás (protonok, elektronok; 2 %):

- ✓ hatása a termoszférában: sarki fény, ionizált rétegek átrendeződése, zavarok a rádióhullámok terjedésében;
- ✓ időjárási hatása jelentéktelen;

**Nap**

**Föld**





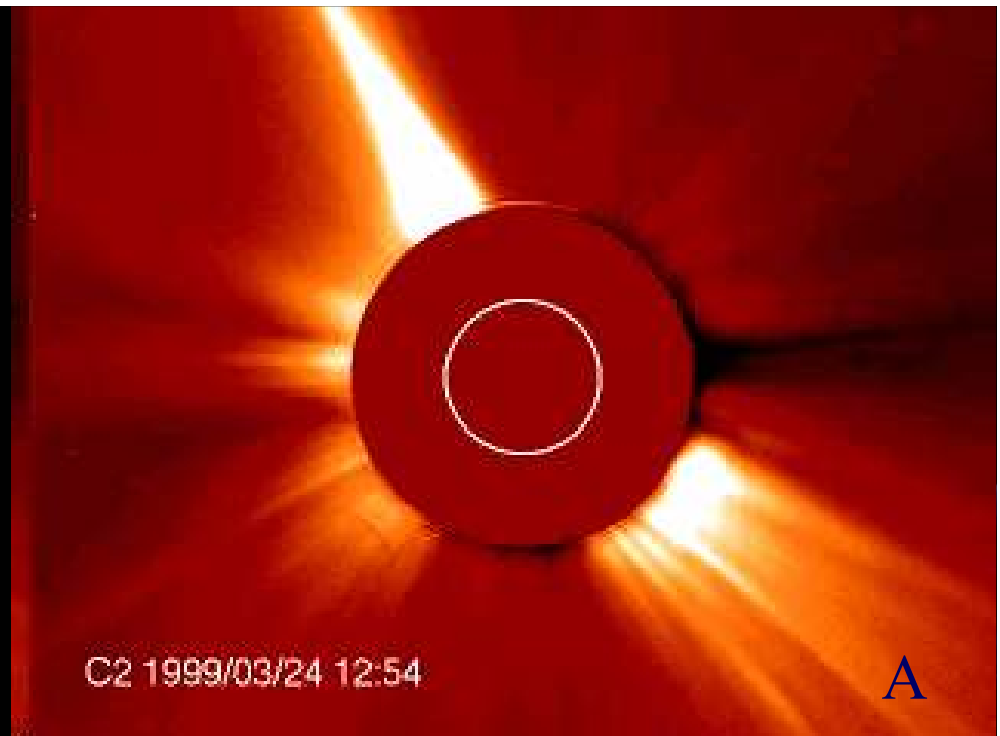
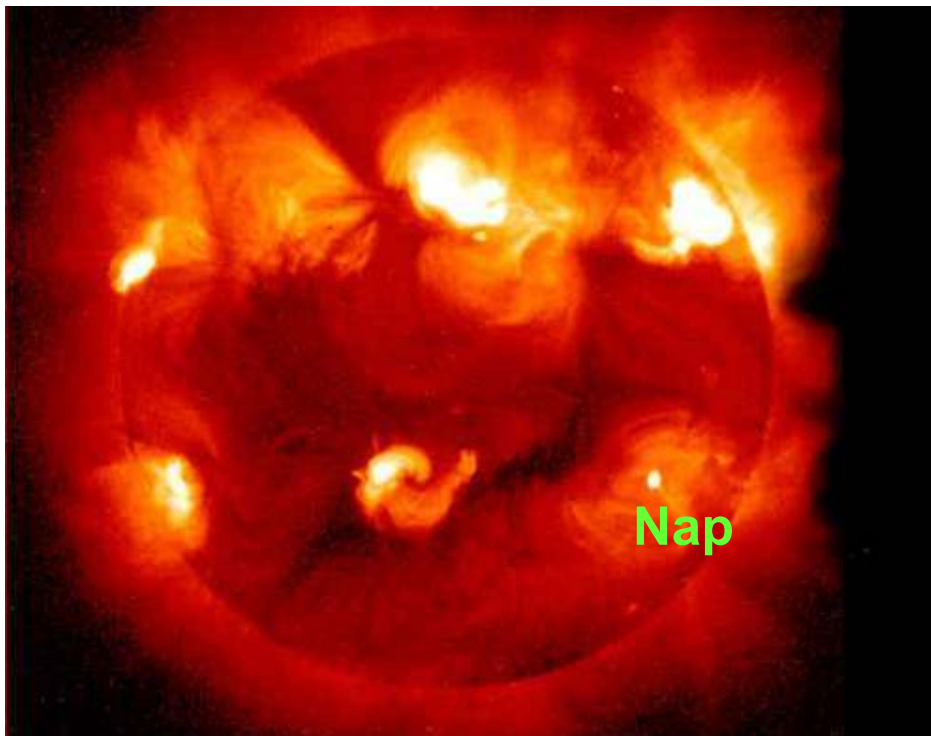
Nap

**Nap:**

- Az energiát fotonok, részecskék és mágneses mezők formájában bocsátja ki;
- A jelentősebb napkitörések forrásai:
  - koronaüregek
  - flerek
  - koronatömeg kidobódások
  - részecske kiáramlások

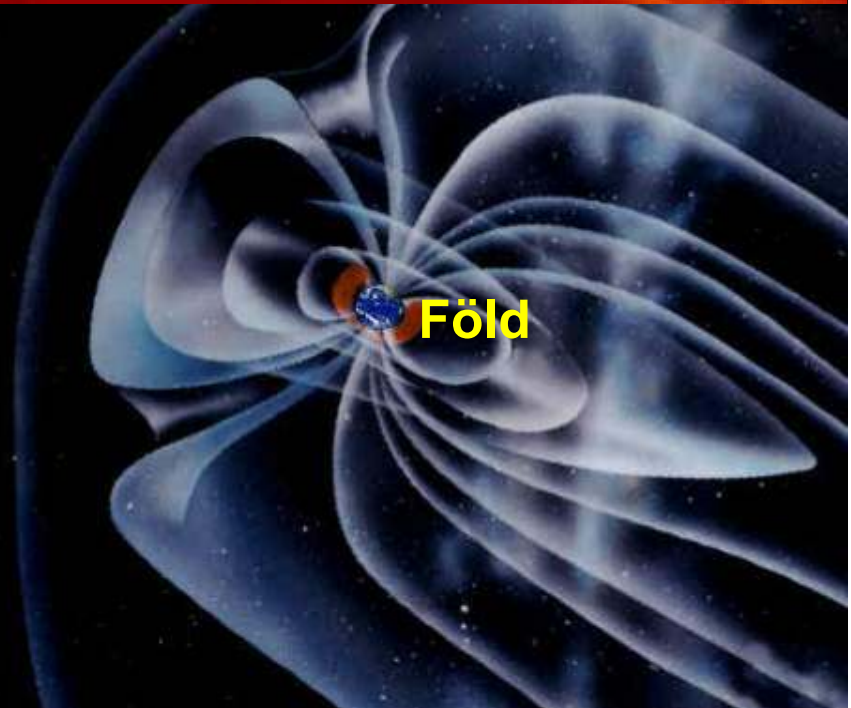
Föld



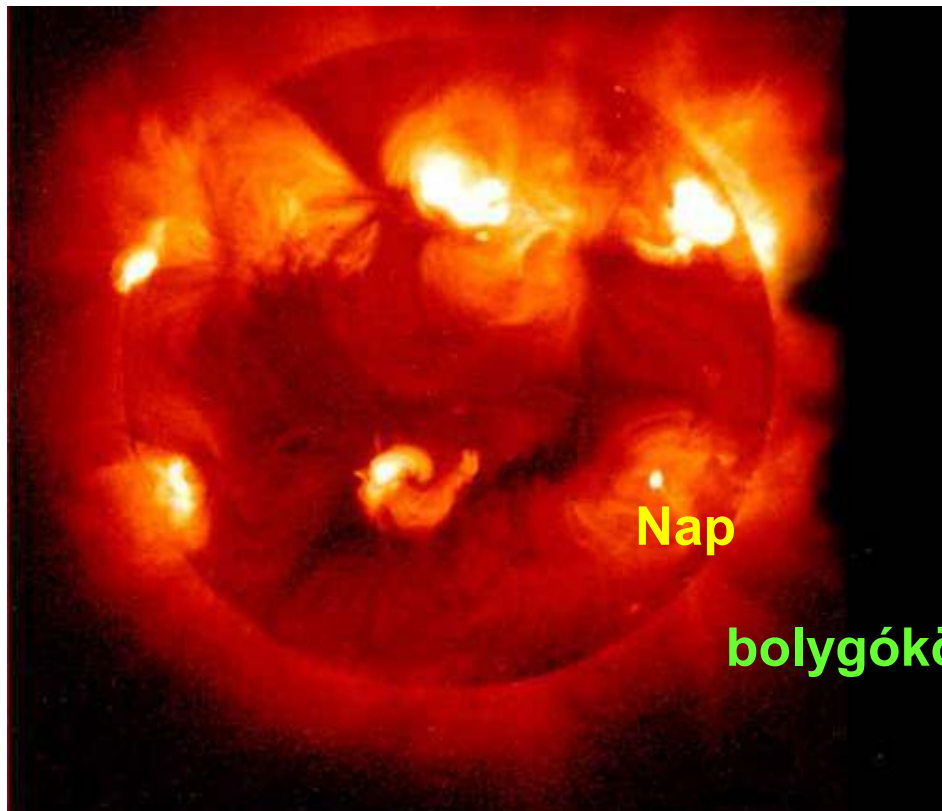


## Nap:

- Az energiát fotonok, részecskék és mágneses mezők formájában bocsátja ki;
- A jelentősebb napkitörések forrásai:
  - koronaüregek
  - flerek
  - koronatömeg kidobódások
  - részecske kiáramlások



