



Aktivne galaksije

od spektrov do aktivnih galaktičnih jeder in enotnega modela

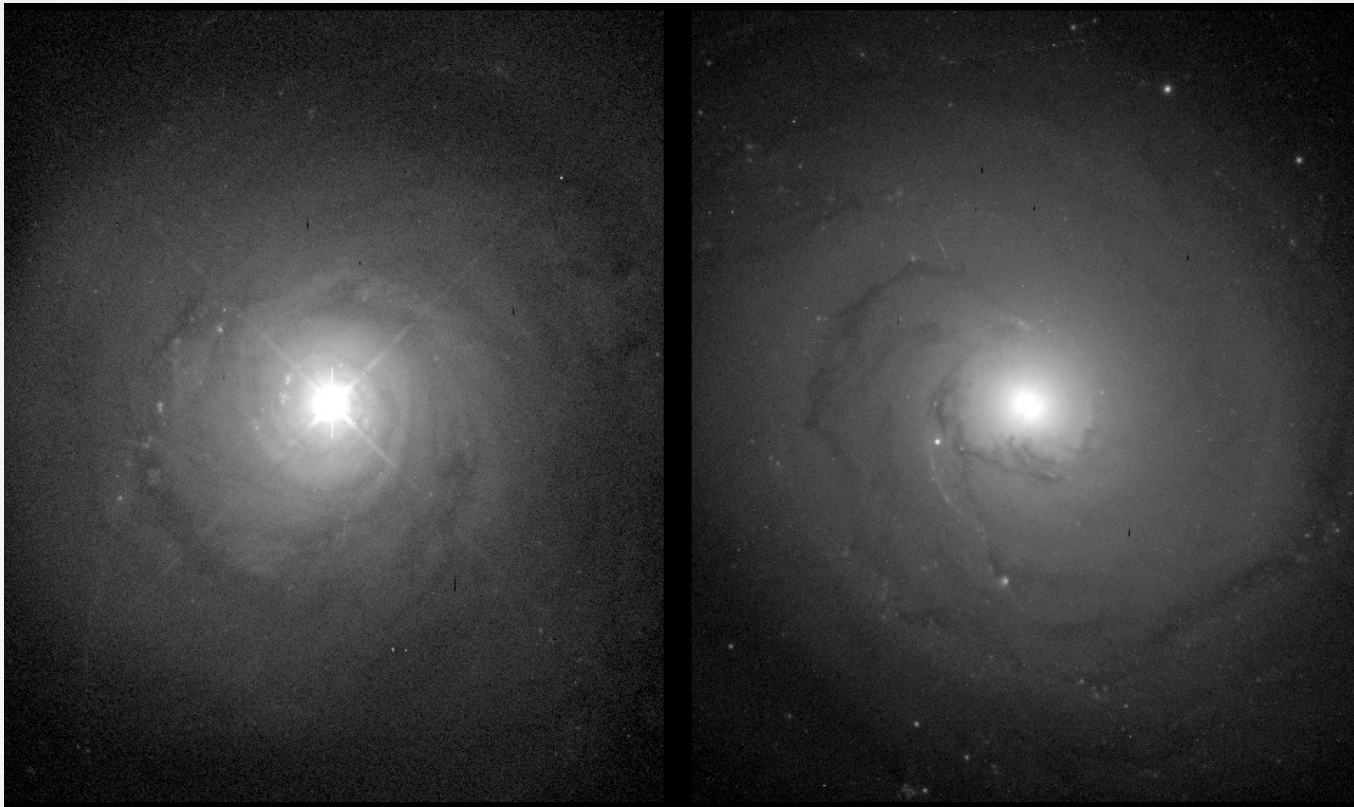
Viri: Jones, Lambourne (Chap. 3)

<https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/introduction-active-galaxies/content-section-0>

Slika: Ilustracija aktivnega galaktičnega jedra
(MIT Kavli Institute for Astrophysics and Space Research)

Prosojnice so delno prirejene po starejših prosojnicah prof. dr. Andreje Gomboc

Se galaksiji razlikujeta?



