

A csillagászat „sötét” kihívásai

Szenkovits Ferenc

Kitekintés

- A távcsövek fejlődése
- Fontosabb csillagászati felfedezések az ezredfordulón
- Napjaink csillagászati kihívásai
- Elképzelések tervek

Csillagászati kutatóintézetek

- [North American Space Agency \(NASA\)](#)
- [European Southern Observatory \(ESO\)](#)
- [European Space Agency \(ESA\)](#)

Csillagászati eszközök robbanásszerű fejlődése

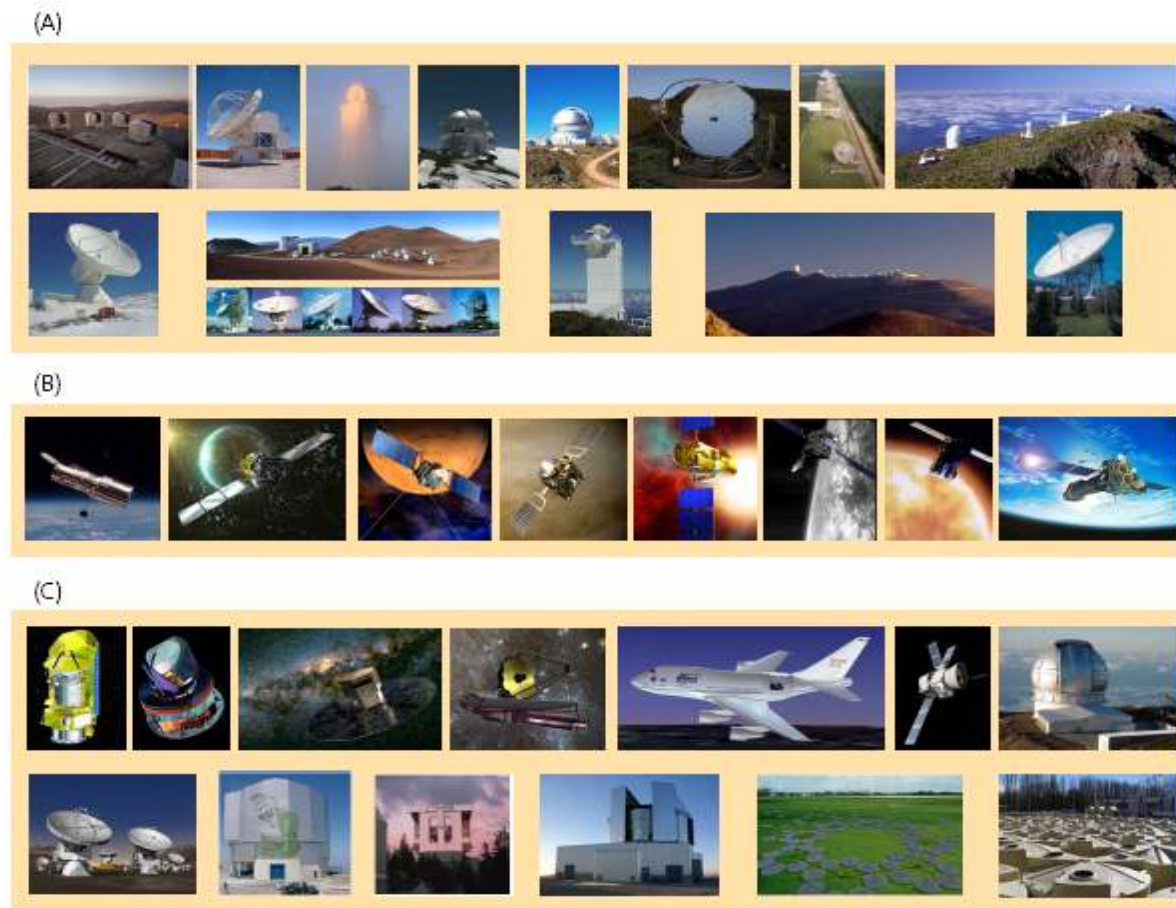


Figure 1.1: A selection of observatories from left to right from top to bottom, ground-based observatories (A): VLT, APEX, GREGOR, Gemini North, Gemini South, Magic, WSRT, Roque De Los Muchachos, IRAM, SMA, Merlin Telescopes, La Silla and Efélsberg; space-based observatories (B): HST, Integral, Mars Express, Venus Express, CoRoT, Rosetta, SOHO and XMM-Newton; observatories under construction (C): Herschel, Planck, Gaia, JWST, Sofia, BepiColombo, GTC, ALMA, VST, LBT, VISTA, LOFAR and Auger .

ESO -Very Large Telescope (VLT, Paranal, Chile)



- 4 x 8.2 m + 4 x 1.8 m
- optikai és infravörös érzékelőkkel
- 1998 május

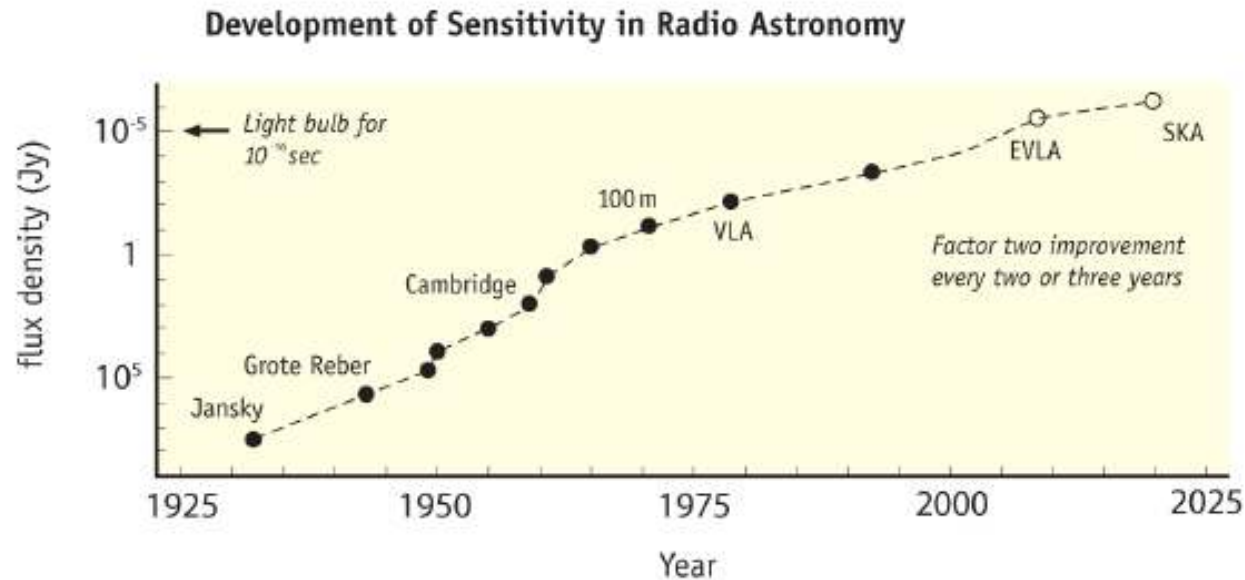
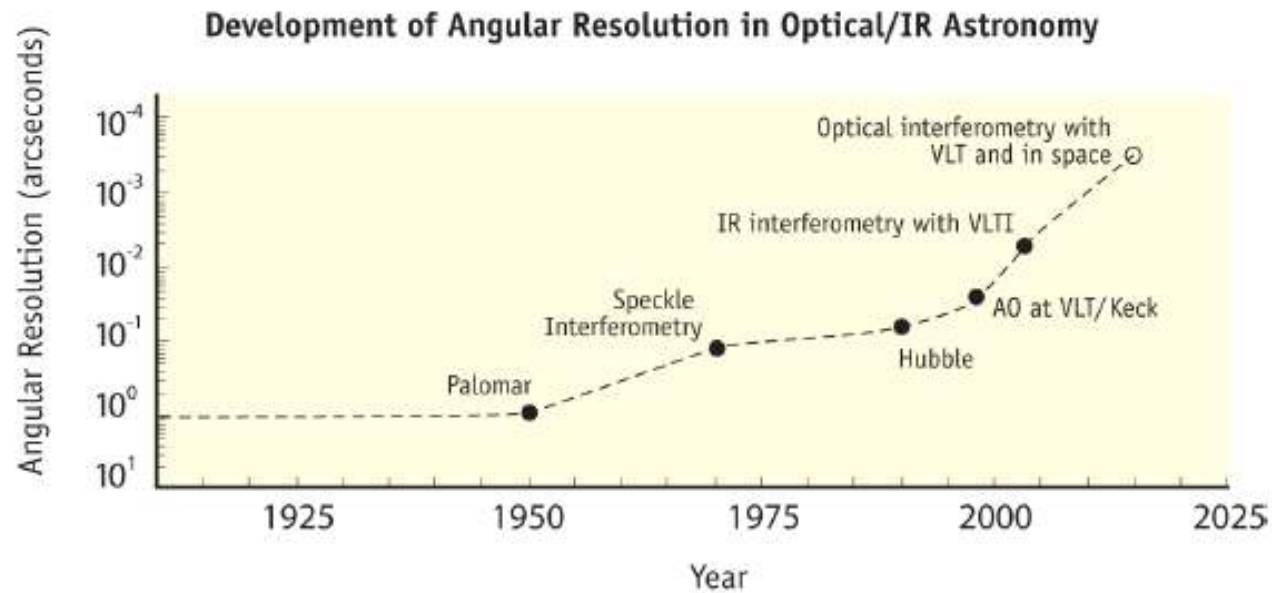


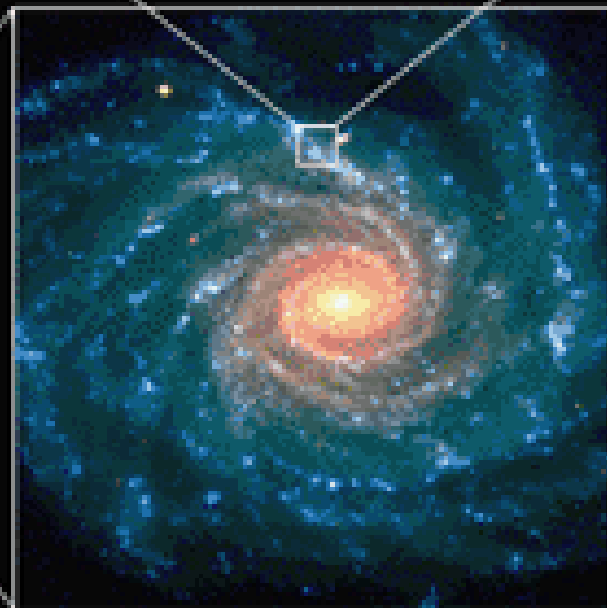
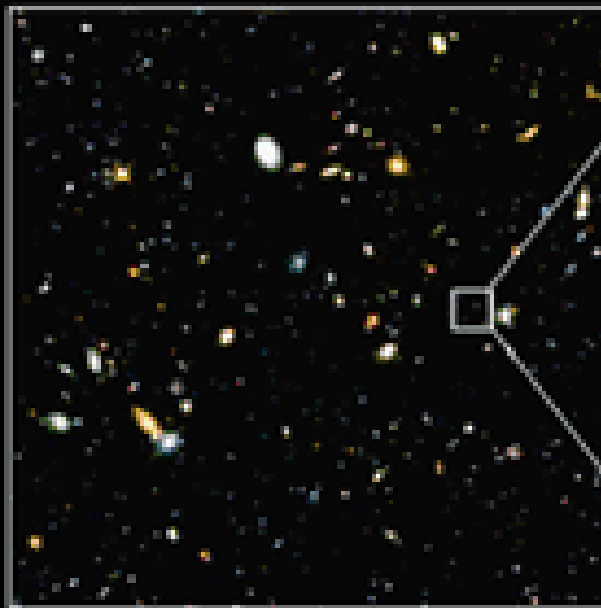
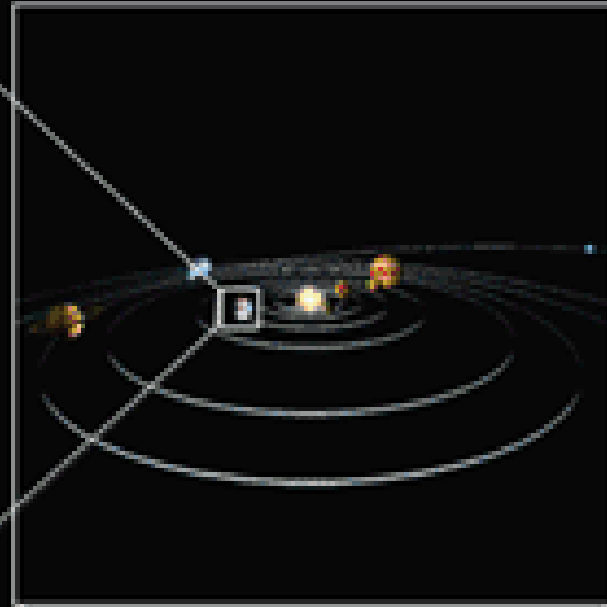
Atacama Pathfinder Experiment (APEX), 2005