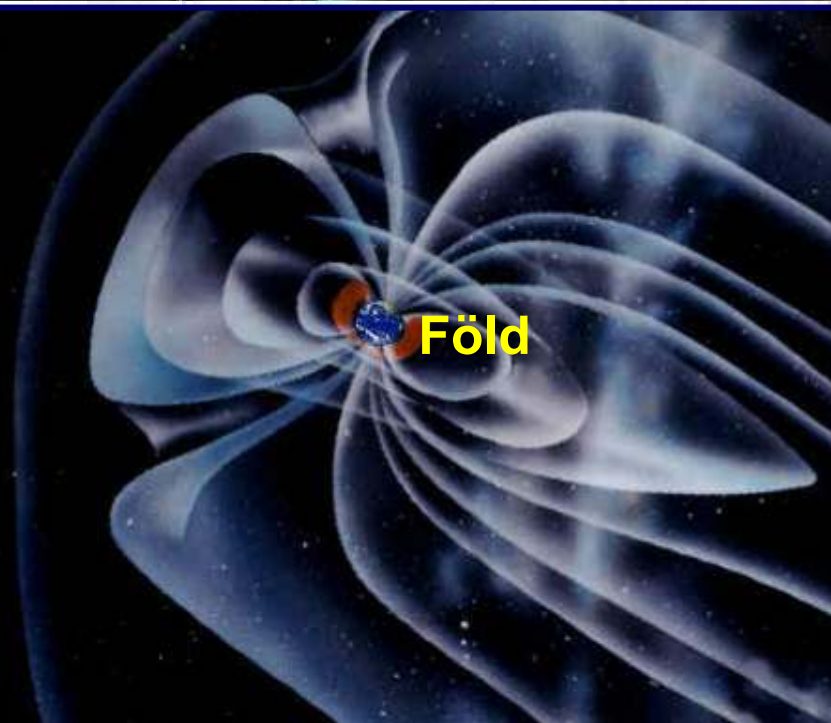


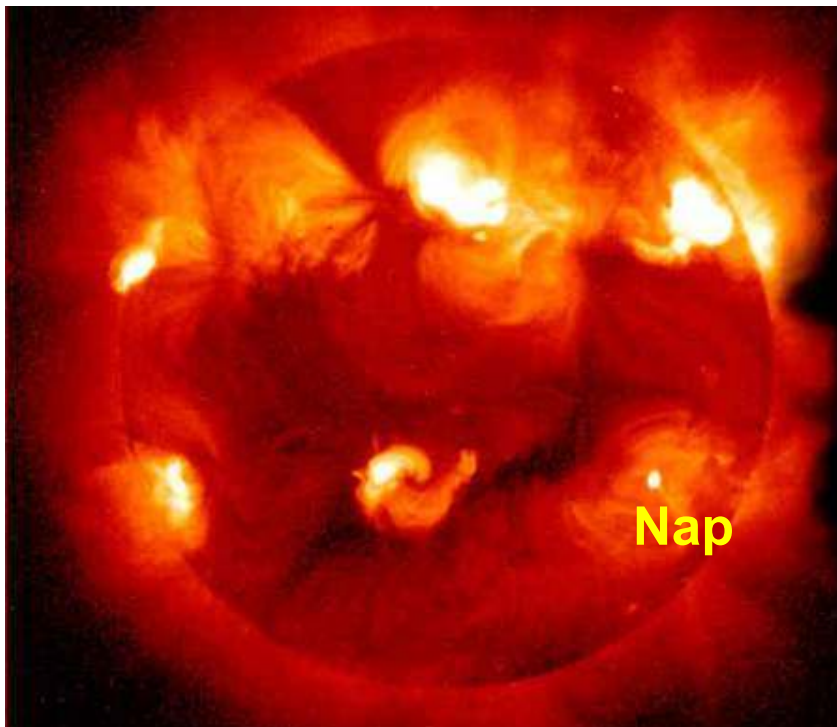


bolygóközi tér

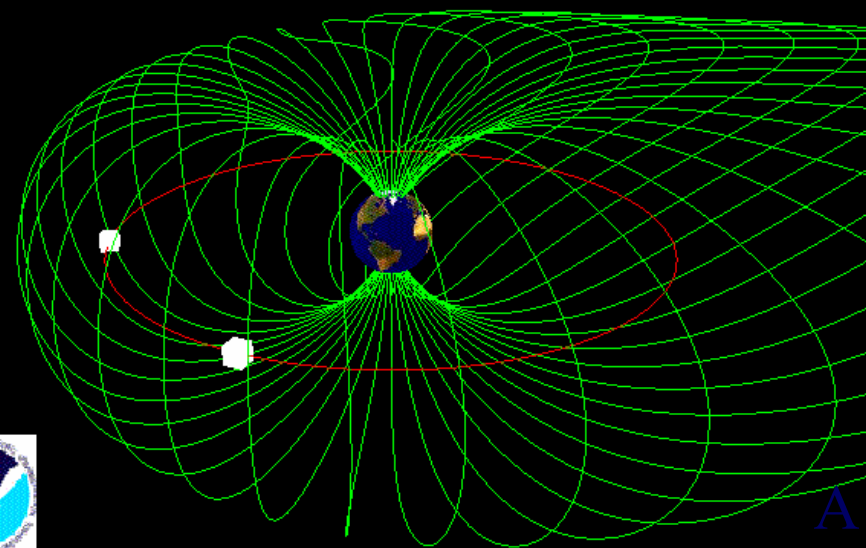
### Bolygóközi tér:

- napszél
  - leginkább protonok és elektronok
  - igen ritka, néhány  $\text{db}\cdot\text{cm}^{-3}$
  - igen forró,  $T > 10^4 \text{ K}$
  - igen gyors,  $250\text{-}2000 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$
- A Napfelszín háborgásai a napszél zavarait és hullámzását idézik elő





Nap

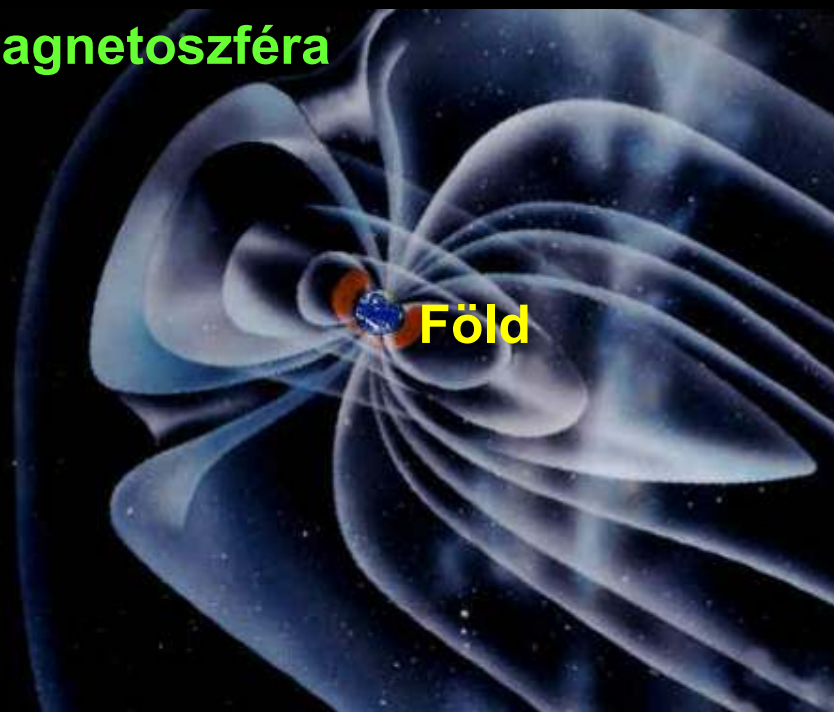


magnetoszféra

bolygóközi tér

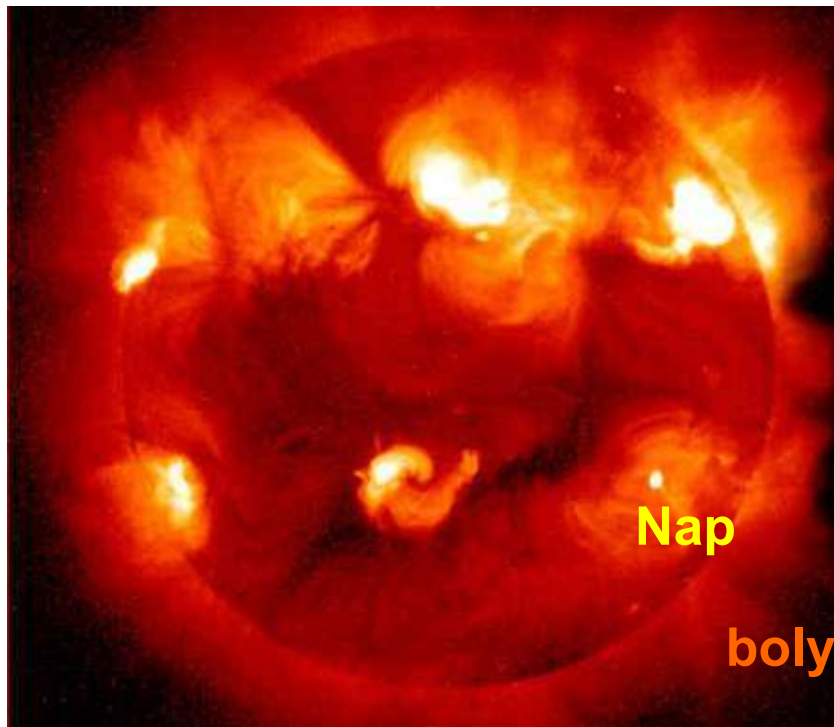
**magnetoszféra:**

- A Föld mágneses mezeje hozza létre
- A napszél módosítja
  - A részecskék (leginkább protonok és elektronok) a mágneses mező vonalaihoz kapcsolódnak
  - A poláris régiók a mágnesesség szempontjából nyitottak



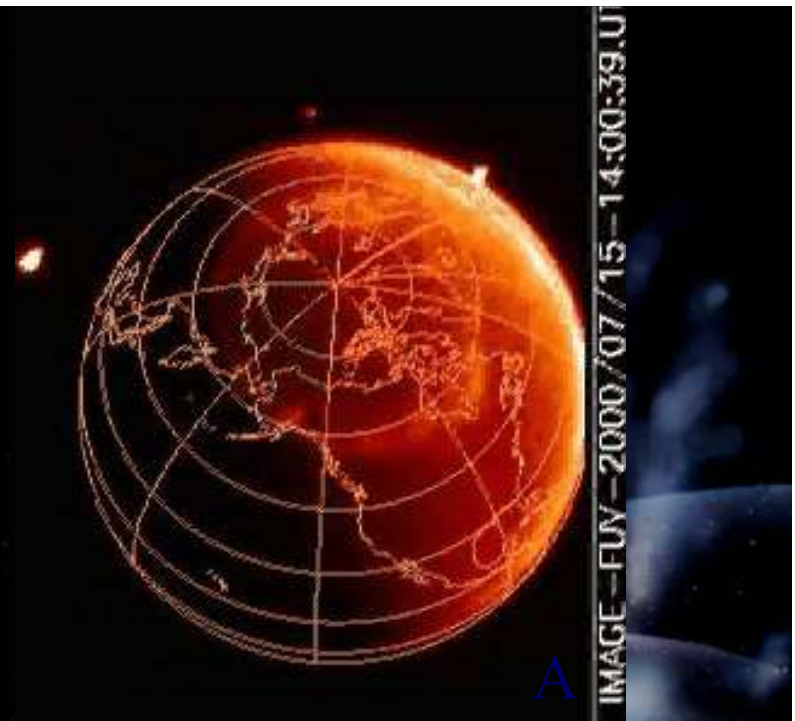
Föld



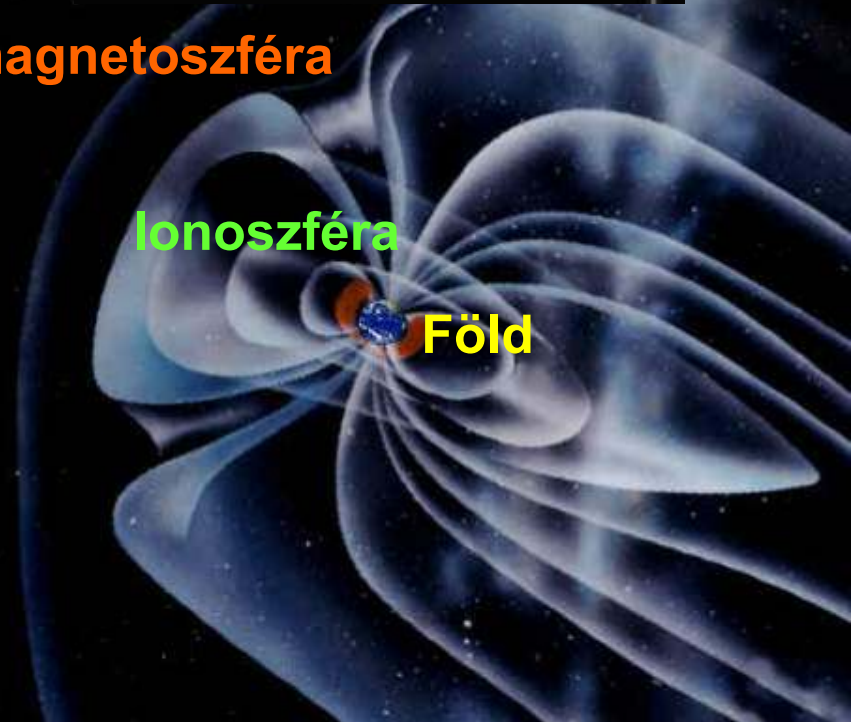


Nap

bolygóközi tér



magnetoszféra

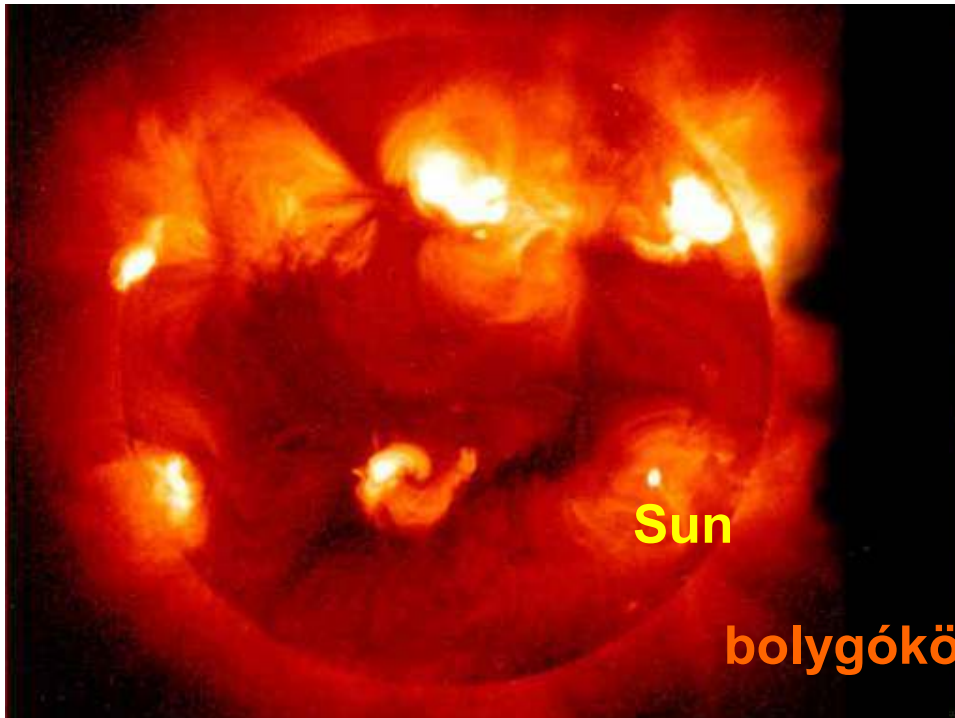


Ionoszféra

Föld

**Ionoszféra:**

- Elektron- és ionrétegek a légkör tetején ( $h \geq 100 - 300$  km)
- Akkor képződnek, amikor igen erős uv sugárzás éri el a Föld légkörét
- Kritikus a rádióhullámok visszaverődésében és átvitelében



