

Csillagászati földrajz
2018. december 13.

Kitekintés a Naprendszerből



A csillagok

Csillag: saját fénnel világító égitest

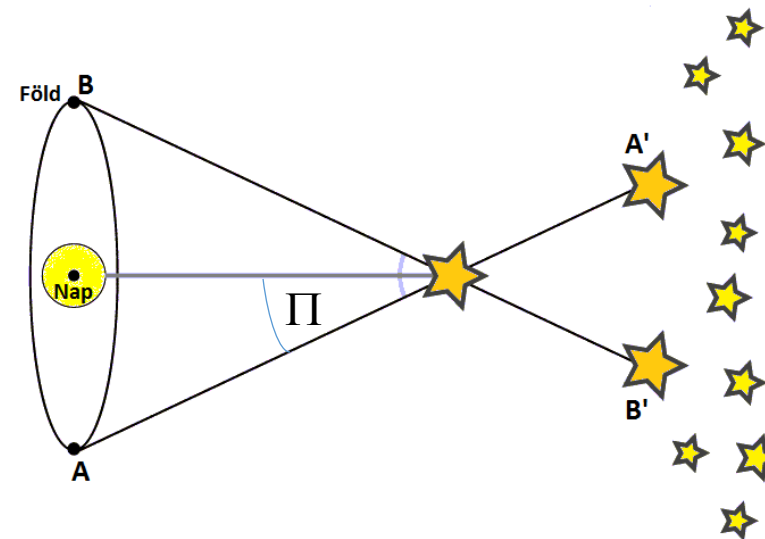
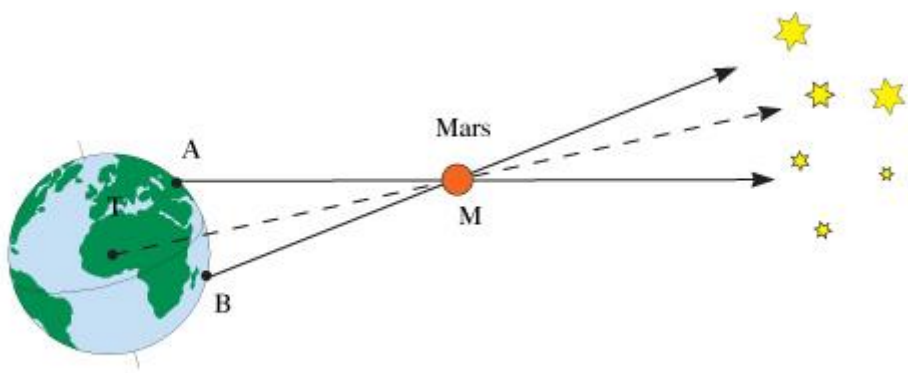
- tehát nem más fényét veri vissza (mint a bolygók, holdak, stb.)
- a gravitációs összehúzó erő egyensúlyban van az energiát szolgáltató termionukleáris reakció sugárnyomásával

Legfontosabb paraméterek

- tömeg
- méret
- (abszolút) fényesség
- luminozítás (energiakibocsátás)
- felszíni hőmérséklet
- forgási periódus
- színképtípus
- kémiai összetétel
- kora / fejlődési állapota
- (Naptól mért távolság, mozgás)
- egyébek:
 - változócsillag-e
 - kettős (többes) rendszer tagja-e
 - vannak-e ismert bolygói...

A csillagok távolsága

Távolságmérés alapvető módszere: parallaxis: ahogy a megfigyelő változtatja a helyzetét, úgy a közelebbi objektumok elmozdulni látszanak a háttérhez képest



Napi parallaxis:

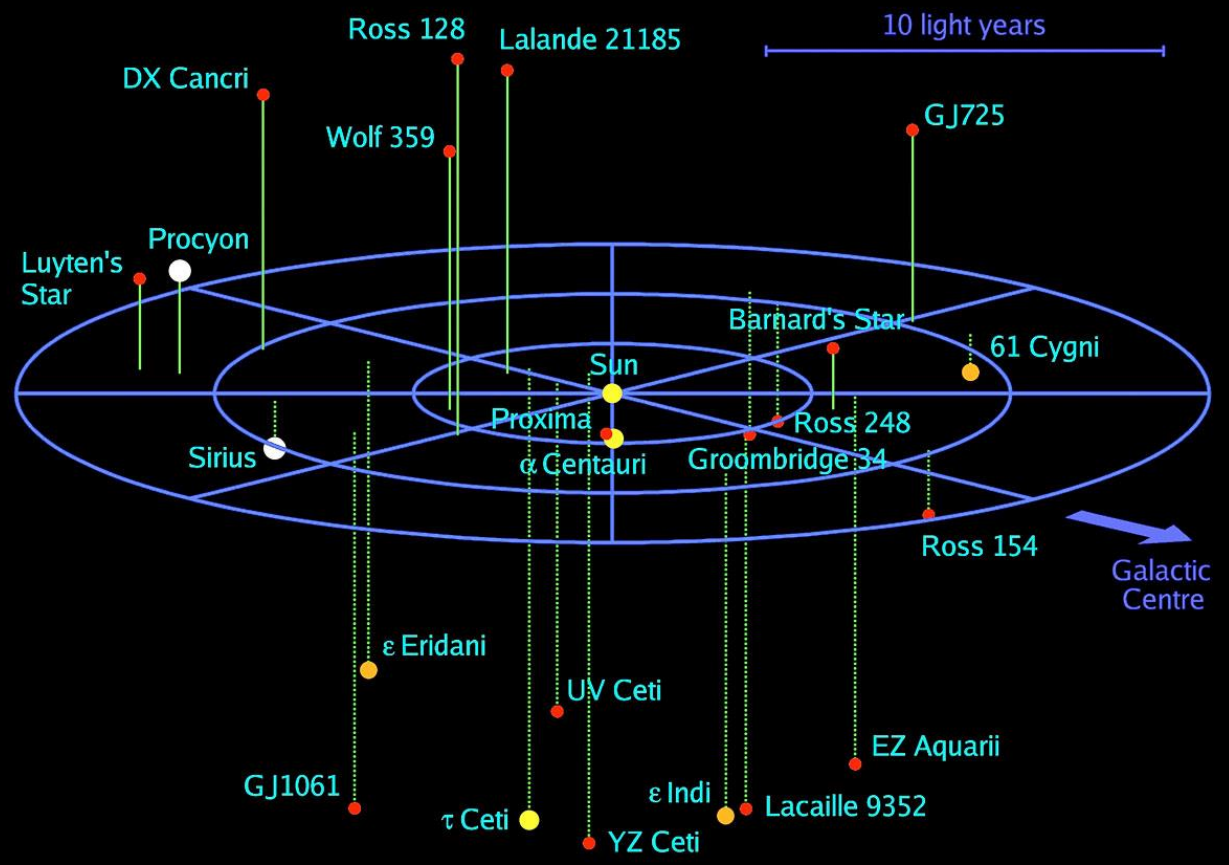
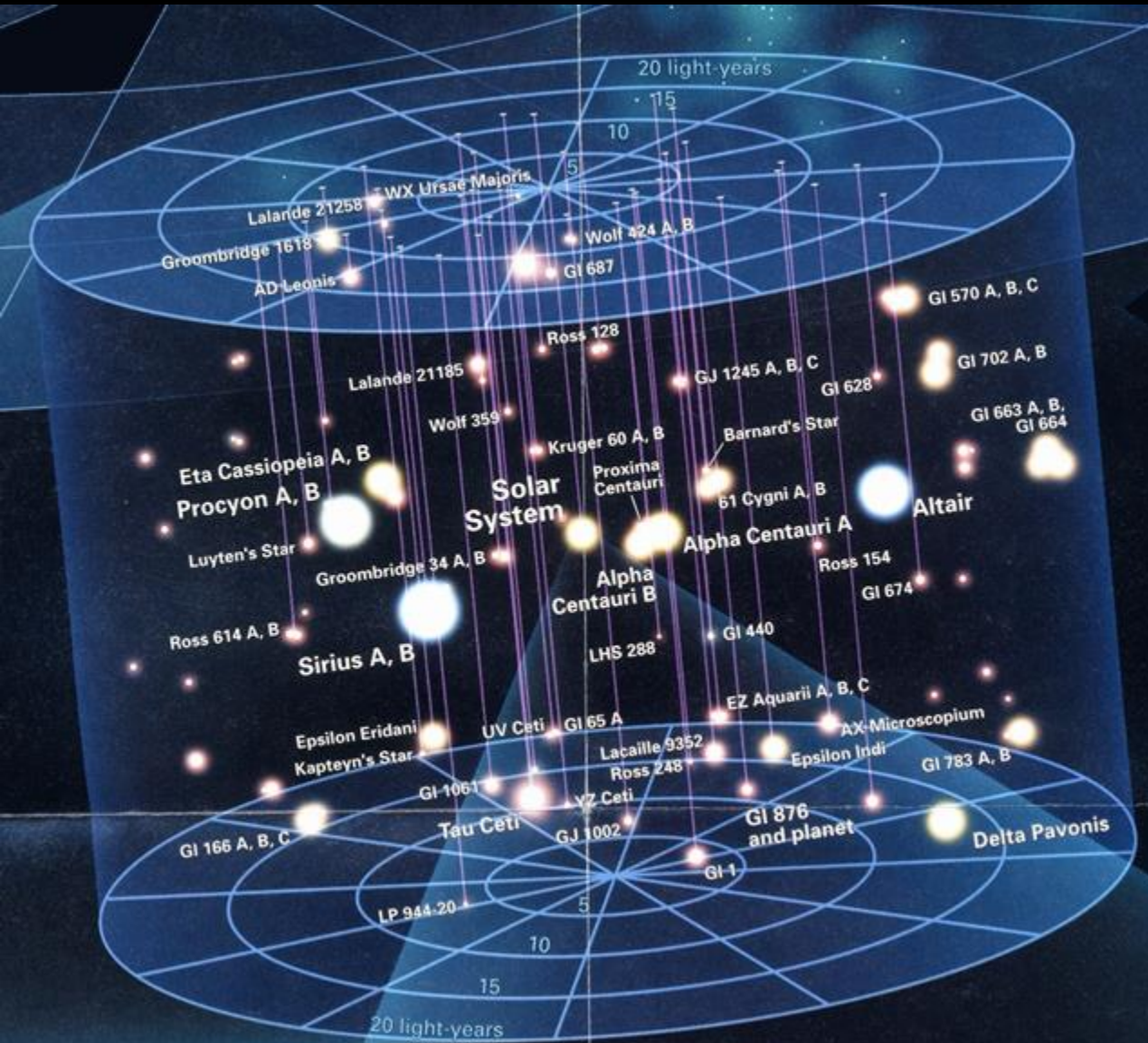
- az ún. bázisvonal max. a Föld átmérője: vagy különböző pontokon végzett mérések alapján, vagy azonos ponton eltérő időpontokban (forgás)
- közelebbi naprendszerbeli égitestekre alkalmazható