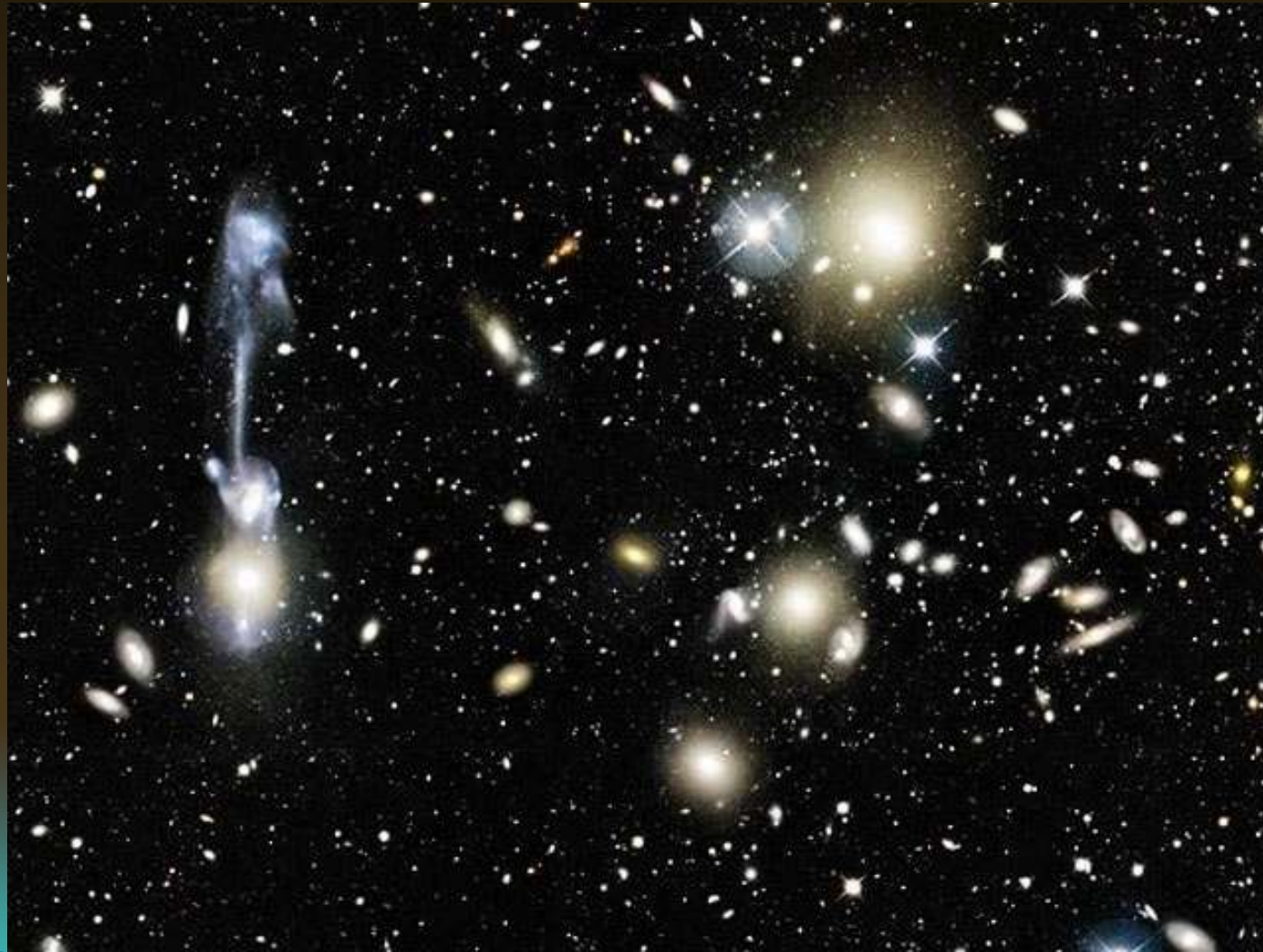
- 12 méteres rádiótávcső

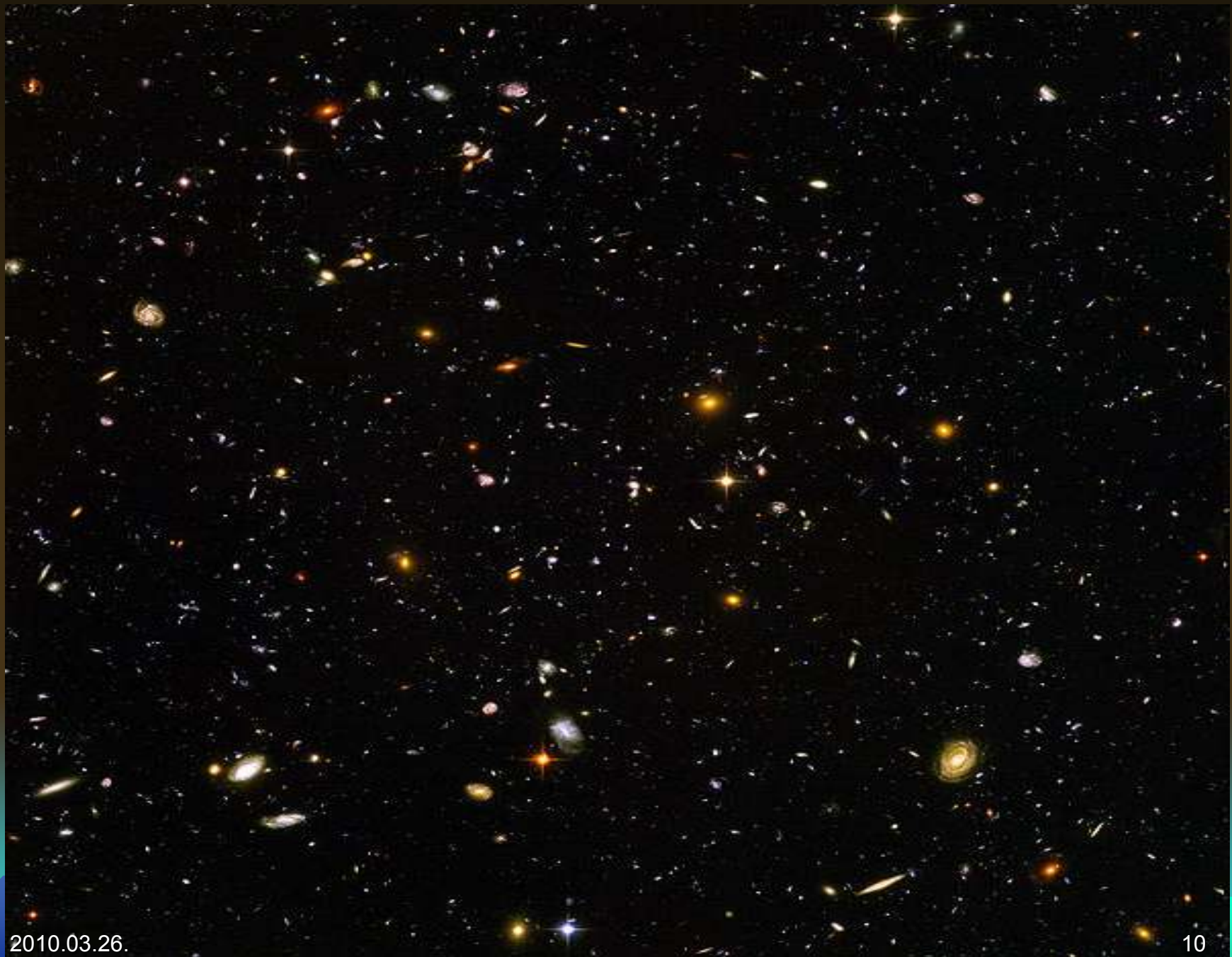
Csillagászati műszerek érzékenységének fejlődése





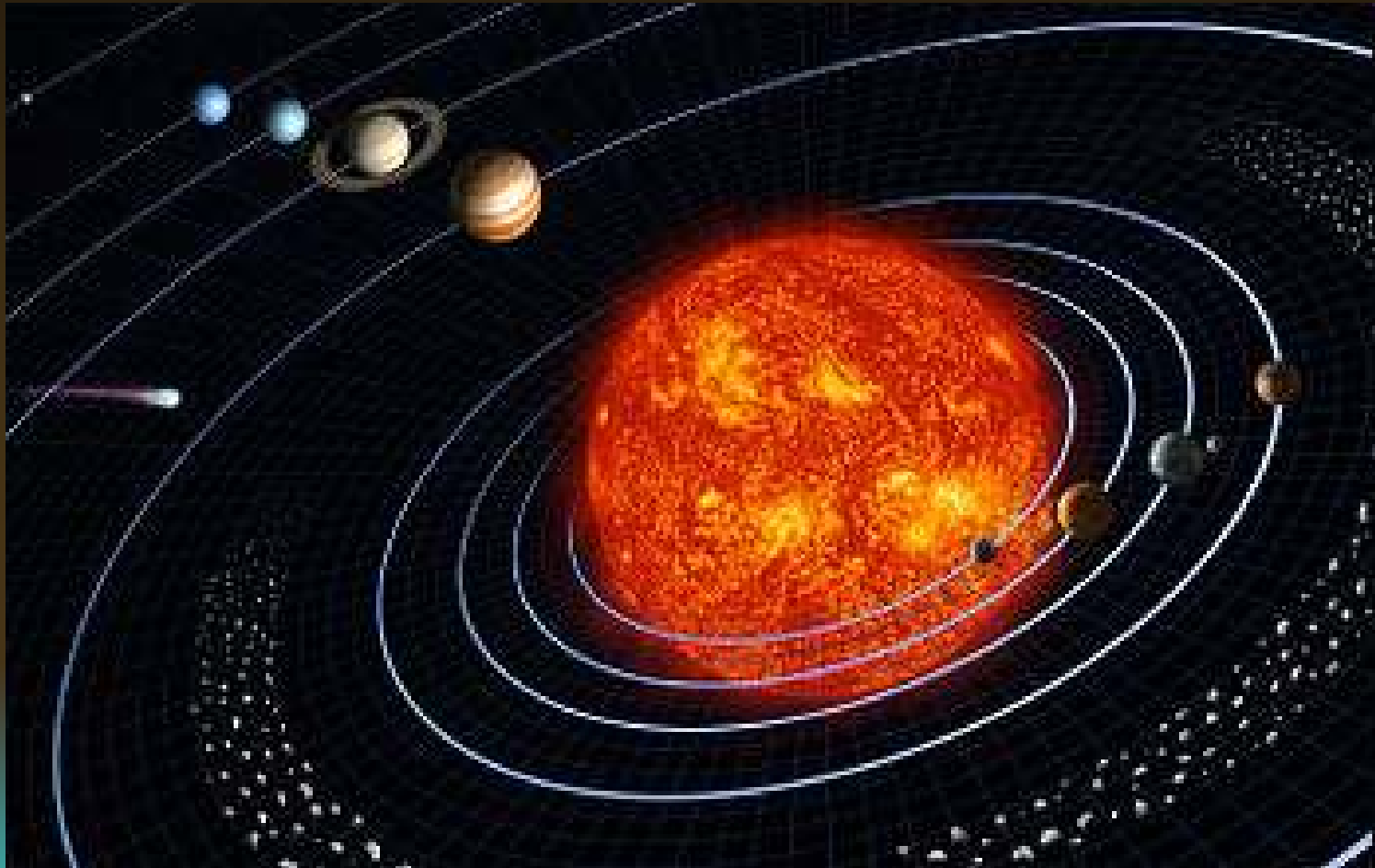
Galaxishalmazok



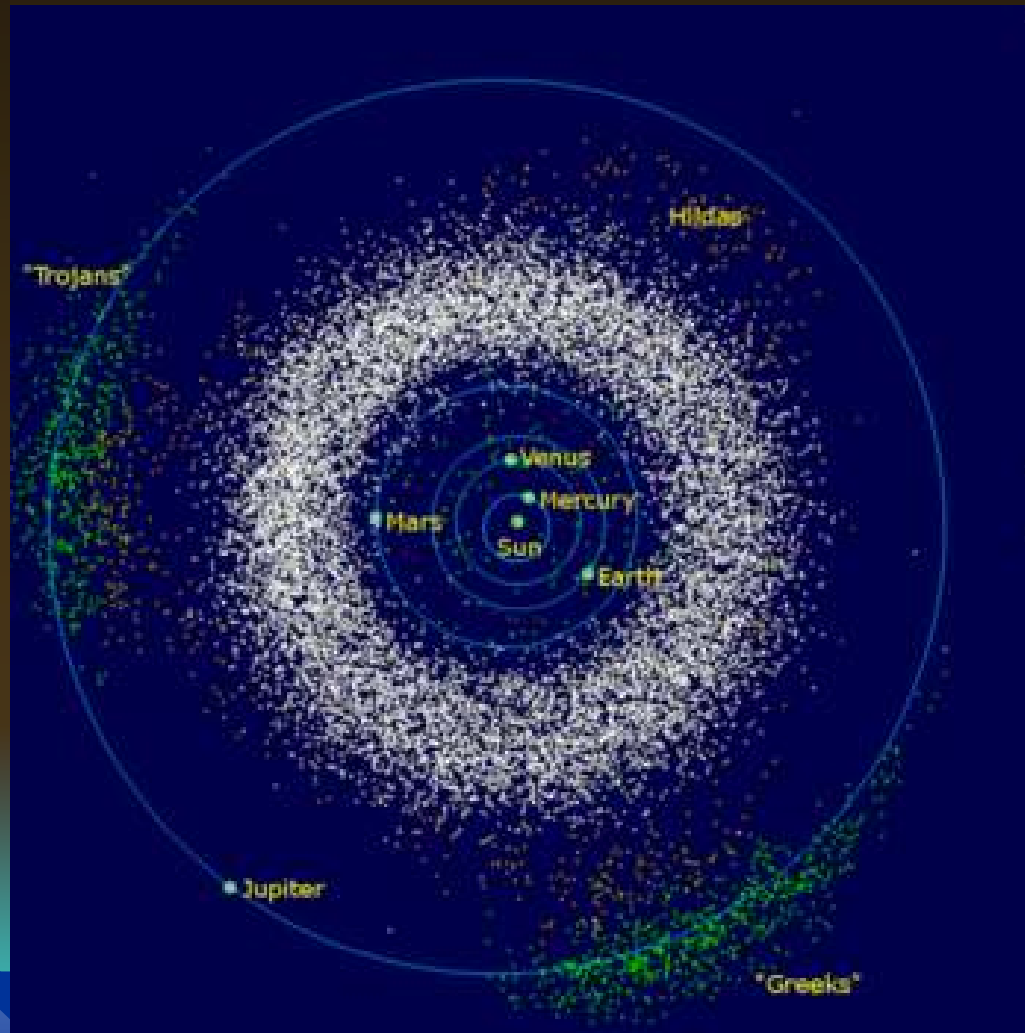


2010.03.26.