Sun



bolygóközi tér

### Ionoszféra:

- Elektronrétegek a légkör tetején ( $h \geq 100 - 300$  km)
- Akkor képződnek, amikor igen erős uv sugárzás éri el a Föld légkörét
- Kritikus a rádióhullámok visszaverődésében és átvitelében

### magnetoszféra



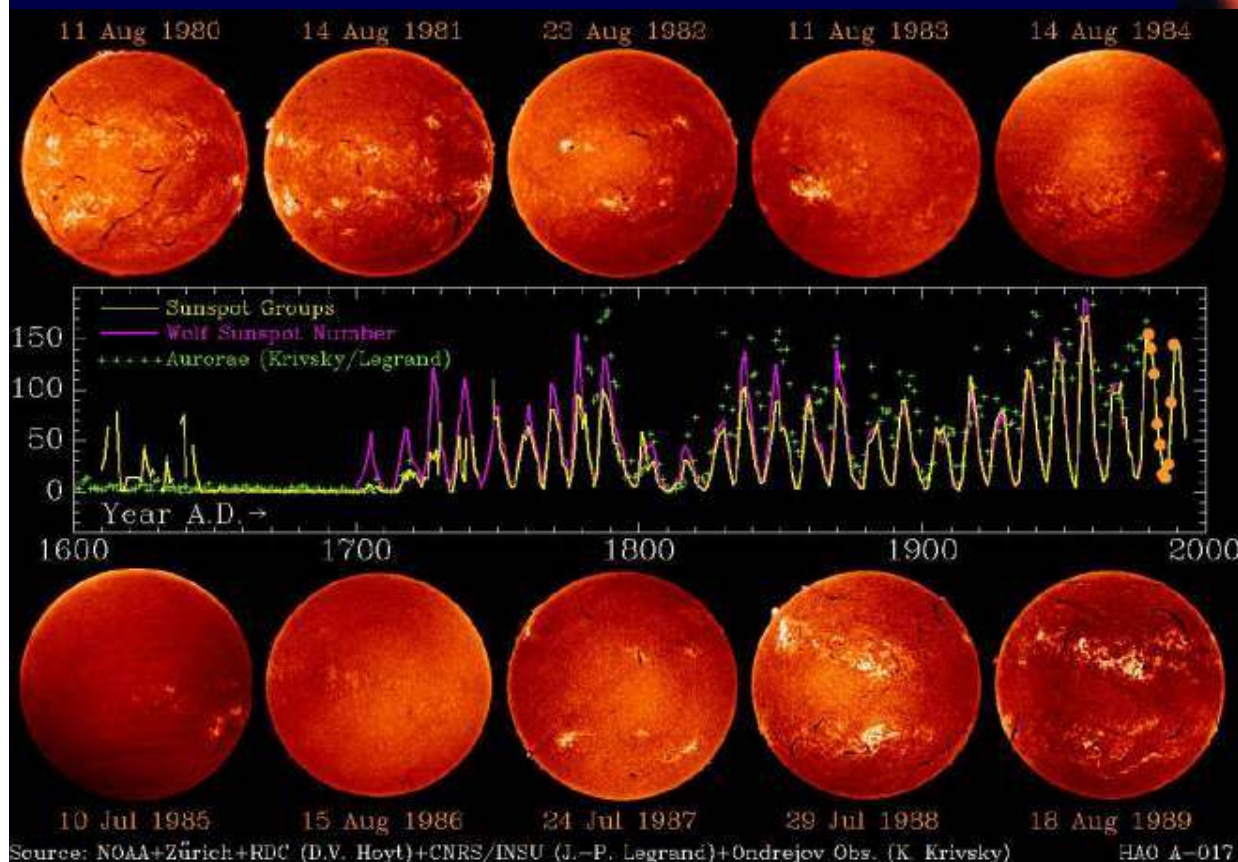
Ionoszféra

Earth



# Napciklusok a múltban

- **Klimatológia**
- **A napfoltokat a legutóbbi 400 év óta jegyzik**
- **1640 után, csaknem 60 éven át nem voltak napfoltok**
- **Ugyanezen periódusban igen hideg volt Európában.**  
Ez az időszak a „kis jégkorszak”.
- **Van-e kapcsolat közöttük?**

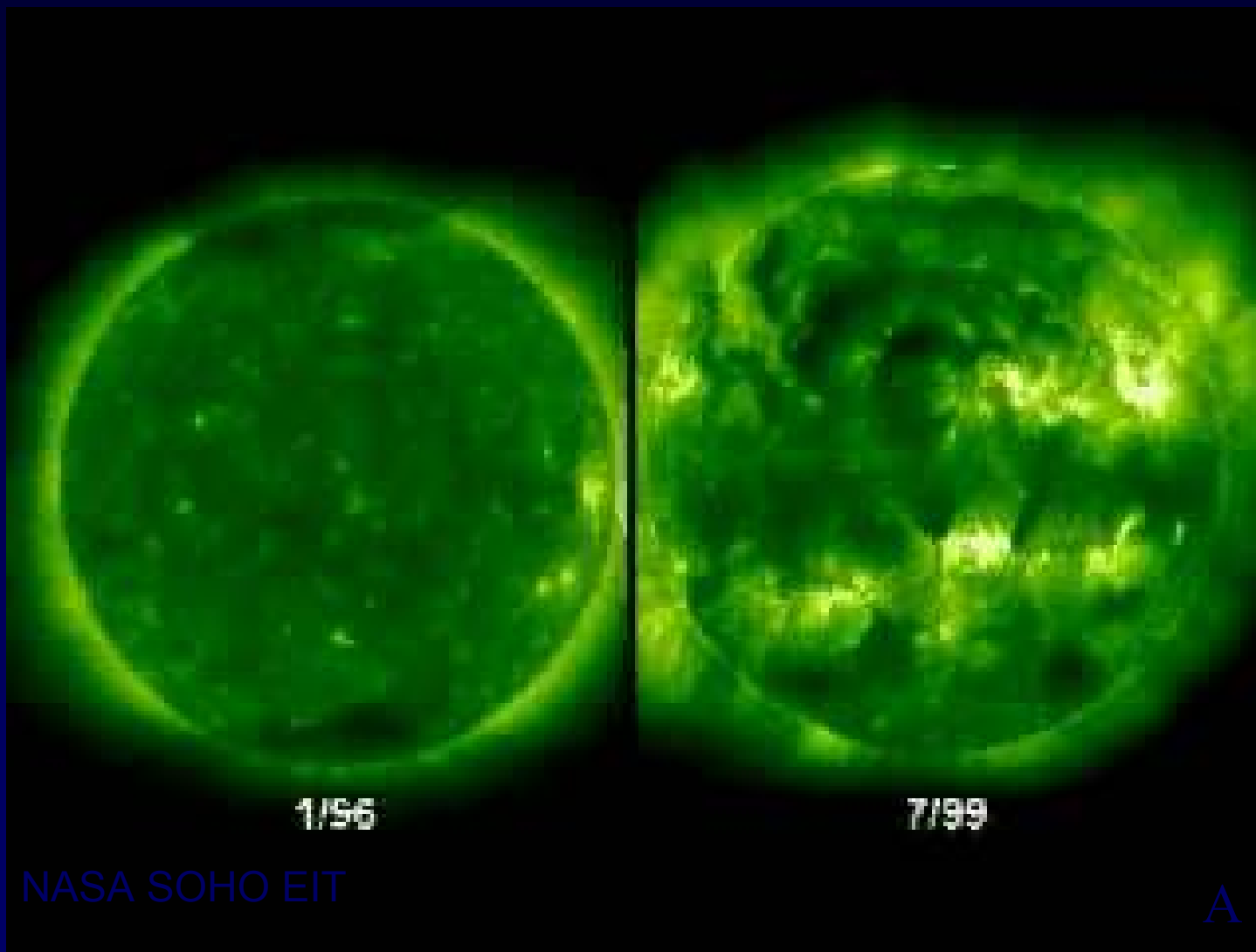




- ✓ A **Maunder minimum** időszakának középső része egybeesett az ún. **kis-jégkorszakkal** ⇒ Európa és Észak-Amerika jelentősen lehűlt; rendkívül hideg telek; pl. a Szajna és a Temze telente befagyott;
- ✓ A Nap tengely körüli forgása lelassult a **Maunder minimum** középső időszakában (1666-1700);  
⇒ jelen napfizikai ismereteink szerint egy nagyobb kiterjedésű és lassúbb tengelyforgású Nap napállandója kisebb ⇒ alacsonyabb hőmérsékleten sugároz ⇒ kevesebb hőenergia éri a Földet;

a naptevékenység  
minimuma, 1996-1997

a naptevékenység  
maximuma, 2000-2001



# A geomágneses viharok hatásai, 1989

## Quebec (Kanada) áramellátása 9 órán át szünetel

elektromos erőmű  
transzformátor



transzformátor károsodás



# A nagy energiájú részecskeáram légköri hatása a magas szélességek távközlési kapcsolataira (MSTK)

A poláris pályán haladó repülőgépek elveszítik a földi kommunikációt.

- Alternatív útvonalak szükségesek;
- Nagyobb az üzemanyag-felhasználás;
- Járatkésések;

## Példák az érintett járatokra:

- **10/26/00:** MSTK megszűnt a poláris visszaúton még a 75°N előtt; Tokyo: üzemanyag-felvétel; a repülőgép indulása korábban: 15:00, jelenleg: 20:30;
- **11/10/00:** a gyenge MSTK miatt az ORD → HKG nem poláris járat 47 perc késéssel indul;
- **3/30/01-4/21/01:** 25 repülőjázat az optimális poláris útvonaltól eltért az MSTK zavarai miatt, ami esetenként 6-48 perc késéssel járt;
- **11/25/00:** Poláris repülőjázat a visszaúton a 75 °N szélességnél tapasztalt erős naptevékenység miatt Tokyoban üzemanyagot kellett vételezzen;
- **11/26/00:** nem poláris járat 37 percet késett erős naptevékenység miatt;
- **11/26/00:** nem poláris járat 35 percet késett erős naptevékenység miatt;



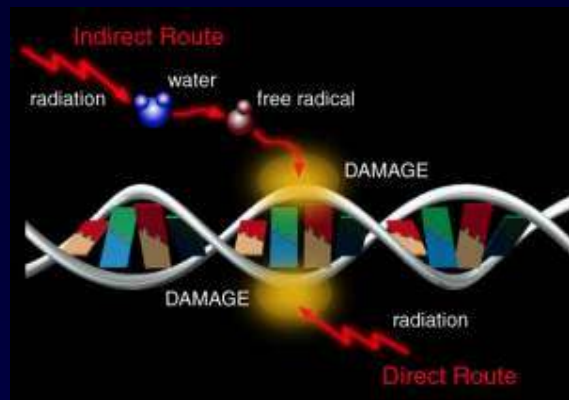


# Nagy energiájú részecskeáram

## Sugárzási kockázatok

### A nagy energiájú részecskék egészségi kockázatai

- Ember az űrben
  - ✓ Űrhajó;
  - ✓ Nemzetközi űrállomás;
  - ✓ Mars-expedíció;
- Legénység/utasok magasan repülő sugárhajtású gépeken
  - ✓ A Concorde belsejében (amíg rendszerben volt) műszeres sugárzás-mérés folyt;
  - ✓ az európai járatok legénységére kitettségi küszöbököt állapítottak meg;





