

Kvazárok

Balogh Gáspár Sámuel

2016. április 5.

Jellemző sűrűségadatok

- $\langle \rho_{universe} \rangle \approx 10^{-27} \frac{kg}{m^3}$

Jellemző sűrűségadatok

- $\langle \rho_{universe} \rangle \approx 10^{-27} \frac{kg}{m^3}$
- $\rho_{uranus} \approx 1.3 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$

Jellemző sűrűségadatok

- $\langle \rho_{universe} \rangle \approx 10^{-27} \frac{kg}{m^3}$
- $\rho_{uranus} \approx 1.3 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$
- $\rho_{sun} \approx 1.4 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$

Jellemző sűrűségadatok

- $\langle \rho_{universe} \rangle \approx 10^{-27} \frac{kg}{m^3}$
- $\rho_{uranus} \approx 1.3 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$
- $\rho_{sun} \approx 1.4 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$
- $\rho_{earth} \approx 5.5 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$

Jellemző sűrűségadatok

- $\langle \rho_{\text{universe}} \rangle \approx 10^{-27} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{uranus}} \approx 1.3 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{sun}} \approx 1.4 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{earth}} \approx 5.5 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{white dwarf}} \approx 10^7 - 10^{11} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Jellemző sűrűségadatok

- $\langle \rho_{\text{universe}} \rangle \approx 10^{-27} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{uranus}} \approx 1.3 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{sun}} \approx 1.4 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{earth}} \approx 5.5 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{white dwarf}} \approx 10^7 - 10^{11} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{neutron star}} \approx 5 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Jellemző sűrűségadatok

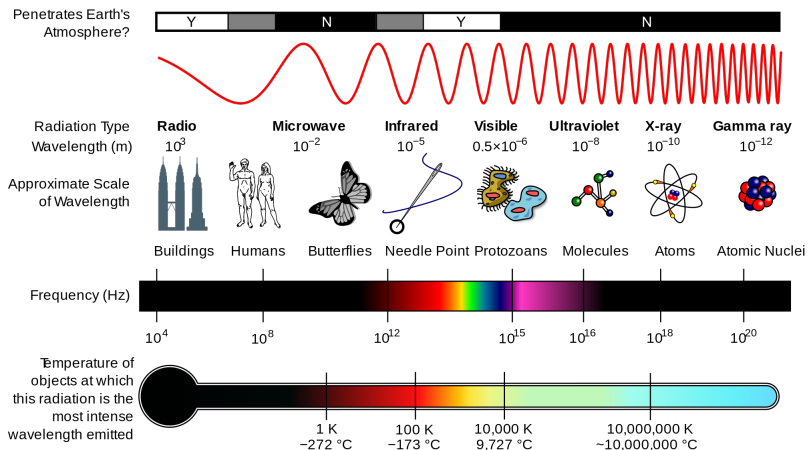
- $\langle \rho_{\text{universe}} \rangle \approx 10^{-27} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{uranus}} \approx 1.3 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{sun}} \approx 1.4 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{earth}} \approx 5.5 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{white dwarf}} \approx 10^7 - 10^{11} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{neutron star}} \approx 5 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{BH}} \rightarrow \infty$, $\rho_{\text{Planck density}} \approx 5 \cdot 10^{96} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Jellemző sűrűségadatok

- $\langle \rho_{\text{universe}} \rangle \approx 10^{-27} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{uranus}} \approx 1.3 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{sun}} \approx 1.4 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{earth}} \approx 5.5 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{white dwarf}} \approx 10^7 - 10^{11} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{neutron star}} \approx 5 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $\rho_{\text{BH}} \rightarrow \infty$, $\rho_{\text{Planck density}} \approx 5 \cdot 10^{96} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