Éves parallaxis:

- a bázisvonal max. a földpálya átmérője: az év különböző szakaiban végzett mérések alapján
- a közelebbi csillagokra alkalmazható (Hipparcos műhold: > 100 000 csillagra)

parsec v. parszek (pc): távolság-mértékegység: ilyen távol levő csillag éves parallaxisa (Π) 1 szögmásodperc lenne
→ $1 \text{ pc} = 3,26 \text{ fényév} \approx 206\,000 \text{ CsE} \approx 3,1 \cdot 10^{16} \text{ m}$

A Naphoz legközelebbi csillagok eloszlása



Status: January 2003

A csillagok fényessége

Látszó fényesség

- alapja: Hipparkhosz, -2. sz.: a legfényesebbek 1 „nagyságúak” (magnitúdó), a leghalványabbak 6
- ma: sugárzási fluxusok aránya alapján:

$$m_1 - m_2 = -2,5 \cdot \log (F_1/F_2)$$

- F : egységnyi felületre leadott teljesítmény
- százszoros intenzitás-különbség 5 mag különbségnek felel meg
- logaritmikus, mert az ingerület változása az inger relatív változásától függ
- kell egy nullpont \rightarrow Vega (α Lyr)
- ez így kb. megfelel az eredeti intuíciónak
- Néhány érték:
Nap: -26,8 telihold: -12,5 Vénusz_{max}: -4,6
Szíriusz: -1,6 szabad szemes határa: \sim 6,5
távcsöves észlelés határa: \sim 36

Abszolút fényesség

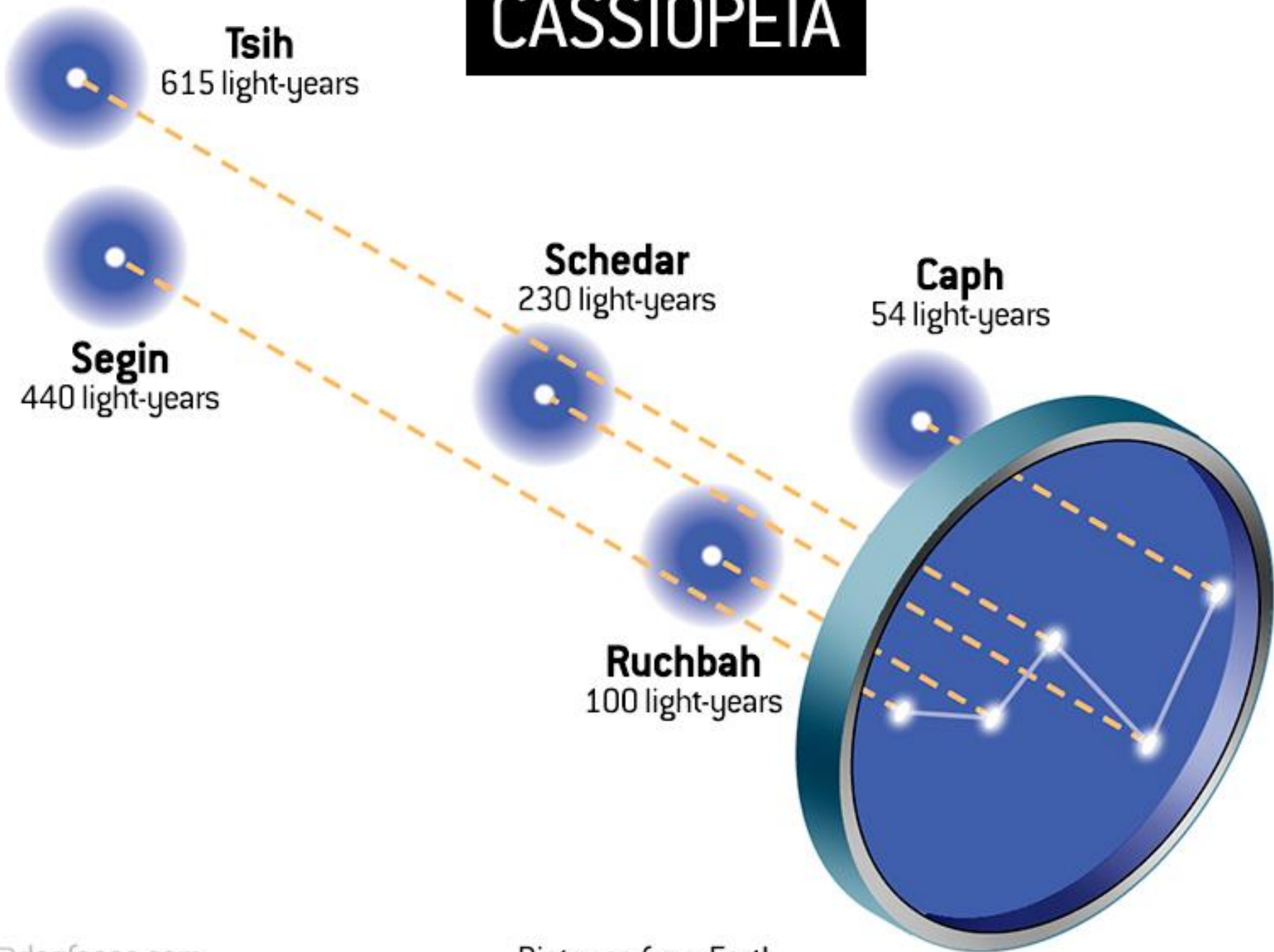
- adott távolságból: **10 pc** (vákuumon át nézve)
- fizikai mértéke: luminozitás (sugárzási teljesítmény)
- mennyi egy M abszolút fényességű csillag látszó fényessége d pc távolságból nézve?

Ha a fluxus $F = L/4\pi d^2$, akkor

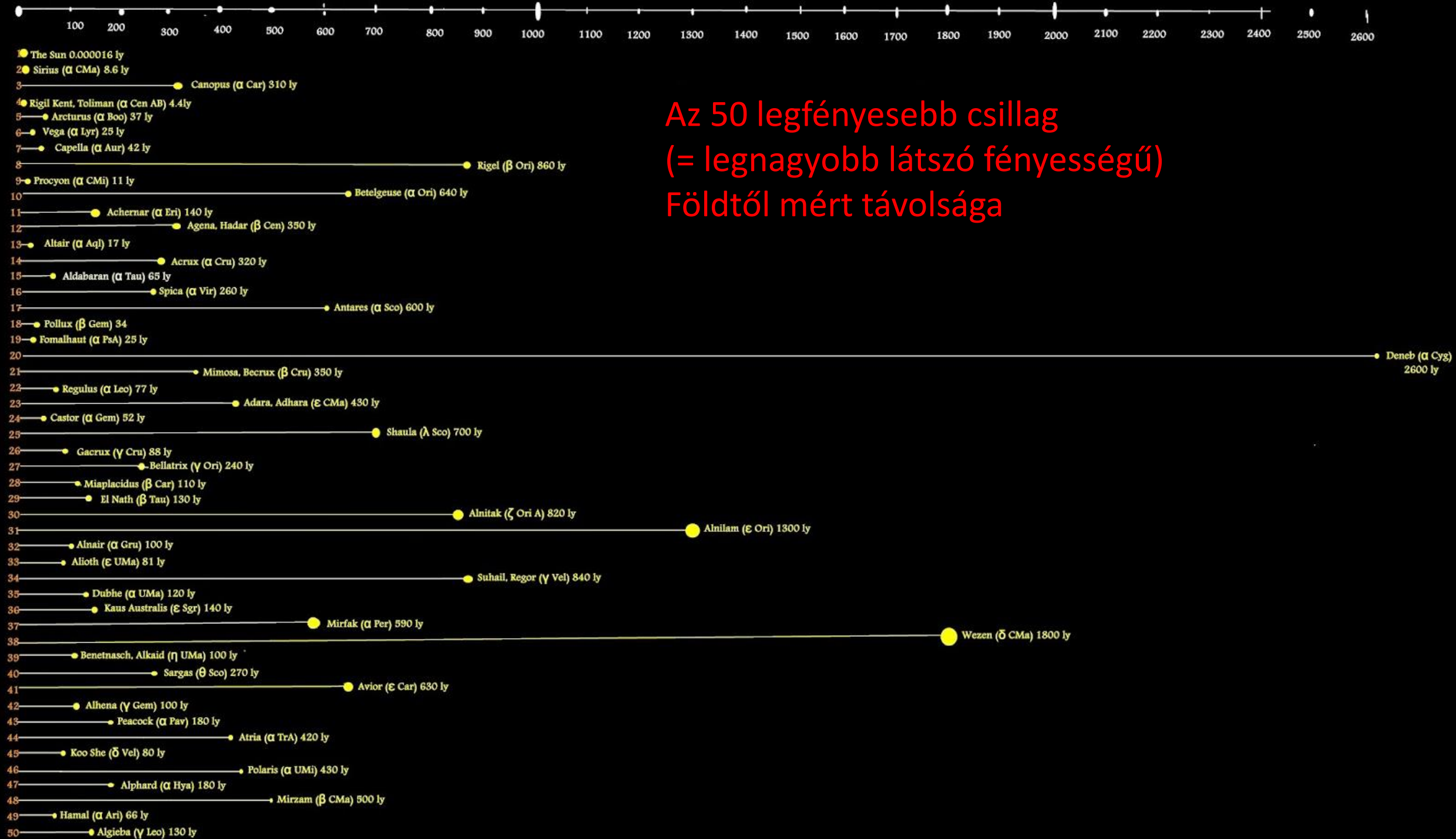
$$\begin{aligned} m - M &= -2,5 \cdot \log ((L/4\pi d^2)/(L/4\pi 10^2)) = \\ &= 5 \cdot \log d - 5 \quad (\rightarrow \text{ún. távolságmodulus}) \end{aligned}$$

