

Az asztrofizika alapjai

A TételWiki wikiből

Tartalomjegyzék

- 1 Newton-féle gravitációs erőtvény
- 2 Az ősrobbanás elmélet alapvető feltevései
- 3 Friedmann-egyenletek szemléletes értelme
- 4 Galaxisok kialakulása, morfológiája, Hubble törvény
- 5 A HR diagram és a csillagfejlődés szemléletes képe, kompakt objektumok: fehér törpék, neutroncsillagok, fekete lyukak
- 6 Megfigyelés alapjai: luminozítás, magnitúdó, vöröseltolódás

Newton-féle gravitációs erőtvény

A gravitáció négy alapvető kölcsönhatás egyike az univerzumban, és az egyetlen amely a nagyskálás szerkezetet meghatározza. A legkorábbi kvantitatív megfogalmazása Newton-hoz köthető:

$$F = \gamma \frac{M_1 M_2}{r^2}$$

azaz az elektrosztatikus Coulomb-törvényhez hasonló alakú, reciproknégyzetes lecsengésű erő, amely azonban csak vonzó formában ismert. A Newton-i erőtvény igen jó leírását adta a gravitációs jelenségeknek egészen addig, amíg Einstein általános relativitáselmélete létre nem jött. Ez utóbbi határeseteként tartalmazza a Newton-i erőtvényt.

Az ősrobbanás elmélet alapvető feltevései

A Big Bang modell a kozmológia Standard modellje. Elsősorban megfigyelésekre és az általános relativitáselméletre épül.

- Az univerzum megfigyelések szerint nagy skálán (100Mpc felett) homogén (az anyag eloszlása egyenletes), erre alapul a **kozmológiai elv**, vagyis az a feltételezés, hogy létezik olyan vonatkoztatási rendszer, melyben az univerzum homogén és izotrop(abszolút vonatkoztatási rendszer).
- A Hubble-törvény úgy interpretálható, hogy az univerzum tágul. Ha ezt extrapoláljuk korai időszakokra, akkor az **energiamegmaradás** miatt az univerzumnak korábban nagyobb volt az energiasűrűsége, az univerzum nem sztatikus.
- A tágulásból és az energiamegmaradásból az ősrobbanás még nem következik. Hiszen elképzelhető lenne pl. az is hogy az u energiasűrűség valami véges értékhez konvergál a végtelenben. Mivel az univerzumban az egyetlen ismert nagy hatótávolságú erő a gravitációs erő, ezért annak az elméletéből kell kiindulni, ez pedig az **általános relativitáselmélet**. Ennek az eddigi alapelvekre való alkalmazásából már következik az ősrobbanás.

Friedmann-egyenletek szemléletes értelme

Az univerzum tágulásának tárgyalásakor elengedhetetlen az általános relativitás elmélet kereteiben történő tárgyalás. Tömören összefoglalva a tér-idő távolságokat magábanfoglaló ívelemnégyszet (lásd itt) függ a helytől, és ez a függés kapcsolatban van a tömegekkel. A helyfüggést leíró görbületes tenzor, és az anyag állapotegyenletét magábanfoglaló feszültségtenzor között az Einstein-egyenletek teremtenek kapcsolatot. Ha a tágulást egy skálafaktorral (a) jellemezzük az ívelemben:

$$ds^2 = a(t) \cdot ds_3(k) - dt^2$$

itt $ds_3(k)$ a háromdimenziós ívelemnézgyet a térkoordinátáktól, ami különböző geometriájú univerzumoknak felel meg, ezeket k paraméterezi. A fenti ívelemmel az univerzum tágulását leíró egyenletek homogén, izotrop közelítésben (az Einstein-egyenletekből 10 egyenlet származtatható (szimmetrikus négyestenzorok...), de az izotrópia miatt a tenzoroknak csak két független komponense lesz):

$$H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{kc^2}{a^2} + \frac{\Lambda c^2}{3}$$

$$\dot{H} + H^2 = \frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}\left(\rho + \frac{3p}{c^2}\right) + \frac{\Lambda c^2}{3}$$

Ezek a kozmológia alapegyenletei. H a Hubble-állandó, amely az univerzum tágulását jellemzi, G a gravitációs konstans, Λ a kozmológiai konstans, c a fénysebesség, k az univerzum görbületét jellemző mennyiség (sík, gömb, vagy hiperbolikus felület). A kozmológiai állandó olyan, hogy pozitív energiasűrűséghez negatív nyomást rendel. Ezzel magyarázzák ma a gyorsuló tágulást, és ezt tartalmazzák a Friedmann egyenletek legjobboldalibb tagjai.