**Madách Imre: Az ember  
tragédiája (részlet)**

**Midőn az ember földén megjelent,  
Jól bérházott éléskamra volt az:  
Csak a kezét kellett kinyújtani,  
Hogy készen szedje mindazt, ami kell.  
Költött tehát meggondolatlanul,  
Mint a sajtféreg, s édes mámorában  
Ráért regényes hipotézisekben  
Keresni ingert és költészetet.  
*De már nekünk, a legvégső falatnál,  
Fukarkodnunk kell, általlátva rég,  
Hogy elfogy a sajt, és éhen veszünk,  
Négy ezredév után a Nap kihűl,  
Növényeket nem szül többé a Föld;  
Ez a négy ezredév hát a mienk,  
Hogy a Napot pótolni megtanuljuk,  
Elég idő tudásunknak, hiszem.***

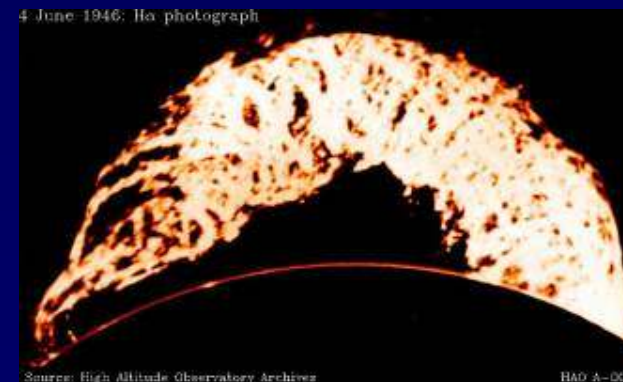
**Napkutató**  
**Történelmi visszapillantás**

# A napkutató rövid története

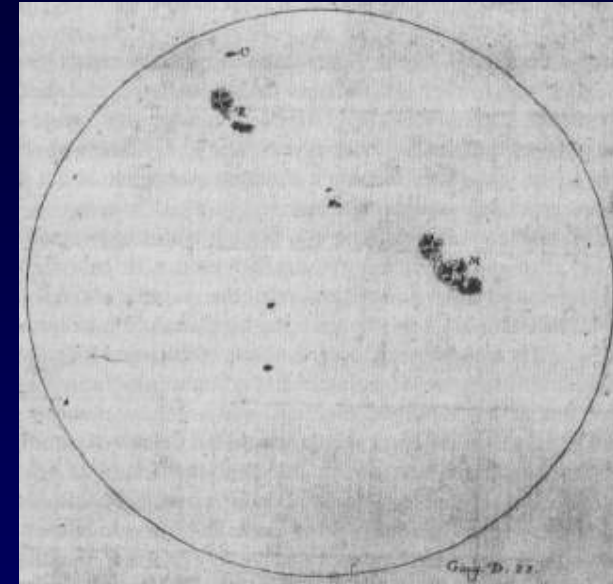
- kr.e. 800: az első valószínű napfolt-feljegyzés Kínában;
- kr.e. 200: Aristarchos (Samos) meghatározza a Föld-Nap távolságot; (számítása még nem pontos, de eltalálta a nagyságrendet);
- 968: a napkorona első említése (Leo Diaconus, Bizánc);
- 1128: az első rajz a napfoltról;



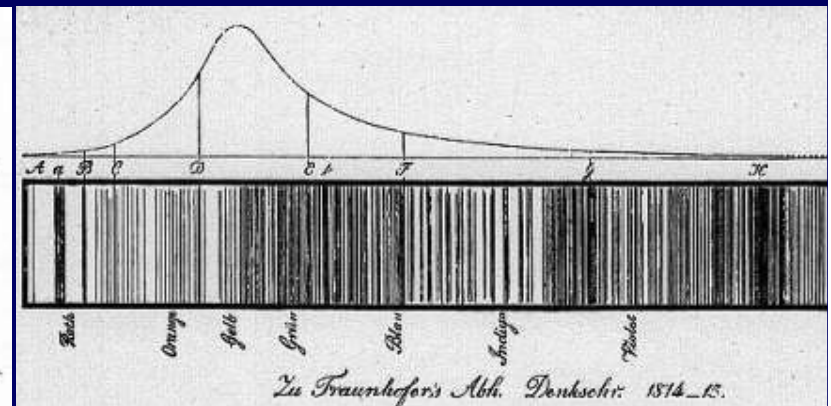
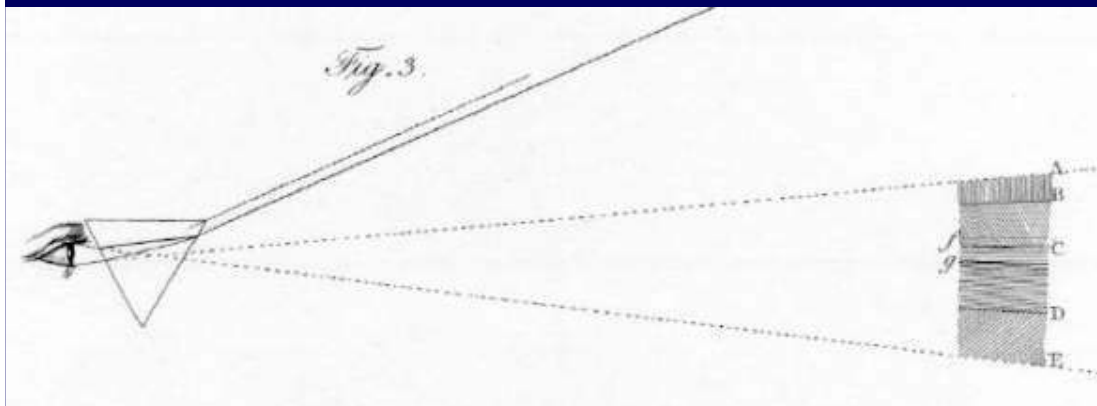
- 1185: egy napjelenség első leírása;



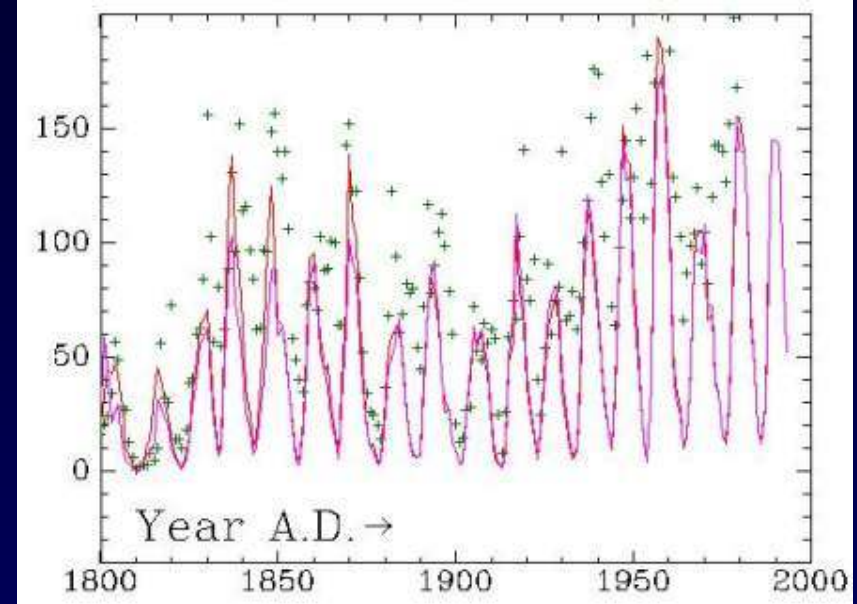
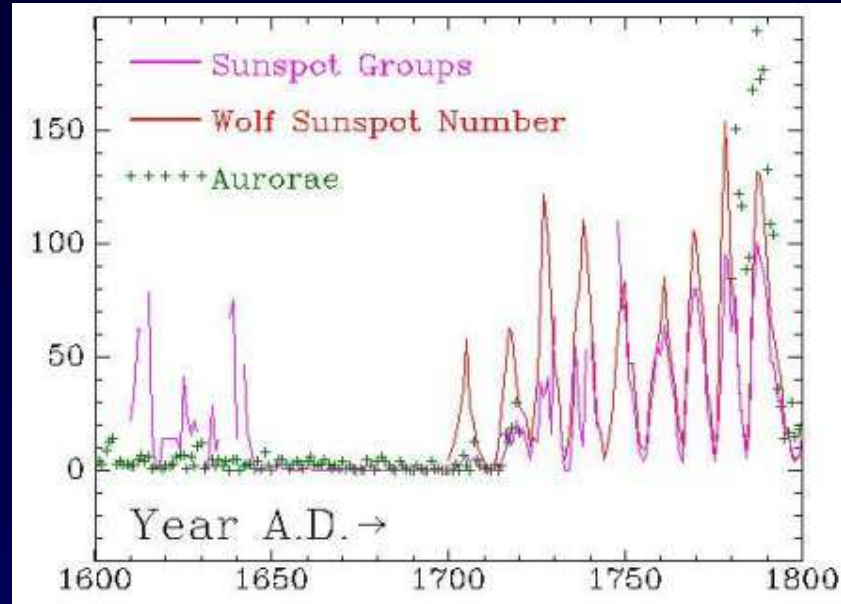
- 1543: Copernicus a középpontba helyezi a Napot;
- 1609: Kepler leírja a bolygómozgások törvényeit;
- 1610: az első távcsöves napfolt-megfigyelések (Goldsmid, Harriot, Galilei, Scheiner);



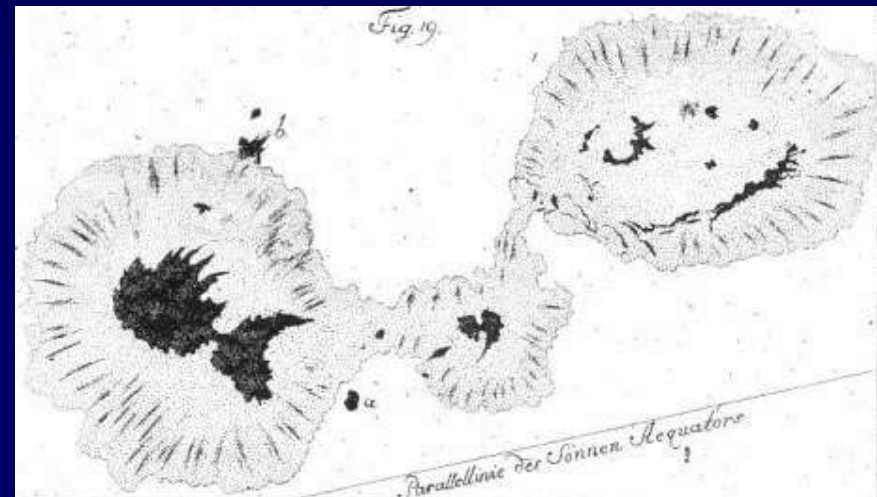
- 1645-1715: a napfoltok eltűnnek;
- 1817: az első Nap-spektroszkópia (Wollaston, Fraunhofer);



- 1830: a napfoltciklus fölfedezése (Heinrich Schwabe);
- 1645-1715: a napfoltok eltűnnek; az ún. **Maunder minimum**
- egybeesik az európai „kis jégkorszak”-kal;