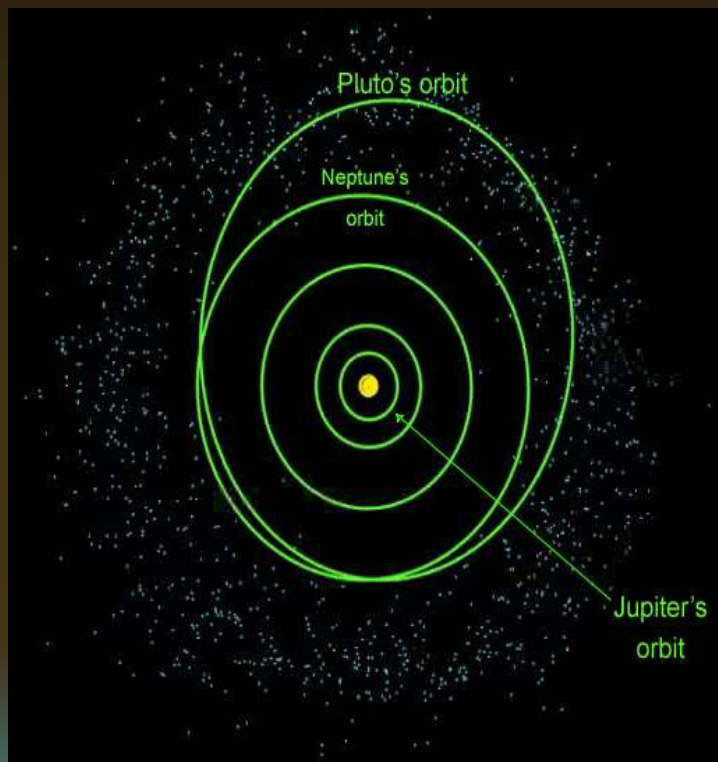
Újdonságok a Naprendszerben



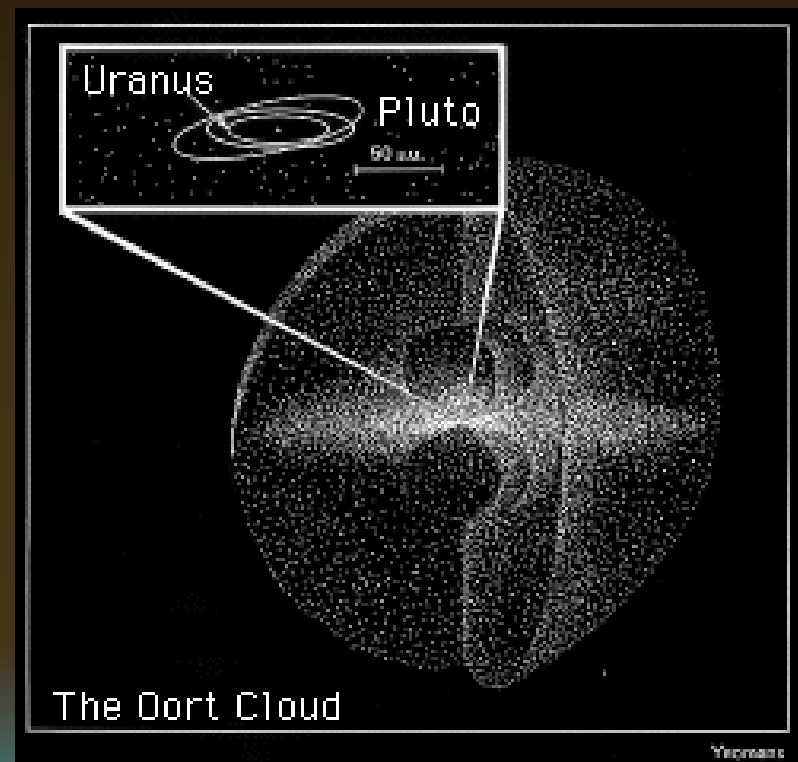
Kisbolygók (aszteroidák) (1 Ceres, 1801)



Neptunuszon túli objektumok Trans-Neptunian Objects (TNO)

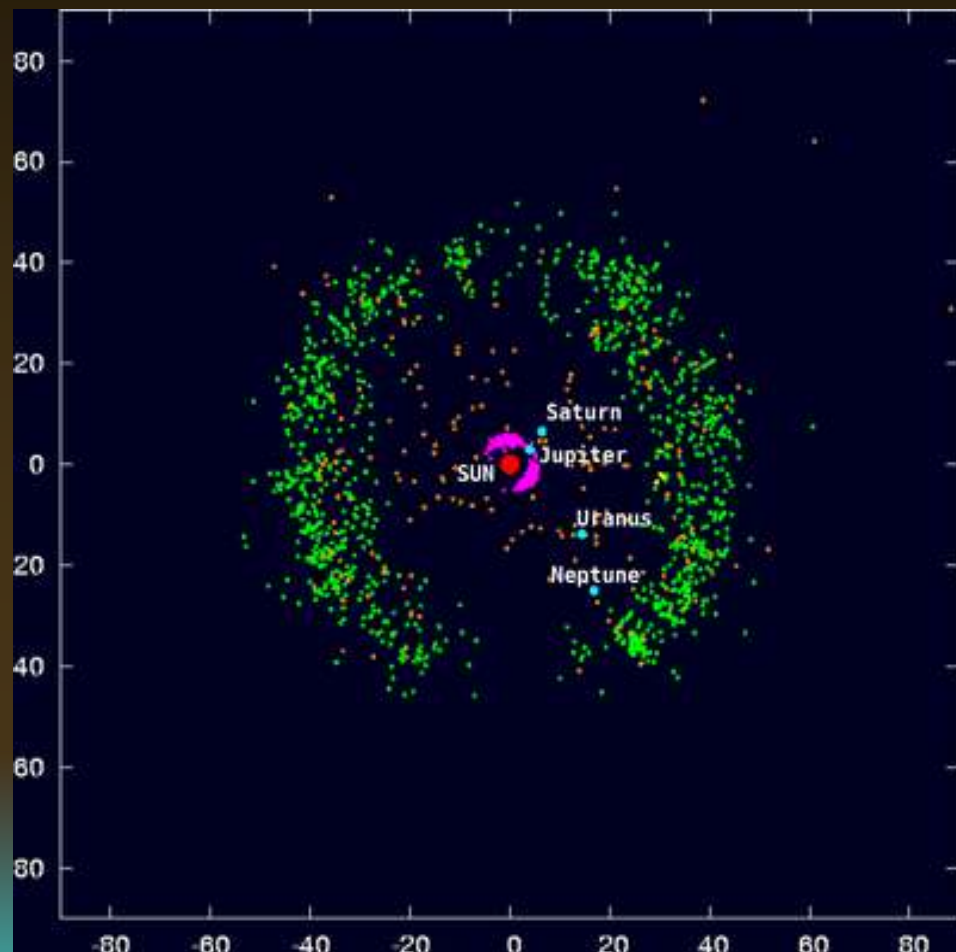


A Kuiper-öv



Az Oort-felhő

Kentaurok



A Kuiper-övön (zöld) belül keringő instabil (narancssárga) kisbolygók

Bolygók és törpebolygók (2006 IAU)

- Új bolygódefiníció
 - a bolygónak kell a stabil pályájának egyetlen meghatározó égitestjének lennie,
 - tisztára kell söpörnie pályáját, azaz a környéken keringő objektumokat el kell takarítania.
 - Föld típusú bolygók (Merkúr, Vénusz, Föld, Mars);
 - Gázbolygók (Jupiter, Szaturnusz, Uránusz, Neptunusz)

Törpebolygók

- *Egy törpebolygó (2006) olyan égitest:*
 - amely a Nap körül kering (azaz nem egy másik bolygó holdja),
 - elegendően nagy tömegű ahhoz, hogy kialakuljon a hidrosztatikai egyensúlyt tükröző közel gömb alak és
 - nem söpörte tisztára a pályáját övező térséget.
 - Törpebolygók:
 - Ceres (1601, bolygó → aszteroida → törpebolygó);
 - Plútó (1930, bolygó → törpebolygó, 134340 Plútó);
 - Erisz (2003; 10. bolygó?)
 - Makemake (2005. márc. 31. → törpebolygó 2008. július 11.)
 - Haumea (2004. dec. 28. → törpebolygó 2008. szept. 17.)
 - Törpebolygó-jelöltek: Pallas, Juno, Quaoar, Szedna,

Naprendszerbeli kis testek

Small Solar System Body

(SSSB, 2006)

- A Nap körül keringő nem bolygók és nem törpebolygók:
 - A legtöbb klasszikus kisbolygó (Ceres kivéve);
 - A kentaúr típusú objektumok (jeges, üstökös szerű égitestek, kis excentricitású Jupiter és neptunusz közti pályákkal);
 - Neptunuszon túli objektumok (kivéve: Plútó, Haumea, Makemake és Erisz);
 - Üstökösök.

Kísérőholdak

- 2009 júliusában 336 kísérőhold:
 - 168 hold 6 bolygó körül (1993-ban: 60);
 - Föld (1)
 - Mars (2)
 - Jupiter (63)
 - Szaturnusz (61)
 - Uránusz (27)
 - Neptunusz (13)
 - 6 kísérő 3 törpebolygó körül;
 - 104 kísérő kisbolygók körül;
 - 58 hold a Neptunuszon túli objektumok körül.
 - A Szaturnusz gyűrűi között további 150 „apróságot” detektáltak.

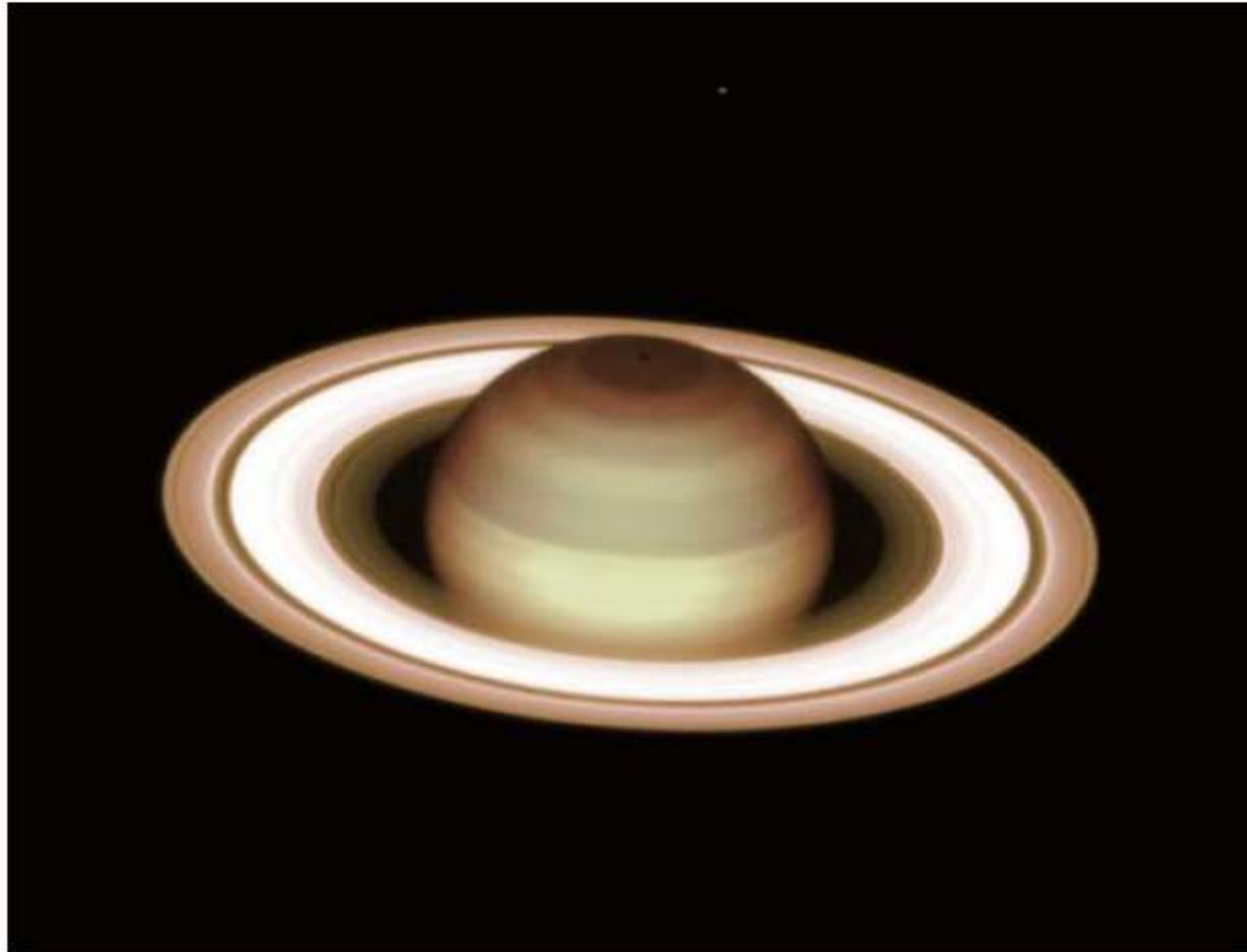
A 243 Ida „kisbolygó” és holdja Dactyl (1993)



2010.03.26.