- ún. fotometriai parallaxis: ha valahogy becsülhető M , akkor m -et mérve megkapjuk a távolságot
- Néhány érték:
legfényesebb csillagok: > -10
Deneb (α Cyg): -7,2
Nap: 4,8
leghalványabb csillagok: \sim 20

CASSIOPEIA

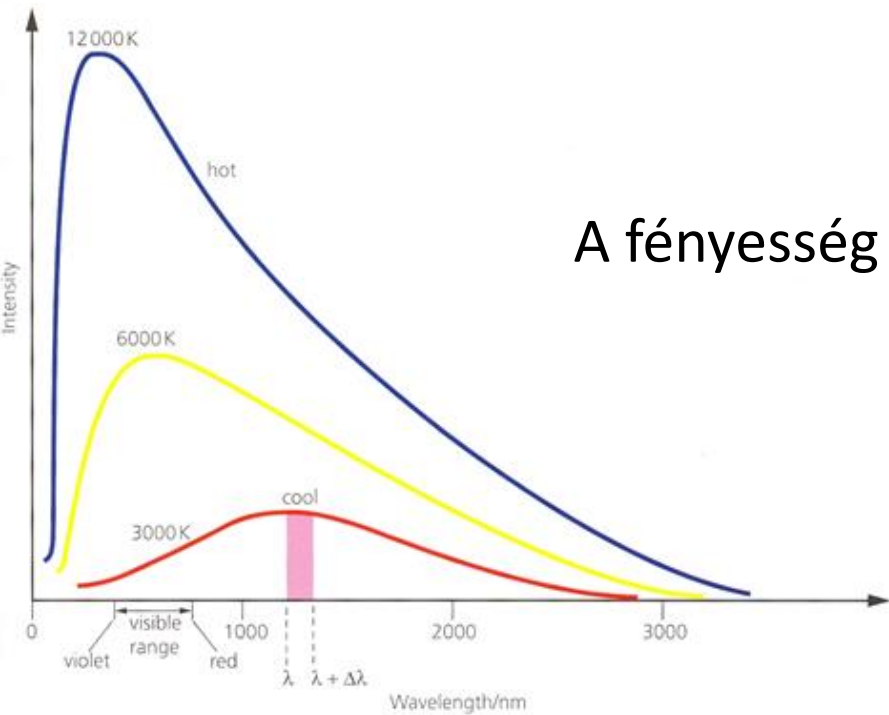


Közel azonos látszó fényességű csillagok nagyon eltérő távolságra lehetnek: lásd pl. Cassiopeia



A csillagok színe

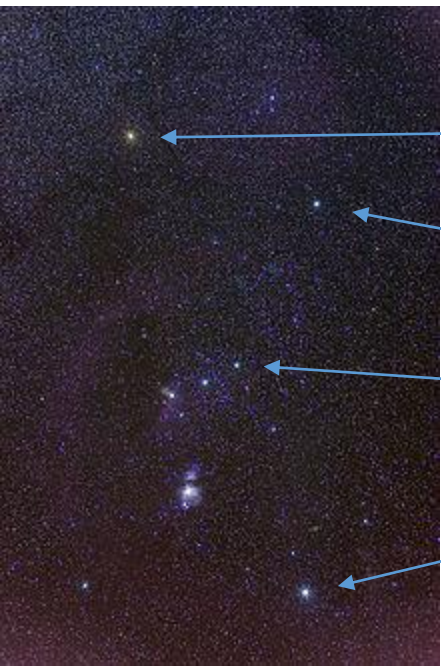
A fényesség függ attól, hogy milyen **hullámhossz**-tartományban mérjük!



Ok: felszíni hőmérséklet különbsége

→ Wien-féle eltolódási törvény (feketetest-sugárzásra):
a fénygörbe maximumának hullámhossza fordítottan arányos a hőmérséklettel

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2897 \mu\text{m} \cdot \text{K} (= \text{áll.})$$



Pl. Orion csillagkép:

- Betelgeuse (α Ori):
3300 K
- Bellatrix (γ Ori):
22 000 K
- Mintaka (δ Ori):
31 800 K
- Rigel (β Ori):
12 100 K

Színindex: különböző tartományokban mérik a fényességet:

Pl. *U*: 364 nm (UV); *B*: 442 nm (kék); *V*: 540 nm (vizuális)

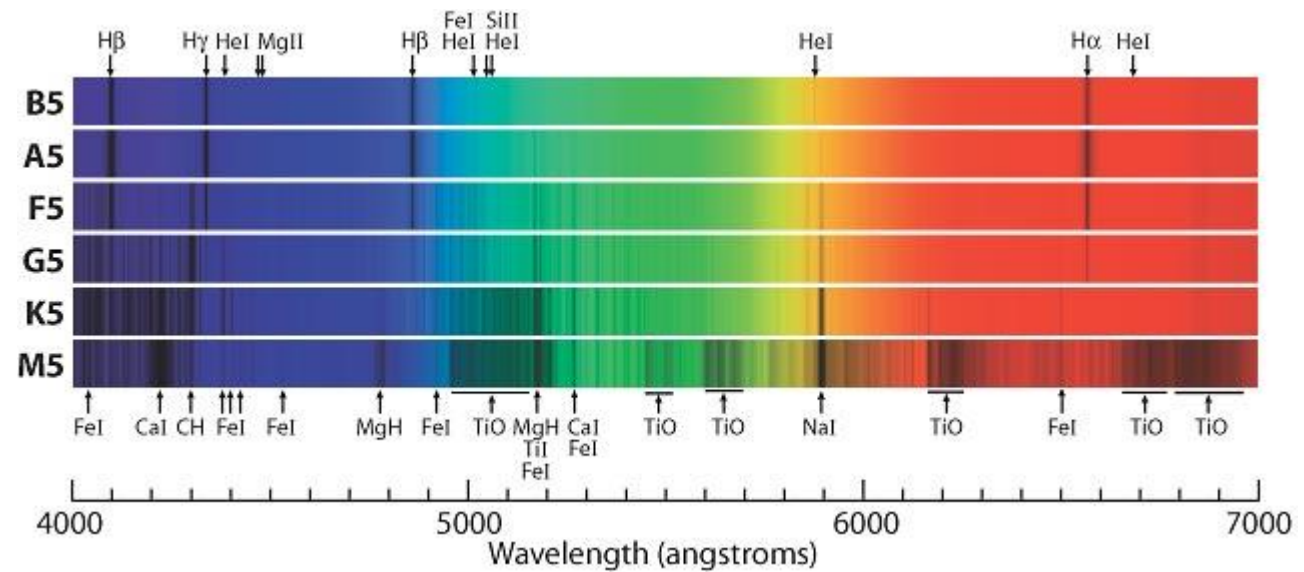
és azt hasonlítják össze, pl. *B – V*

→ minél nagyobb a szám, annál vörösebb a csillag
(ugyanis a fényesség-skála fordított)

A csillagok színe

Színeképelemzés: a csillagról érkező fény spektrumának elemzése

- abszorpciós vonalak: sötét vonalak, ahol a csillaglégkör adott hullámhosszon elnyeli a fényt
 - emissziós vonalak: világos vonalak, ahol a csillaglégkör adott hullámhosszon kibocsátja a fényt
- egyszerre árulkodik a kémiai összetételről és a hőmérsékletről (egyes vonalak relatív erőssége)



Színeképeosztály	Felszíni hőmérséklet [K]	Szín	Tömeg* [M $_{\odot}$]	Sugár* [R $_{\odot}$]	Luminozitás* [L $_{\odot}$]	Csillagok százaléka
O	$\geq 30\ 000$	kék	≥ 16	$\geq 6,6$	$\geq 30\ 000$	$\sim 0,00003$
B	10 000 – 30 000	kékesfehér	2,1 – 16	1,8 – 6,6	25 – 30 000	0,13
A	7 500 – 10 000	fehér	1,4 – 2,1	1,4 – 1,8	5 – 25	0,6
F	6 000 – 7 500	sárgásfehér	1,04 – 1,4	1,15 – 1,4	1,5 – 5	3
G	5 200 – 6 000	sárga	0,8 – 1,04	0,96 – 1,15	0,6 – 1,5	7,6
K	3 700 – 5 200	narancs	0,45 – 0,8	0,7 – 0,96	0,08 – 0,6	12,1
M	2 400 – 3 700	vörös	0,08 – 0,45	$\leq 0,7$	$\leq 0,08$	76,45

(*Az adatok ún. fősorozati, azaz „normál állapotú” csillagokra vannak megadva)

A csillagok energiatermelése

Termonukleáris reakció: magas hőmérsékleten és nyomáson a könnyebb elemek nehezebbekké fuzionálnak → sok energia szabadul fel

- a konkrét folyamatok sokféleképpen megvalósulhatnak, hőmérséklet, nyomás és összetétel függvényében