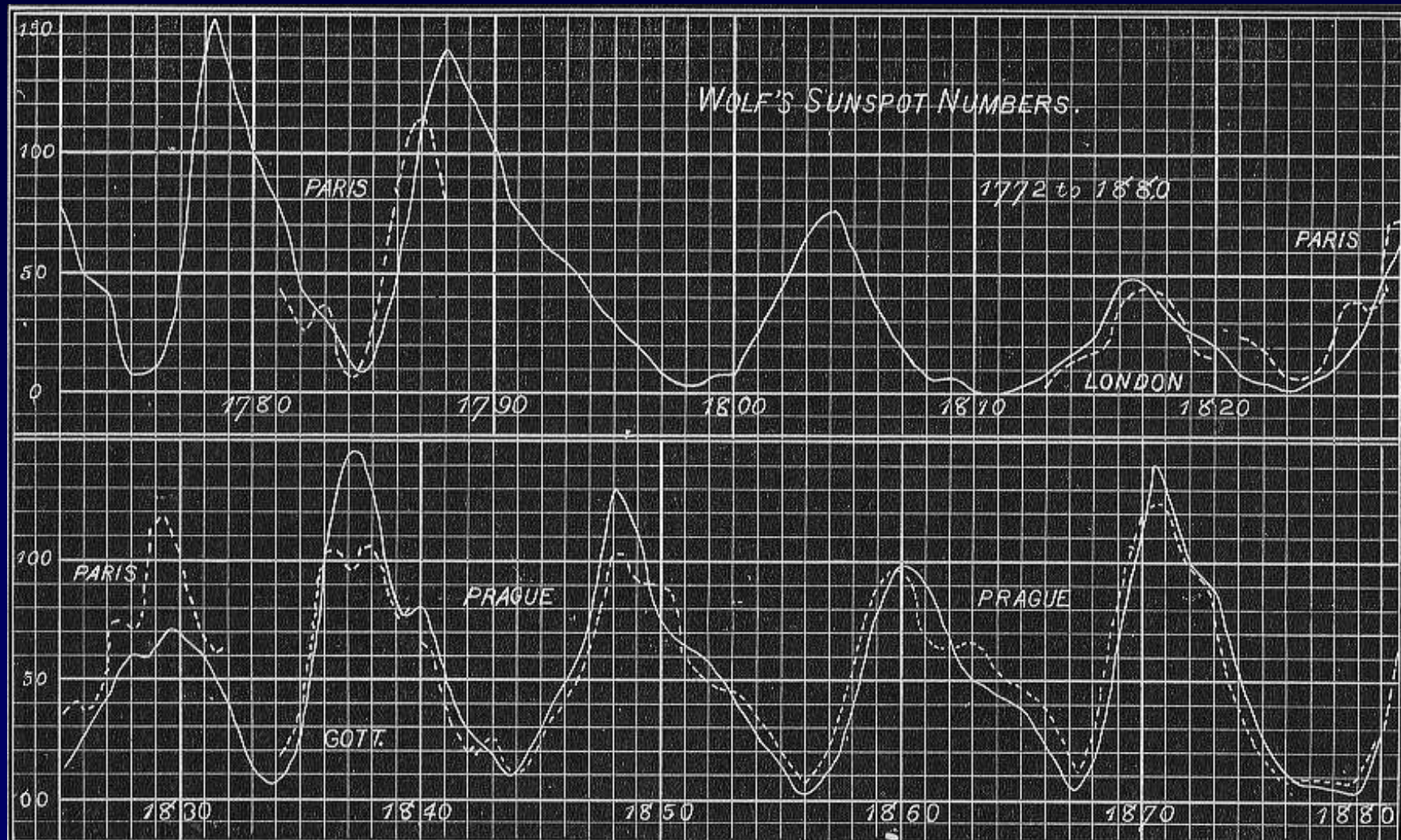


- 1850: Wolf definiálja a napfoltszámot; eszerint az 1755-1766 közötti ciklus az 1. ciklus;



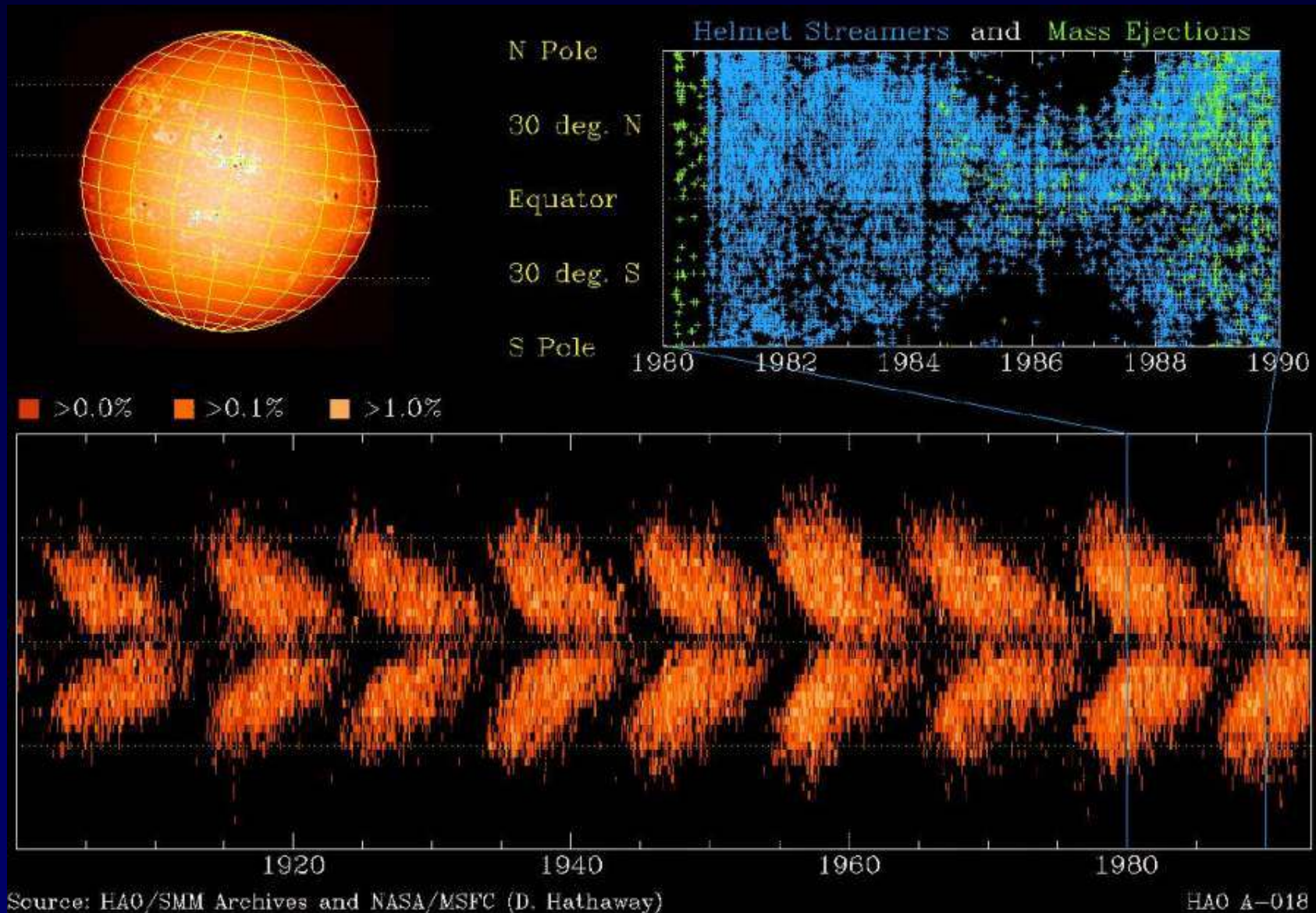


- 1852: a napfoltciklust kapcsolatba hozzák a geomágneses aktivitással (Sabine, Gautier, Wolf);  
A napfoltokban a Nap és a Föld általános mágneses terénél több ezerszer erősebb, függőleges irányú mágneses tér mérhető.



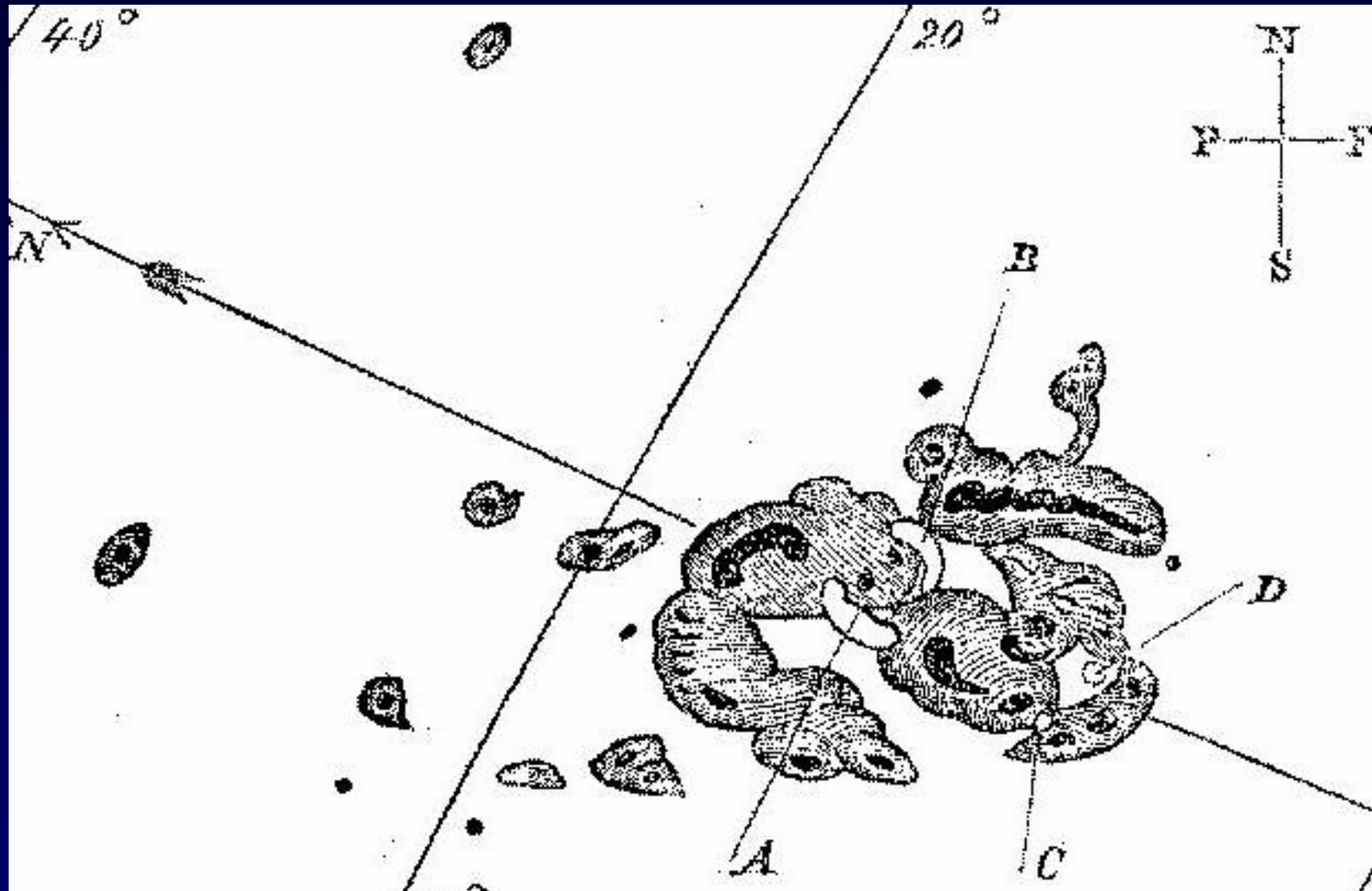


- 1858: a Nap eltérő rotációjának a fölfedezése (Carrington);
- 1880: Spoerer fölfedezi a napfoltok vándorlását;





- 1859: egy fler első megfigyelése (Carrington);

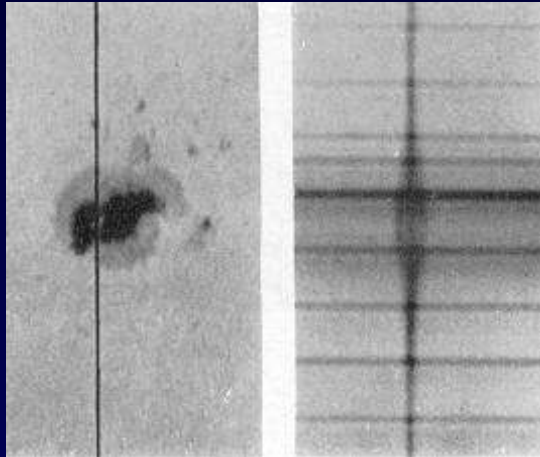


- 1860: koronatómeg kidobódásának (CME) első megfigyelése;

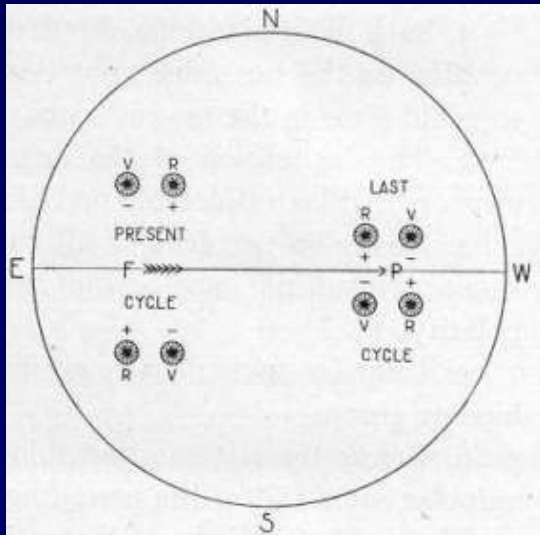


G. Tempel rajza az 1860. évi napfogyatkozásról

- 1919: a napfoltok mágneses természetének és mágneses ciklusának fölfedezése (G. E. Hale);