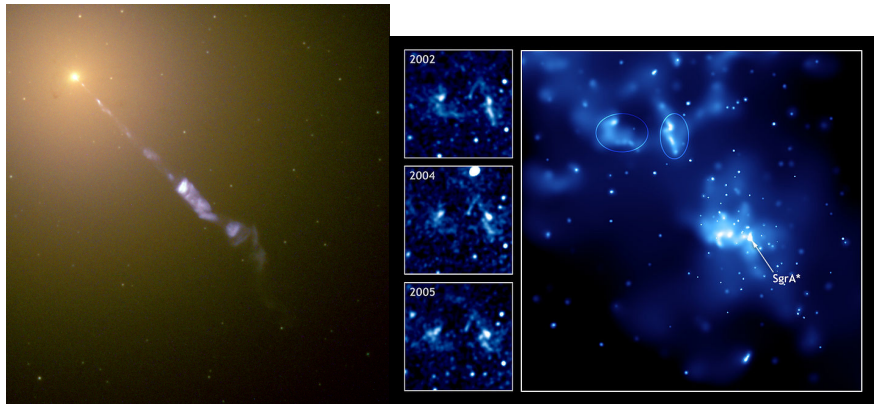
AGN

AGN → Active Galactic Nucleus: Olyan galaxismag, amely az EM spekt. egy vagy több részén (R, μ , IR, Vis, UV, RTG, γ) az átl. jóval intenzívebben sugároz.



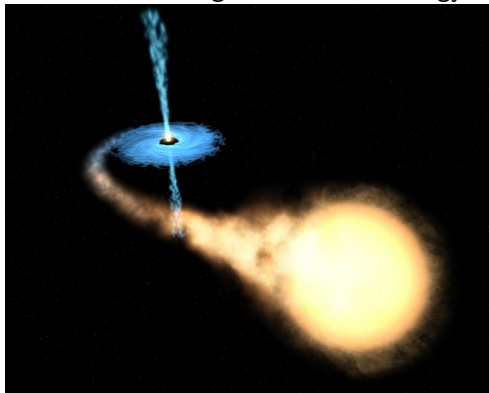
Honnan ered a sug.? SMBH, akkr. korong, jet.

- M 87 \rightarrow Mi ez? Hol van? Virgo-halmaz $diam \approx 120.000$ ly, $d \approx 56$ million ly
- SMBH: Black Hole $\rightarrow r < r_{Sch}$, SM: $M_{SMBH} \approx 10^6 - 10^9 M_O$
- $M_{SgrA^*} \approx 4 \cdot 10^6 M_O$, $M_{M87} \approx 3 \cdot 10^9 M_O$



jet, akkréciós korong

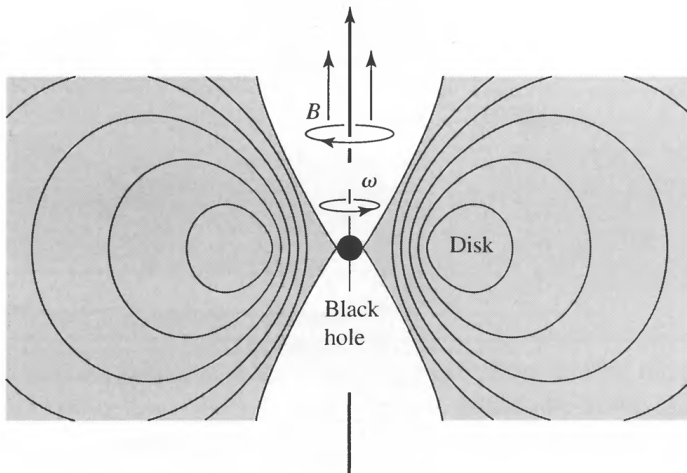
- SMBH folyamatosan anyagot nyel el, amit kisugároz ($\dot{M} = ?$). Akkréciós korong: SMBH körül erős mágneses tér e^- -okat gyorsít. Pólusok irányába relat. anyag-/részecskeáramlás, felcsavarodás az erővonalakra. Sug \rightarrow koz. részecskegy.



- Korongban diffúz anyag (plazma,gáz), súrlódás szerepe. Portórusz.