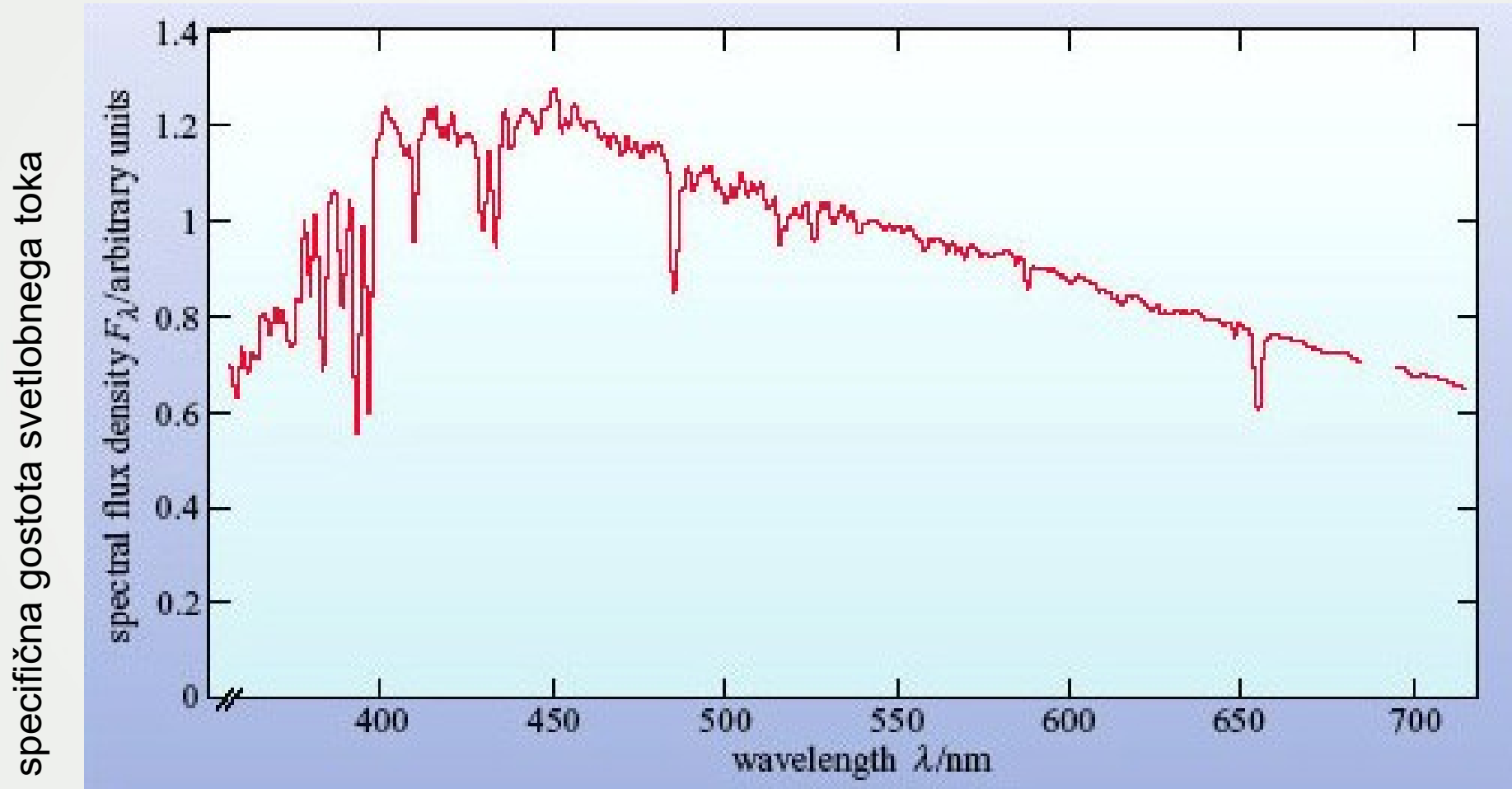
NGC 5548

NGC 3277

Kaj prispeva k spektru galaksije?