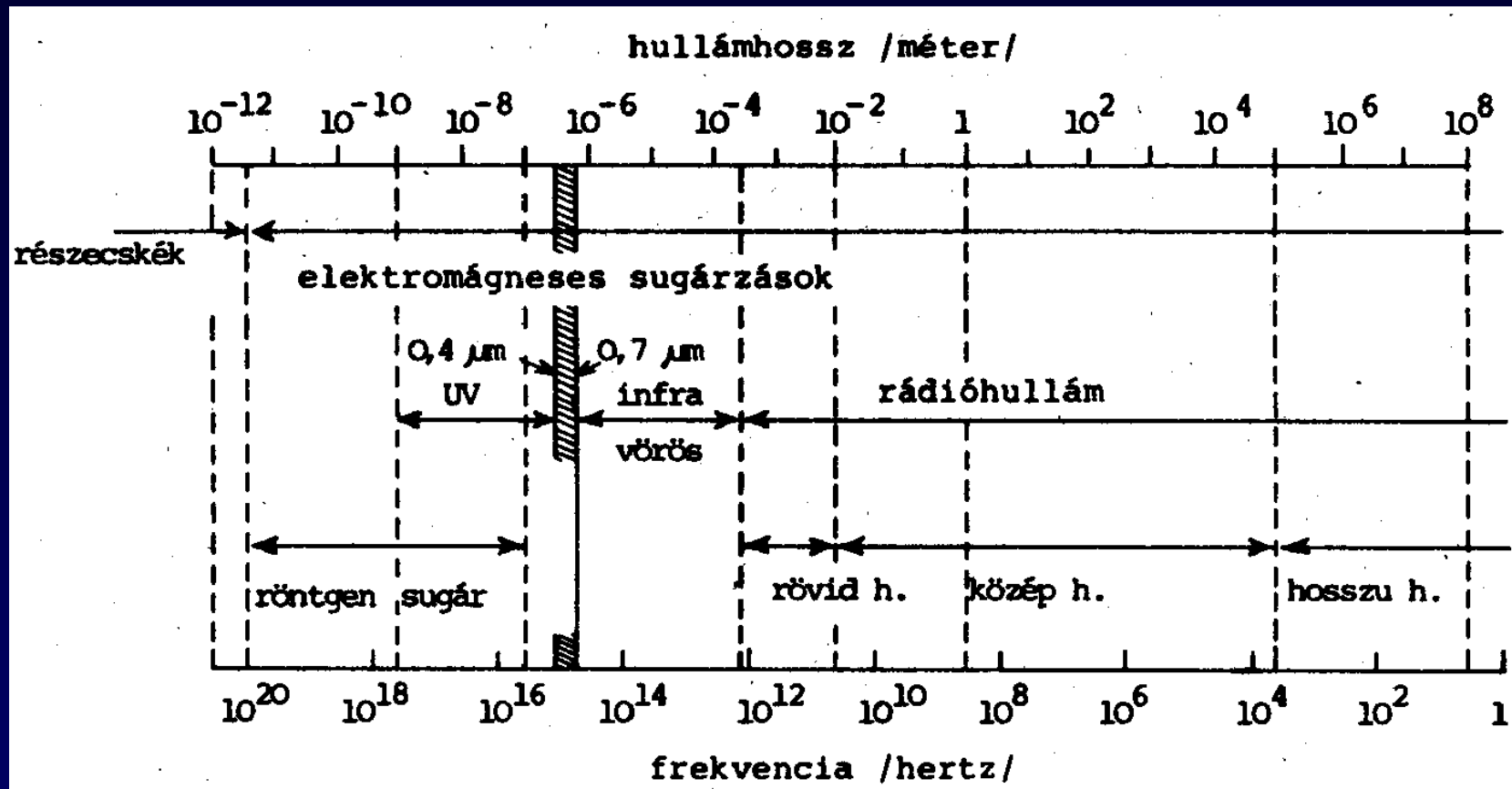


Napfolt spektrum a Zeeman hatással (vonalszakadás a mágneses mező miatt)



A Nap mágneses mezeje minden napfoltciklus (11 év) polaritását összekapcsolja

# Az elektromágneses sugárzás frekvenciasávjai

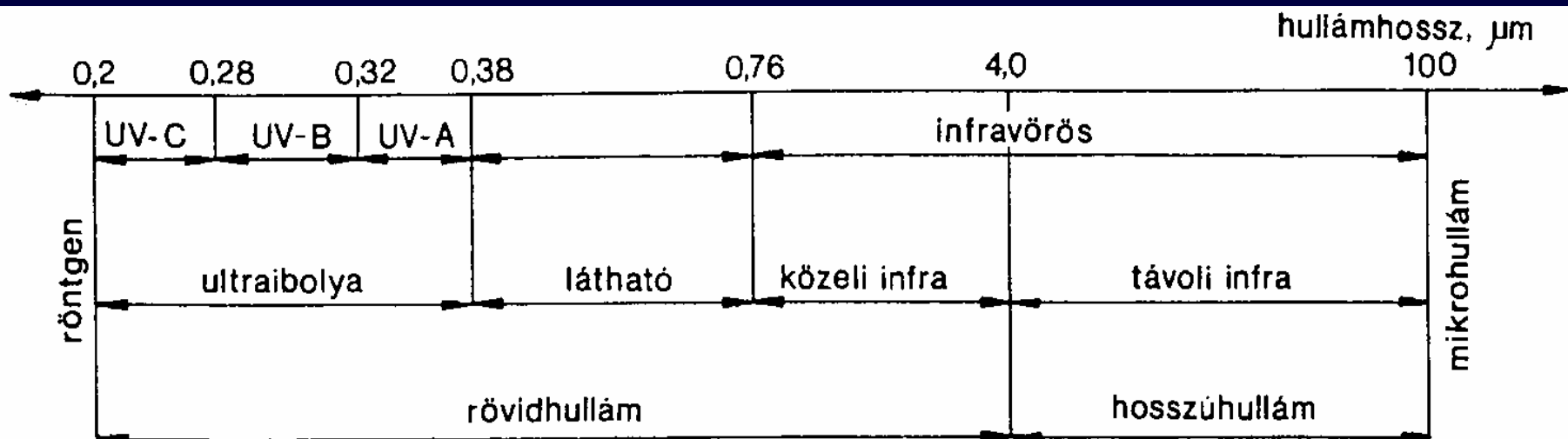


**frekvencia:** az elektromágneses hullámok másodpercenkénti ciklusainak a száma. Egysége: hertz [Hz;  $\text{s}^{-1}$ ]

- Az elektromágneses sugárzások hullámhossz szerinti spektruma:  
[ $10^{-9} \mu\text{m} < \lambda < 10^9 \mu\text{m}$ ];
- Az elektromágneses sugárzások hullámhossz szerinti felosztása:
  - ✓  **kozmikus sugárzás:**  $10^{-9} - 10^{-7} \mu\text{m};$
  - ✓  **gamma sugárzás:**  $10^{-7} - 10^{-5} \mu\text{m};$
  - ✓  **röntgen sugárzás:**  $10^{-5} - 10^{-1} \mu\text{m};$
  - ✓  **ultraibolya sugárzás:**  $10^{-1} - 4 \cdot 10^{-1} \mu\text{m};$
  - ✓  **látható fény:**  $4 \cdot 10^{-1} - 8 \cdot 10^{-1} \mu\text{m};$
  - ✓  **infravörös sugárzás:**  $8 \cdot 10^{-1} - 3,5 \cdot 10^2 \mu\text{m};$
  - ✓  **elektromos rövidhullámok:**  $3,5 \cdot 10^2 - 10^6 \mu\text{m};$
  - ✓  **rádióhullámok:**  $10^6 - 10^9 \mu\text{m};$



# Az elektromágneses spektrum meteorológiai felosztása

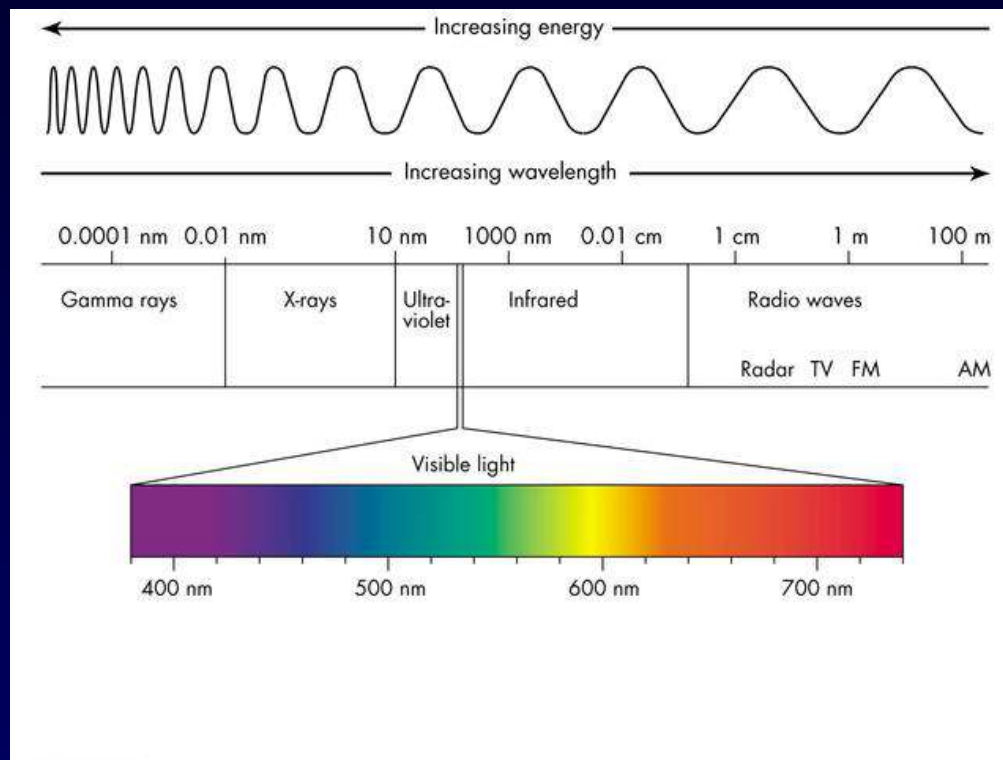


# Az elektromágneses sugárzás spektruma

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$h = 6,625 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

Planck-állandó



$$1 \text{ nm} = 10^{-3} \mu\text{m}$$

- **Honnan származik a sugárzás?**

- töltött részecskék;
- atommagok (gamma bomlás), atomok és molekulák (emisszió) energia átmenetei;
- maghasadás, magfúzió (a Nap proton-proton ciklusa);

- **Mi határozza meg a sugárzás energiáját?**

- összetétel (energia szintek);
- a rendelkezésre álló energia;
- hőmérséklet;

Kacsintgatott már csúfolódva  
A vén Nap is temetkezőn.  
Tetszett neki, hogy egy szivárvány,  
Egy szín-csoda ámulást terem  
Józan és trágyás mezőn.

Csak a szivárvány várt még mindig.  
Folyton szebb lett, ahogy bukott,  
Sírón nézett le a mezőre  
S aztán beitták szent színeit  
Távozó felhő-hugok.

Ady Endre: A szivárvány halála  
(részlet)

# A sugárzás főbb törvényei

Minden anyag, melyre  $T > 0 \text{ K}$ , a környező térbe sugárzást bocsát ki elektromágneses hullámok formájában, s ezzel energiát ad le; azaz, anyagának egy része elektromágneses sugárzási energiává alakul át.

A sugárzási és elnyelési viszonyok a test anyagi minőségétől is függenek.

A napsugárzás alábbi törvényei abszolút fekete testre vonatkoznak.

### **Definíció:**

Az abszolút fekete test olyan test, amely

- ✓ **minden sugárzást teljes mértékben elnyel;**
- ✓ **adott hőmérsékleten az elméletileg lehetséges legnagyobb teljesítménnyel sugároz;**

A természetben **abszolút fekete test** nem létezik, de a Nap, a légkör és a földfelszín ezt jól megközelítik.

