

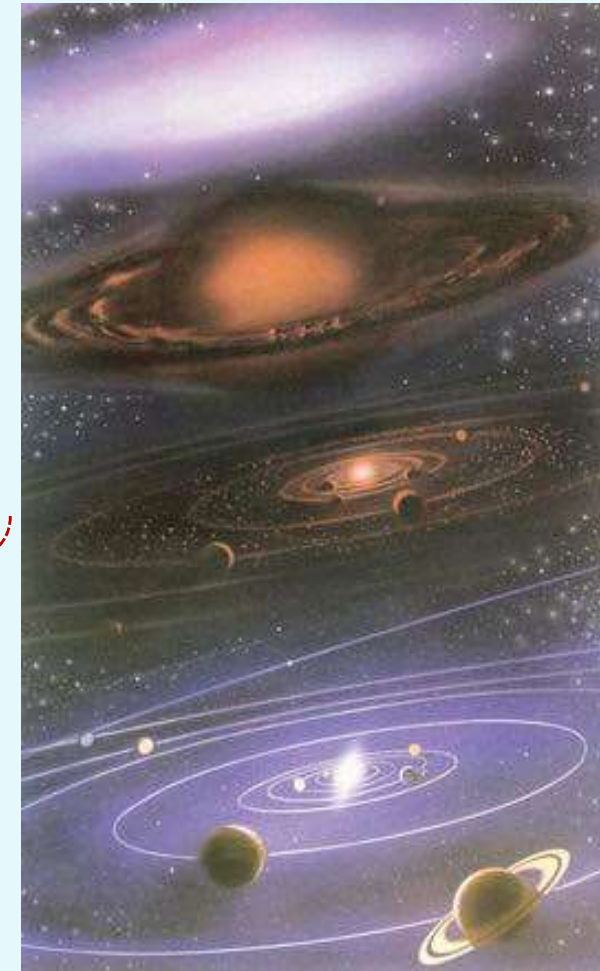
Fizika űrmérnököknek

3. A Naprendszer és a Föld

A kozmikus sugárzás földi észlelése. A Tejútrendszer és a Naprendszer felépítése, szerkezete, a Naprendszer bolygórendszerének kialakulása, a Föld csillagászati vonatkozású tulajdonságai. A Naprendszer vizsgálati lehetőségei, meteoritok, holdi és marsi kőzetek elemzése, annak eszközei.

Naprendszer keletkezése

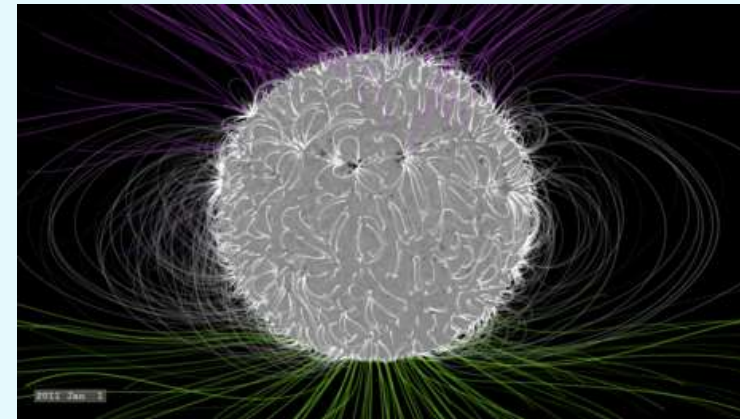
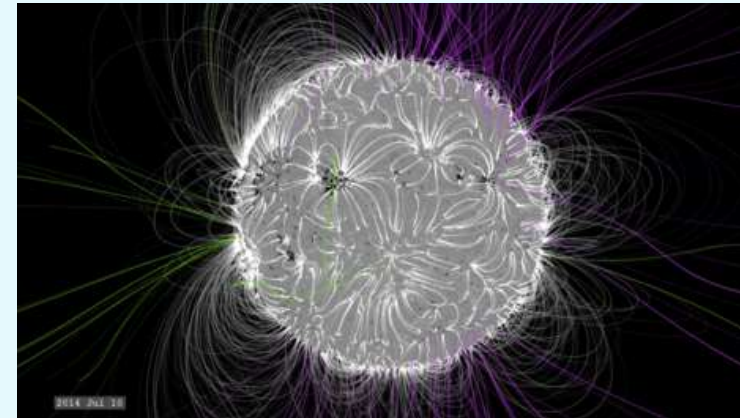
- $4,6 \cdot 10^9$ évvel ezelőtt: gáz és por \Rightarrow gravitáció hatására sűrűsödés \Rightarrow hőmérsékletnövekedés \Rightarrow Nap kezdeménye
 - Forgás az impulzusmomentum megmaradása miatt \Rightarrow forgási sík
 - Gravitáció \Rightarrow a Naprendszer síkjában anyagcsomók jönnek létre
 - 10-20 Mév \Rightarrow több száz bolygókezdemény 100-1000 km átmérővel
 - 1 CsE \approx 150 millió km \approx 8,32 fényperc, 1 fényév = 63 241 CsE
 - $R < 4$ CsE távolság nagy hőmérséklet \Rightarrow szilikátok, fémek \Rightarrow kőzetbolygók
 - Külső bolygók: gázok, folyékony anyagok
- | | |
|--|---|
| 175 K H_2O jég kristályosodik | 1600 K CaO, Al_2O_3 fém-oxidok |
| 150 K $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ammónia-hidrát | 1300 K Fe, Ni fémötvözet |
| 120 K $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{CH}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ metán-hidrát | 1200 K MgO, SiO_2 , MgSiO_3 |
| | 1000 K Al_2O_3 , SiO_2 |
| | 1200-490 K FeO, MgSiO_3 |