Üzemanyag	Fő égéstermékek	Szükséges csillagtömeg (M_{\odot})	Min. égési hőmérséklet [K]	Égési idő [év] (20 M_{\odot} csillagra)
H	He	0,08	$10 \cdot 10^6$	$8,1 \cdot 10^6$
He	C, O	0,4	$100 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^6$
C	Ne, Na, Mg, O	5	$500 \cdot 10^6$	976
Ne	O, Mg	8	$1,2 \cdot 10^9$	0,6
O	Si, S, Cl, Ar, K, Ca, P	> 8	$1,5 \cdot 10^9$	1,25
S/Si	Fe, Ni, Si, S, Ar, Ca, Ti, Cr	> 8	$3 \cdot 10^9$	0,03

Az ennél nehezebb elemek szintézisében nem termelődik, hanem elnyelődik az energia

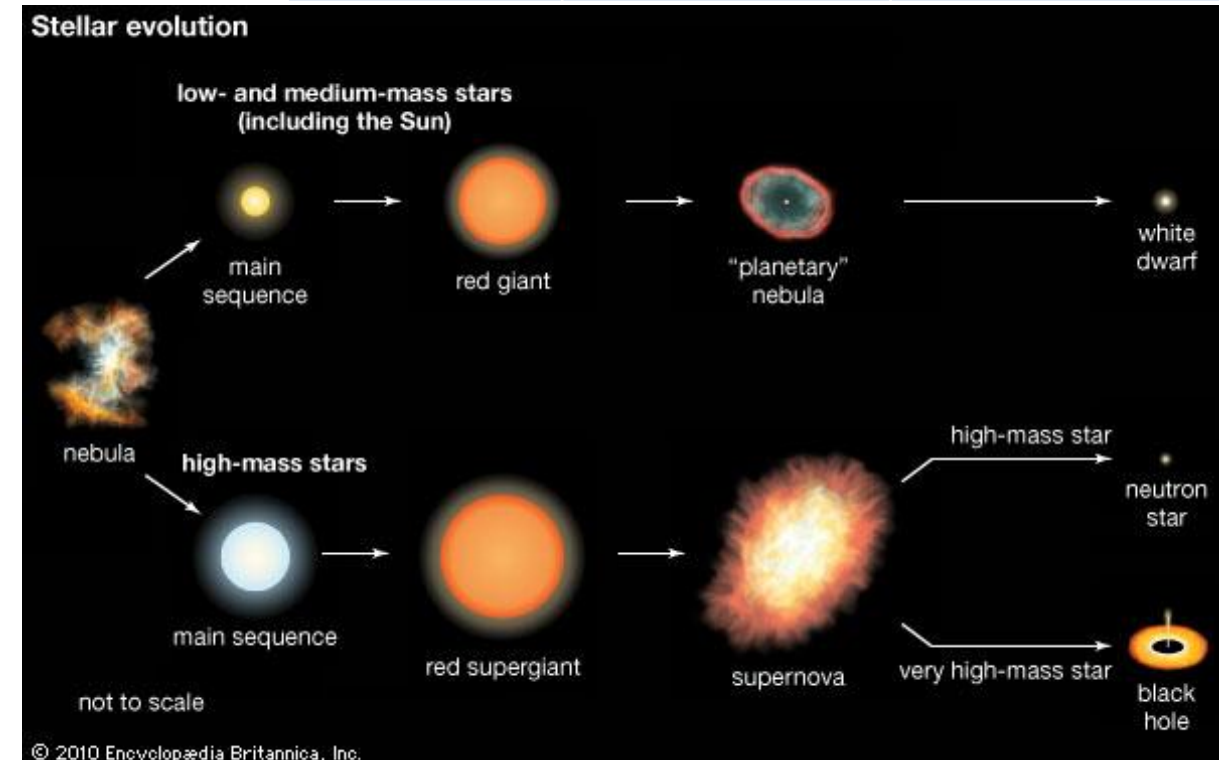
→ ezek nem csillagbelsőben keletkeznek (hanem szupernóva-robbanások extrém hőmérséklet- és nyomás-viszonyai közt)

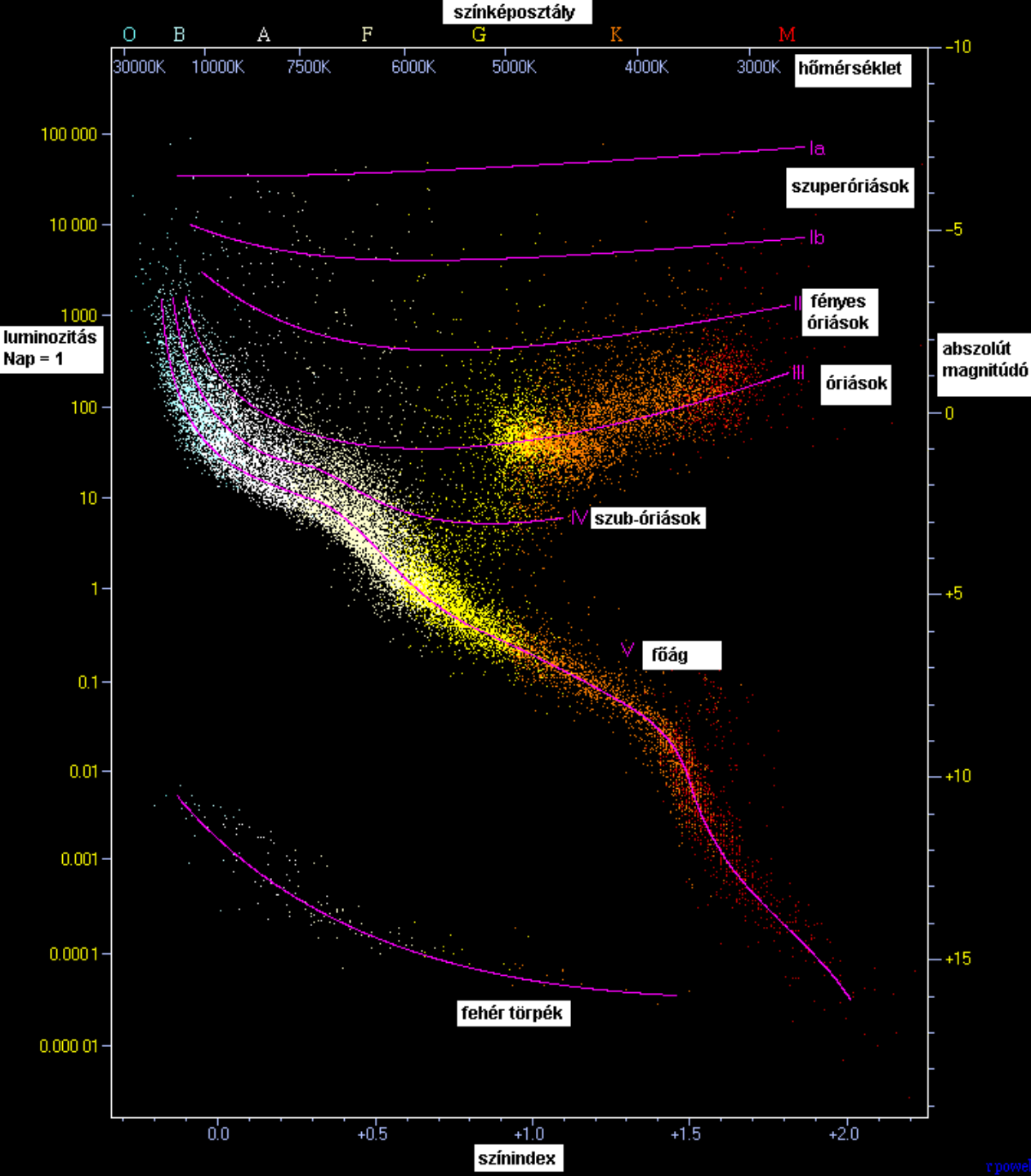
Csillagfejlődés

- Protocsillag: összehúzódó gázfelhő felforrósodik és sugározni kezd
- Főszorozati állapot: H-fúzió egyensúlya a gravitációs összehúzódással
- Óriás állapot: a H elfogy(óban van) a magban
 → beindulnak a nehezebb elemek fúziói
 → a csillag felfúvódik (többszáz-százszorosára) → lehűl (K v. M osztály)
- Ha $M < 8M_{\odot}$: nem indul be a C-fúzió
 → összetömörödik és kihűl
 → fehér törpe
 (kb. Föld-méretű, csillagtömegű gömb)

Ha $M > 8M_{\odot}$: beindul a C (stb.) fúziója
 → ha elfogy az üzemanyag, a mag összeomlik
 → szupernóva-robbanás
 → neutroncsillag
 (~10 km méretű, csillagtömegű gömb)
 vagy fekete lyuk ($M > 20-30 M_{\odot}$)

Tömeg [M_{\odot}]	Színképosztály	Főszorozati élettartam [év]
60	O3	$3 \cdot 10^6$
30	O7	$11 \cdot 10^6$
10	B4	$32 \cdot 10^6$
3	A5	$370 \cdot 10^6$
1,5	F5	$3 \cdot 10^9$
1	G2	$10 \cdot 10^9$
0,1	M7	sok $\cdot 10^{12}$