## Max Planck (1858-1947)

- kezdetben: → termodinamika, az entrópia-fogalom tisztázása;  
**Definíció**: entrópia az anyagi rendszerek molekuláris rendezetlenségének a mértéke;
- később: → fekete test sugárzása;  
ennek energia-eloszlását a klasszikus termodinamika törvényei alapján nem lehetett a tapasztalattal egyezően leírni;  
⇒ új sugárzási törvény (**Planck-törvény, 1900**);  
forradalmian új feltételezés: a kisugárzott energia eloszlása nem folytonos, hanem diszkrét  $h \cdot \nu$  adagokra (kvantumokra) oszlik; → **1918: fizikai Nobel-díj**;



- ha  $\frac{\nu}{T} \gg 1$   $\Rightarrow$  **Wien-féle eltolódási törvény;**
- ha  $\frac{\nu}{T} \ll 1$   $\Rightarrow$  **Rayleigh–Jones-féle sugárzás törvények;**
- frekvencia szerinti integrálja  $\Rightarrow$  **Stefan–Boltzmann-törvény;**

A **Planck-törvény** a valóságnak megfelelően írja le a rezgő elektronok, illetve atomok energiáját,

$\Rightarrow$  új irány az elméleti fizika fejlődése előtt: lerakta a kvantumelmélet alapjait;

$\Rightarrow$  elvezet a fény kvantumos szerkezetéhez  $\rightarrow$  **Einstein-féle fotonhipotézis;**

- $\rightarrow$  **Einstein, Bohr, Heisenberg, Schrödinger** és mások;
- $\rightarrow$  **kvantumelmélet;**

## Planck-törvény:

Az abszolút fekete testek által kibocsátott sugárzás intenzitásának  $E(\lambda; T)$  spektrális eloszlását írja le:

$$E = f(\lambda, T)$$

**Planck** úgy tudott helyes eredményre jutni, ha feltételezte, hogy csak diszkrét, frekvenciafüggő  $E$  adagokban (kvantumokban) történhet az energia-átadás. Azaz:

$$E = h \cdot \nu \quad [J] \rightarrow [N \cdot m] \rightarrow [kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}]$$

ahol  $\nu$  a frekvencia és  $h$  a **Planck-féle állandó**, melynek értéke:

$$h = 6,625 \cdot 10^{-34} \quad [J \cdot s]$$

## Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887)

### Kirchhoff-törvény:

A **sugárzás elnyelés (abszorpció)** és a **sugárzás kibocsátás (emisszió)** mennyisége közötti összefüggést írja le. Eszerint, ha valamely test  $T$  hőmérsékleten és  $\lambda$  hullámhosszon  $e(\lambda, T)$  mennyiségű energiát bocsát ki magából és ugyanilyen feltételek mellett  $a(\lambda, T)$  mennyiségű energiát nyel el:

$$\frac{e(\lambda, T)}{a(\lambda, T)} = E(\lambda, T)$$

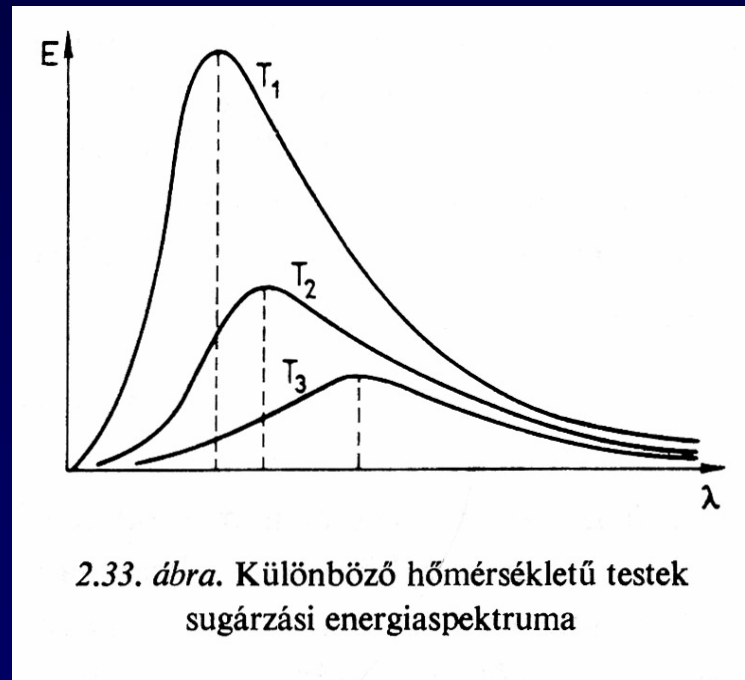
⇒ a kibocsátott és elnyelt energiák hányadosa nem függ a test anyagi minőségétől, csak a test hőmérsékletétől és a sugárzás hullámhosszától;

⇒  $E(\lambda, T)$  minden testre állandó, ha  $\lambda$  és  $T$  ugyanakkora;

A **Kirchoff-törvény** következményei:

- a jó elnyelő képességű testek jó kisugárzók is, és viszont;
- ha  $a(\lambda, T) = 1$  (a test teljes elnyelő)  $\Rightarrow$  a test abszolút fekete;  
ha  $a(\lambda, T) < 1 \Rightarrow$  a test szürke;

A különböző  $T_i$  hőmérsékleteken sugárzó testek sugárzási energiaspektruma



Az energiaspektrumot az adott hullámhossz körüli intervallumra vonatkoztatjuk.

$$\lambda \pm \Delta\lambda$$



A sugárzási energiaspektrumok összehasonlításából következik:

- A görbék alatti terület (a teljes spektrumon kisugárzott összes energiamentiség) annál nagyobb, minél magasabb a sugárzó test hőmérséklete;
- A görbék maximumpontjához tartozó  $\lambda$  hullámhossz annál nagyobb, minél alacsonyabb a sugárzó test hőmérséklete;

### Stefan–Boltzmann-törvény:

Joseph Stefan (1825-1893): a kinetikus gázelmélet egyik megalapítója;

Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906): a klasszikus statisztikus mechanika és a kinetikus gázelmélet egyik megalapítója.

Stefan, 1879: a **Stefan–Boltzmann-törvény** megállapítása kísérleti úton;

Boltzmann, 1884: az abszolút fekete test sugárzási energia-sűrűsége és a hőmérséklete közötti függvénykapcsolat elméleti meghatározása (**Boltzmann-féle sugárzási törvény**);

energia-sűrűség: egységnyi térfogatban lévő összes energia átlagos értéke

## Stefan–Boltzmann-törvény:

A sugárzás teljes spektrumának energia-tartalmát a **Planck-függvény** frekvencia szerinti határozott integrálja adja a  $\nu = 0$  és a  $\nu = \infty$  határok között.

Legyen  $E_\nu$  egy elektromágneses sugárzás spektrális sűrűségfüggvénye, ahol  $\nu$  a frekvencia. Ez azt jelenti, hogy a sugárzás intenzitása, azaz az egységnyi felületre vonatkoztatott sugárzási teljesítmény:

$$E = \int_0^{\infty} E_\nu d\nu$$

$$\left[ J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} \right]$$

A sugárzás intenzitása a hullámhossz szerinti spektrális eloszlásból:

$$E = \int_0^{\infty} E_{\lambda} d\lambda = \sigma \cdot T^4$$

innen:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$$

$$\left[ J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} \cdot K^{-4} \right]$$

a **Stefan-Boltzmann állandó**;

A spektrális eloszlás sűrűségfüggvénye:

$$E_{\lambda} = E_{\nu} \cdot \frac{c}{\lambda^2}$$

## Wilhelm Wien (1864-1928)

- kiszámította a röntgensugarak hullámhosszát a rajtuk végzett energiamérésekből;
- **Wien** és **Lummer** abszolút fekete testet konstruált;
- **Wien** ennek sugárzás-eloszlására megállapította a **Wien-féle törvényt**;

**1911: fizikai Nobel-díj** a hősugárzás törvényeinek felfedezéséért;

### Wien-féle törvény:

Az abszolút fekete test hőmérsékleti sugárzásának színekében

$T$  hőmérsékleten a maximális intenzitásnak megfelelő

$$\lambda_{E_{\max}}$$

hullámhosszra érvényes a következő összefüggés:

$$\lambda_{E_{\max}} \cdot T = b = \text{konstans}$$

Mivel a maximális sugárzáshoz tartozó hullámhossz a sugárzó test hőmérséklete szerint tolódik el az egyes hullámhossz-tartományok felé  $\Rightarrow$  **Wien-féle törvény**  $\equiv$  **sugárzás-eltolódási törvény**;

- **Planck-törvény**  $\Rightarrow$  a  $b$  állandó meghatározása a **Boltzmann-állandó**, a **Planck-állandó** és a fénysebesség ismeretében:  
 $b = 2884$ ;

$$\lambda_{E_{\max}} = \frac{2884}{T} \quad [\mu m]$$

- Pl. a Nap felszíne:  $T = 6100 \text{ K} \Rightarrow \lambda_{E_{\max}} = 0,473 \quad [\mu m] \Rightarrow$  kék színű fény;
- Pl. a Föld felszíne:  $T = 288 \text{ K} \Rightarrow \lambda_{E_{\max}} \approx 10 \quad [\mu m] \Rightarrow$  infravörös sugárzás;



**Bús bíborkirályfi, Naplemente  
Búcsúcsókjától ég a dús kalász,  
Néhány vidám tücsök dalt dudorász,  
S úgy ing a Földön csendes este enyhe,  
Mint vén öreg huszáron lóg a mente,  
Kit nem ölel a nyárestéli láz,...**

**József Attila: Aratás előtt (részlet)**

# **A Nap sugárzása**

▪ **kb. 13,7 milliárd éve: ősrobbanás;**

- **Ezután:** létrejönnek a galaxisok;  
a folyamat során az Univerzumot kitöltő gáz összecsomósodik → a csomók anyaga csillagokba tömörül tovább;
- **Ezután:** a galaxisok nagyobb rendszerekbe, halmazokba rendeződnek ⇒ heves mozgások ⇒ gyakori galaxis-ütközések, kölcsönhatások ⇒ a galaxisok magjába behulló anyag  $10^6$ - $10^8$  db Nap tömegű fekete lyukakat hozott létre;
- **Ezután:** kölcsönhatások, kvazár-korszak, **kb. 8 milliárd éve**  
⇒ egyes galaxisok anyagot vesztek / eltűntek,  
⇒ más galaxisok óriási méretűvé nőttek;

## ■ kb. 5 milliárd éve: a Nap kialakulása;

- Egy átlagos galaxis-szuperhalmaz peremén, egy átlagos óriás spirálgalaxis korongjának egy pontján fellángol egy szupernóva (egy csillag halála);

(Egyes - a naprendszerrel egyidős - meteoritok anyagában olyan radioaktív izotópok bomlástermékeit találták meg, melyek csak szupernóva-robbanás útján kerülhettek bolygórendszerünk alapanyagába; ⇒ legfeljebb néhány millió évvel a Naprendszer születése előtt keletkezhetek, azaz a robbanás közvetlenül megelőzte a Nap létrejöttét.)