A Nap csillagászati tulajdonságai

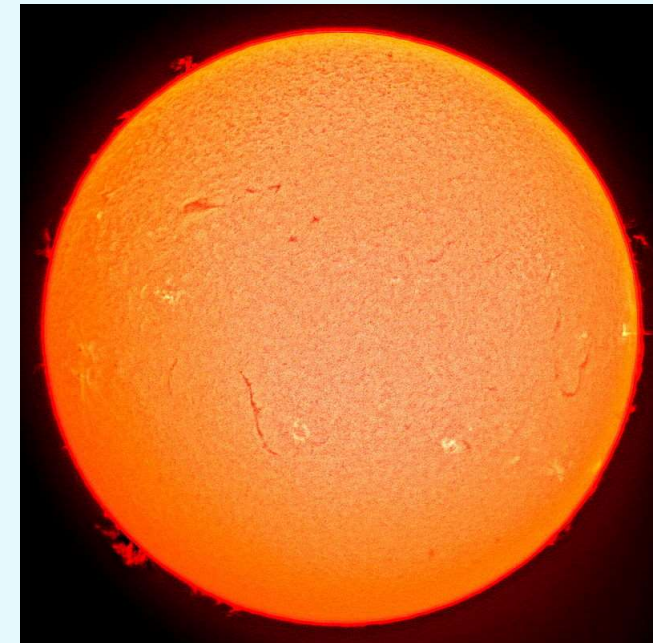
- Naprendszer anyagának 99,8 a%-át tartalmazza $m=1,99 \cdot 10^{30}$ kg, sűrűség $1,408$ g/cm³, $R_{\text{nap}}= 1,4 \cdot 10^6$ km
- Felszíni gravitáció $g=274$ m/s², szökési sebesség 618 km/s
- Felszíni hőmérséklet 5780 K, maghőmérséklet $\sim 14 \cdot 10^6$ K,
- Napkorona hőmérséklete $5 \cdot 10^6$ K, fényteljesítmény $3,9 \cdot 10^{26}$ W
- Forgási periódus 28 nap \Rightarrow Nap lapultsága ~ 10 km
- Forgása: mélyégi és felszíni rétegek sebessége eltérő
- Egyenlítő 25 nap/fordulat, sarkok 35 nap/fordulat \Rightarrow **mágneses tér**
- Impulzusmomentuma lassan csökken \Rightarrow gravitációs hatással adódik át a Nap körül keringő bolygóknak

A Nap mágneses terének változása (NASA)