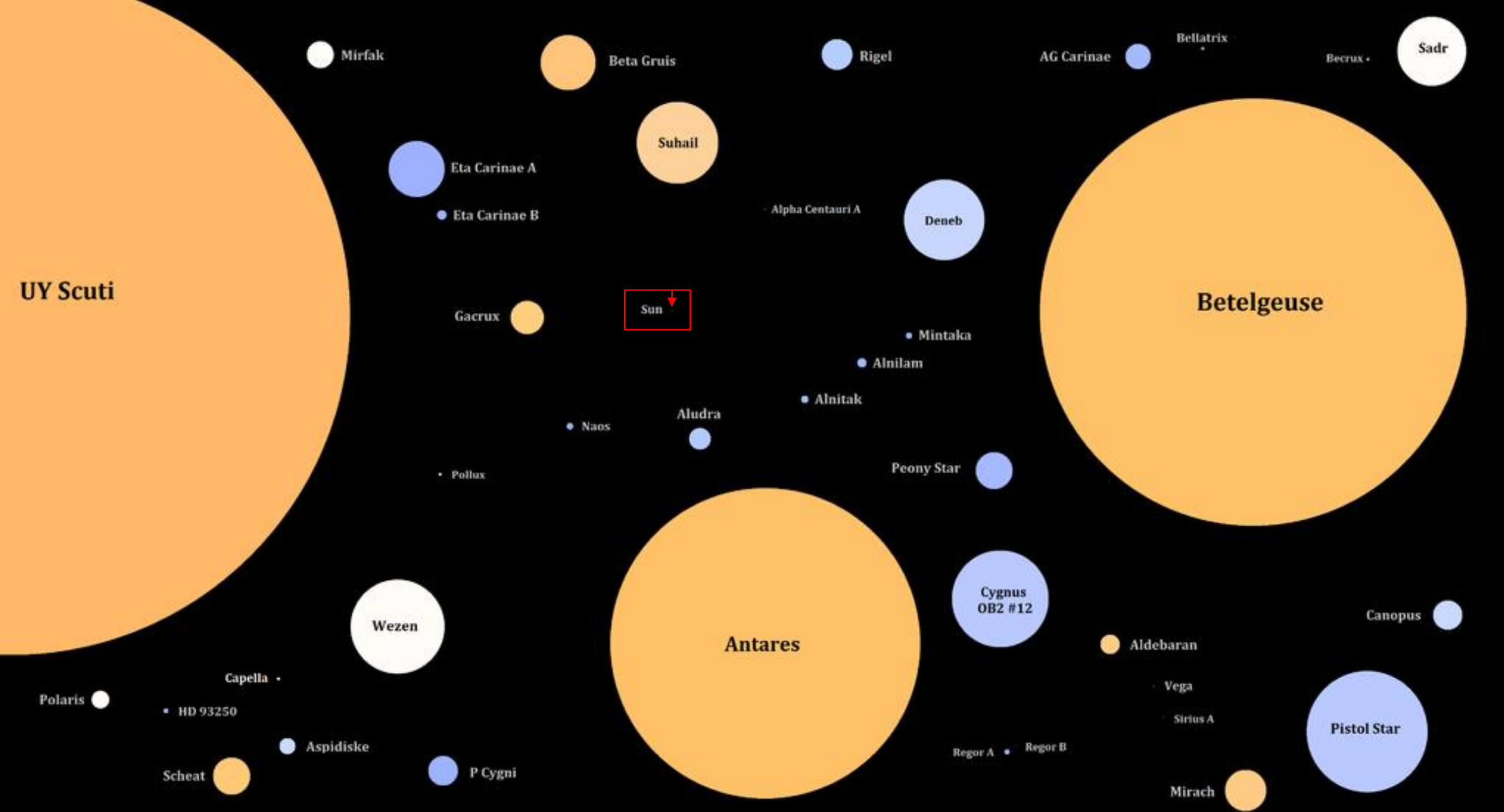


A Hertzsprung–Russell-diagram

- vízszintes tengelyen:
színképosztály = hőmérséklet = színindex
- függőleges tengelyen:
luminozitás = abszolút fényesség
- főág: a fősorozati csillagok: normál H-fúzió
 - minél lejjebb (\rightarrow jobbra), annál kisebb tömeg
 - a csillagok többsége ezen van
 - a legtöbb ideig itt tartózkodnak
- főág felett: különböző óriáságak:
kisebb hőmérséklet, nagyobb fényesség (felfúvódás)
- főág alatt: fehér törpék:
nagyobb hőmérséklet, kicsi fényesség (apró felszín)

Néhány csillag adatai

	abszolút fényesség [mag]	luminozitás [L_{\odot}]	tömeg [M_{\odot}]	sugár [R_{\odot}]	felszíni hőmérs. [K]	színkép-osztály	megjegyzés
Nap	4,83	1	1	1	5772	G2 V	„átlagos”
Szíriusz A (α CMa)	1,42	25,4	2,02	1,71	9940	A1 Vm	főszorozati
Szíriusz B	11,18	0,056	0,978	0,0084	25 200	DA2	↑ fehér törpe kísérője
Deneb (α Cyg)	-7,5	~200 000	~20	~200	8500	A2 Ia	kékesfehér szuperóriás
R136a1	-8,09	~ $9 \cdot 10^6$	~300	30-35	~50 000	WN5h	a legnehezebb ismert
Betelgeuse (α Ori)	-5,85	$(100-150) \cdot 10^3$	~10	~900	3590	M1 Ia	vörös szuperóriás
UY Scuti	-6,2	340 000	7-10	~1700	3350	M4 Ia	a legnagyobb ismert
Proxima Centauri	15,6	0,0017	0,12	0,14	3000	M6 Ve	a legközelebbi
Szélsőségek	20 – -12	$10^{-4} - 10^7$	0,08 – 300	0,1 – 1700	2000 – 200 000		



Csillaghalmazok

Nyílt halmaz

- pár ezer csillag csoportosulása
- együtt keletkeztek (egy molekulafelhőből)
- gravitációsan gyengén kötött → lassan felbomlik → párszáz millió évig léteznek
- több ezer van a Tejútban (annak korongjában)



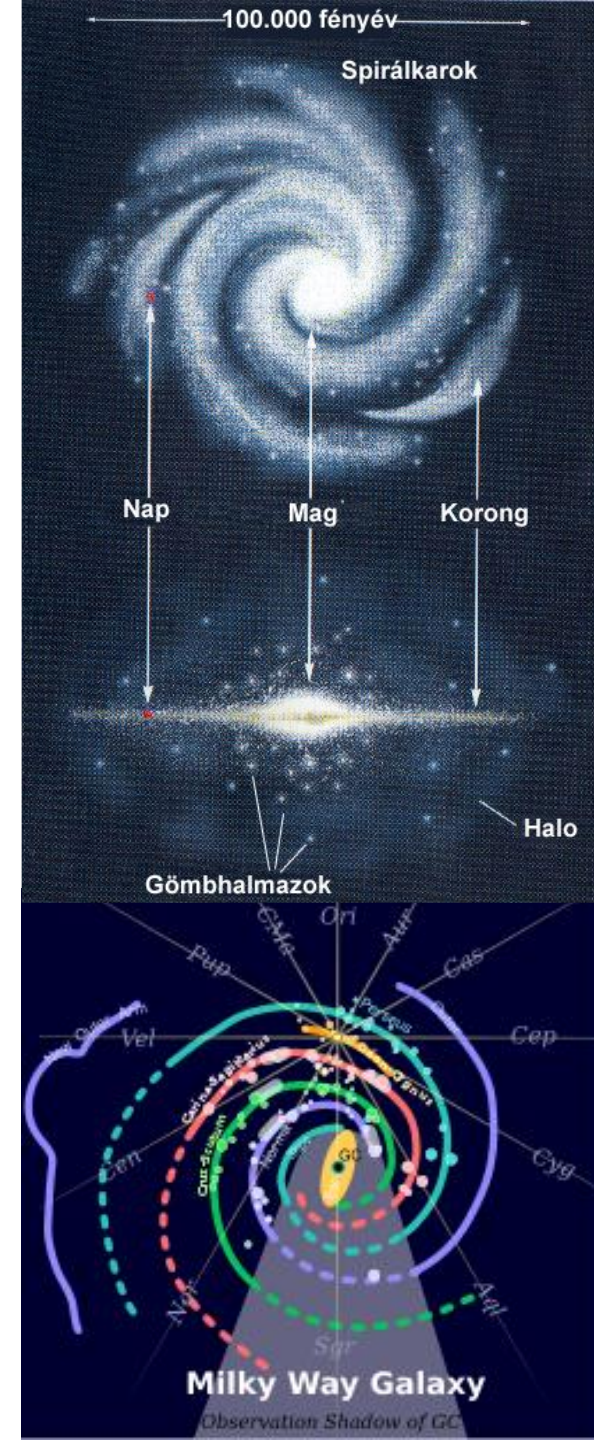
Gömbhalmaz

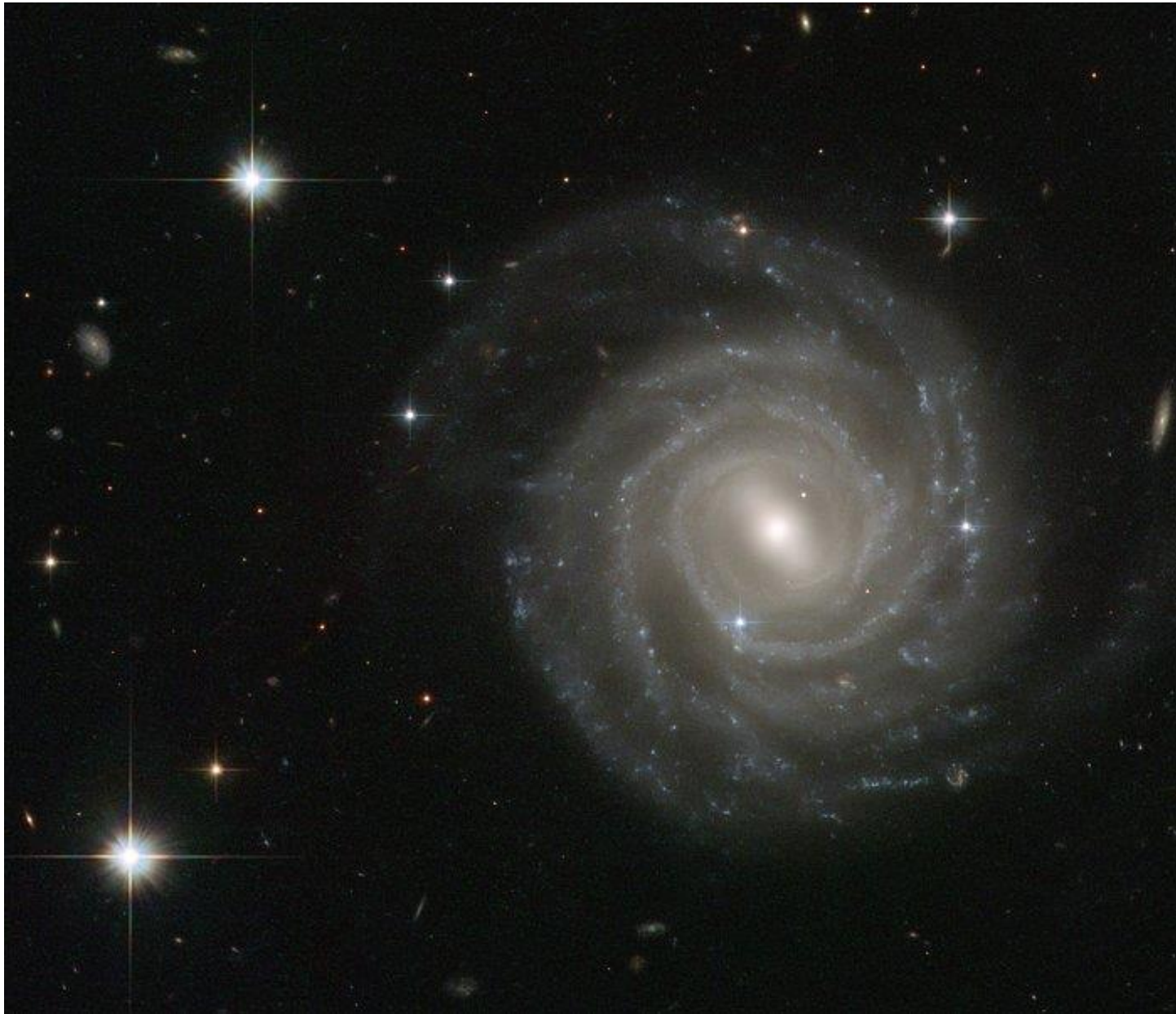
- több százezer/millió csillag csoportosulása
- eredetük nem teljesen világos
- gravitációsan erősen kötött → egyben marad → évmilliárdokig léteznek (igen öregek)
- ~150 van a Tejútban (körülötte, gömbi eloszlás)



