

1. Csillagászat története

1.1. Őskor

- sumérok agyagtábláin bolygók mozgása, holdfogyatkozások előrejelzése
- Lascaux-i barlangfestményeken csillagok
- Stonehenge

1.2. Ókor

- Arisztarkhosz (Kr.e. 310-230)
 - műszerek használata
 - Föld a Nap körül kering, a Nap mozdulatlan (heliocentrikus világkép!)
 - Nap-Föld és Nap-Hold távolság hányszorosa a Föld átmérőjének
- Eratoszthenész (Kr.e. 276-194)
 - Föld területének meghatározása
 - 15% vagy 2% pontosság
- Hipparkhosz (Kr.e. 188-125)
 - 1080 csillagból álló csillagkatalógus
 - korábbi megfigyelésekkel összehasonlította
 - a Föld hatalmas, a Nap még nagyobb, a világ pedig felfoghatatlanul nagy
 - asztrolábium (csillagóra): csillagászati számítások meg
- Ptolemaiosz (100-170)
 - geocentrikus világkép (visszalépés!)
 - bonyolult égi pályák
 - Arisztarkhosz munkásságát ismerte, de csak „matematikai hipotézis”-nek tartotta
 - *Mathematike Sintaxis* („Almagest”): 40 kerék forog. Hatalmas *matematikai* teljesítmény.

1.3. Középkor

Középkor: naptárreform

- Kopernikusz, Nikolausz (1473-1543)
 - Nap a középpontban, a Föld csak egy a sok közül
 - elméleteit csak tudós körökben, egyházat nem tartotta érdemesnek
- Brahe, Tycho (1546-1601)
 - precíz megfigyelések
 - saját műszerek (hibahatárt jelentősen csökkentve!)
 - 1572-ben nóvarobbanást figyelt meg
 - Uraniborg

1.4. Újkor

- Kepler, Johannes (1571-1630)
 - Tycho Brahe segítője
 - Brahe halála után a mérési adatai \Rightarrow Mars pályája nem kör, hanem ellipszis
 - Kepler-törvények
- Galilei, Galileo (1564-1642)
 - nem hitte el, hogy a bolygók ellipszispályán keringenek
 - teleszkópokat gyártott
 - Hold felszíne nem sima
 - Jupiter holdjai
 - napfoltok, azok mozgása \Rightarrow Nap forog a tengelye körül
 - egyház máglyahalálra ítélte (házi fogság lett)
 - munkái 1757-ig tiltott olvasmányok
- Newton, Isaac (1642-1727)
 - teleszkópok használata (Newton-féle)
- Herschel, William (1737-1822)
 - korának legnagyobb teleszkópja
 - Uránusz felfedezése (1781)
 - a Napot lakottnak hitte
- Fraunhofer (1787-1826)
 - színeképek vizsgálata
- Kirchhoff (1824-1887)
 - fényemisszió és abszorpció összefüggései
 - égbolt tanulmányozása és atomfizika

2. Univerzum kialakulása

2.1. Alapfogalmak

Alapfogalmak

- alaptávolságok
 - fényév ($9,5 \cdot 10^{12}$ km)
 - csillagászati egység (CSE, AU, $150 \cdot 10^6$ km)
- kozmológia: Világegyetemmel, mint egészszel foglalkozó tudomány

2.2. Univerzum fejlődése

- Newton: ha a Világegyetem véges, akkor a gravitáció miatt össze kell omlania
- Olbers (1758-1840): ha a VE végtelen, akkor az éjszakai égboltnak fényesnek kell lennie
 - VE nem átlátszó, viszont ekkor a por forrósodik fel és az világít
 - fény sebessége véges, ezért nem látunk „végtelen messzire” (E. A. Poe)

2.3. Hubble-törvény

- Edwin P. Hubble (1889-1953)
 - változócsillag (cefeida) megfigyelése
 - azaz a Világegyetem nem állandó
 - vöröseltolódás \Rightarrow galaxisok távolodnak
 - távolodás sebessége: $v = H_0 \cdot R$, $H_0 = 22 \text{ km/s/fényév}$