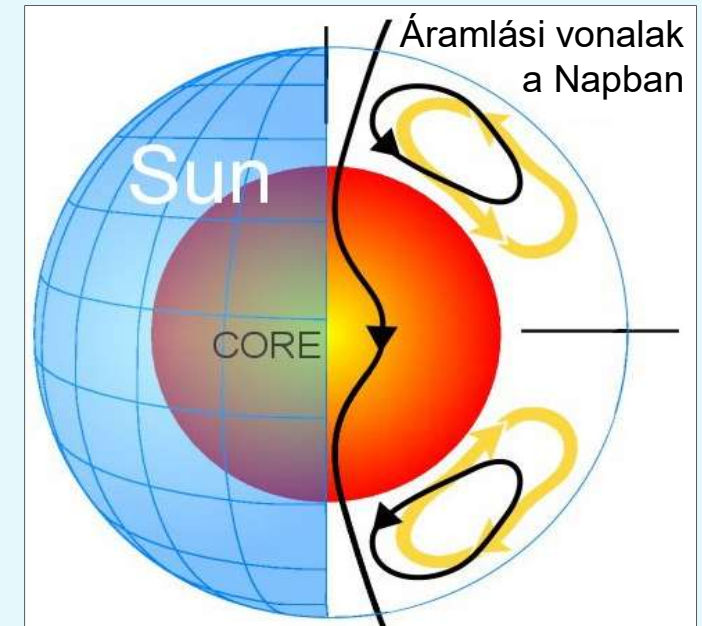
A Nap működése és belső szerkezete

- Nap nem elsőgenerációs csillag, kora $4,57 \pm 0,11$ Mrd év, kb. 5 Mrd. év múlva vörös óriás állapot
- Kieg a H \Rightarrow összehúzódás \Rightarrow He égés beindul \Rightarrow energiatfelszabadulás a szén fúziójából \Rightarrow külső réteg felfúvódik \Rightarrow hatása a közeli bolygókra azok pályasugarának növekedése
- Vörös óriás állapot: $T \sim 100$ Mrd K; folyamatos tömegveszteség \Rightarrow instabil ciklusok \Rightarrow **változócsillag**
- **Mag:** $R_{\text{mag}} \approx 0,25 \cdot R_{\text{Nap}}$, $T \sim 15 \text{ M}^\circ\text{C}$, H atomok fúziója, a felszabaduló energia 99% itt jön létre \Rightarrow gamma-, röntgensugárzás, neutrínók
- Tömegveszteség ($E=m \cdot C^2$) a fúzió miatt $\sim 10^9 \text{ kg/s}$ $\Rightarrow E = 4 \cdot 10^{26} \text{ W}$
- **Röntgensugárzási zóna:** $0,25 \cdot R_{\text{Nap}} \leq R_{\text{röntgen}} \approx 0,75 \cdot R_{\text{nap}}$ nincs energiatermelés; atomok ionizáltak \Rightarrow energia sugárzással terjed
- Hőmérséklet $7 \text{ M}^\circ\text{C} \leq T \leq 7 \text{ M}^\circ\text{C}$
- Sűrűség $0,2 - 20 \text{ g/cm}^3$ \Rightarrow gamma- és röntgensugárzás szabad úthossz $\sim 2 \text{ cm}$



A Nap belső felépítése

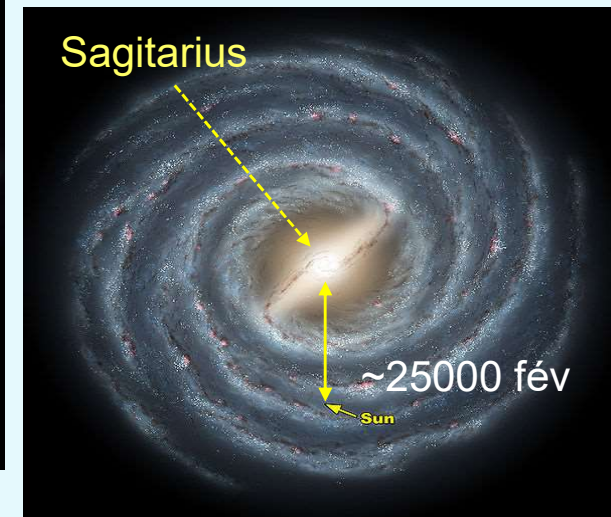
- Energiafelszabadulás után $\sim 10^6$ év mire kijut az űrbe EM sugárzással, kivétel **neutrínók**
- **Konvektív zóna:** az anyag részlegesen ionizált \Rightarrow energiaáramlás sugárirányú konvekció
- Csökkenő hőmérséklet \Rightarrow az anyag egyre inkább folyadékként viselkedik \Rightarrow rotációs áramlás sugar és tangenciális irányokban



- **Atmoszféra:** a Nap látható felszíne, fotoszféra (6500-4400 K), kromoszféra (4400 K), korona ($1-2 \cdot 10^6$ K) !!
- Skylab űrállomás: első felvételek az űrből a Napról
- Mágneses tér: belső áramlásokban töltött részecskék EM teret keltenek \Rightarrow **differentiális rotáció** \Rightarrow erős mágneses tér a pólusváltások során intenzív változáson megy át