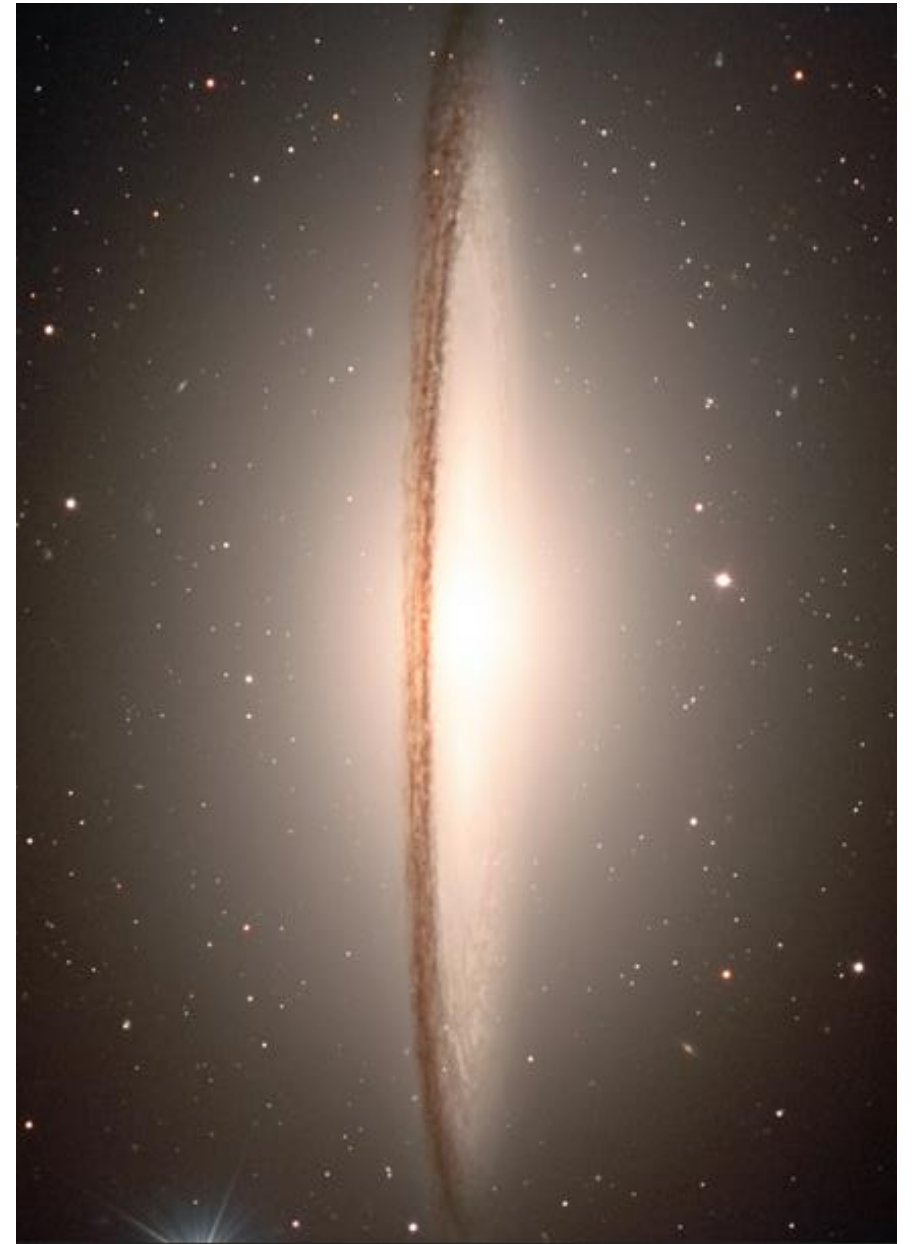
A Tejútrendszer

- A Napot tartalmazó galaxis
- Méretek:
 - átmérő: 100-200 ezer fényév
 - korong vastagsága: ~2000 fényév
- Összetétel:
 - ~ 100-400 milliárd csillag, körülöttük durván ugyanennyi bolygó
 - a korongban csillagközi anyag: gáz- és porfelhők
 - sötét anyag: a tömeg nagy része \leftrightarrow nem tudjuk, micsoda
- Felépítés:
 - központ: hosszúkás („küllős”) és sűrű: rengeteg öreg ill. fiatal csillag (+ közepén egy supermasszív fekete lyuk: 4 millió M_{\odot})
 - korong: széles, lapos terület, sok fiatal csillaggal
 - spirálkarok: sűrűség hullámok, intenzív csillagkeletkezési területek
 - sok por (erősen síkba tömörülve)
 - halo: nem lapult, öreg csillagok (pl. gömbhalmazok) ritka felhője + ritka, forró gáz





Egy küllős spirálgalaxis (UGC 12158) a síkjára kb. merőleges irányból



Egy spirálgalaxis (M104) kb. az éle felől

Galaxisok

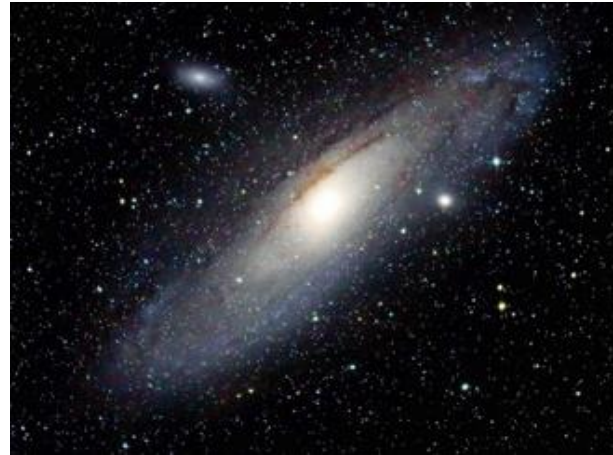
Csillagok, csillagközi anyag, sötét anyag stb. közös középpont körül keringő rendszerei

- számuk: ~ 2 billió ($2 \cdot 10^{12}$) a legfrissebb becslések szerint (a látható univerzumban)
- méretük: pár milliárd csillag \rightarrow száz billió (10^{14}) csillag; 1000 pc \rightarrow 100 000 pc átmérő
- tipikus távolságuk egymástól: millió fényév (v. pc) nagyságrend



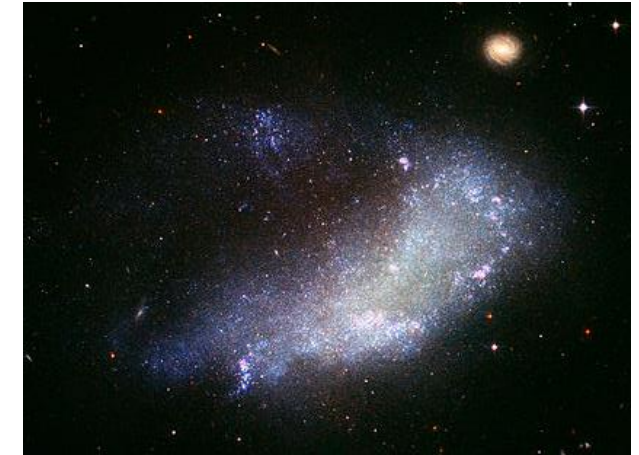
Elliptikus galaxisok:

- nem nagyon strukturált + kevés gáz
- öreg, kis tömegű csillagok \rightarrow idősek
- hatalmas méretűek lehetnek
- a többség nem ilyen