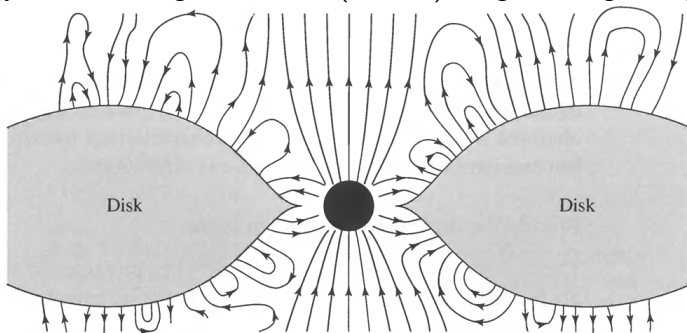
Kozmikus részecskegyorsító

- Nem tudjuk, hogy a jet milyen anyagból áll: ion-elektron plazma vagy esetleg elektron-pozitron plazma (párkeltés)
- Szimmetrikus kollimáció



Kozmikus részecskegyorsító

- Blandford-Znajek-folyamat: Csökkenhet-e a fekete lyuk tömege? Eseményhorizont jó vezető. Pólusok és egyenlítő körül $R \approx 30\Omega$. A gyorsan forgó vezető erős mágneses térben elemként funkcionál \rightarrow gyorsítás, tömeg csökkenése ($\approx 10\%$), forgási energia megcsapolása.



AGN típusok

- Különböző AGN csoportok: blazár, kvazár, Seyfert-Galaxis
- A csillagászok feltételezik, hogy az aktív galaxisok különböző osztályai csak látszólagosak. Az aktív galaxismagra illetve a belőle kiinduló anyagsugárra történő rálátás szöge szerint nevezzük blazárnak, kvazárnak, rádiógalaxisnak, vagy Seyfert-galaxisnak.

AGN típusok

- Különböző AGN csoportok: blazár, kvazár, Seyfert-Galaxis
- A csillagászok feltételezik, hogy az aktív galaxisok különböző osztályai csak látszólagosak. Az aktív galaxismagra illetve a belőle kiinduló anyagsugárra történő rálátás szöge szerint nevezzük blazárnak, kvazárnak, rádiógalaxisnak, vagy Seyfert-galaxisnak.

AGN típusok

- Különböző AGN csoportok: blazár, kvazár, Seyfert-Galaxis
- A csillagászok feltételezik, hogy az aktív galaxisok különböző osztályai csak látszólagosak. Az aktív galaxismagra illetve a belőle kiinduló anyagsugárra történő rálátás szöge szerint nevezzük blazárnak, kvazárnak, rádiógalaxisnak, vagy Seyfert-galaxisnak.

Blazárok

- Blazárok: Valószínű, hogy ezeknek az objektumoknak egyik relativisztikus anyagsugara éppen a Föld irányába néz, ezért az egész galaxis emisszióját az anyagsugárban fellépő jelenségek uralják. Az aktív galaxismagok közül a blazárok sugároznak a legszélesebb frekvenciatartományban. Erős rádiósugárzók, színképükben nincsenek emissziós vonalak. Halványak és fényességük gyorsan változik (kb 100x halványabbak a QSRS, Seyfert).

Seyfert Galaxisok

- Seyfert-galaxisok: Spirálgalaxisok (magnetohidrodin. stab. határa, Lin-Shu, alakjuk) rendkívül fényes maggal. $P \approx 10^{37} - 10^{39} W$, $P_{gyertya} \approx 20 - 30 W$.
- Különlegességüket fényes nukleuszuk és széles, erős emissziós vonalakat mutató spektrumuk adja. Főleg IR és vörösön túli sugárzók.
- Magas ionizációs állapotú tiltott átmenetek: O[III], N[II]