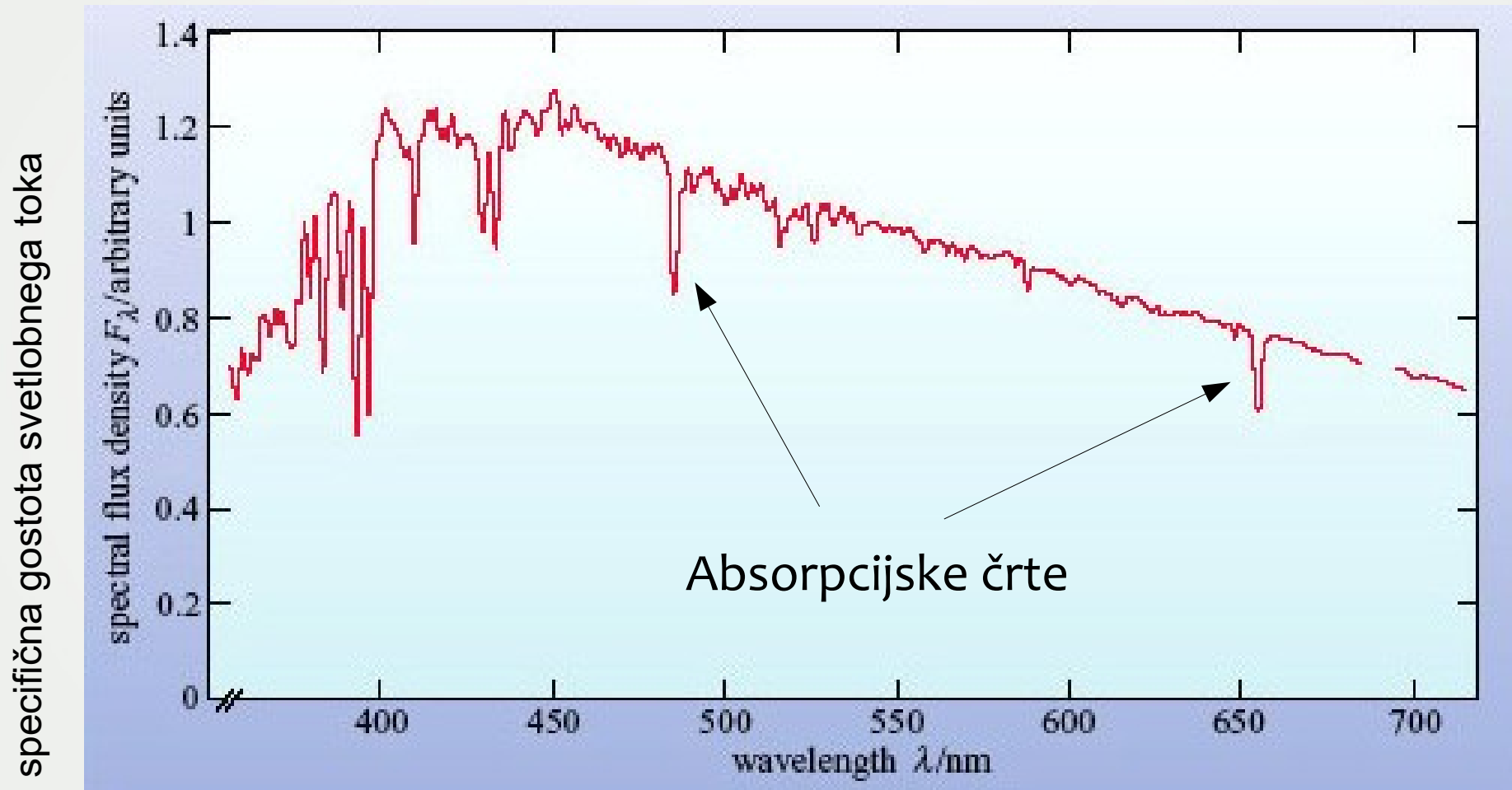
- zvezde (populacija zvezd)
- plin
- prah
 - absorbira vidno svetlobo, oddaja v daljni IR