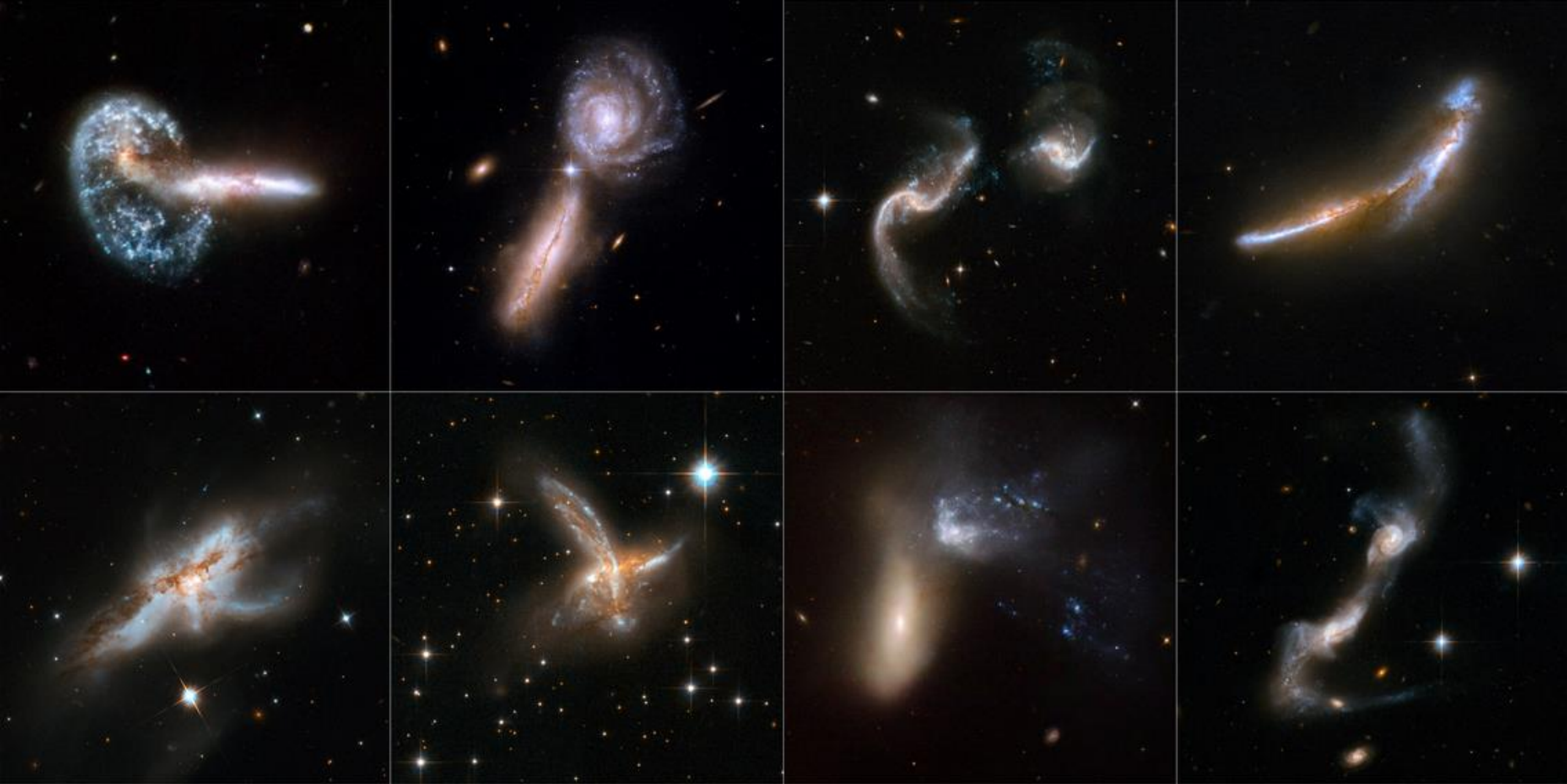
Spirálgalaxisok:

- struktúra: forgó korong
- sok cs.k. anyag, sok fiatal csillag és csillagkeletkezés
- a galaxisok többsége ilyen



Szabálytalan galaxisok:

- szabálytalan szerkezet
- ált. heves csillagkeletkezés
- eredet: ütközések, árapályerők
- durván minden negyedik ilyen



Galaxisok ütközései

A Hubble-féle galaxis-osztályozás:

Spirálisak



Sa

Sb

Sc



E0

E3

E7

S0

Elliptikusak



SBa

SBb

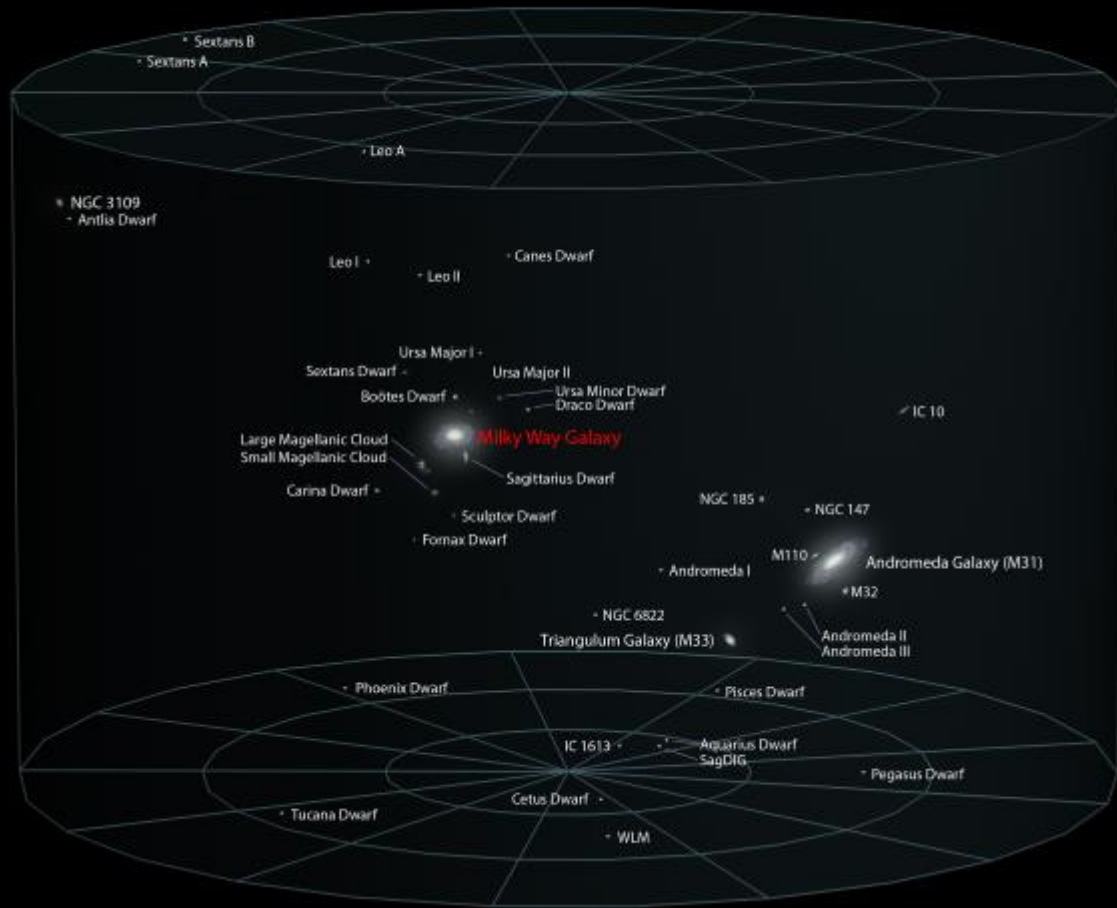
SBc

Küllős spirálisak

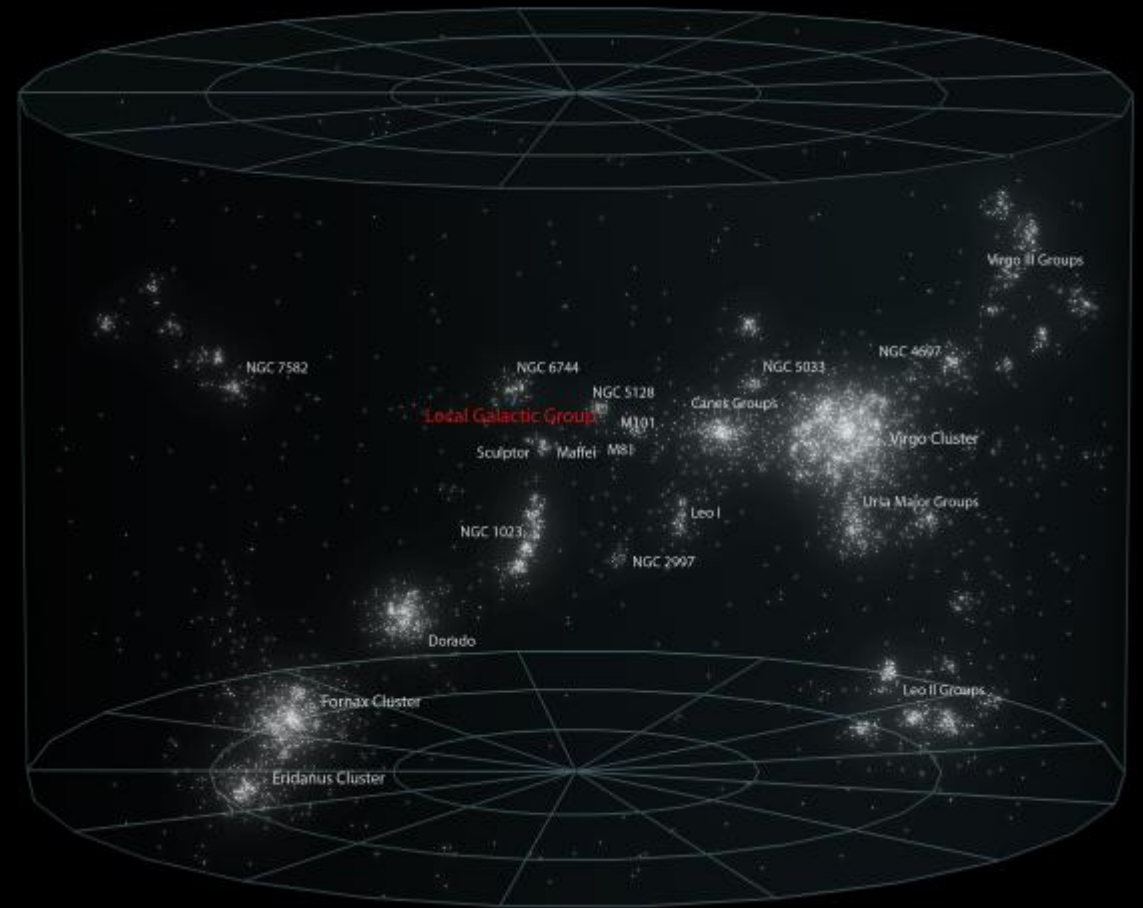
Galaxisok csoportjai és halmazai

- Galaxiscsoportok:
 - pár tucat galaxis, 1-2 Mpc átmérő
 - pl. Lokális Csoport: ~50 tag, „közepont” az Androméda-galaxis, a 2. legnagyobb a Tejút
- Galaxishalmazok:
 - többszáz v. több ezer galaxis gravitációsan kötött (?) halmaza
 - ritka, forró intergalaktikus gáz
 - pl. Virgo-halmaz: 1300-2000 galaxis halmaza → vonzza a Lokális Csoportot
- Szuperhalmazok:
 - halmazok és csoportok sűrűsödése, valószínűleg nem kötött, ~150 millió fényév
 - pl. Virgo (vagy Lokális) szuperhalmaz
- Stb. – Laniakea (szuper-)szuperhalmaz, Nagy Attraktor, ürességek és fátyolok...