Seyfert Galaxisok

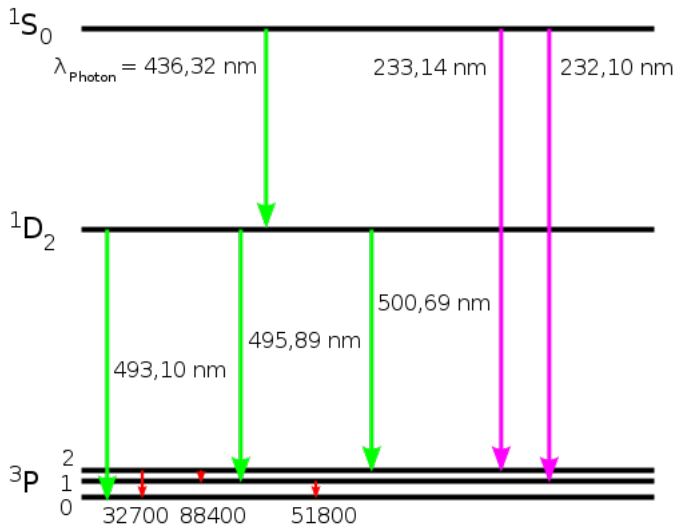
- Seyfert-galaxisok: Spirálgalaxisok (magnetohidrodin. stab. határa, Lin-Shu, alakjuk) rendkívül fényes maggal. $P \approx 10^{37} - 10^{39} W$, $P_{gyertya} \approx 20 - 30 W$.
- Különlegességüket fényes nukleuszuk és széles, erős emissziós vonalakat mutató spektrumuk adja. Főleg IR és vörösön túli sugárzók.
- Magas ionizációs állapotú tiltott átmenetek: O[III], N[II]

Seyfert Galaxisok

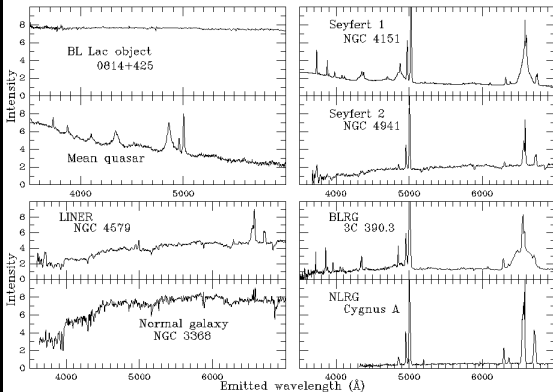
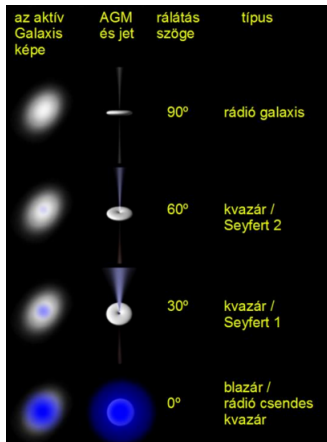
- Seyfert-galaxisok: Spirálgalaxisok (magnetohidrodin. stab. határa, Lin-Shu, alakjuk) rendkívül fényes maggal. $P \approx 10^{37} - 10^{39} W$, $P_{gyertya} \approx 20 - 30 W$.
- Különlegességüket fényes nukleuszuk és széles, erős emissziós vonalakat mutató spektrumuk adja. Főleg IR és vörösön túli sugárzók.
- Magas ionizációs állapotú tiltott átmenetek: O[III], N[II]

Seyfert Galaxisok

- O[III] tiltott átmenetek



csoportosítás



Kvazárok

- Felfedezésük: Maarten Schmidt, 1963.
- kísérleti összeállítás: 200"-es távcső ($1'' \approx 2.55 \text{ cm}$).
- 3C 273, széles H Balmer széles emissziós vonalakat mutató spektrum, Bohr: $\nu \sim (n_1^{-2} - n_2^{-2})$
- vöröseltolódás mérése:
- a forrás és a megfigyelő relatív mozgása (Doppler-effektus)
- a forrás és a megfigyelő gravitációs potenciálja eltérő (gravitációs vöröseltolódás, pl napból érkező foton)

Kvazárok

- Felfedezésük: Maarten Schmidt, 1963.
- kísérleti összeállítás: 200"-es távcső ($1'' \approx 2.55 \text{ cm}$).
- 3C 273, széles H Balmer széles emissziós vonalakat mutató spektrum, Bohr: $\nu \sim (n_1^{-2} - n_2^{-2})$
- vöröseltolódás mérése:
- a forrás és a megfigyelő relatív mozgása (Doppler-effektus)
- a forrás és a megfigyelő gravitációs potenciálja eltérő (gravitációs vöröseltolódás, pl napból érkező foton)
- a Világegyetem tágulása (a forrás és a megfigyelő között)