20

A Szaturnusz gyűrűrendszerének szerkezete



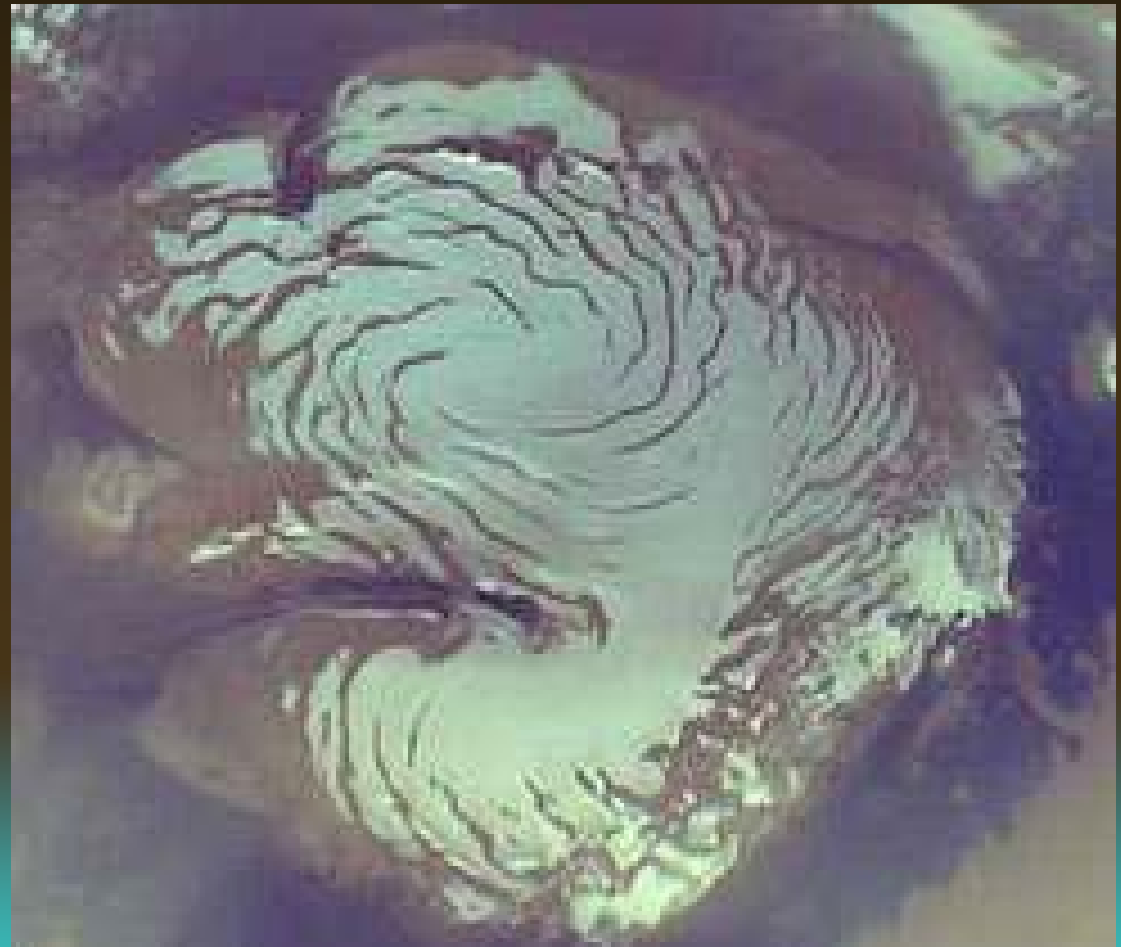
Reggeli dér a Phoenix leszállóhelyén (NASA/JPL-Caltech/University of Arizona/Texas A&M University)



2010.03.26.

22

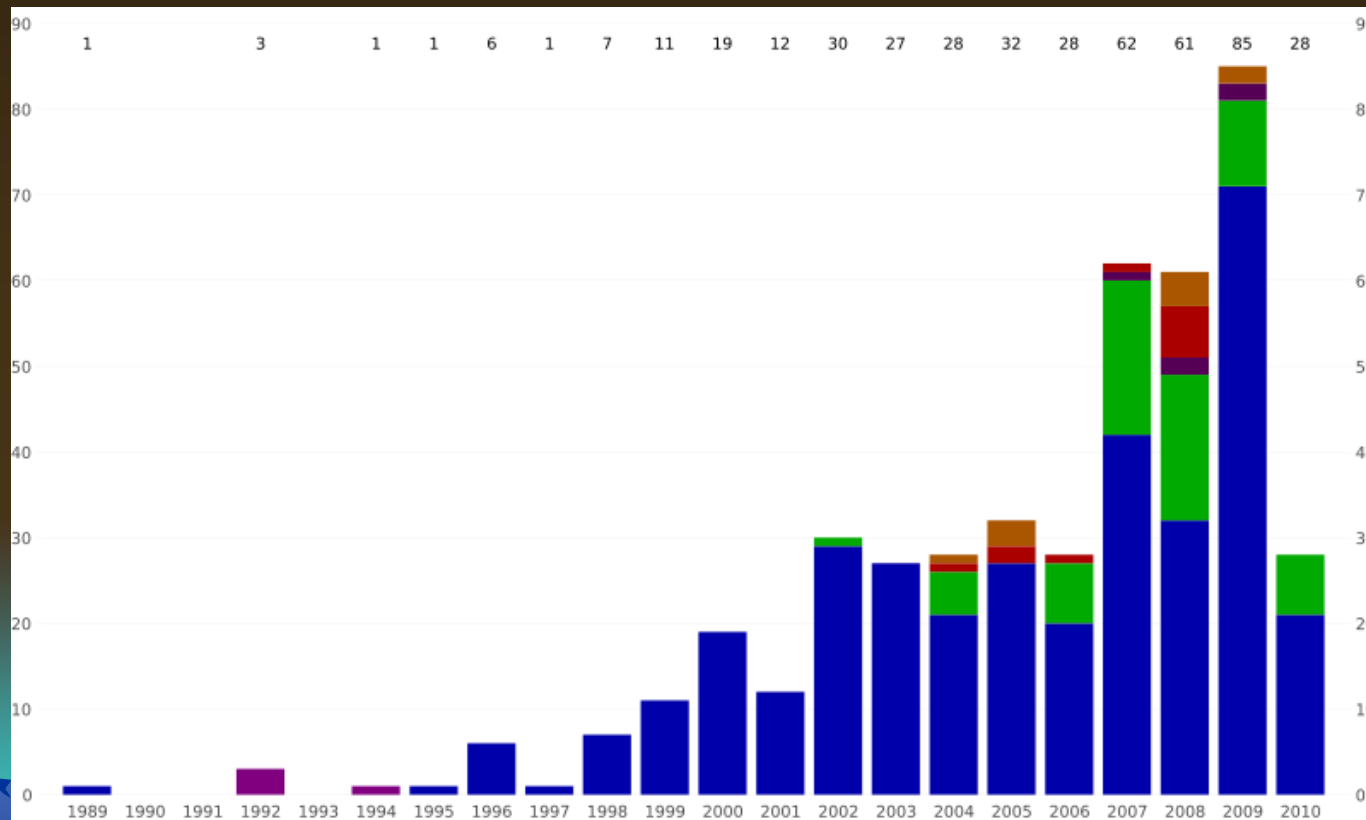
Vízjég és hajnali dér a Marson



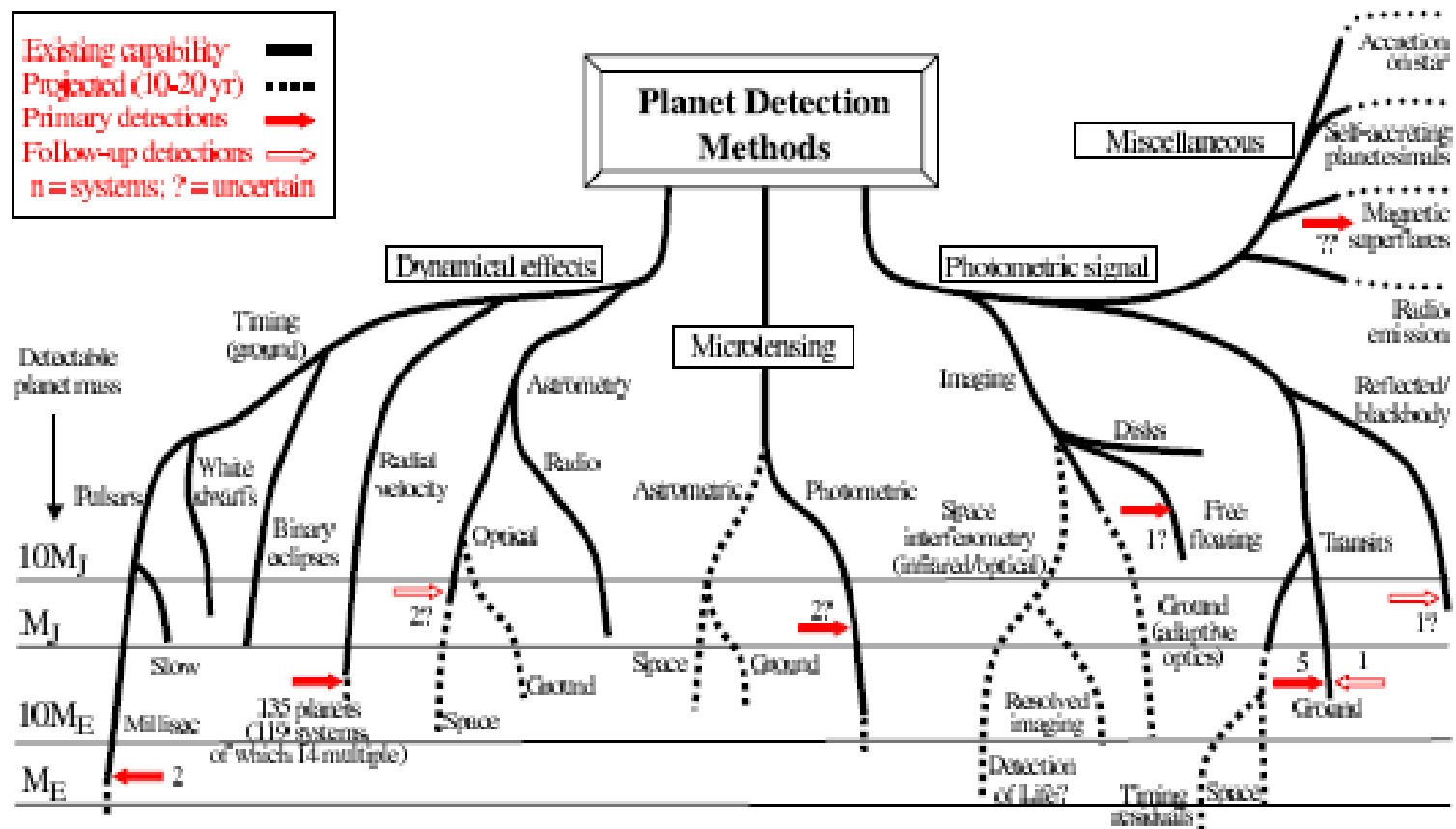
2010.03.26.

Exobolygók felfedezése

- 1995-ben történt az első ilyen felfedezés, amikor Michel Mayor és Didier Queloz egy közeli csillaghoz (az 51 Pegasihoz) tartozó bolygót talált.
- 2010. március. 19-én: 443 konfirmált exobolygó (432, március 17-én)



Bolygórendszerek keresése galaxisunkban



HAT-Net projekt

- Bakos Gáspár vezetésével már 13 (20) exobolygót fedeztek fel.

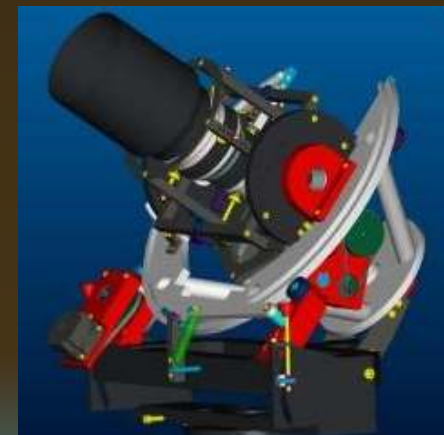
Arizóna



Hawaii



11 cm-es távcsövek



Érdekessegek

- Bolygórendszerek kettős csillagok körül
 - Exobolygók légkörének kutatása
 - Vulpecula csillagkép, tőlünk 63 fényévnnyire levő HD 189733b bolygó (2,2 napos periódusú)
 - Vízgőz, metán széndioxid (űrtávcsövek)
 - Szerves molekulák kimutatása
- Nasa 3 m-es („kisméretű”) Infravörös Távcsővével (NASA JPL Mount Kea, Hawaii, 2007-2010)

A Kepler-űrszonda



- 2009. márc. 6-án indult Nap-körüli pályára (Európában III. 7, 4:50);
- 3,5 éves időtartamra tervezték;
- 5000 csillag fényét fogja rögzíteni igen nagy pontossággal;

CÉL:

Föld-típusú exobolygók
keresése az élhető
zónákban

Fekete lyuk galaxisunk magjában

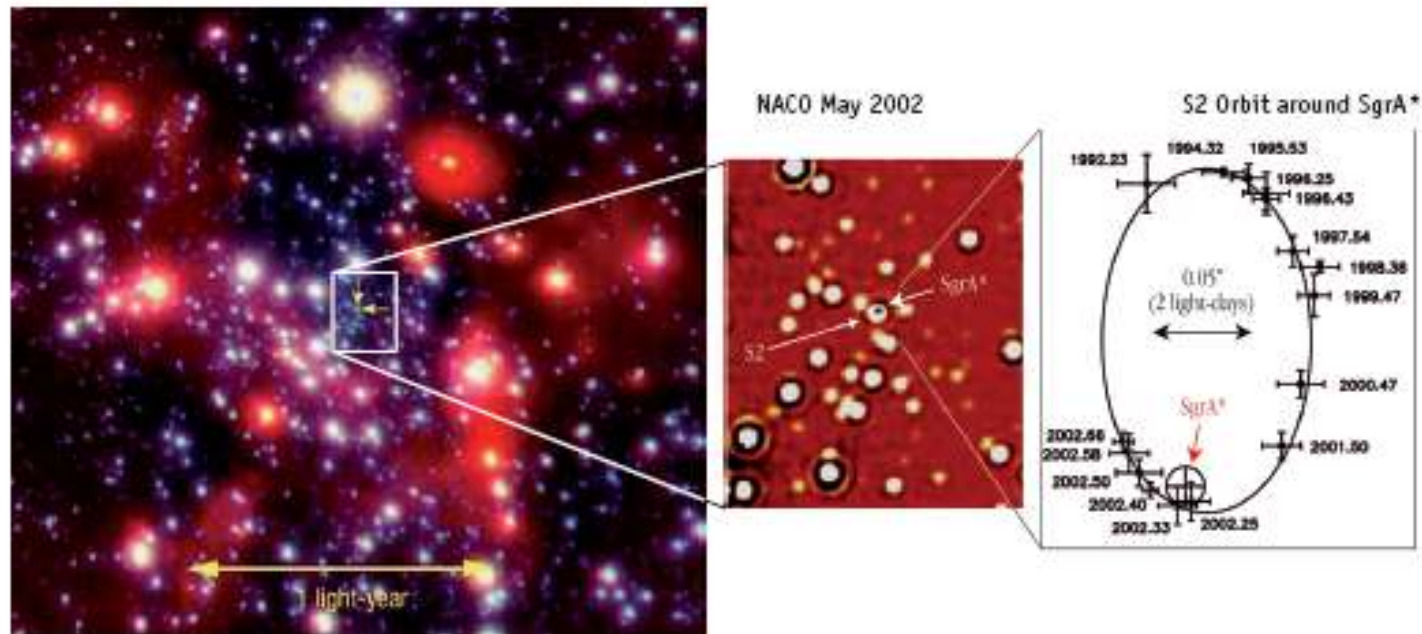
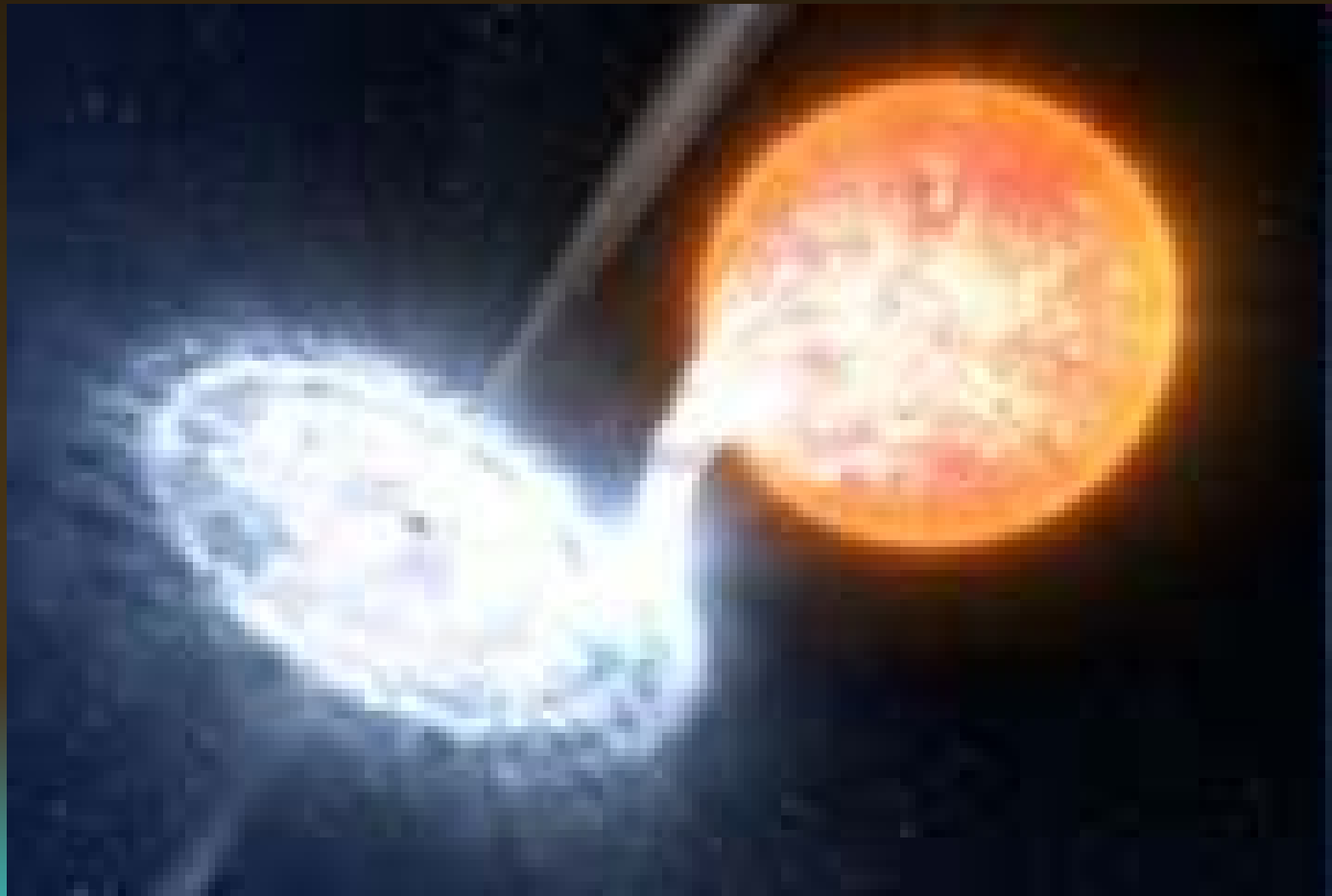


Figure 2.5: The centre of our Galaxy (Sgr A) and the star S2 which orbits it. The measured motions of this and other stars reveal the presence of a black hole of about three million solar masses in the centre of the Galaxy. Based on work by the groups of R. Genzel and A. Ghez. Images courtesy of ESO.

Közeli csillagot zabáló fekete lyuk akkréciós koronggal és jettel

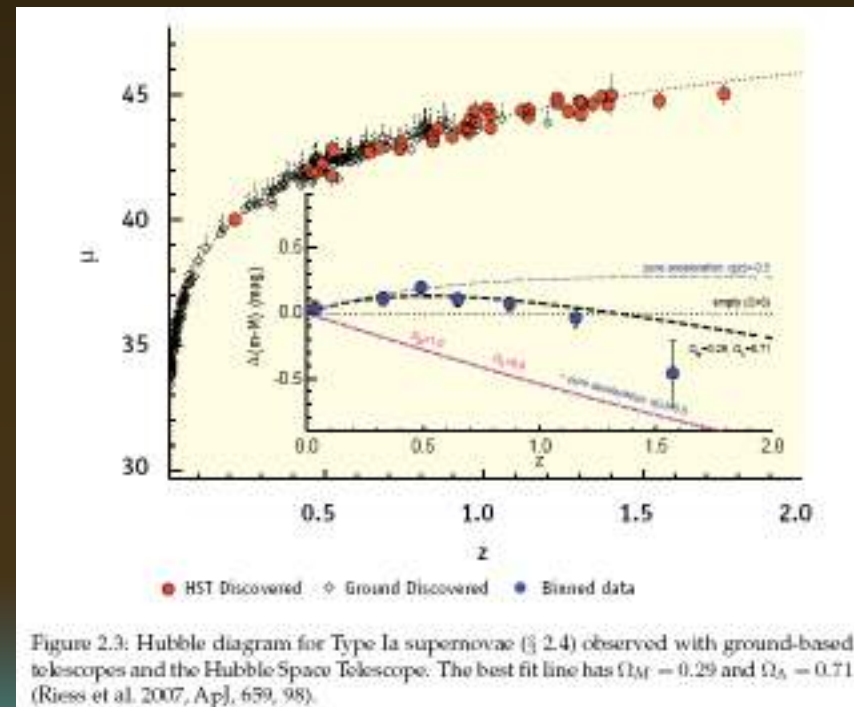


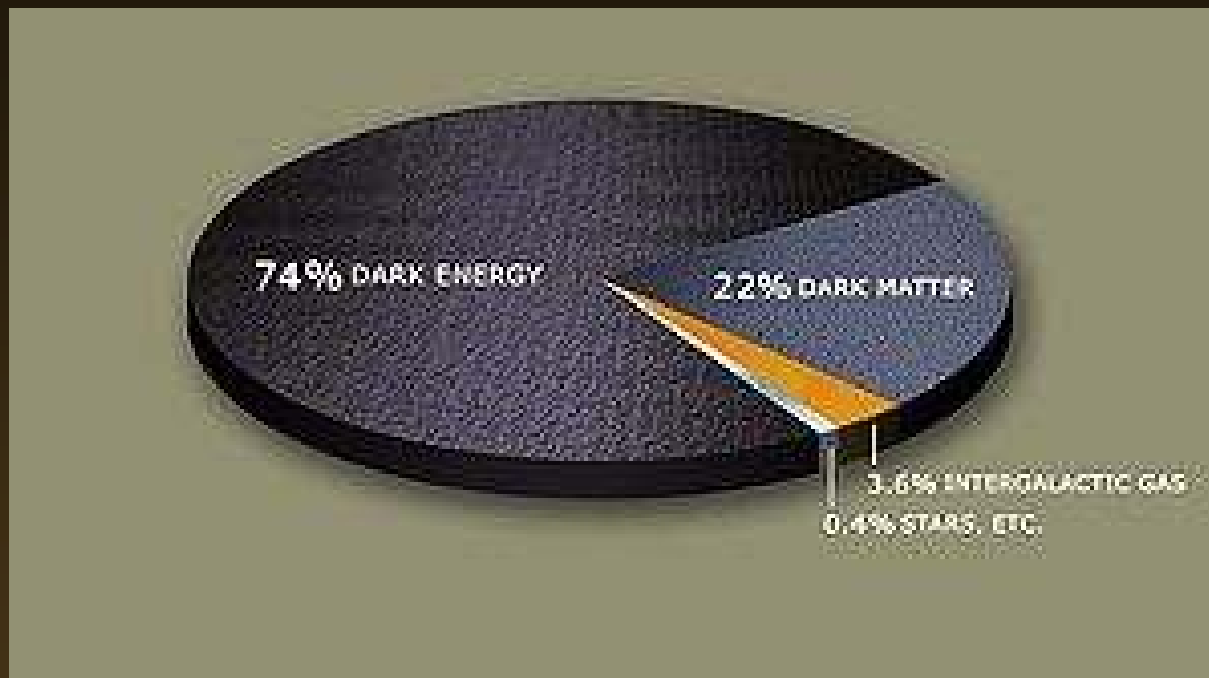
Sötét hideg anyag

- Úgy tűnik, hogy az Univerzum gravitációsan összekapcsolt struktúráit (egyéni törpéktől, galaxisokig, galaxishalmazokig és szuperhalmazokig) egy láthatatlan anyag dominálja.
- Ez a „sötét (hideg)” anyag
 - valamilyen igen lassan mozgó nem relativisztikus részecskékből áll, amelyek egymással nincsenek kölcsönhatásban.
 - csillagászati műszerekkel közvetlenül nem figyelhető meg, mert
 - semmilyen elektromágneses sugárzást nem bocsát ki és nem nyel el,
 - jelenlétére csak az általa kifejtett gravitációs hatásból következtetünk.

Az Univerzum gyorsuló tágulása és a sötét energia?

- 1998, szupernóvák vizsgálata
- **Az univerzum tágulása gyorsuló**
- A sötét anyag sem ad magyarázatot a gyorsuló tágulásra
- Létezik egy ismeretlen, egyenletes eloszlású sötét energia néven emlegetett „valami” – összhangban az Einstein-féle kozmológiai állandó viselkedésével





Az Univerzum kritikus tömegének mintegy

- 4%-át alkotja a hagyományosan is megfigyelhető (ún. barionos) anyag,
- 22% a sötét anyag aránya,
- 74% a még kevésbé ismert sötét energia része

Értjük-e az Univerzum extrémumait?

- Hogyan kezdődött az Univerzum?
- Mi az a sötét anyag és sötét energia?
- Meg tudjuk-e figyelni az erős gravitációt munka közben?
- Hogyan működnek a szupernóvák és a gamma kitörések?
- Hogyan működik a fekete lyukak akkréciója, anyagkilövellése?
- Mit tanulhatunk az energiasugárzástól és a részecskéktől?