Az Univerzum fejlődésének az energiamegmaradásra, a kozmológiai elvre és a általános relativitás elvére épülő, $\Lambda = 0$ választással felírt modellje a standard kozmológiai modell. Ekkor az egyenletek:

$$\frac{8\pi G}{3c^2}u = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 + k\frac{c^2}{a^2}$$

$$\frac{d}{dt}(ua^3) + P\frac{d}{dt}(a^3) = 0$$

A $k = \text{sgn}R$ szorzó a téridő általános geometriáját adja meg:

- A $k = +1$ megfelel a pozitív görbületű, zárt térnek, mely határtalan, de véges. Az ilyen geometriájú táguló Univerzum két dimenzióban felfúvódó léggömbbel szemléltethető. Az ilyen térben a háromszög szögeinek összege több, mint 180 fok.
- $k = -1$ esetben negatív görbületű, nyílt, végtelen térről beszélünk, melynek kétdimenziós megfelelője a nyeregfelület. Ilyen térben a háromszög szögeinek összege kisebb, mint 180 fok.
- $k = 0$ -nál sík, euklidészi térről van szó.

A már említett $a(t)$ skálafaktort $|k| = 1$ esetben a következő összefüggés adja meg:

$$ka^2 = \frac{c}{R}$$

Tehát ez a négydimenziós térben adott ponthoz simuló négydimenziós gömb sugara (lokális görbületi sugár). Abszolút vonatkoztatási rendszerben bármely két pont távolsága arányos $a(t)$ -vel. $k = 0$ esetben a fenti definíció nem érvényes, ekkor a -t egyszerűen bármely két, abszolút rendszerben rögzített pont távolságaként határozzuk meg.

Az egyenletet átalakítva relativisztikus és nem relativisztikus esetekben a következő arányosságokat kaphatjuk:

a, Relativisztikus esetben (sugárzás dominálta univerzum) felhasználva, hogy a nyomás és a sűrűség között a $p = 3\rho$ összefüggés áll fenn:

$$\rho \propto R^{-4} \text{ és } R \propto t^{1/2}$$

Ekkor a skálafaktor időfüggése:

$$a(t) = a_0 \left(\frac{t}{t_0}\right)^{1/2}$$

b, Nem relativisztikus esetben (anyag dominálta univerzum) esetén pedig $p = 0$ összefüggés teljesülése mellett:

$$\rho \propto R^{-3} \text{ és } R \propto t^{2/3}$$

Ebben az esetben a skálafaktor:

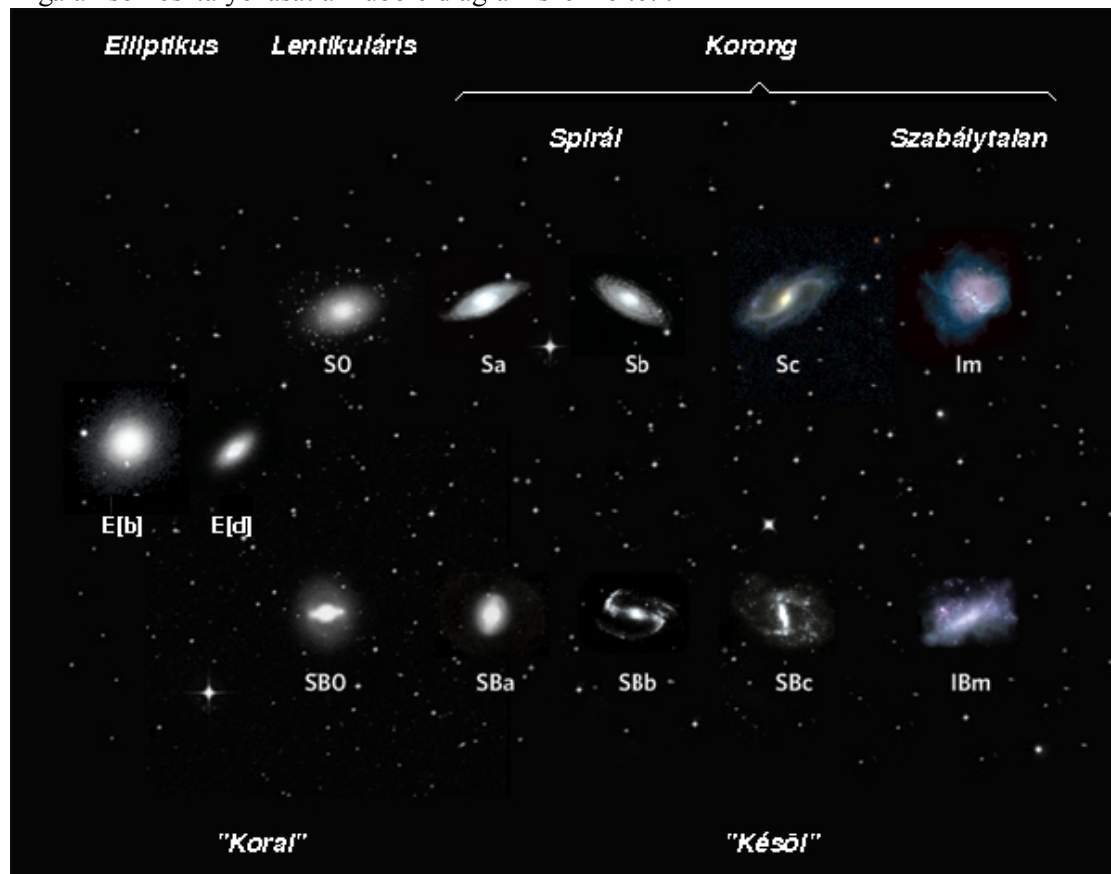
$$a(t) = a_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^{2/3}$$

Definiálhatjuk az Ω sűrűség paraméteret. Ez szemléletesen az univerzum időfejlődését paraméterezi, ha 1-nél kisebb az univerzum örökké tágul, ha 1-el egyenlő akkor a végtelenségig lassul a tágulás, ha nagyobb, akkor egy időután újra összeroppan.

$$\Omega = \frac{8\pi G\rho}{3H^2}$$

Galaxisok kialakulása, morfológiája, Hubble törvény

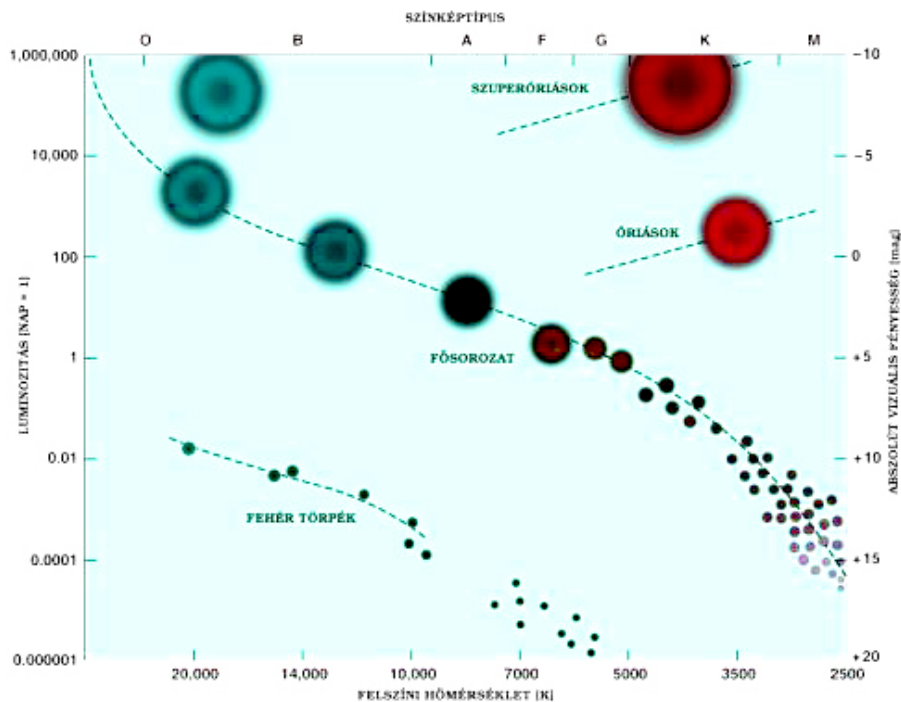
A galaxisok osztályozását a Hubble diagram szemlélteti:



Hubble-törvény: $v = Hr$ ahol H a Hubble-állandó (74 km/s/Mpc)

A HR diagram és a csillagfejlődés szemléletes képe, kompakt objektumok: fehér törpék, neutroncsillagok, fekete lyukak

A Hertzsprung-Russel Diagram (HRD) a csillagok hőmérsékletét és a hozzá tartozó fényességet szemlélteti. A diagramon kirajzolódó ágak azokat a csillagfejlődési állapotokat mutatják, ahol a csillagok huzamosabb időt eltöltenek. A csillagok fejlődésük során változtatják a helyüket a HRD-n, attól függően, hogy kis ($<8 M_{Nap}$), vagy nagytömegű ($>8 M_{Nap}$) csillagokról beszélünk, más-más fejlődési utat járnak be.

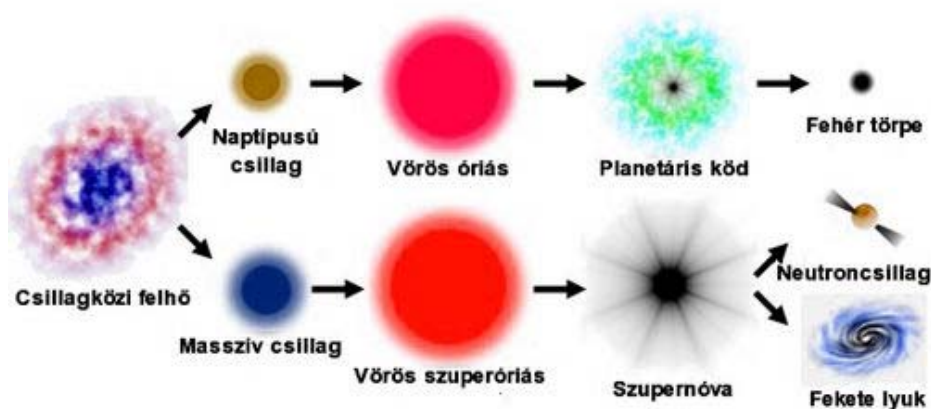


A főágon tartózkodó csillagokban H-fúzióval történik az energiatermelés, amikor viszont a H elfogyott, nehezebb elemek fúziója kezdődik meg, a csillag vörös-óriássá válik, és átkerül az óriás ágra.

A HRD vízszintes tengelyén a színképosztályok is szerepelhetnek például, ezeket a hőmérséklet alapján osztották fel. A legfőbb osztályok: O, B, A, F, G, K, M. Ezeneken belül 0-tól 9-ig vannak alosztályok is felvéve. A Nap a G2-es osztályba tartozik.

Ha egy kistömegű ($<8 M_{Nap}$) csillag elfejlődik, akkor vörösóriássá válik, majd ledobja légkörét egy planetáris ködöt hagyva maga után, illetve a csillagból fehér törpe lesz, ami lassacskán kihűl. Amennyiben a csillagnak volt társa, a fehér törpe anyagot szippázhat el társcsillagáról, és amikor a tömege eléri a Chandrasekar-határt (1,4 naptömeg), akkor Ia típusú szupernóvarobbansban felrobban.