Kvazárok

- Felfedezésük: Maarten Schmidt, 1963.
- kísérleti összeállítás: 200"-es távcső ($1'' \approx 2.55 \text{ cm}$).
- 3C 273, széles H Balmer széles emissziós vonalakat mutató spektrum, Bohr: $\nu \sim (n_1^{-2} - n_2^{-2})$
- vöröseltolódás mérése:
- a forrás és a megfigyelő relatív mozgása (Doppler-effektus)
- a forrás és a megfigyelő gravitációs potenciálja eltérő (gravitációs vöröseltolódás, pl napból érkező foton)
- a Világegyetem tágulása (a forrás és a megfigyelő között)
- vöröseltolódás $= z = \frac{\lambda_d - \lambda_k}{\lambda_k}$

Kvazárok

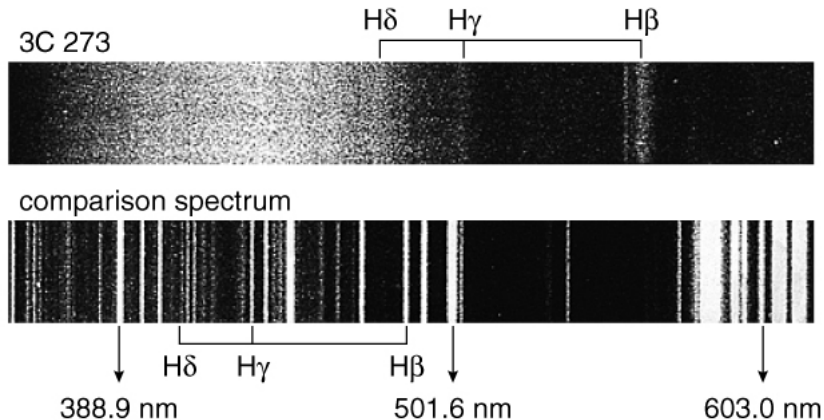
- Felfedezésük: Maarten Schmidt, 1963.
- kísérleti összeállítás: 200"-es távcső ($1'' \approx 2.55 \text{ cm}$).
- 3C 273, széles H Balmer széles emissziós vonalakat mutató spektrum, Bohr: $\nu \sim (n_1^{-2} - n_2^{-2})$
- vöröseltolódás mérése:
- a forrás és a megfigyelő relatív mozgása (Doppler-effektus)
- a forrás és a megfigyelő gravitációs potenciálja eltérő (gravitációs vöröseltolódás, pl napból érkező foton)
- a Világegyetem tágulása (a forrás és a megfigyelő között)
- vöröseltolódás $= z = \frac{\lambda_d - \lambda_k}{\lambda_k}$

Kvazárok

- H-alpha vonal. vöröseltolódás és távolodási sebesség a $H\alpha$ vonalból:
- $z = \frac{\lambda_{mert} - \lambda_{nyugalmi}}{\lambda_{nyugalmi}} = \frac{760 - 656.3}{656.3} \text{ nm} \approx 0.158$
- $v = c \frac{(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1} \approx 2.998 \cdot 10^8 \frac{1.158^2 - 1}{1.158^2 + 1} [\text{kms}^{-1}] = 4.37 \cdot 10^4 [\text{kms}^{-1}]$
- Hubble törvény: $v = H \cdot d$, ahol $H = 74.2 \pm 3.6 \text{ (km/s)/Mpc}$.
- $d = \frac{v}{H} = \frac{4.37 \cdot 10^4 [\text{kms}^{-1}]}{67.8 [\text{kms}^{-1} \text{Mpc}^{-1}]} \approx 645 \text{ Mpc}$.
- konklúzió: csillagszerűen világító objektumok, de csillagok sokkal közelebb vannak (Proxima Centauri). Luminozitás a tejúthoz és naphoz képest sokkal nagyobb.