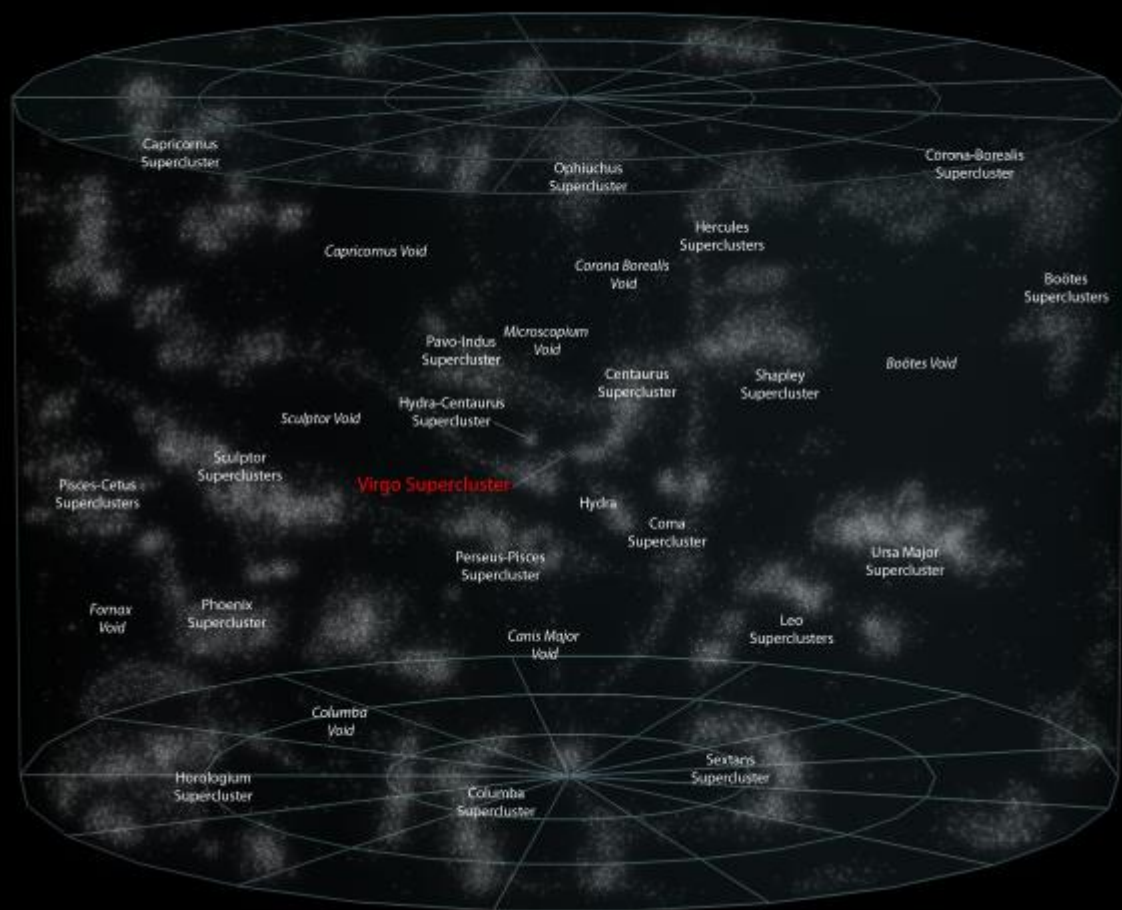
LOCAL GALACTIC GROUP



VIRGO SUPERCLUSTER

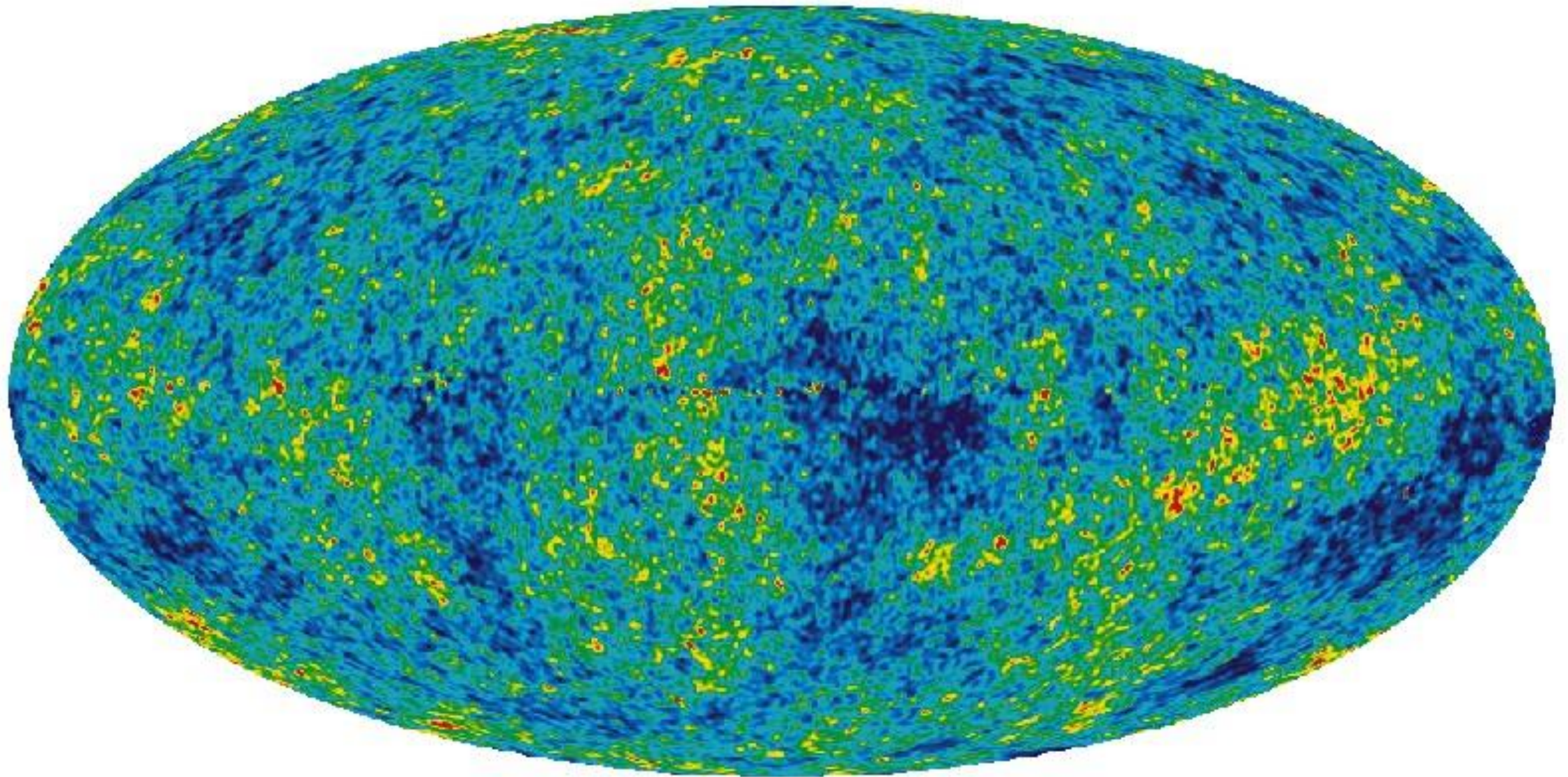


LOCAL SUPERCLUSTERS



OBSERVABLE UNIVERSE





A kozmikus háttérsugárzás anizotrópiája → a jelenlegi superhalmaz-szerkezet nagyon korai forrása?

Néhány távolságmérési módszer

- Cefeida-parallaxis:
bizonyos változócsillagok (cefeidák, RR Lyrae típusúak, stb.) fénygörbéjének periódusa összefügg az abszolút fényességükkel → a látszó fényességéből következtethetünk a távolságára
 - Tejúton belül ill. a közeli galaxisokra használható
- Szupernóva-parallaxis:
bizonyos típusú szupernóvák (Ia) abszolút fényessége mindig ugyanakkora („standard gyertya”)
 - távoli galaxisokra (is) alkalmazható
- Vöröseltolódás:
 - a nagy távolságú objektumok színe eltolódik a vörös irányába, mértéke: $z = \Delta\lambda/\lambda = v/c$
 - ez a távolsággal egyenes arányban történik: $v = H \cdot d$, ahol $H = 72 \text{ km/s/Mpc}$ (Hubble-állandó)
 - ok: Doppler-effektus → az Univerzum tágul!
 - visszavetítve: 13,7 milliárd éve indult a tágulás egy pontból: Ősrobbanás

History of the Universe