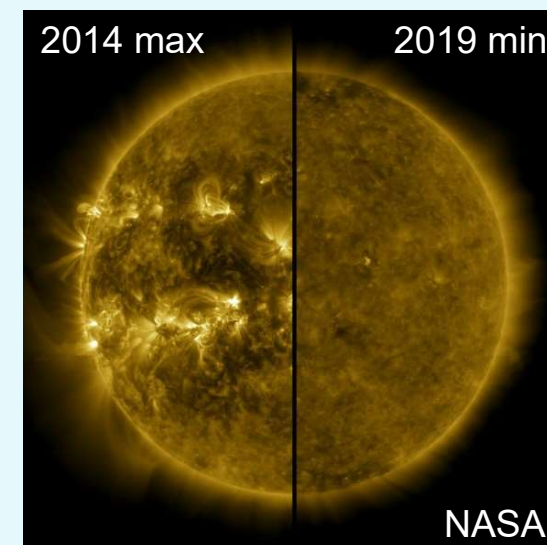
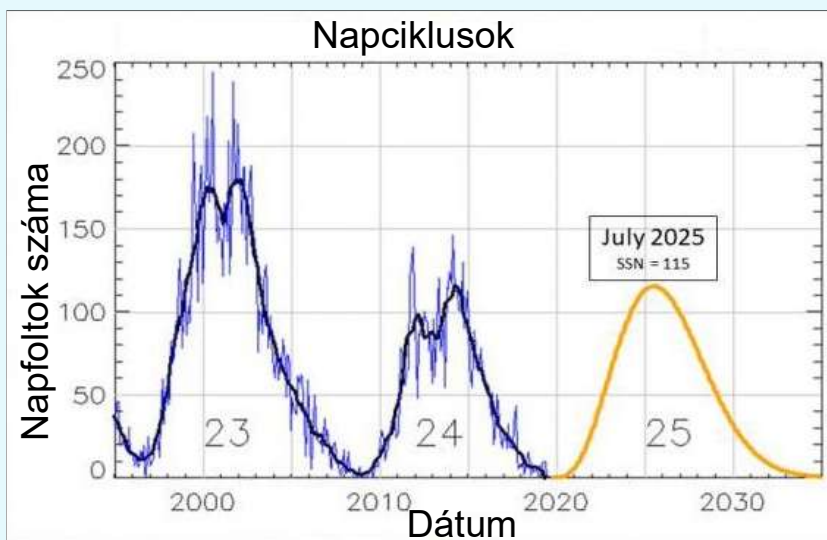
A Nap belső szerkezete

- Hatása van a Földre \Rightarrow mágneses zavarok az EM kommunikációban
- Helye a Tejútrendszerben: Orion-kar, Sagitarius-Föld távolság $\sim 25\,000 \pm 1\,000$, $v_{\text{nap}} = 278$ km/s
- Legközelebbi naprendszer Alfa Centauri 3-as1 csillagrendszer; $\sim 4,2$ fév
- Solar Dynamics Observatory (SDO): extrém UV, napszeizmikus és mágneses képalkotás,



Mi lesz a Nap további fejlődése?

- Leáll a további fúzió és sugározza a maradék hőenergiát \Rightarrow fehér törpe (Föld méretű) \Rightarrow fekete törpe
- Nem válik szupernóvává (Chandrasekhar-korlát a tömegre) \Rightarrow nem lesz neutroncsillag, sem fekete lyuk
- Szerkezete: EM sugárzás nem tud kijutni a felszínre
- Gravitáció \leftrightarrow fénynyomás, gáznyomás \Rightarrow egyensúly
- Napszeizmológia \Rightarrow információ a Nap belsejéről: rengéshullámok
- **Napfoltok** 11,2 éves ciklus kapcsolata van a mágneses pólusok felcserélődésével \Rightarrow hatása a Földre