Kvazárok

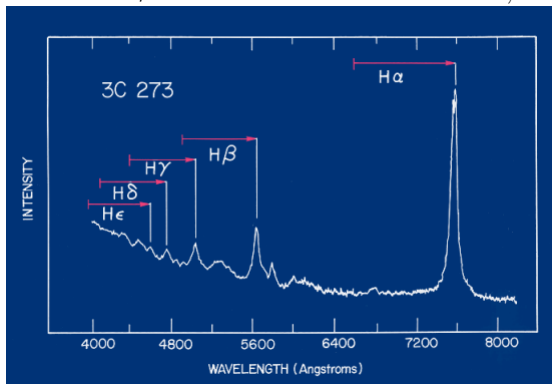
- A 3c273 kvazár spektruma M. Schmidt méréséből



© Addison-Wesley Longman

Kvazárok

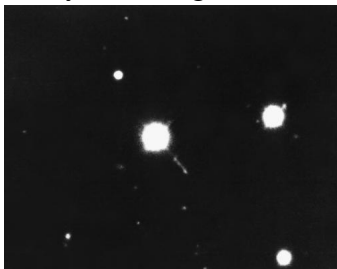
- A 3c273 kvazár spektruma erős hidrogén Balmer emissziós vonalakkal, mellette az ábrán nem megjelölt kétszeresen ionizált oxigén vonalak is feltűnnek. A piros nyilak jelzik a spektrumvonalak eltolódását, ami a $H\alpha$ vonalra $\Delta\lambda \approx 103,7$ nm.



Kvazárok

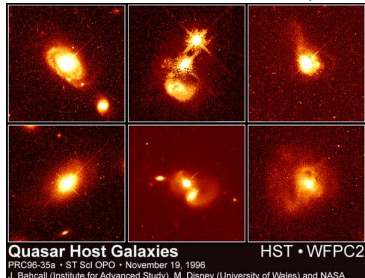
- Schmidt: $z = 0.158$ akkor még különösen nagy távolodási sebességnek számított. A csillagszerű rádióforrás mellett látható tartományban egy jet is látszott. A források természetére kezdetben csak találgatások voltak, QSO, QRS (azaz csillagszerű rádió forrás), quasar, kvazár.
- QRS : quasi-stellar radio source erős rádiósugárzó, de optikai tartományban csillagszerűen kompakt. Rossz az elnevezés, kevés rádiótartományban "hangos" kvazár (Radio-loud quasar, radio-quiet

quasar).



Kvazárok

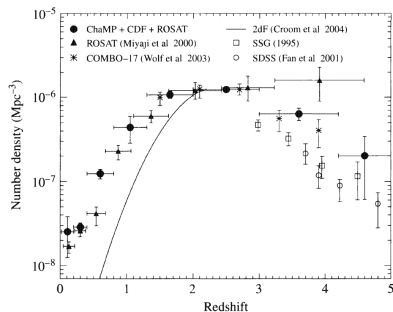
- vöröseltolódásuk $z > 0.1$, de lehet akár $z \approx 6$



- legfényesebb objektumok az égen, luminozitásuk (kép)?
- kvazárok szeretnek csoportokba, méret: 1.8 milliárd ly, biz. irány 4 mill. ly (izotropia, homogenitás)

Kvazárok

- vöröseltolódás \rightarrow visszatekintés a múltba. Legközelebbi kvazár: 1 milliárd ly.
- Maximum: 12-13 milliárd ly, mostaninaknál $\times 1000$ többen, itt van a



fényesség maximum is.

- Közel hozzánk alig vannak, maximumnál drámai vált., előtte csökkenés nem értjük vagy nem tudjuk megfigyelni.

Kvazár fényességének változása

- jeteknél megfigyelt főbb sugárzások: inverz Compton, szinkrotron.
- szinkrotron: mágneses erővonalak miatt.
- Compton⁻¹: Egy kis energiájú γ energiát nyer, egy magasabb energiájú szabad elektronon való szóródásból.
- a két folyamat együtt határozza meg a fotoneloszlást, fényességi hőmérsékletben kifejezve $T_b \approx 10^{11} - 10^{12}$ K.
- T_b : mennyi lenne egy feketetest hőmérséklete, ha a megfigyelt intenzitású sugárzást bocsátaná ki az adott hullámhosszon.