Ha nagytömegű ($>8 M_{Nap}$) csillag elfejlődik, akkor vörös szuperóriás lesz belőle. A csillag magjában az egyre nehezebb elemek fúziója kezdődik meg, egészen a vasig (ez van a potenciálgödör mélyén, eddig mehet a fúzió). A fúzió leállása miatt a hidrosztatikai egyensúly felborul, neutrínók visszapattannak a vasmagról, lökéshullám keletkezik, és II. típusú szupernóva robbanás következik be. A maradvány csillag lehet egy neutroncsillag, vagy fekete lyuk, tömegtől függően (ált. 30-50 naptömeg feletti csillagokból lesz fekete-lyuk, ezalatt pedig neutroncsillag). A neutroncsillagok egy gyorsan forgó változata a pulzár, ahol nem esik egybe a forgástengely és a mágneses tengely.



Általánosságban igaz, hogy minél nagyobb a csillag tömege, annál gyorsabban elfejlődik, élettartama annál rövidebb.

A fehér törpéket és a neutroncsillagokat a degenerált Fermi-gáz nyomása stabilizálja, ez áll ellen a gravitációnak.

Megfigyelés alapjai: luminozítás, magnitúdó, vöröseltolódás

Pogson képlet:

$$m_1 - m_2 = -2,5 \log \frac{F_1}{F_2}$$

Ez adja még két csillag fluxus-arányából (F_1 és F_2) a fényesség-arányukat (m_1 és m_2).

Magnitúdó: csillagászati fényességszála egysége: $m = -2.5 \log F$, ahol F a fluxus. $F = \frac{l}{4\pi r^2}$ ahol l a luminozítás. Ez

utóbbi pedig az égitest által kisugárzott energia minden irányban: $l = \frac{dE}{dt}$

A magnitúdóskála fordított, tehát minél fényesebb egy csillag, annál kisebb szám a magnitúdója. Létezik relatív és abszolút magnitúdó. Előbbi a Földről nézve egy objektum fényessége, utóbbi 10 parszekről nézve. Egy csillag abszolút fényessége és látszó fényessége között a következő összefüggés áll fent (a Pogson-képletből):

$$m - M = 5 \log r - 5$$

$m - M$ a távolságmodulus, r a csillag tőlünk mért távolsága pc-ben. Tehát, ha valamilyen módon meghatározhatjuk az objektum abszolút fényességét, akkor a képlet segítségével kiszámolhatjuk a távolságot (a látható fényesség mérhető). Az abszolút fényesség meghatározására több módszer is létezik (periódus-fényesség reláció Cefeidákra és RR Lyr-ekre, SN-k, stb...).

Vöröseltolódás: ld. Doppler-effektus. Akkor lép fel, ha egy objektum távolodik tőlünk, színe egyre vörösebb lesz, a színeképvonalai a hosszabb hullámhosszak felé tolódnak el. A világegyetem távolodása miatt a kozmikus objektumnál ez a jelenség lép fel, és természetesen minél távolabb van egy objektum, annál nagyobb a vöröseltolódása. Ezen a jelenségen épp ezért távolságmeghatározási módszerek is alapulnak. A vöröseltolódás ellentettje a kékeltolódás, amikor egy égitest közeledik felénk (pl. Androméda-galaxis, a Tejútrendszer spirálgalaxis szomszédja).

Záróvizsga tematika

Tételek	A klasszikus mechanika alapjai A klasszikus mechanika elméleti tárgyalása A relativitás elmélet alapjai Egzaktnál megoldható fizika problémák Folytonos közegek mechanikája Fenomenológikus termodinamika Elektro- és magnetosztatika, áramkörök Elektrodinamika Hullámegyenlet és hullámoptika Geometriai optika és alkalmazásai A kvantumelmélet alapvető kísérletei A kvantummechanika elméleti háttere Atom- és molekulaszervezet A magfizika alapjai A termodinamika statisztikus alapozása Kvantumstatisztikák Kölcsönható rendszerek, mágneses anyagok Kristályos anyagok fizikája Nemegyensúlyi folyamatok leírása Az asztrofizika alapjai
----------------	---

A lap eredeti címe: „http://mafihe.hu/~wiki/wiki/index.php/Az_asztrofizika_alapjai”

- A lap utolsó módosítása: 2009. augusztus 19., 21:25