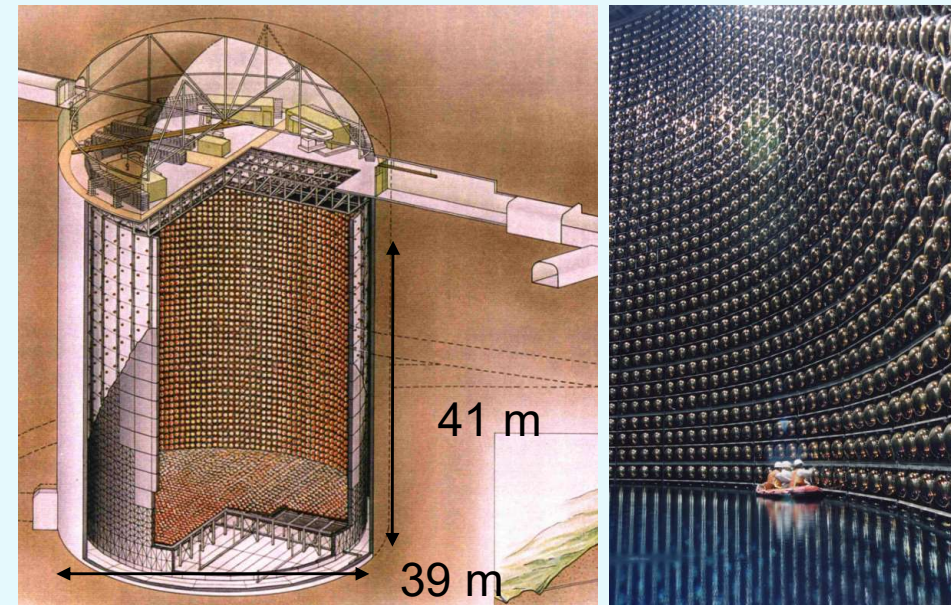
Nap-neutrínó kísérletek

- Neutrínó: lepton, csak gyenge-kölcsönhatnak, tömegeik: $m(\nu_\tau) < 3,2 \text{ MeV}$ $m(\nu_\mu) < 190 \text{ keV}$ $m(\nu_e) < 0,8 \text{ eV}$
- Neutrínótömeg hatással van a Napmodellre \Rightarrow meg kell mérni \Rightarrow **Ellentmondás**
- Neutrínók egymásba alakulása \Rightarrow **neutrínó oszcilláció**
- Homestake (USA 1970) neutrínók észlelése sóbánya -1500 m, 400 m^3 tetraklór-etilén $\text{C}_2\text{Cl}_4 \Rightarrow {}^{37}\text{Ar}$ kivonása $T_{1/2} = 35 \text{ d}$, $\nu_e + {}^{37}\text{Cl} \rightarrow {}^{37}\text{Ar} + e^-$



- Cserenkov detektor:
víz \Rightarrow kozmikus sugárzás és neutrínók észlelésére
- Tömeg 50,000 t tiszta víz + 11200 db. Foelektron-sokszorozó

Kamioka obszervatórium (Japán)

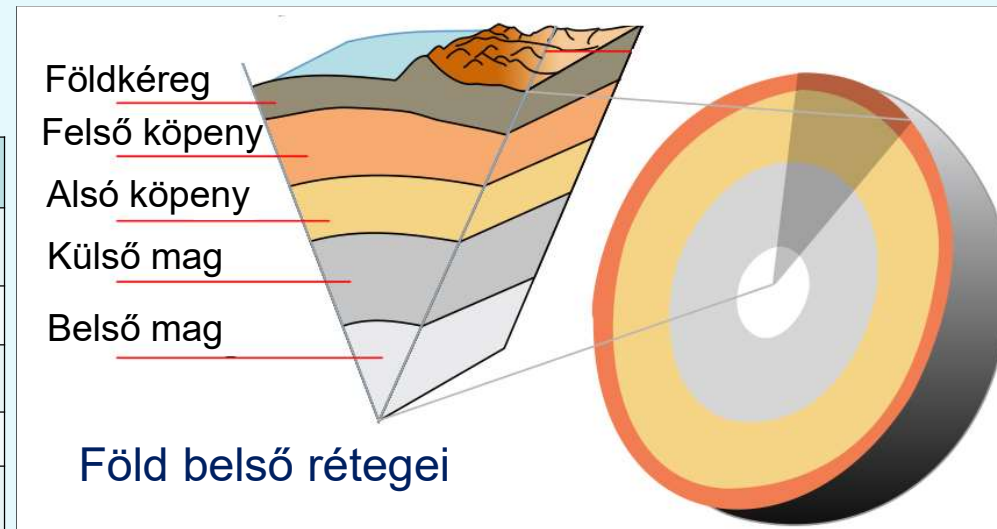


Föld



- Kialakulása $4,6 \cdot 10^6$ év \Rightarrow izzó olvad állapotú kőzetek \Rightarrow rétegződés az anyagfajták sűrűsége szerint
- Föld alakja: forgási ellipszoid, tengelyek hosszának eltérése $\approx 0,33\%$
- Összetétel: O 47%, Si 28%, Al 8% Fe 5%, Ca 4%, K 3%, Mg 2 %, Ti 0,5%, H 0,2%
- Mag: nehéz elemek Os (22,6), U (19,1), Ir (22,7), Pt (21,5), Au(19,3), Pb(11,3) g/cm³
- Információ a rétegekről: szeizmikus hullámok reflexiója a réteghatárokról
- Vulkánok anyagösszetétele