2.4. Ősrobbanás elmélete

- tágul a Világegyetem
- időben visszafelé haladva „összemegy”
- kezdetben volt egy robbanás: „Nagy Bum”, „Big Bang”
- kb. 13,7 milliárd évvel ezelőtt
- a mérések és elméletek szerint a VE örökké tágulni fog
- VE régebben kisebb volt, és melegebb is
- EM plazma töltötte ki
- hűlés során alakult ki a kozmikus háttérsugárzás
- 1965, Penzias, Wilson
- COBE (Cosmic Background Explorer) űrszonda: ingadozás kb. akkora, mint 0,1 mm az uszodában
- VE kezdetén a hőmérséklet nagy \Rightarrow atommagok nem stabilak \Rightarrow elemi részek fizikája
- harmadik perc vége: 900 millió K \Rightarrow könnyű elemek kialakulása (H, He, Li, Be, B)
- 379 ezer év: hőmérséklet 3000 K \Rightarrow semleges atomok
- 200 millió év: első csillagok megjelenése

Ősrobbanás elméletét alátámasztó tények:

- Univerzum jelenlegi hőmérséklete: 2,73 K (elmélettel egyezik!)
- elemek előfordulásának gyakorisága (leggyakoribb a H és a He)
- kozmikus háttérsugárzás
- vöröseltolódás

Megválaszolatlan kérdések:

- sötét anyag
 - EM hullámot nem bocsát ki, nem nyel el \Rightarrow közvetlenül nem megfigyelhető
 - látható anyagra kifejtett gravitációs hatása
 - 23%
- sötét energia
 - erős antigravitációs hatás (VE gyorsulva tágul)
 - VE-t kitölti
 - 72%

Megfigyelhető anyag: $\approx 5\%$!

3. Univerzum szerkezete

3.1. Galaxisok

Galaxisok

- Univerzumot alkotják
- csillagok, bolygók, csillagközi por, sötét anyag gravitációsan kötött rendszere
- közepén általában fekete lyuk
- lapultak, kiterjedésük néhány ezer – néhány százezer fényév
- tízmillió – ezermilliárd csillag
- köbméterenként néhány atom
- számuk százmilliárd környékére tehető

Androméda-köd

- legközelebbi galaxis
- spirálgalaxis
- első felfedező: Abd al-Rahman al-Sufi (964)
- Simon Marius (1609)
- átmérő: 110 ezer fényév

3.2. Tejútrendszer

Tejútrendszer

- küllős spirálgalaxis
- egyik küllőn a Naprendszer ($v_k = 280$ km/s, $T = 226$ millió év)
- Földről látható része a *tejút* (dél és kelet felé)
- központja a Nyilas (Sagittarius) csillagkép felé, kb. 27 ezer fényévre
- szupermasszív fekete lyuk (közeli csillagok pályája alapján kb. 4 millió Naptömeg)

3.3. Naprendszer

Naprendszer

- középpontban a Nap
- Naprendszer tömegének 99,86%-a
- bolygók egy síkban (ekliptika)
- mindegyik bolygó és majdnem mindegyik hold egy irányba kering
- nyolc bolygó: Merkúr, Vénusz, Föld, Mars, Jupiter, Szaturnusz, Uránusz, Neptunusz
- kőzetbolygók: kb. Föld-méretűek, max. 2 holddal
- gázbolygók: nagyobbak, kis sűrűségűek, sok holddal

3.3.1. Merkúr

Merkúr

Adatlap

Naptól való távolság	0,47 CSE
Méret	0,383 R_F
Tömeg	0,055 M_F
Légkör	nincs
Holdak	nincs

- űrszondák:
 - Mariner-10 (1974-1975), bolygó felszínének 45%-át térképezte fel
 - MESSENGER („MErcury: Surface, Space ENvironment, GEochemistry, and Ranging”): 2008-ban érte el, 2011 óta Merkúr körüli pályán

Merkúr

- nagy hőingadozás (napos részen $700\text{ K} = 427\text{ °C}$, árnyékos részen $90\text{ K} = -183\text{ °C}$)
- felszínén sok kráter (becsapódott kisbolygók, üstökösök), magyarokról elnevezettek:
 - Bartók Béla ($d = 112\text{ km}$)
 - Jókai Mór ($d = 106\text{ km}$)
 - Liszt Ferenc ($d = 85\text{ km}$)
 - Munkácsy Mihály
 - André Kertész ($d = 31,55\text{ km}$)
- több száz km hosszú hátságok

Merkúr

- tömegének 42%-a a magja (Föld esetében 17%)
- magja vasban gazdag
 - ütközés eredménye
 - vagy kezdetben nagyobb tömeg, magas hőmérséklet miatt a felszíni kőzet elpárologhatott
- keringése: $3 \cdot T_f = 2 \cdot T_k$

3.3.2. Vénusz

Vénusz

Adatlap

Naptól való távolság	0,7 CSE
Méret	0,94 R_F
Tömeg	0,815 M_F
Légkör	van
Holdak	nincs