Az Univerzum kezdetei

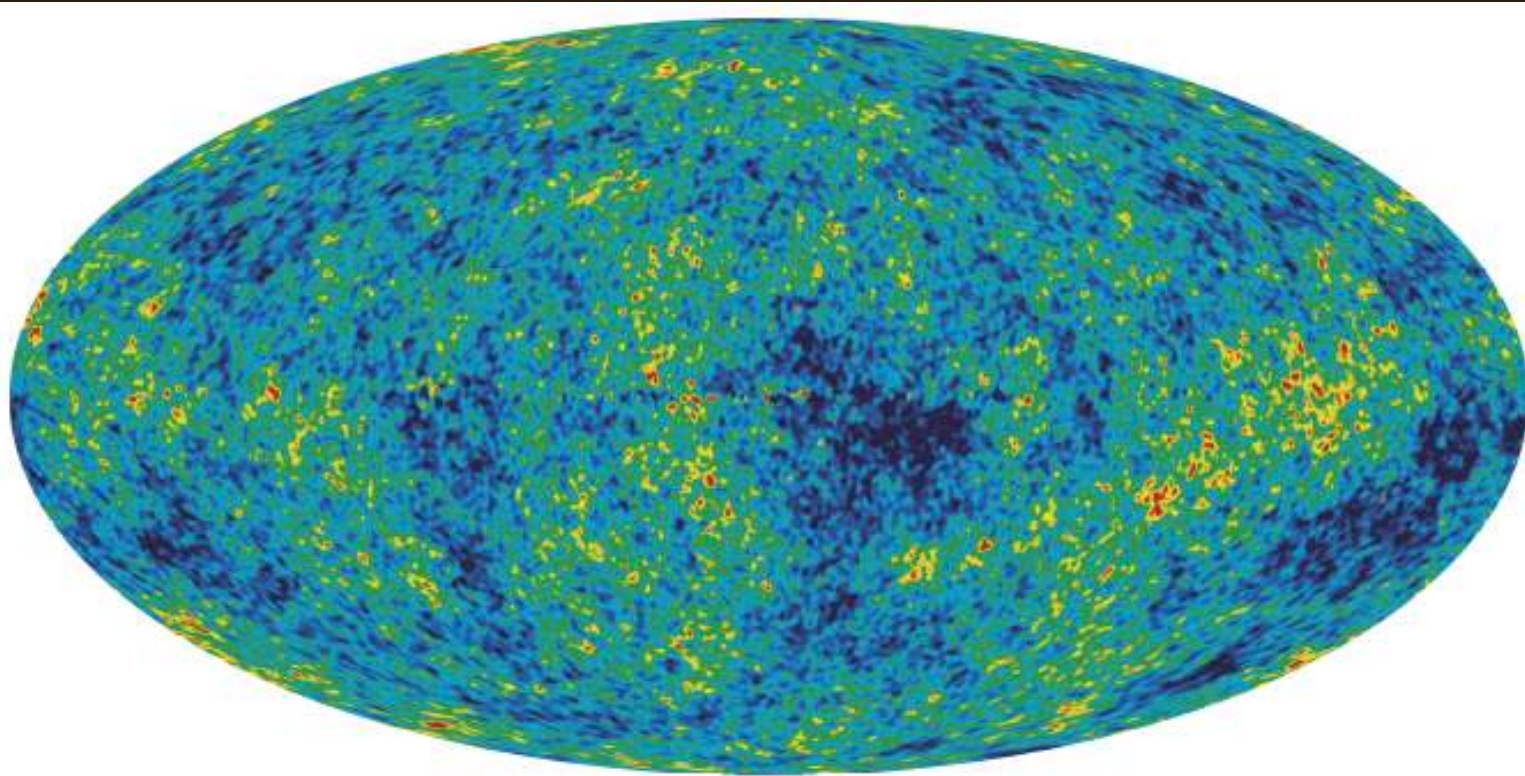


Figure 2.1: A map of the Universe showing the difference in the intensity of the microwave background. The maximum difference in this image is less than 10^{-5} . The map has been produced with the data of WMAP. [NASA/WMAP Science Team]

Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) – NASA Mission

Megfigyelhető az erős gravitáció?

- Neutron csillagok és fekete lyukak környékén a téridő kontinuum jelentősen görbült, a sebességek már a fénysebességgel összemérhetők.
- Az általános relativitáselmélet írja le az anyag és sugárzások viselkedését ezekben a zónákban;
- Hogyan tanulmányozhatók és érthetők meg ilyen jelenségek?

Hogyan működnek a szupernóvák és a gammakitörések?

- *Szupernóva* robbanás
 - csillagfejlődés végső szakasza;
 - az univerzum legszélsőségesebb feltételeinek megvalósítója (hőmérséklet, anyag- és energiasűrűség);
 - Neutroncsillagok vagy csillagtömegű fekete lyukak bölcsője;
 - A csillagközi téri energiasugárzás felelőse
 - Az élet számára nélkülözhetetlen elemek bölcsője, azok újrászórását is megoldják;
 - Legfontosabb távolságindikátorok (kozmikus világítótornyok);
 - Legszélsőségesebb jelenségek a *gammafelvillanások*

Szupernóvák működésének modellezése

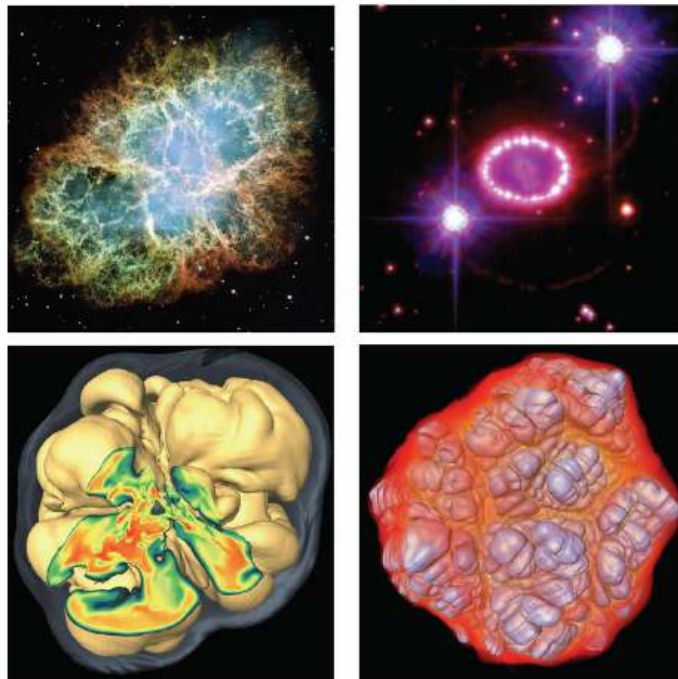


Figure 2.7: Top left: The Crab nebula, a supernova remnant resulting from the historical supernova of 1054 (image courtesy ESO). Top right: HST image of the remnant resulting from SN 1987A in the Large Magellanic Cloud. Bottom: Two three dimensional simulations, left a core collapse supernova and right the resulting supernova of a thermonuclear collapse. Pictures courtesy of Janka (left) and Hillebrandt (right).

Fekete lyukak – akkréció, kilövellések?

- A fekete lyukak általi akkréció az Univerzum leghatékonyabb energiaforrása.
- A galaxismagokban elhelyezkedő óriási fekete lyukak akkréció következtében kisugárzott energiája adhatja ma az univerzum energiaháztartásának mintegy 5 %-át.
- Fontos hatással lehetnek ezek a fekete lyukak a „vendéglátó” galaxisban levő csillagok kialakulására.

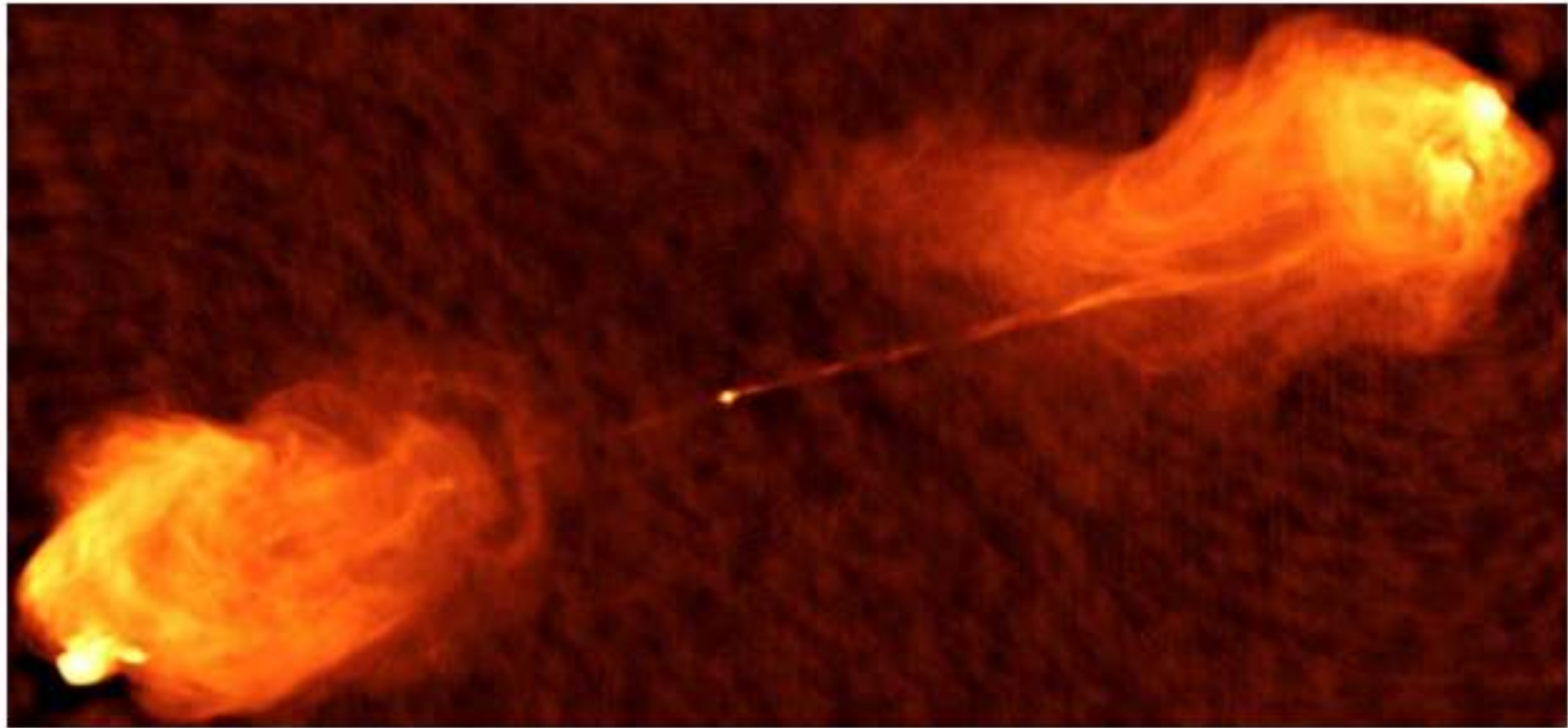


Figure 2.8: Radio image of the jet of the active nucleus of the radio galaxy Cygnus A. Image courtesy of NRAO/AUI.

Galaxisok keletkezése és fejlődése

- Hogyan tudjuk felkutatni a korai „Sötét Korokat” (Dark Ages) és feltérképezni az anyagsűrűség-fluktuációk növekedését, ami elvezetett az első csillagok és galaxisok kialakulásához?
- Melyek az univerzum reionizációjának domináns forrásai? Csillagok fénye, fekete lyukak által „hajtott” aktív galaxismagok, vagy talán szuperszimmetrikus részecskék bomlása?
- Hogyan fejlődött a galaxisok kozmikus hálózatának valamint az intergalaktikus gáznak a struktúrája?
- A galaxisok belsejében és a galaxisok között fellelhető fémek termelésének és eloszlásának lehetséges történetei?

Hogyan alakultak ki a különböző típusú galaxisok?



A galaxisok Hubble-féle osztályozása (Edwin Hubble, 1926);

Galaxishalmazok szimulációja

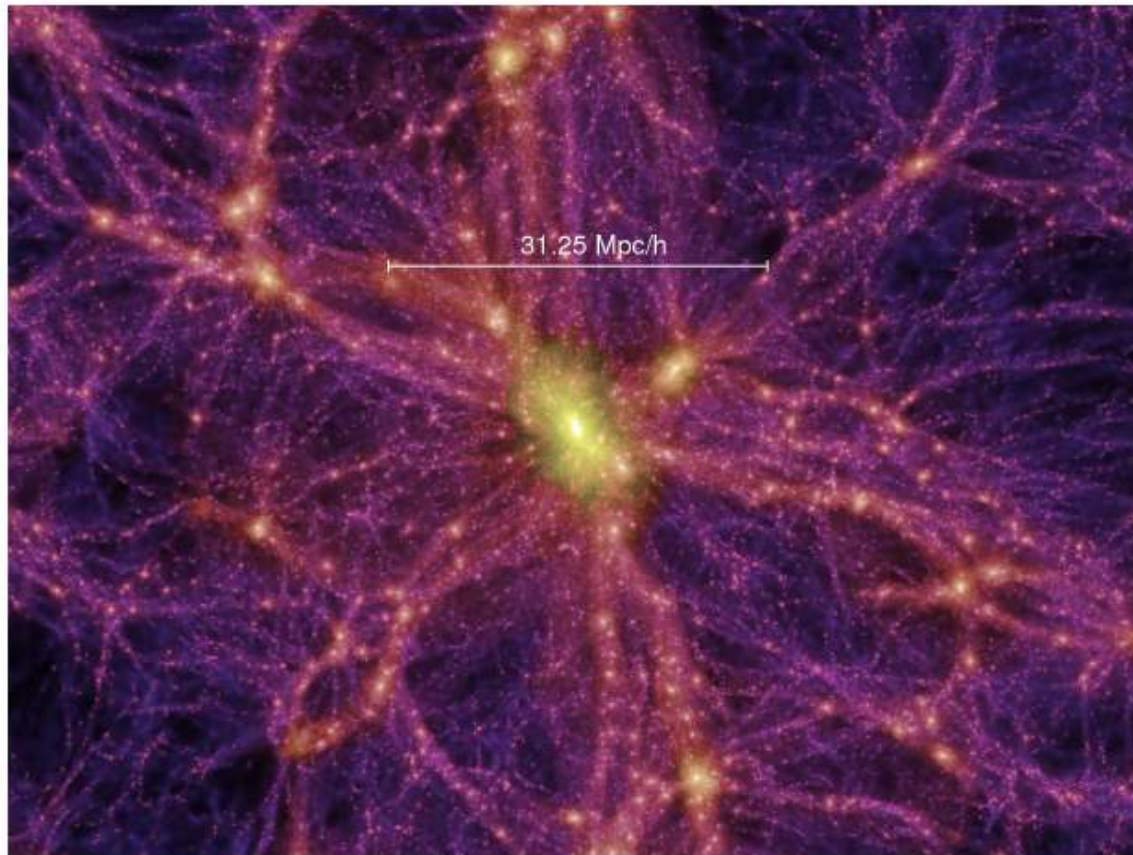


Figure 3.1: Image of a cluster of galaxies as calculated by the largest cosmological N-body simulation carried out to date. It has been used to construct sophisticated semi-analytic models of galaxy formation that cover the complete galaxy population in a representative piece of the Universe down to stellar luminosities. [Image taken from <http://www.mpa-garching.mpg.de/galform/millennium/>].