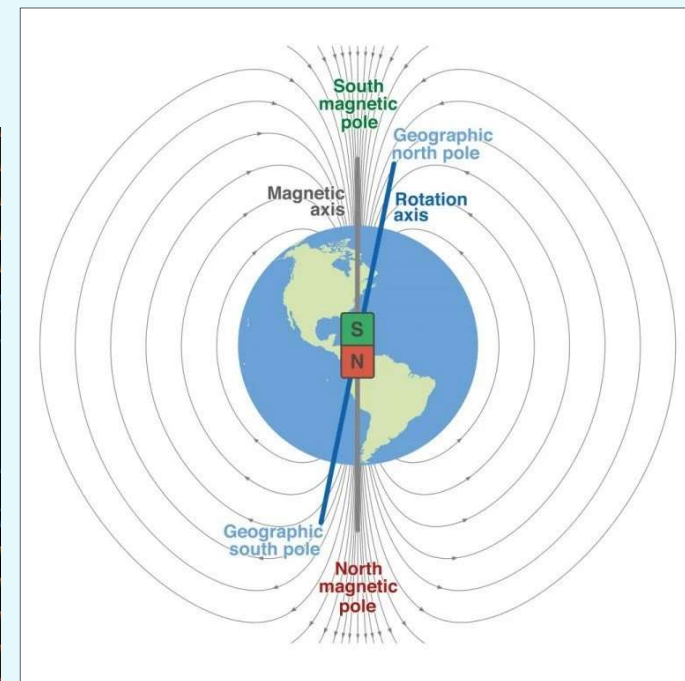
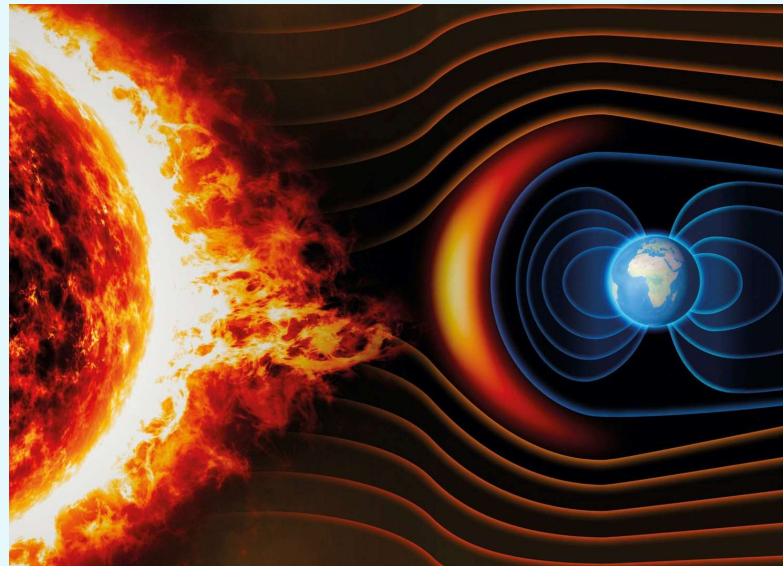
Rétegek	Mélység (km)	Sűrűség (kg/dm ³)	Hőmérséklet (°C)
Kéreg	0 - 35	2,2 – 2,9	0 - 500
Felső köpeny	35 – 700	3,4 – 4,4	500 - 900
Alsó köpeny	700 – 2890	3,4 – 5,6	3500 - 4000
Külső mag	2890 – 5100	9,9 – 12,2	4000 - 5000
Belső mag	5100 - 6378	12,2 – 13,1	5000-6000



Föld

- Mágneses tér: külső mag (KM) folyékony, a belső mag (BM) szilárd mindkettő forog **különböző szögsebességgel**
- Összetételük: KM Fe, Ni oxidok, BM Fe, Ni \Rightarrow EM teret keltenek
- 1. Fémek belsejében kvázi szabad elektronok vannak
- 2. Fe, Ni atomok (ferromágneses anyagok) mágneses momentummal rendelkeznek \Rightarrow mágneses térben elektromos töltések \Rightarrow EM tér jön létre, dinamó-hatás

- Mágneses tér + mozgó töltések
- Részecskére hat a Lorentz-erő
- Napszél, kozmikus részecskék mozgásiránya megváltozik
- Északi fény



Töltött részecske mozgása homogén, állandó mágneses térben

$$\vec{F}_{\text{Lorentz}} = q\vec{v} \otimes \vec{B} = \vec{r}_0 \frac{m|\vec{v}|^2}{r}$$
$$\Rightarrow r = \frac{mv}{qB}$$