- Mariner-2 (1962): légkörtől nem látta a felszínt
- Magellán űrszonda (1990-es évek első fele):
 - felszínének 98%-a
 - gravitációs térkép
 - felső légkör sűrűsége
 - 1994. októberében utasításra csökkentette a pályamagasságot, elmerült a Vénusz légkörében, a sűrű légkörben elégett
- Venus Express (2005-től): légkör, felhő tanulmányozása

Vénusz

- Hold után a legfényesebb az éjszakai égbolton \Rightarrow „Esthajnalcsillag” (akár még nappal is észlelhető!)
- kénsav tartalmú felhőréteg (vulkanizmus eredménye?)
- légköre főleg CO_2 (96,5%)
- üvegházhatás $\Rightarrow T \approx 400^\circ\text{C}$
- légköri nyomás a földiének 92-szerese \Rightarrow kis szelek ($v \approx 10 \text{ km/h}$) is sziklákat mozgatnak

Vénusz

- talán korábban víz, amely elpárolgott
- gyakori villámok
- kicsi tengelyhajlás \Rightarrow nincsenek évszakok
- keringési idő 224 földi nap, forgási idő 243 földi nap
- kevés becsapódási kráter \Rightarrow fiatal felszín
 - Jászai Mari (69 km)
 - Orczy Emma (26,9 km)
 - Klafsky Katalin (25,5 km)

3.3.3. Föld

Föld

- Napfogyatkozás: a Hold kitakarja a Napot
 - Magyarországon teljes: 1999. augusztus 11., 2081. szeptember 3.
 - gyűrűs: 2075. július 13.
 - részleges: 2015. március 20., 2020. június 21., 2021. június 10.
- ritka jelenség (Hold pályasíkja nem egyezik az ekliptikával)
- Holdfogyatkozás: a Föld kitakarja a Napot

3.3.4. Mars

Mars

Adatlap

Naptól való távolság	1,5 CSE
Méret	0,53 R _F
Tömeg	0,1 M _F
Légkör	ritka
Holdak	2

- két hold
 - Phobos
 - * távolság: 5760 km (Föld-Hold: 378 000 km)
 - * kötött keringésű
 - * hőmérséklet: 233 K = -40 °C
 - Deimos
 - * távolság: 23 458 km
 - * lehet, hogy aszteroida, amit a Mars fogott be
 - * kötött keringésű
- Phobos és Deimos a görög mitológiában Arész hadisten (római mitológiában: Mars) fiai

Mars

- űrszondák, űreszközök
 - Mariner-4 (1964): első közeli kép a Marsról, nincs civilizáció a bolygón
 - Mariner-9 (1971): első műhold a Mars körül, völgyrendszer, vulkánok felfedezése
 - Mars Pathfinder (1997): Mars felszínén landolt
 - Curiosity (2012): biológiai, geológiai, geokémiai célok

Mars

- légköre ritka (földinek kb. 1%-a), főleg CO₂, kevés nitrogén és argon
- felszíni hőmérséklet: 133 K, 293 K
- „vörös bolygó” (felszíni vas-oxid)
- marslakók: félrefordítás
- Marsi arc
- pólusokon vízjég és szárazjég
- Naprendszer legmagasabb hegye: Olympus Mons (27 km magas)
- Naprendszer legnagyobb kanyonrendszere: Valles Marineris (4000 km hosszú, 7 km mély)

3.3.5. Jupiter

Jupiter

Adatlap

Naptól való távolság	5,2 CSE
Méret	11 R _F
Tömeg	318 M _F
Légkör	van
Holdak	≥ 67

- legnagyobb bolygó a Naprendszerben
- ha nagyobb lenne, összeroppanna, majd magfúzió
- felső légkör: 90%H₂, 10%He
- belső szerkezet: szilárd mag(?), Föld tömegének tízszerese
- 67 hold (Galilei-holdak: Io, Europa, Ganymedes, Callisto)

Jupiter

- Nagy Vörös Folt: Földnél nagyobb átmérőjű anticiklon vihar
- gyűrűrendszer (halványabb, mint a Szaturnuszé)
- mágneses tere nagy (a Holdnál nagyobbak látnánk)
- $T_k = 4332$ nap, forgás egyenlítő körül: $T_f = 9$ h50 perc, fentebb: $T_f = 9$ h55 perc