Spekter zvezde



zvezda spektralnega tipa F5

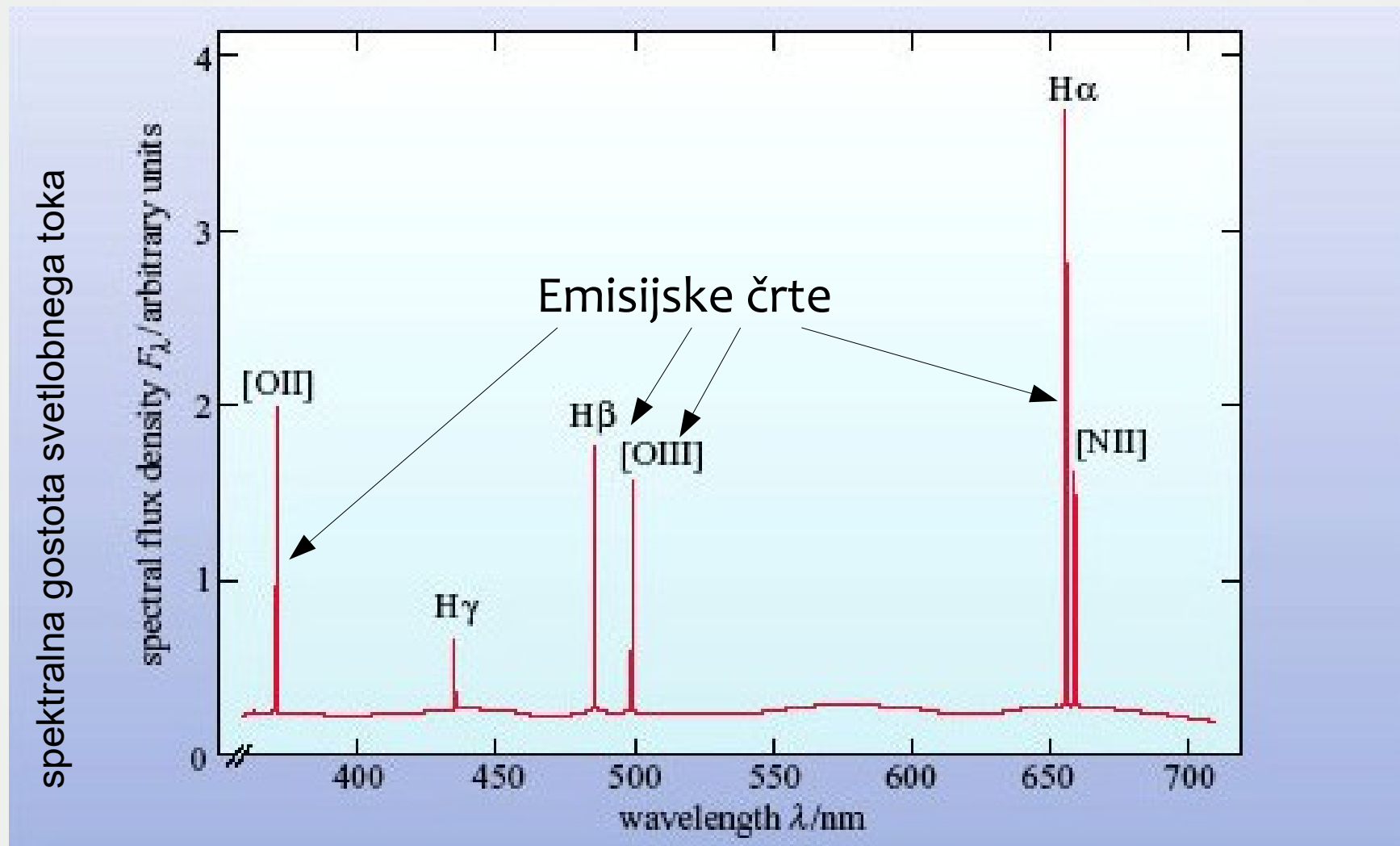
Spekter zvezde



Absorpcijske črte → kemična kompozicija, T_{eff} , L

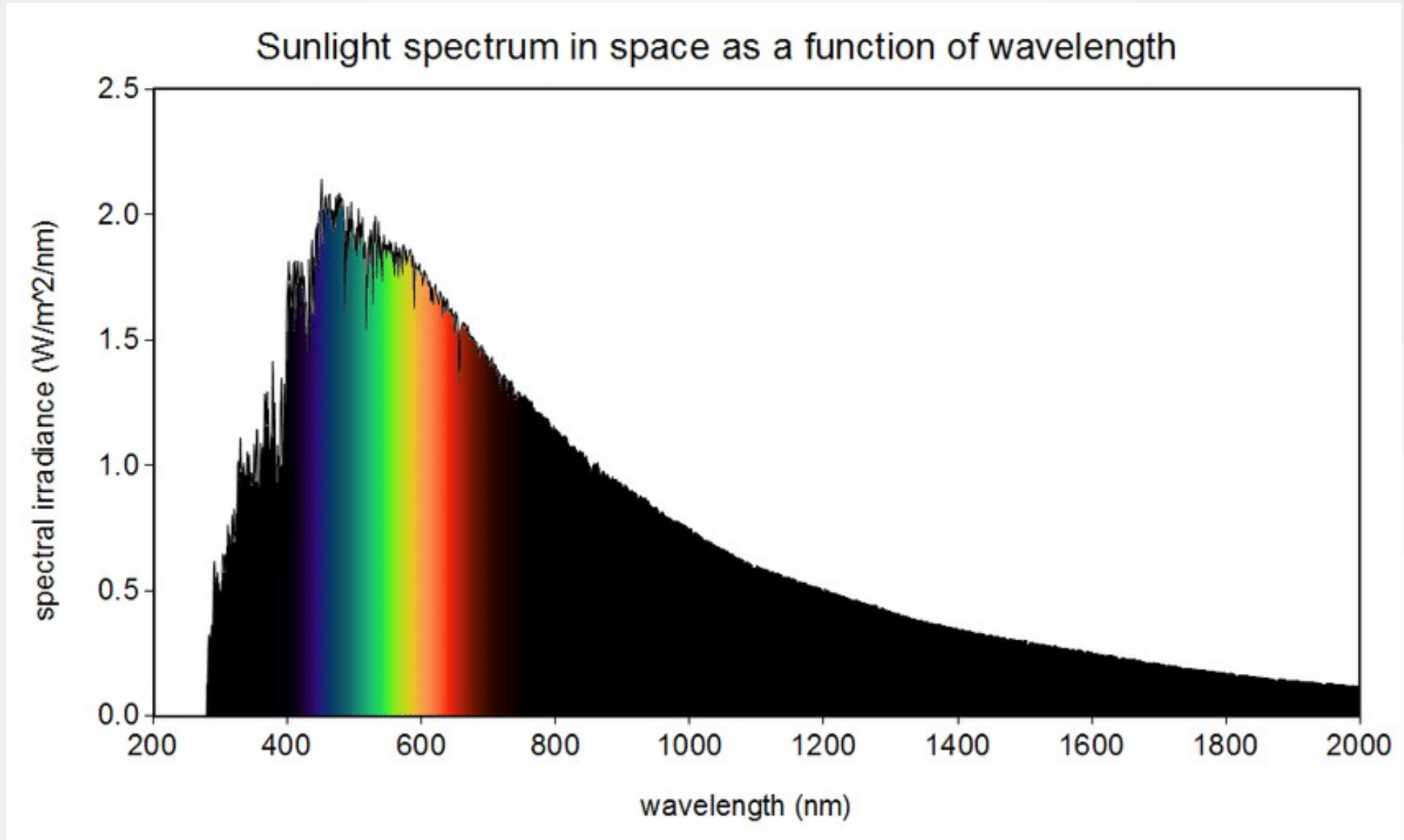
Dopplerjev efekt → radialna hitrost; binarni sistem (če periodičen)

Plin (območje HII)



optični spekter HII območja z emisijskimi črtami

Spekter Sonca (širše območje)