A Mare Nostrum szuperszámítógép a Torre Girona képolnában, Barcelona



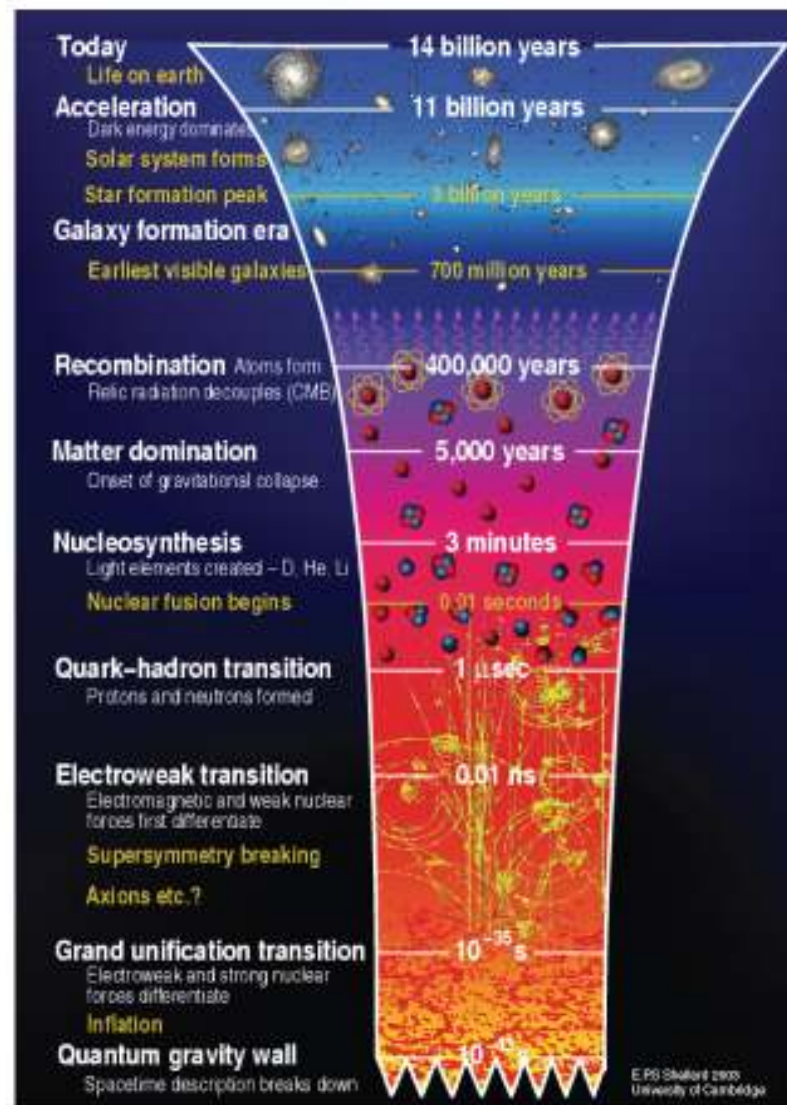


Figure 3.2: The reionization era placed within the evolution of our Universe. Time is going up with the start of the Universe at the bottom and today at the top. Image from Planck: The Scientific Programme (ESA).

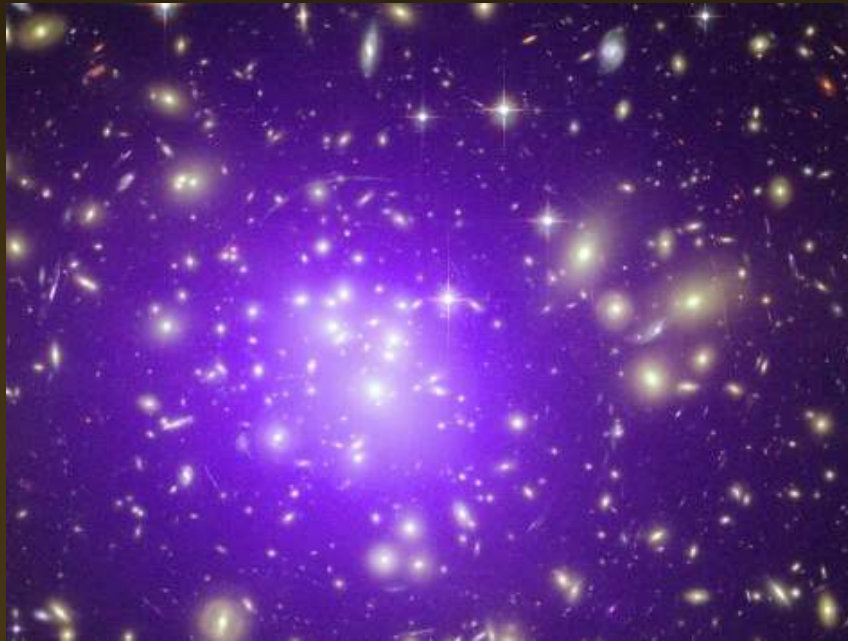
- Az első csillagok?
 - szuperforró, a maiaktól eltérő típusú óriáscsillagok voltak.
 - Hogyan és mikor alakultak ki a ma ismert csillagtípusok?
 - Egy kritikus fémmennyiség megjelenésének kérdése.
- A kozmikus reionizáció pillanata?
 - a kozmikus gáz a kezdeti semleges állapotától eltérő, ionizált állapotban található ma;

Hogyan fejlődik a kozmikus „pókháló” szerkezete?



Figure 3.3: Detailed images of the galaxy cluster Abel 1689 showing numerous arcs and arclets that are images of 'lensed' background galaxies distorted by the gravitational field of this massive cluster. Picture taken from the HST image archive.

Abell 1689



- Óriási galaxishalmaz,
- Távolsága mintegy 2,3 milliárd fényév,
- Száz millió fokos gáz,
- NASA' Chandra X-ray Observatory

Galaxishalmazok ütközése



- Az óriási
űrkarambolban elválik
a sötét (kék) és
közönséges
(rózsaszínű) anyag.
- NASA's Hubble Space
Telescope
- and Chandra X-ray
Observatory.

Hogyan álltak össze a galaxisok?



Figure 3.5: The spider galaxy is a massive, young and growing galaxy at redshift $z=2.2$ (10.6 billion light-years away from Earth), where the attracted smaller galaxies are clearly visible as the web like structure. Image courtesy of G. Miley and HST.

Hogyan alakult ki a mi galaxisunk?

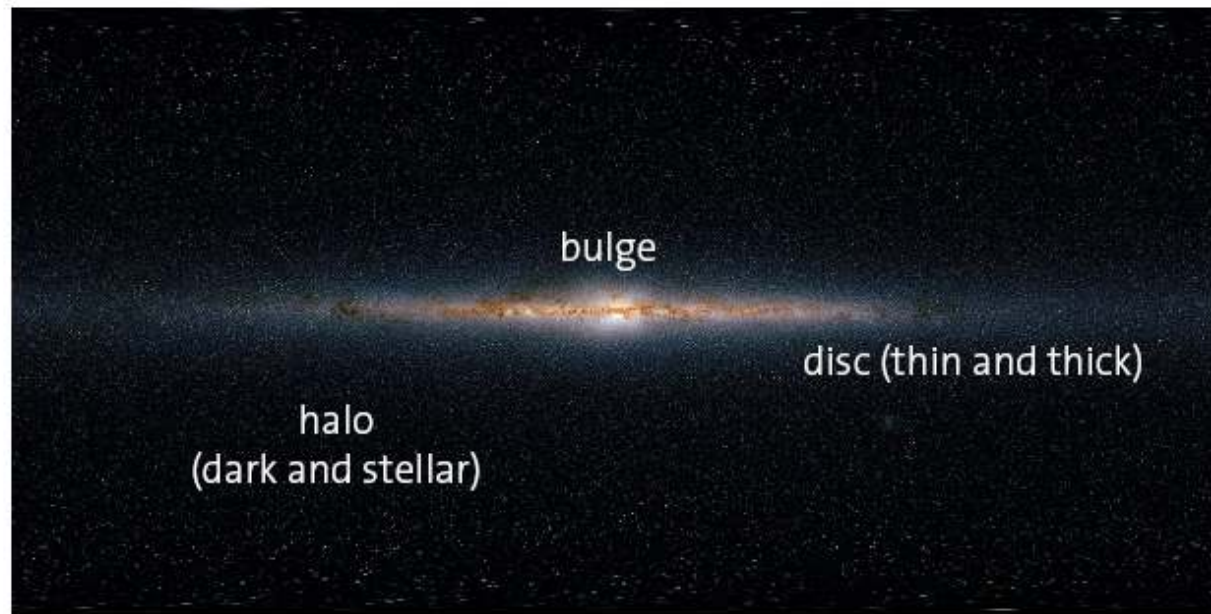


Figure 3.8: 2MASS all-sky image (blue, green, red are resp. 1.2, 1.6 and 2.2 microns) showing the central bulge and disc of the Milky Way Galaxy. The Galactic components are not only distinct morphologically as seen in this picture, but also in their characteristic ages, chemical abundances and kinematical distributions. This must be a consequence of their different formation epochs and mechanisms, and suggests they have retained different signatures of the assembly history of our Galaxy.

Csillagok és bolygók keletkezése és fejlődése



Figure 4.1: Three star forming regions, from left to right: NGC3603, the Eagle nebula and the extremely low metallicity Blue Compact Dwarf galaxy IZw18. Images courtesy of ESO and HST.

Csillagkeletkezés (fantáziarajz)



Kettőscsillagok, csillagtömegek

- Kettős és többes rendszerek gyakorisága
 - A csillagok mintegy 60 %-a kettőscsillag.
Miért?
- Csillagtömegek változatossága.
 - Ez hogyan alakul ki?

Csillagok szerkezete és fejlődése

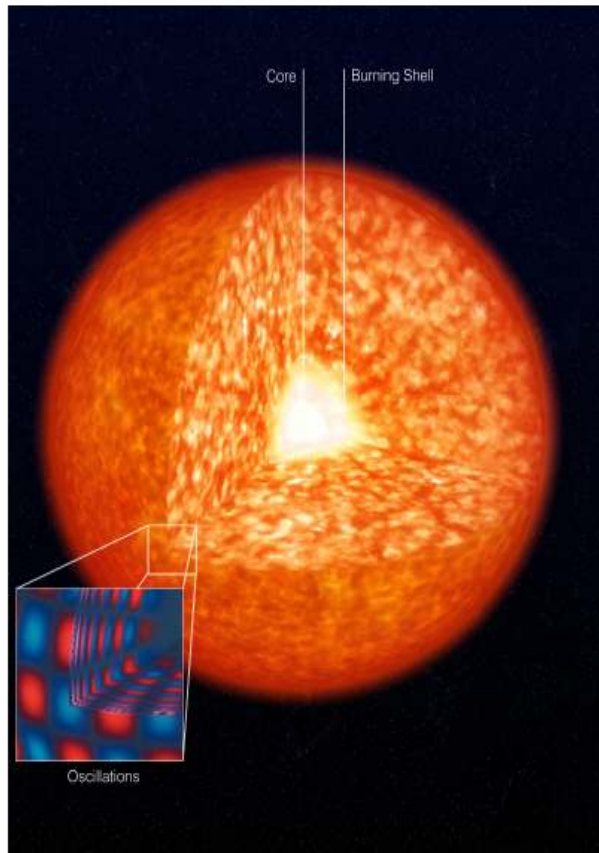


Figure 4.2: Oscillations generated inside a star will travel outwards and will become visible as parts of the surface moving up and down. The mode, frequency and intensity of these oscillations give valuable information about the inside of the star. It can be compared to the information about the inside of the Earth that is obtained from the propagation of the seismic waves below the crust. Credit: ESO and KU Leuven.

- Milyen hidrodinamikai folyamatok zajlanak a csillagok belsejében?
 - Konvekció?
- A csillagok forgásával kapcsolatos effektusok!
- Miért gyakoribbak az exobolygók a nehéz elemekben gazdagabb felszínű csillagok körül?
- A csillagfelszínnek összetétele és a csillagbelső szerkezete közti kapcsolatok!

Hogyan alakulnak ki és fejlődnek a bolygórendszerek?