3.3.6. Szaturnusz

Szaturnusz

Adatlap

Naptól való távolság	10 CSE
Méret	9,5 R _F
Tömeg	95 M _F
Légkör	van
Holdak	≥ 60

- nagy sebességű forgás \Rightarrow lapított gömb
- túlnyomórészt hidrogénből áll
- több, mint 60 hold (Titán: sűrű légkör! etán- és metán-tavak)
- nagy szelek (akár $500 \text{ m/s} = 1800 \text{ km/h}$)

Szaturnusz – gyűrűk

- Galilei (1610):
 - ... a bolygó nincs egyedül, hanem három részből áll, amelyek majdnem érintik egymást és soha nem mozdulnak el egymáshoz képest
- Huygens (1655):
 - ... a Szaturnuszt egy vékony, széles gyűrű veszi körbe, amely sehol nem érinti...
- Cassini (1675): több kisebb gyűrű és köztük lévő rések (a legnagyobb ilyen rész Cassini-rés)
- Maxwell (1859): bizonyította, hogy nem lehet egy tömb, hanem apró részecskék (1895-ben megfigyeléssel igazolták)

Szaturnusz

- eredetük
 - hold darabjai (gravitáció vagy üstökös)
 - csillagközi por (számítások szerint nem lenne stabil)
- kőzetek, vas-oxid, jégrészecskék
- saját légkör (leginkább O_2)
- űrszondák
 - Pioneer-11 (1979)
 - Voyager-1, 2 (1980, 1981)
 - Cassini-Huygens (2004)

3.3.7. Uránusz

Uránusz

Adatlap

Naptól való távolság	20 C_{SE}
Méret	4 R_F
Tömeg	14 M_F
Légkör	van
Holdak	≥ 27

- William Herschel, 1781
- légköre hidrogén, hélium, valamint 2% metán (vöröst elnyeli \Rightarrow kékes szín)
- tengelyhajlás kb. $90^\circ \Rightarrow$ egyik pólus mindig a Nap felé néz
- 27 ismert hold
- gyűrűrendszer (1977)

3.3.8. Neptunusz

Neptunusz

Adatlap

Naptól való távolság	30 CSE
Méret	3,9 R_F
Tömeg	17 M_F
Légkör	van
Holdak	≥ 14

- Johann Galle (1846): Jupiter pályájának perturbációi alapján (Galilei jegyzeteiben is fellelhető)
- 80% H_2 , 19% He, 1% metán (kék szín)
- Nagy Sötét Folt (300 m/s, 1994-ben eltűnt)
- Voyager-2 (1989)
- gyűrűrendszer
- 14 hold (legnagyobb a Triton)

3.3.9. Plútó

Plútó

- Clyde W. Tombaugh (1930), 2006. óta törpebolygó
 - Tombaugh 1906-tól 1997-ig élt (nem élte meg a „visszaminősítést”)
 - hamvainak egy része a New Horizons űrszondán, ami 2015. július 14-én elérte a Plútót
- kisebb, mint a Hold
- pályája: 30 CSE–50 CSE (248 év)
- felszínén fagyott nitrogén (napközelen felenged \Rightarrow légkör)
- holdja: Charon (feleakkora, mint a Plútó)
- kisebb holdak: Nix, Hydra

3.3.10. Kuiper-öv

Kuiper-öv

- kisbolygóöv
- Naptól számítva 30 CSE – 50 CSE
- kb. 800 objektuma ismert (egyik a Plútó)
- Eris
 - $r = 1,2 \cdot R_{Plútó}$
 - $m = 1,27 \cdot M_{Plútó}$
 - $T = 560$ év
 - egy hold: Düsnoomia
 - elnyúlt ellipszispálya: 38 CSE – 98 CSE

3.3.11. Oort-felhő

Oort-felhő

- Naprendszer legkülső tartománya (50 CSE – 100 000 CSE)
- üstökösözona
- zavar hatására üstökösök „megszökik”
- „Gliese 710” 1,36 millió év múlva belép a „felhőbe”, 2,4 millió üstökös „elszabadulhat”!
- Nemezis: fajkihalások periodicitása

Üstökösök

- üstökös: Nap körül keringő égitest, felszíne Napközelen felmelegszik \Rightarrow szublimál \Rightarrow légkör (kóma)
- csóva: Nappal ellentétes irány
- Hale-Bopp (felfedezés: 1995, Napközeli: 1997, legközelebb: 4380)
- Shoemaker-Levy (1994, Jupiter)
- Halley (i.e. 466, 1531, 1607, 1682, 1758, . . . , 1986, 2061)