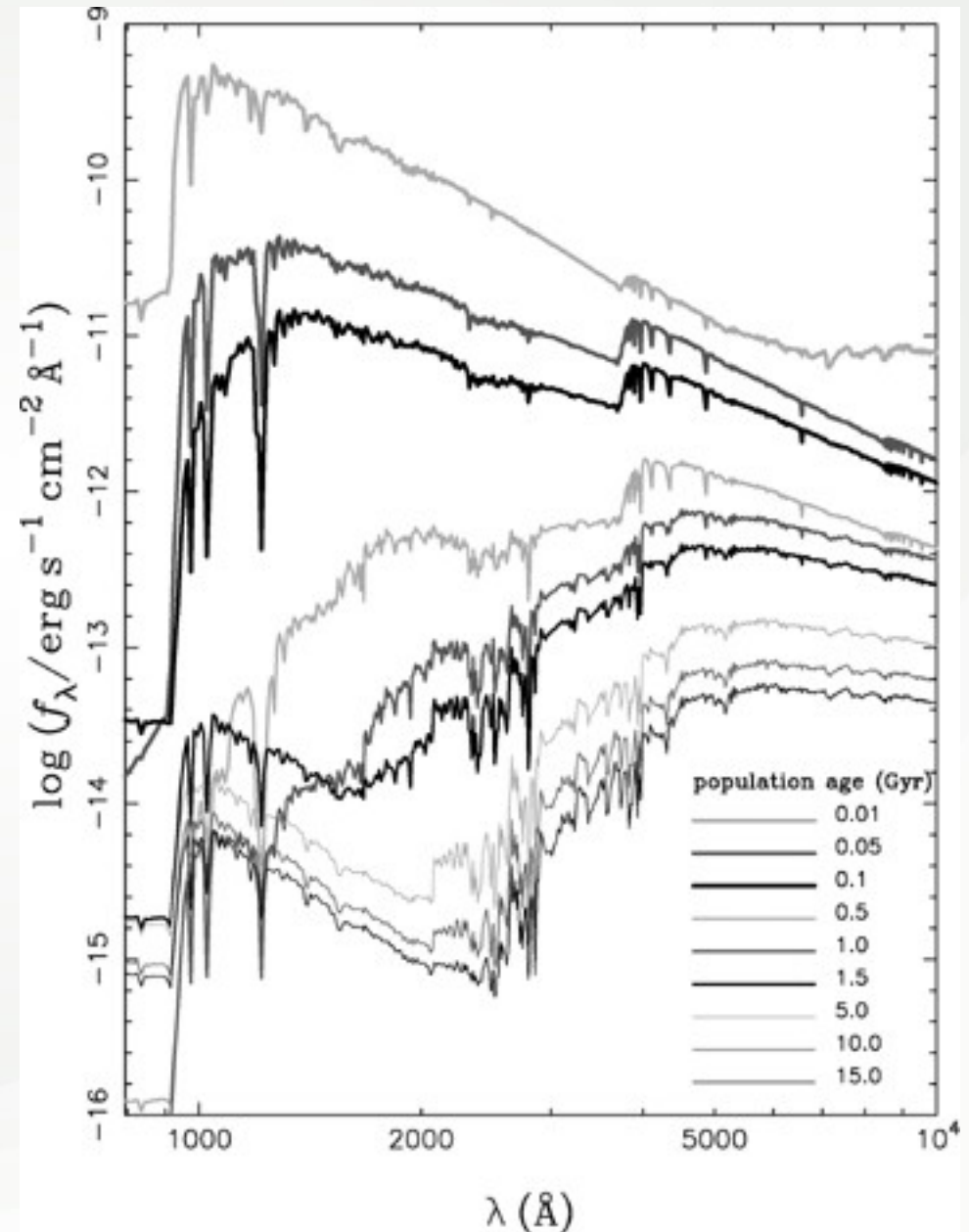


Christopher S. Baird, American Society for Testing and Materials Terrestrial Reference

Spekter galaksije

- populacijska sinteza
in integrirani
spekter galaksij

Evolucija *restframe* intrinzične spektralne porazdelitve energije (*SED, spectral energy distribution*), v kateri so zvezde nastale v istem času in predstavljajo enotno zvezdno populacijo (*SSP, single stellar population*). Ta zvezdna populacija ima skupno maso $10^{10} M_{\odot}$, galaksija je oddaljena 10 Mpc.