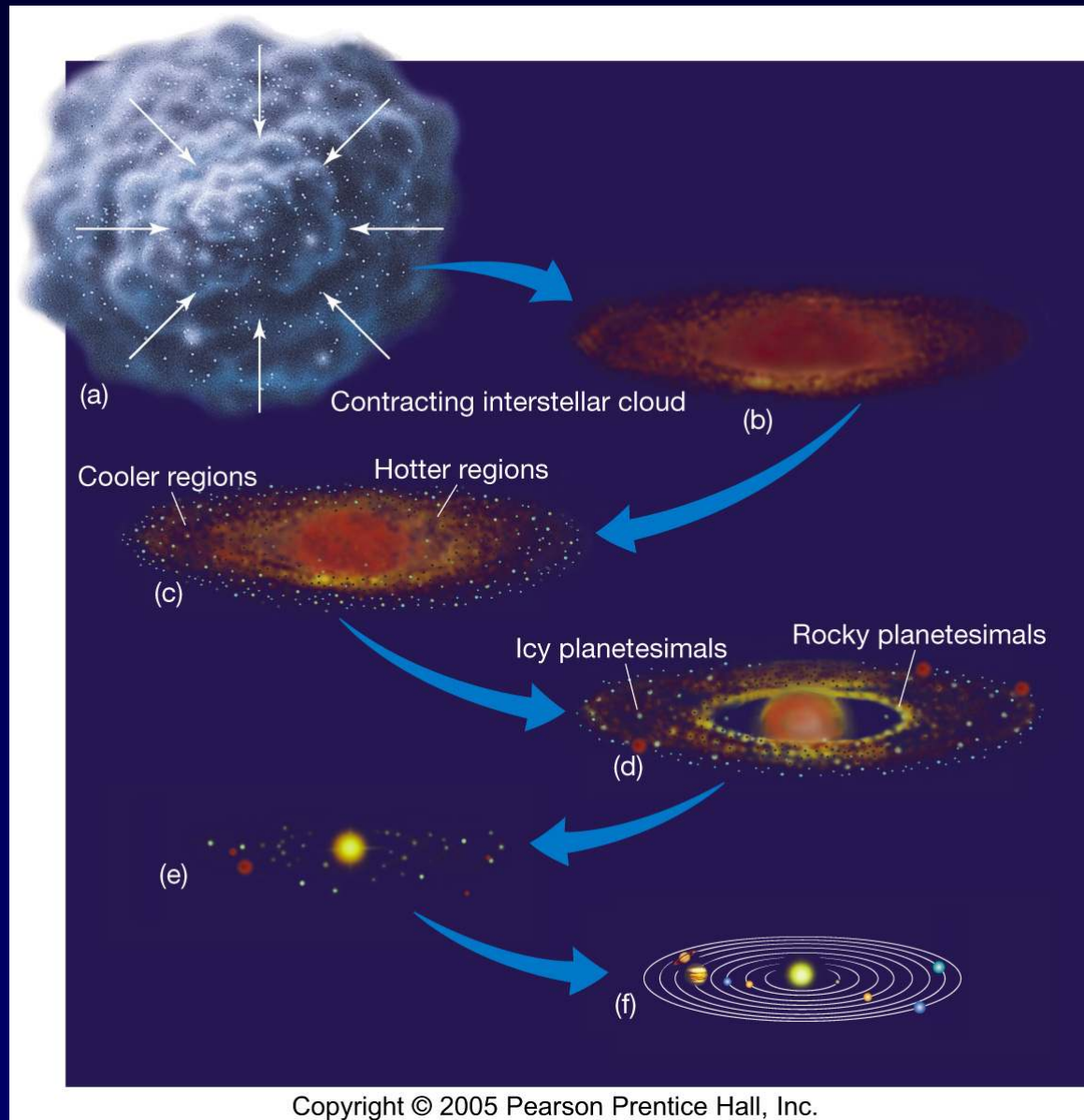
- ⇒ nagy mennyiségű nehézelem szóródik szét a környező csillagközi térbe;
- ⇒ a kidobott anyag hűlése során porszemekké kondenzálódik, melyek elkeverednek egy közeli csillagközi gáz- és porfelhő anyagával;
- ⇒ a felhő egyes részeiben, a szupernóva-robbanás lökésfrentjének torló hatására a sűrűség igen magas lesz;
- ⇒ megindul az a csillagképződési folyamat, melynek során a Nap is kialakul;

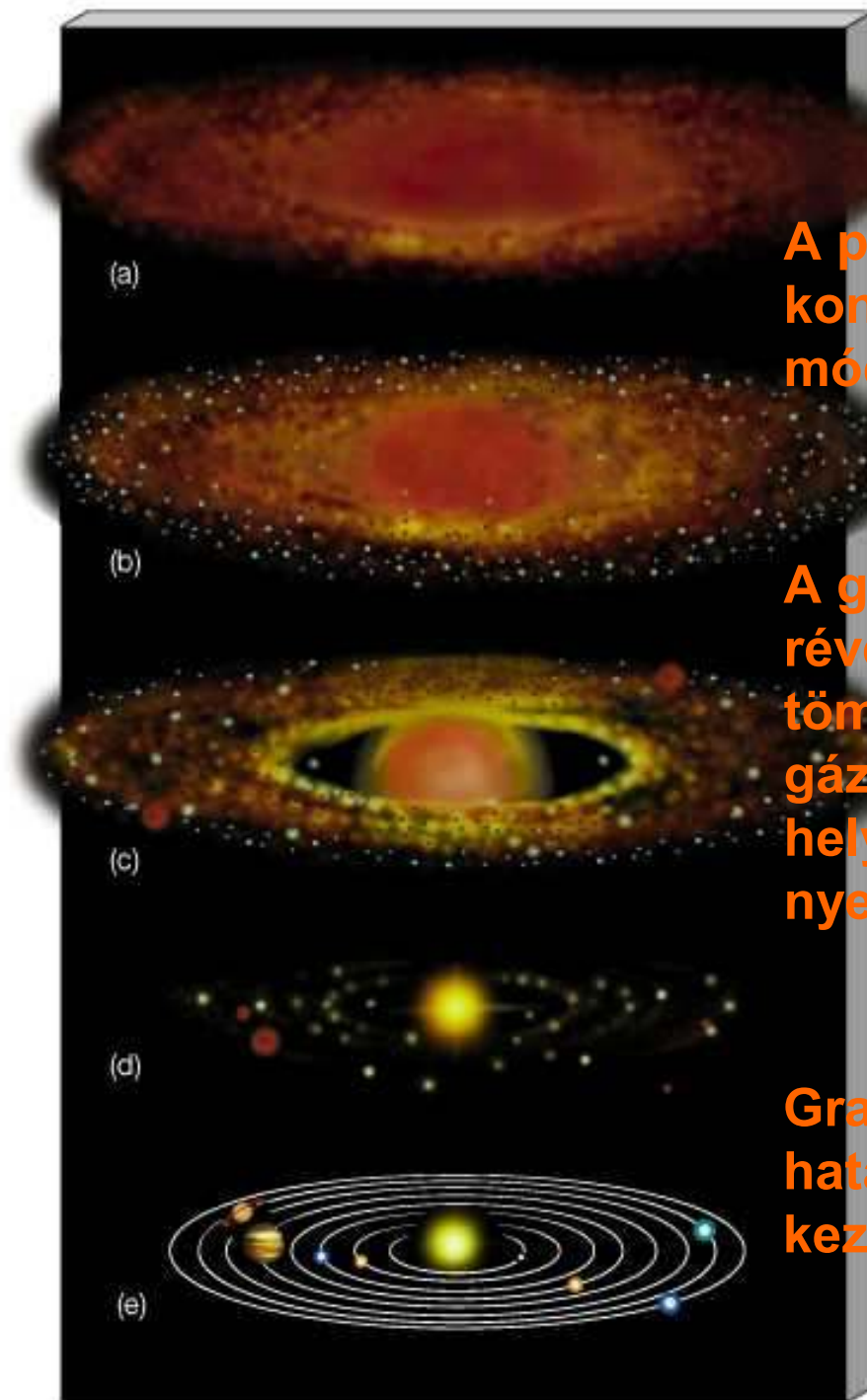
- ✓ ⇒ a felhő anyaga nem tud ellenállni saját gravitációjának;
- ✓ ⇒ tömörülni kezd (e folyamat alig néhányszor  $10^5$  évig tart) és egyidejűleg hevül;
- ✓ ⇒ végül belső nyomása elég magas lesz ahhoz, hogy ellenálljon a további gravitációs összehúzódásnak;
- ⇒ **kialakul az ősz-Nap;**  
igen fényesen világít, **de:** ez még nem a „saját” fénye, csak a korábbi gyors összehúzódás keltette hő, melynek többé nem volt utánpótlása;
- ⇒ az **ősz-Nap** lassan halványodott és zsugorodott → több millió év elteltével magjában kialakulnak a feltételek a hidrogén-atommagok héliummagokká történő fúziójához;
- ⇒ ez a reakció elég energiát adott ahhoz, hogy pótolja a sugárzással elveszített energiát ⇒ a Nap állandó állapotba jutott. Ma 4,5 milliárd éve tart ez az állapot, s még kb. ugyanennyi ideig folytatódni fog;

- ⇒ A Nap állapota e 4,5 milliárd év során is változik;
  - magjában lassan fogy nukleáris tüzelőanyaga, a hidrogén;
  - szerkezete fokozatosan átalakul;
  - ✓ **A Nap fényessége** a Föld **4,5 milliárd évvel ezelőtti** keletkezése óta 30 %-kal nőtt, s e növekedésből 5 % jutott a legutóbbi 600 millió évre; → **MIÉRT?**
- A magfizika törvényei szerint a Nap, mint csillag, egyre nagyobb és fényesebb lesz → a Nap ma élete delén van → még kb. **4,5 milliárd év** ⇒ vörös óriás → fehér törpe → **elpusztul;**



# A naprendszer kialakulása

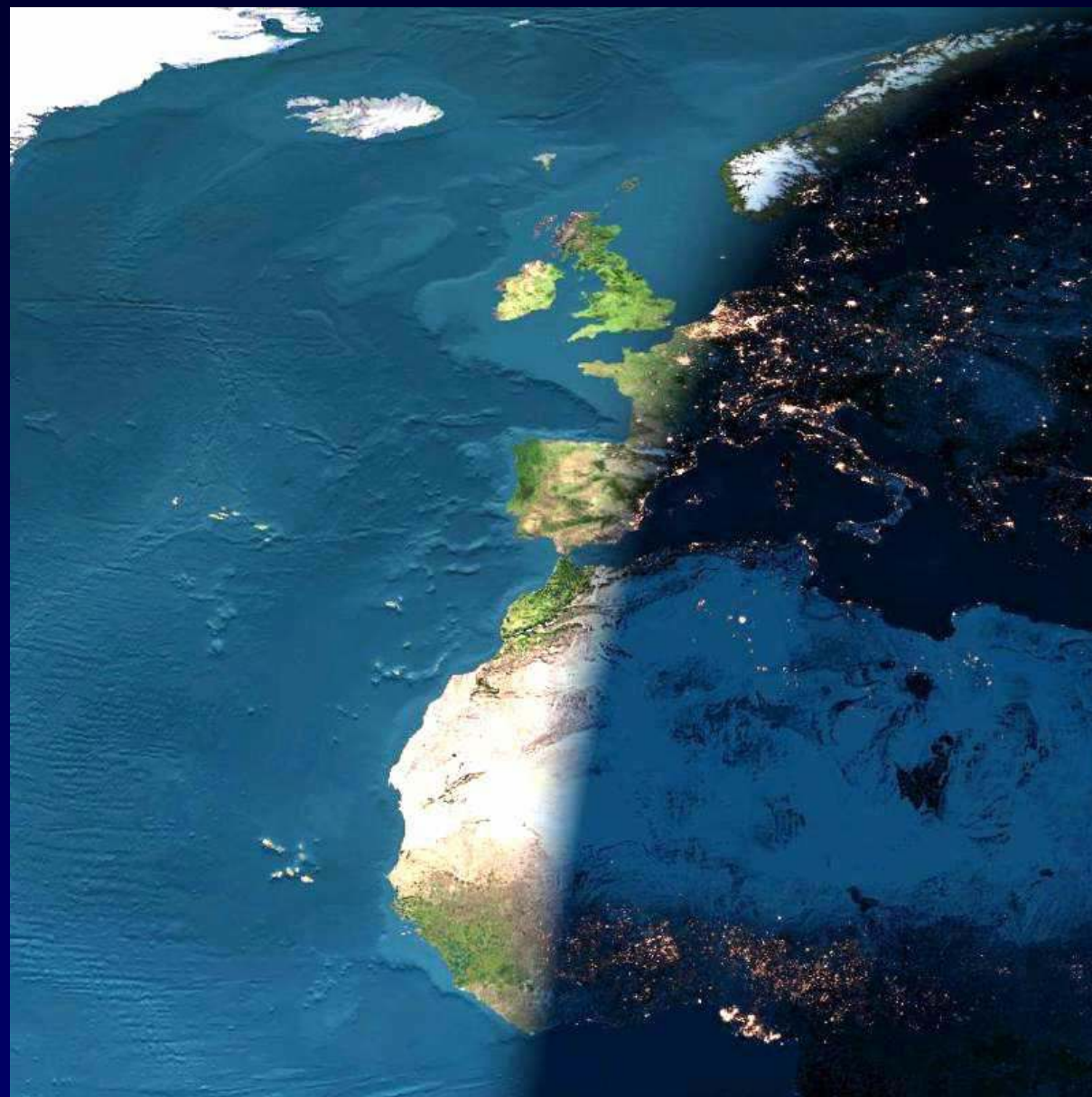




**A porszemcsék kondenzációs magvak módjára viselkednek.**

**A gázok erős napszél révén lökődnek ki a Nap tömegéből. A por- és gázfelhők csomósodási helyein bolygókezdemények jönnek létre.**

**Gravitációs kölcsönhatás a bolygókezdemények között.**



**Mára befejeztük, jó éjszakát!**