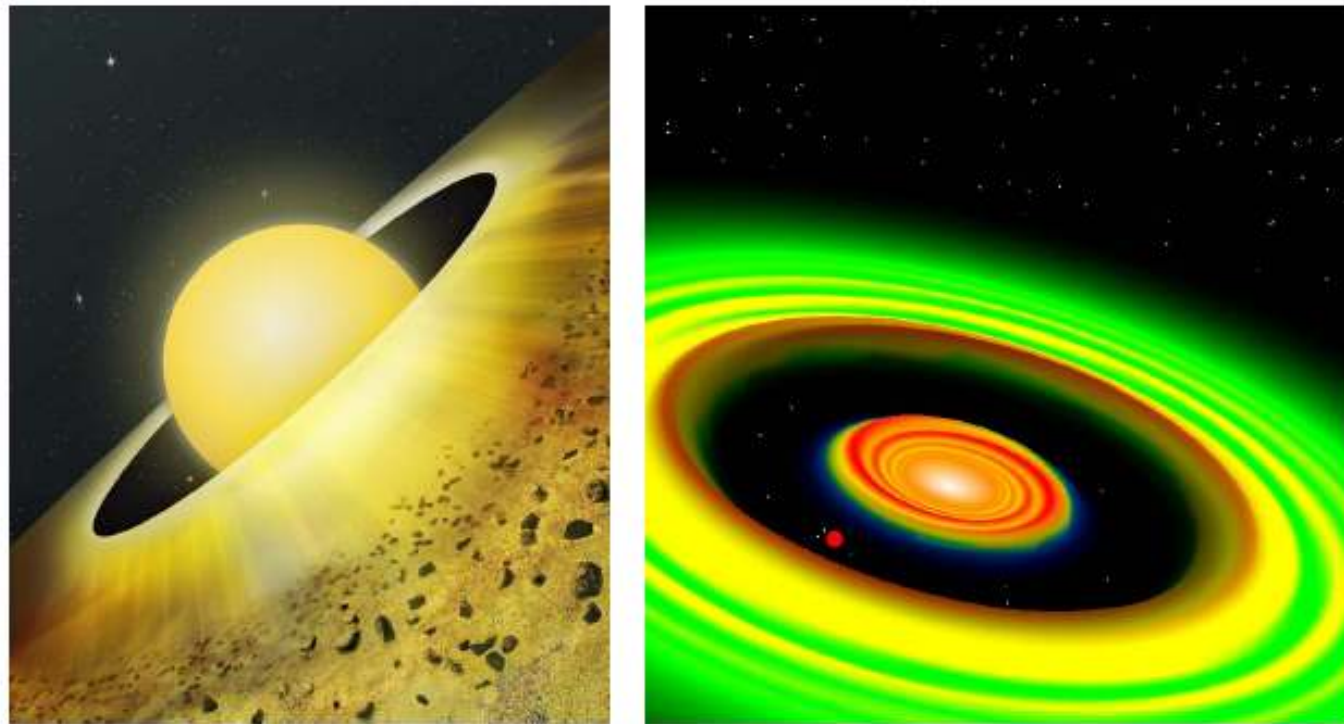


Figure 4.5: Dust evolution and planet formation in circumstellar discs. Left: Artistic view of the formation of pebbles in circumstellar discs as suggested from millimetre wave observations of the TW Hydrae system. Right: Simulation of the formation of a gap in a disc around a young star due to the gravitational effect of a newly formed giant planet. Image credit: Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF (left); Geoff Bryden (right).

- Exobolygórendszerek keresése (1995-).
- Föld-szerű bolygók keresése élhető zónákban.
- Bolygórendszer tulajdonságai és anyacsillag kapcsolata.
- Az élet jelének keresése exobolygókon!

Mit tanulhatunk még a Naprendszerből?

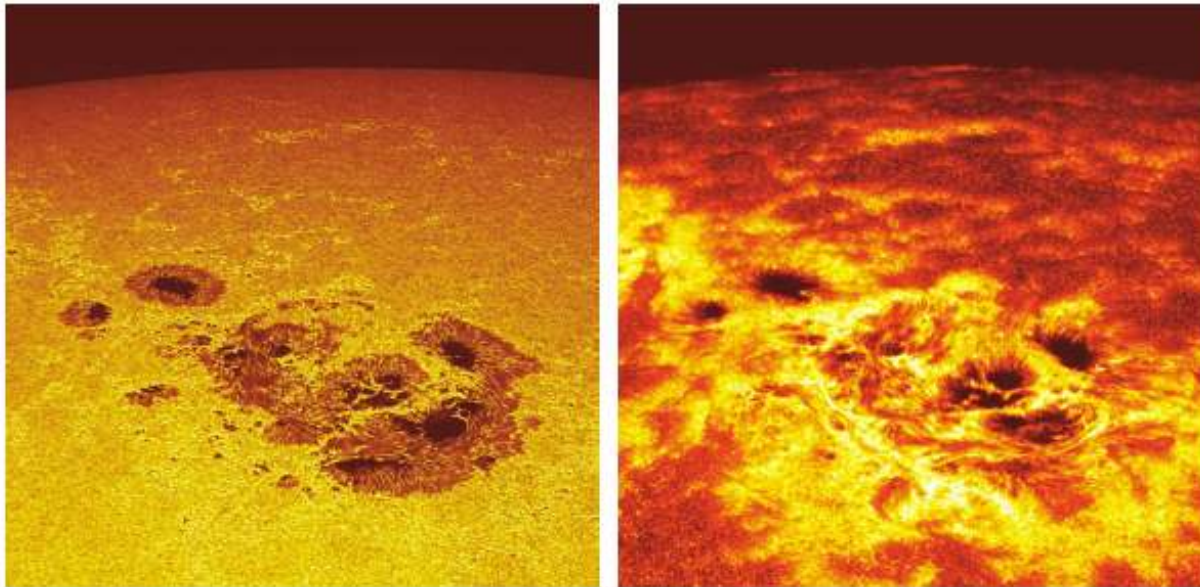


Figure 5.1: A sunspot region observed in November 2003. The left picture shows the lowest visible layer of the Solar atmosphere, the photosphere, in the light of CH molecules, and the right picture shows the 1000 km higher layer, the chromosphere, in the Ca II H line of once-ionized calcium. In the photosphere, magnetic fields suppress the convective energy transport from the Solar interior, which makes sunspots dark. Solar magnetic fields become the dominant force in the chromosphere, and they become brighter due to magnetic heating processes. Picture courtesy Dutch Open Telescope.

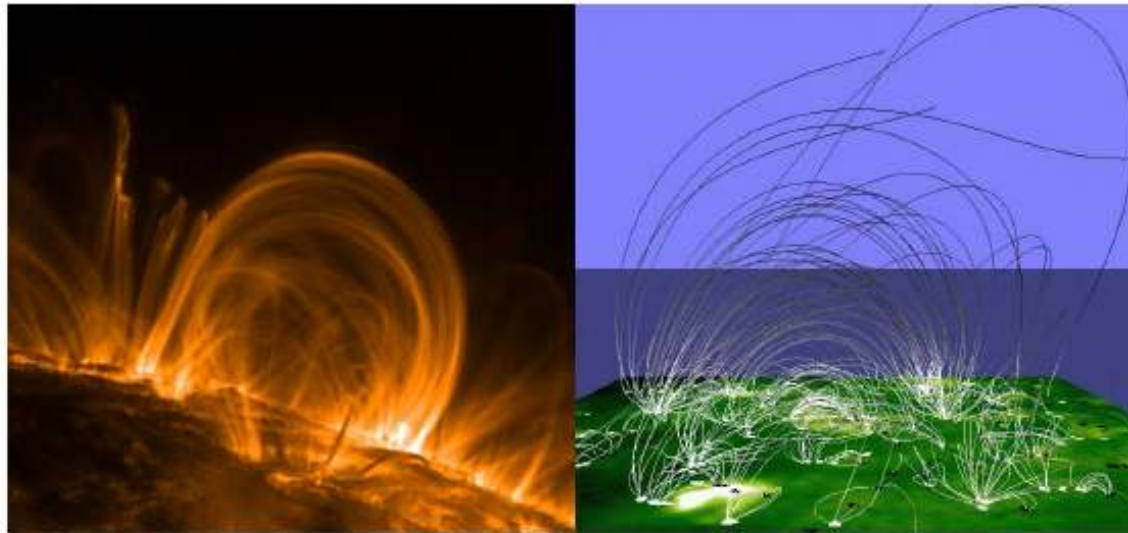


Figure 5.2: The complex magnetic fields in the Sun's atmosphere are well illustrated by this image of (left) an active region on the limb, taken in extreme ultra-violet using the NASA TRACE spacecraft, revealing million Kelvin plasmas trapped in magnetic loops and (right) the so-called magnetic carpet, the dynamic tangled magnetic fields in the Solar atmosphere driven by small-scale emergence of fields and photospheric motion, providing the complex environment for many transient phenomena [Courtesy Stanford SOI-MDI team and NASA/TRACE team].

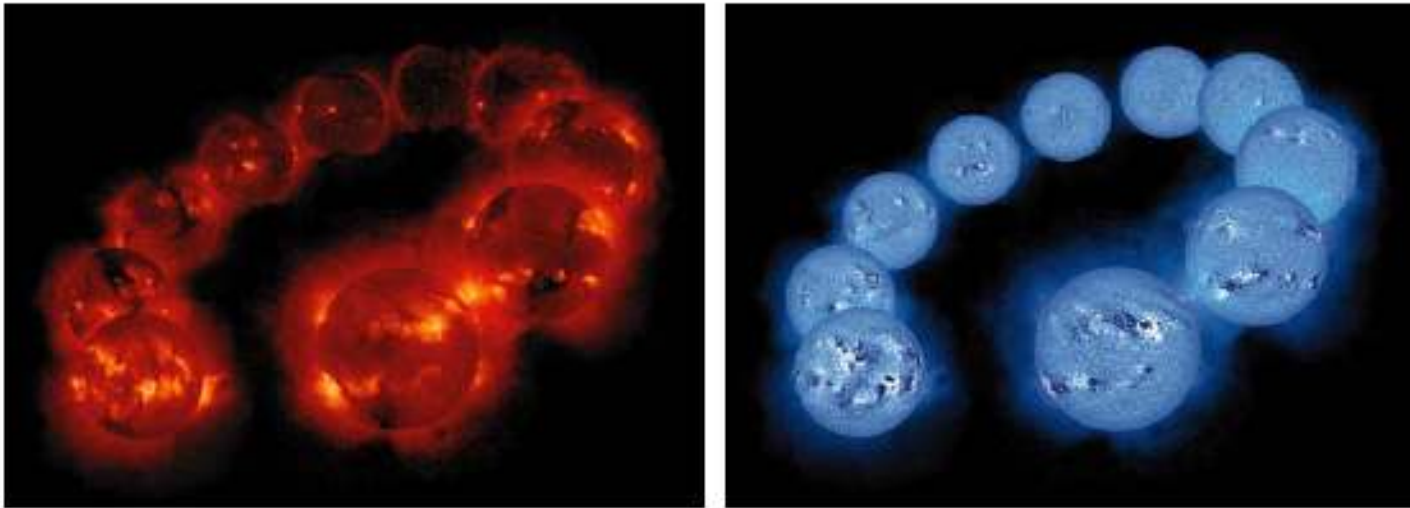


Figure 5.3: Sunspots and the corresponding magnetic fields follow an 11-year cycle, the sunspot cycle. The composite image on the left shows ten magnetic maps of the Sun approximately one year apart, from one maximum to the next. As the cycle fades, the large regions disappear. As the next cycle of activity picks up, the magnetic polarities of the sunspot regions are reversed. Wherever strong magnetic fields penetrate the Solar surface, the outer atmosphere is heated to several million degrees. The composite image on the right shows the X-ray emission from this hot corona. As the cycle fades out, the X-ray emission becomes weaker and more diffuse, to brighten again as the next cycle starts. Picture courtesy Lockheed Martin Solar and Astrophysics Laboratory, original images from Kitt Peak Vacuum Telescope of the National Solar Observatory (magnetic maps) and the Japanese-American YOHKOH satellite (X-ray emission).

A Nap-aktivitás földi hatásai

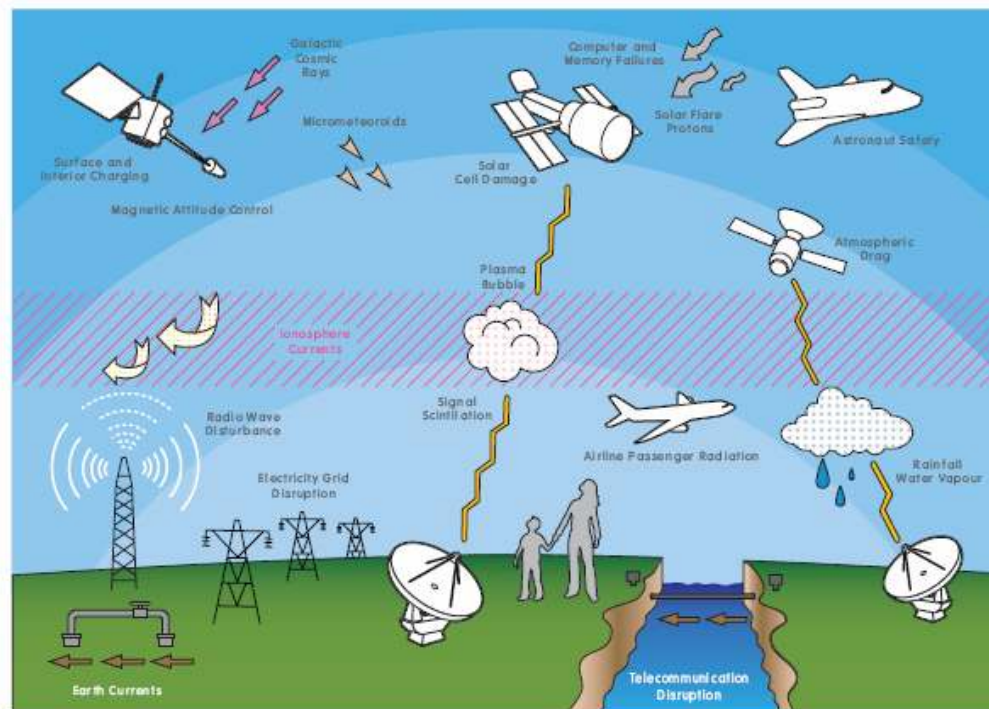


Figure 5.4: Solar eruptions such as flares and coronal mass ejections, triggered by changes in the magnetic field in the Solar atmosphere, accelerate charged particles and magnetic fields towards Earth, creating space weather. This cartoon summarizes some of the resulting hazards. Recreation of picture from Lou Lanzerotti, Bell Laboratories.

Naprendszerünk dinamikai története?

- Hogyan alakultak ki a az első néhány km-nyi bolygócsírák (ütközések, gravitációs instabilitás)?
- Melyek a kölcsönhatások a bolygók és az anyagkorong között? Vezethetnek ezek a bolygók migrációjához?
- Mi lehet a magyarázata a nagyon elnyúlt pályáknak?
- Mi a lehetséges szerepe a mágneses mezőknek?
- Mi az óriási ütközések szerepe? Okozhatták ezek pl. a Hold és Merkúr kialakulását?

A kolozsvári csillagda



2010.03.26.