Kvazár fényességének változása

- fekete test sugárzás, rádiótartományban sorfejtés:

- $$I(\nu) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \approx \frac{2\nu^2 kT}{c^2}$$

- $$T_b = \frac{I(\nu)c^2}{2\nu^2 k}$$

- kvazárok nem fekete testek, sugárzásuk sem termális $\rightarrow T_b$ nem hőmérséklet.

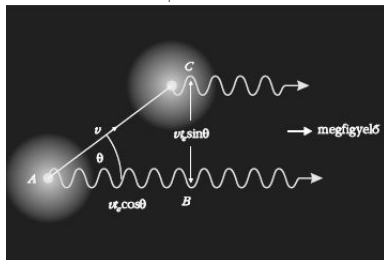
Kvazár fényességének változása

- Baj: Gyakran megfigyelnek az elméleti határértéket meghaladó fényességű kvazárokat. Ezt ún. relativisztikus nyalábolással magyarázzák.
- Rel. nyalábolás: A specrel. miatti vetítési effektusok és idődilatáció miatt a megfigyelt fényességértékek és sebességek a valósnál nagyobbaknak látszanak. PI 3C279-es kvazárnál $v_{jetkomp.} > 3c$.

Kvazár fényességének változása

- Sugárzó komponens A pontból C pontba. Fotonok kibocsájtása, észlelésük: $\Delta t = t_e(1 - \beta \cos \Theta)$
- látszólagos távolság két komp. között: $\Delta s = vt \sin \Theta$, látsz. seb.:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{v \sin \Theta}{1 - \beta \cos \Theta}$$

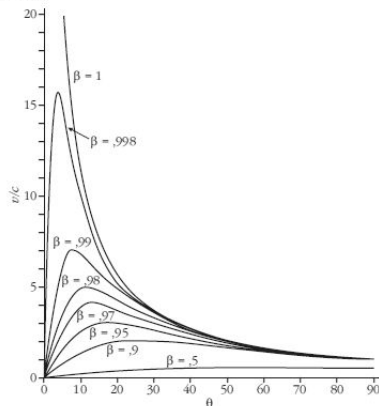


3. ábra. Illusztráció a fénysebességet meghaladó látszólagos sebességek magyarázatához.

Kvazár fényességének változása

- A relativisztikus nyalábolás befolyásolja (magnöveli) a mért fényességi hőmérsékletet is, így könnyen mérhetünk az említett elméletileg

4. ábra. A látszólagos sebesség (ordináta) függése a látóiránytól (abszcissa). A görbék különböző Lorentz-faktor értékekhez tartoznak.



lehetséges értéknél nagyobb T_b -t.

Kvazár fényességének változása

- Relat. nyalábolásból (Doppler-erősítés) mozgó forrás intenzitása nagyobb lehet mint a nyugvó rendszerben: $I_{megfigyelt} = \delta^3 I_{elmeleti}$, ahol
$$\delta = \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{1-\beta \cos \Theta}.$$
- T_b -t mérhetünk még a rádiófénygörbe alapján. Fényváltozások karakterisztikus időskálájából.

Nagyon gyors fényesség-ingadozásokat mutató források esetében a kétféleképpen mérés nagy mértékben (akár több nagyságrenddel is) különbözhet egymástól. Ezeket az egy-két napos, vagy pár órás (sőt akár csak 20 perces) karakterisztikus időskálát mutató kvazárokat, angol elnevezéssel Intraday Variable (IDV) forrásoknak nevezik.

Kvazár fényességének változása

- feloldás: terjedési elmélet (propagation theory). A lassú fényességváltozás OK, de az oszcilláló változás szóródási jelenségek következménye. (R, ionizált csillagközi anyag, sztochasztikus folyamat, pislákoló csillagok az égen, turbulens atmoszféra)

Kvazár fényessége

- terjedési elmélet bizonyítéka: Éves moduláció. A jelenség lényege, hogy a kvazár fényességváltozásának karakterisztikus ideje az év különböző szakaszaiban más és más. Oka pedig a következő. A fényességváltozás periódusa fordítva arányos a szórófelhő és a megfigyelő relatív sebességével.
- a megfigyelő a földön van (sebessége változik). Adaptív, időigényes mérések (több év, év különböző szakaszaiban).

5. ábra. Az éves moduláció jelenség szemléltetése.