\vec{B} mágneses indukcióvektor

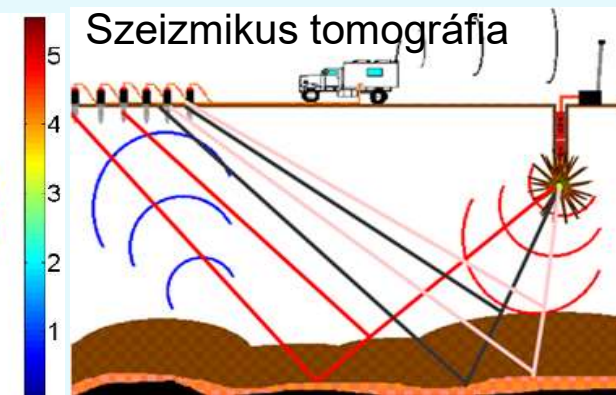
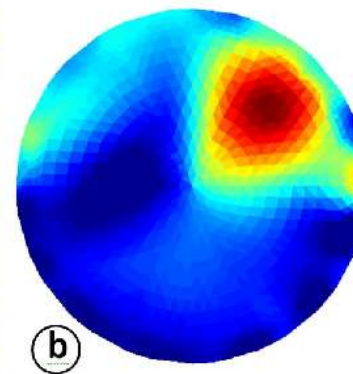
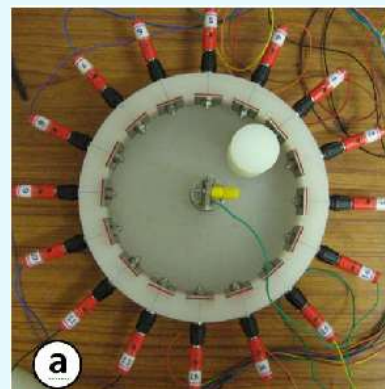
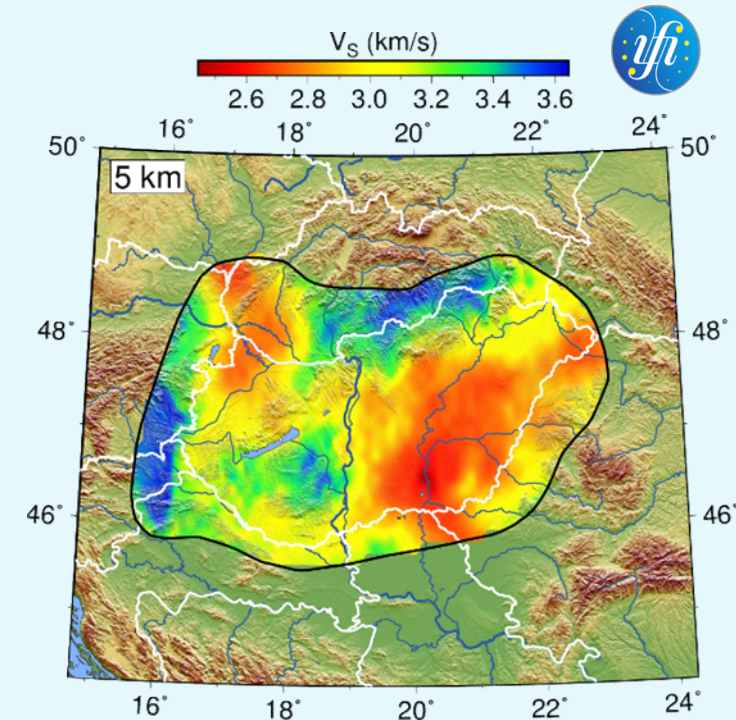
\vec{v} töltött részecske sebessége



- Lorentz-erő: merőleges a sebesség és indukció vektorokra
- A pólusok környezetében a mágneses erővonalak iránya gyorsan változik \Rightarrow a nagy sebességű részecskék a Földi légköbe jutnak \Rightarrow EM kölcsönhatás az atmoszféra molekuláival és atomjaival \Rightarrow gerjesztett állapotok \Rightarrow legerjesztődés és fényjelenség
- A mágneses tér megvédi a földi atmoszférát; Ha nem lenne \Rightarrow nem lenne élet a Föld felszínén