3.4. Csillagok élete

Csillagok keletkezése

1. molekulafelhőben (pl. Orion-köd) mag keletkezése (hogyan?)
2. összehúzódik: protocsillag
3. sűrűsödés: sugárzás nem jut ki belőle \Rightarrow felmelegedés
4. 10-15 millió kelvinnél hidrogén-hélium-fúzió
 - barna törpe: $m < 0,08 \cdot M_{\text{Nap}}$: nem melegszik fel eléggé (4. pont)

Csillagok fejlődése

- fősorozati állapot: stabil sugárzási állapot
 - Nap-szerűek: 9-11 milliárd év
 - 20-szor nagyobb: 5 millió(!) év
- kétféle út:
 - kis tömegűek: vörös óriás, fehér törpe (inaktív mag) és planetáris köd

Nagy tömegű csillagok

- vörös szuperóriás
- magban nehezebb elemek fúziója (${}_{56}\text{Fe}$)
- energiatermelés megszűnik: zsugorodás
- magban nagy sűrűség: $p^+ + e^- \rightarrow n^0$
- mag megkeményedik, héj visszapattan, nagy fényesség (szupernóva robbanás)
- mag neutroncsillag ($< 15 \cdot M_{\text{Nap}}$) vagy fekete lyuk ($> 15 \cdot M_{\text{Nap}}$)

Neutroncsillag

- $d \approx 10 - 20$ km
- $m \approx 1 - 2 M_{\text{Nap}}$ (nagyobb esetben fekete lyuk)
- $\rho \approx 10^{14}$ kg/m³
- erős mágneses tér, gyors forgás ($T \approx$ ms, „pulzár”)

Fekete lyuk

- erős gravitáció (fény se hagyhatja el)
- Schwarzschild-sugár: $R_S = \frac{2GM}{c^2}$ (Nap: kb. 3 km, Föld: kb. 1 mm)
- Hawking-sugárzás (részecske-antirészecske, összenergia nulla)
- gravitációs hullám: nagy tömeg (pl. fekete lyuk) gyorsuló mozgása

4. Modern kori űrkutatás

Űrszondák

- személyzet nélküli űreszköz
- Föld vonzaskörzetét elhagyja
- műszerek: kamera, spektrométer, magnetométer, stb.
- Ulysses (1990): ekliptika síkjából kilépett
- SOHO (Solar and Heliospheric Observatory, 1965-től): Nap vizsgálata
- Mariner
- Discovery program
- MESSENGER

Hubble-űrteleszkóp

- 1990. április 24-én lőtték fel
- földi légkör zavaró hatása
- Föld felett kb. 600 km-re
- $T = 96$ perc
- $m = 12$ tonna
- több javítás

Elsők

- első élőlény: Lajka kutya (1957. nov. 3.)
- Jurij Gagarin(1934-1968): első ember az űrben (1961. április 12.)
- Valentyina Tyereskova (1937-): első női űrhajós (1963. június 16.)
- Neil Armstrong (1930-2012): első ember a Holdon (1969. július 20.)
 - „Kis lépés egy embernek...”
 - „Sok szerencsét, Mr. Gorsky!”
- Edwin „Buzz” Aldrin (1930-): második ember a Holdon
- Farkas Bertalan (1949-): első magyar űrhajós (1980. május 26.)

Katasztrófák

- Challenger (1986. január 28.)
 - felszállás során
 - hét űrhajós
- Columbia (2003. február 1.)
 - leszállás közben
 - hét űrhajós

4.1. Összefoglalás, követelmények

Összefoglalás, követelmények

- beugró kérdés: Naprendszer bolygói
- világképek alakulása, kapcsolódó tudósok, mérések, felfedezések
- Ősrobbanás elmélete (4 bizonyíték is)
- galaxisok, Tejútrendszer, Androméda-köd
- Naprendszer általánosságban (bolygók, Kuiper öv, Oort-felhő)
- napfogyatkozás, holdfogyatkozás oka (dátumok nem kellenek)

Összefoglalás, követelmények

- egy kőzet- (Merkúr, Vénusz, Mars, Plútó) és egy gázbolygó
 - „adatlap”
 - légkör fő összetevői
 - kettő ill. egy űrszonda
 - „nevezetesség”
- csillagok élete, fejlődése
- évszámok
 - Lajka kutya
 - Hubble űrteleszkóp
 - Farkas Bertalan
- dátumok
 - első ember az űrben
 - első ember a Holdon (és a második is!)
 - Challenger és Columbia katasztrófák