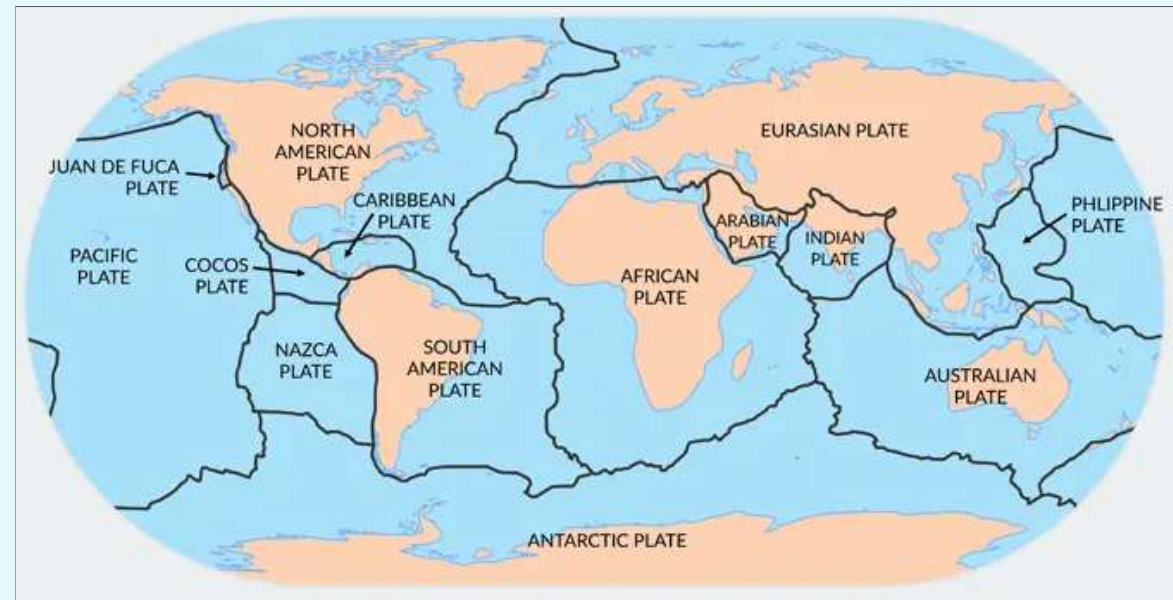
Föld belső szerkezetének vizsgálati módszerei

- Föld belső szerkezetének vizsgálata
- Akusztikus hullámok visszaverődése réteghatárokról, több felszíni ponton mérése, tomográfia
- Hullámok terjedési sebessége függ a közeg sűrűségétől, hőmérsékletétől, áramlásától, stb.
- Vulkanai kúrtók anyagának elemzése, gyémántbányák (1,5-2,0 km)
- Gyémántzárványok vegyületeinek elemzése
- Földfelszíni gravitációs tér mérése, Eötvös inga
- Folyékony (H_2O és CO_2 hatására) réteg a külső köpeny és a földkéreg között \Rightarrow kőzetlemezek vándorolnak \Rightarrow H_2O és CO_2 csere a felszín és a köpeny között



Földfelszín

- **Lemeztektonika:** a belső áramlási folyamatok miatt a földkéreg lemezei vándorolnak a felszínen (1-150 mm) vastagságuk ~100 km
- Érintkezési felületek mentén: hegységképződés, vulkánok
- Felület 71% víz, 97,5 % sós víz, 2,5% édesvíz, 29% szárazföld
- Gránit és andezit a fő kéreganyag, kisebb mennyiségben bazalt
- Üledékes és metamorf kőzetek: keverék átkristályosodott kőzetekből
- Hőmérsékleti, fizikai-kémiai mállás
 $H_2CO_3 + CaCO_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$
- Biológiai hatás \Rightarrow felszíni talajok
- Kőzetek korának meghatározása:
- Hosszú felezési idejű radioizotópokkal





Föld atmoszférája

- Léggör összes tömege $5,15 \times 10^{18}$ kg, nyomás 101 kPa
- **Kármán-vonal** ~100 km, itt már nincs felhajtóerő
- Fennmaradás már csak az első kozmikus sebességgel 7,9 km/s
- Űreszközök csak néhány napig képesek fenn maradni ebben a magasságban az állandó légköri surlódás miatti mozgási energiaveszteség miatt
- Összetétele: N 78,1 a%, O 21,0 a%, Ar 0,9 a%, 0,04 a% CO₂, ...
- Aeroszolok, vulkáni por, hamu, vízgőz, biológiai anyagok, ipari szennyezés...
- Áramlások a légkörben: Coriolis-erő, napsugárzás által okozott hőmérsékletkülönbségek
- Termoszféra: alacsony Föld körüli pálya

Panoráma a Kármán-vonalról



Nemzetközi űrállomás



Hold

- Keletkezése: ütközés a Theia bolygóval ⇒ hasonló kémiai összetétel a Föld anyagával, izotópos vizsgálatok, törmelék keresése a Lagrange-pontokban
- Tömege: ~ 12% Föld, átmérő: ~3477 km, gravitáció 1,62 g, $40K < T < 250K$
- Ritka légkör ($3 \cdot 10^{-13} \text{kPa}$), korábban volt mágneses tere
- Keringési ideje ~27 nap
- Árapály jelenség a Föld felszínén ⇒ élet megjelenése a Földön
- Felszínformáló meteoritbecsapódások, vulkanizmus
- Expedíció a Holdra 1969, 1971, 1972