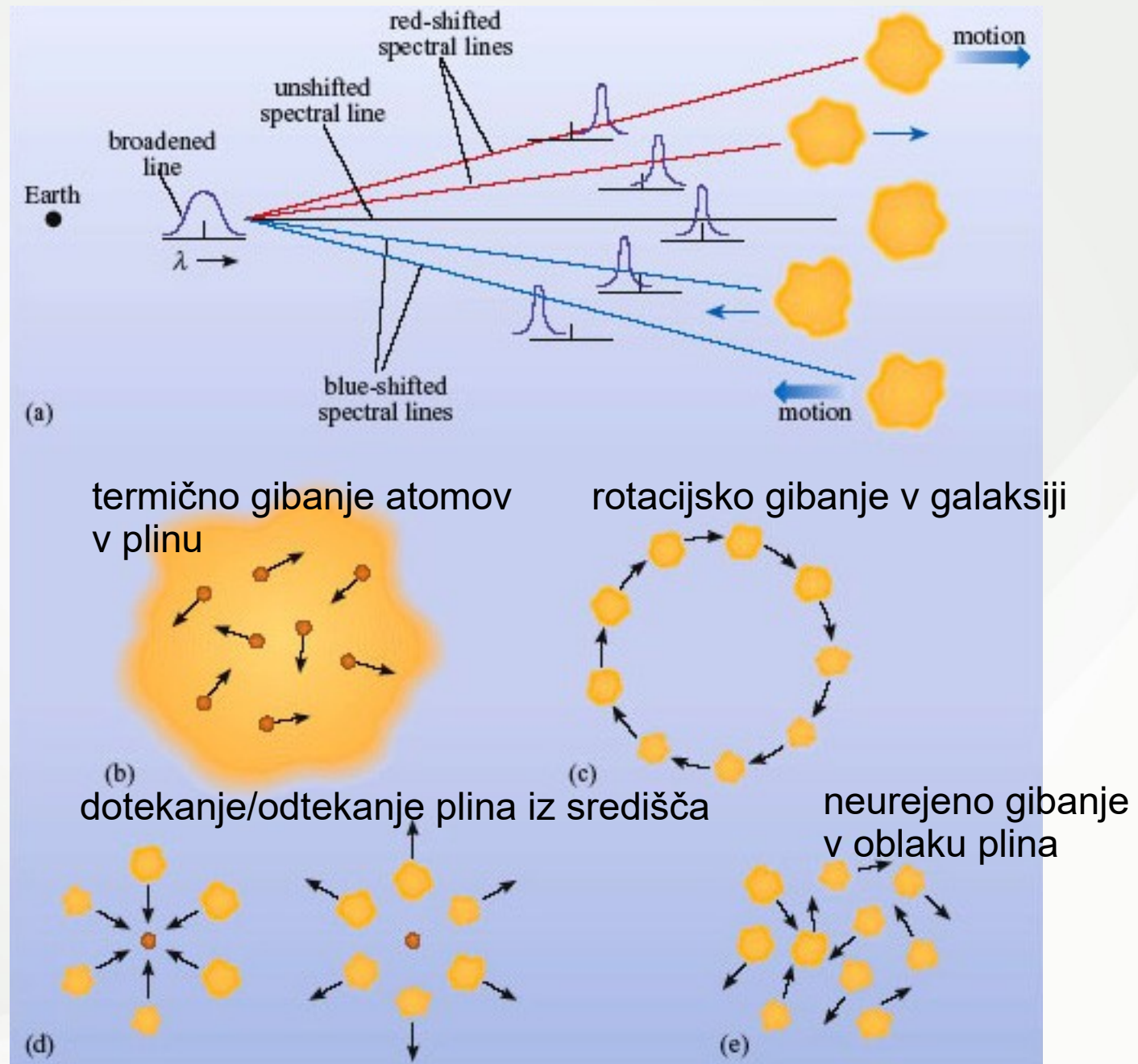
Razlogi za Dopplerjevo razširitev črt

$$\frac{\Delta \nu}{c} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda}$$

$\Delta \nu$ disperzija hitrosti

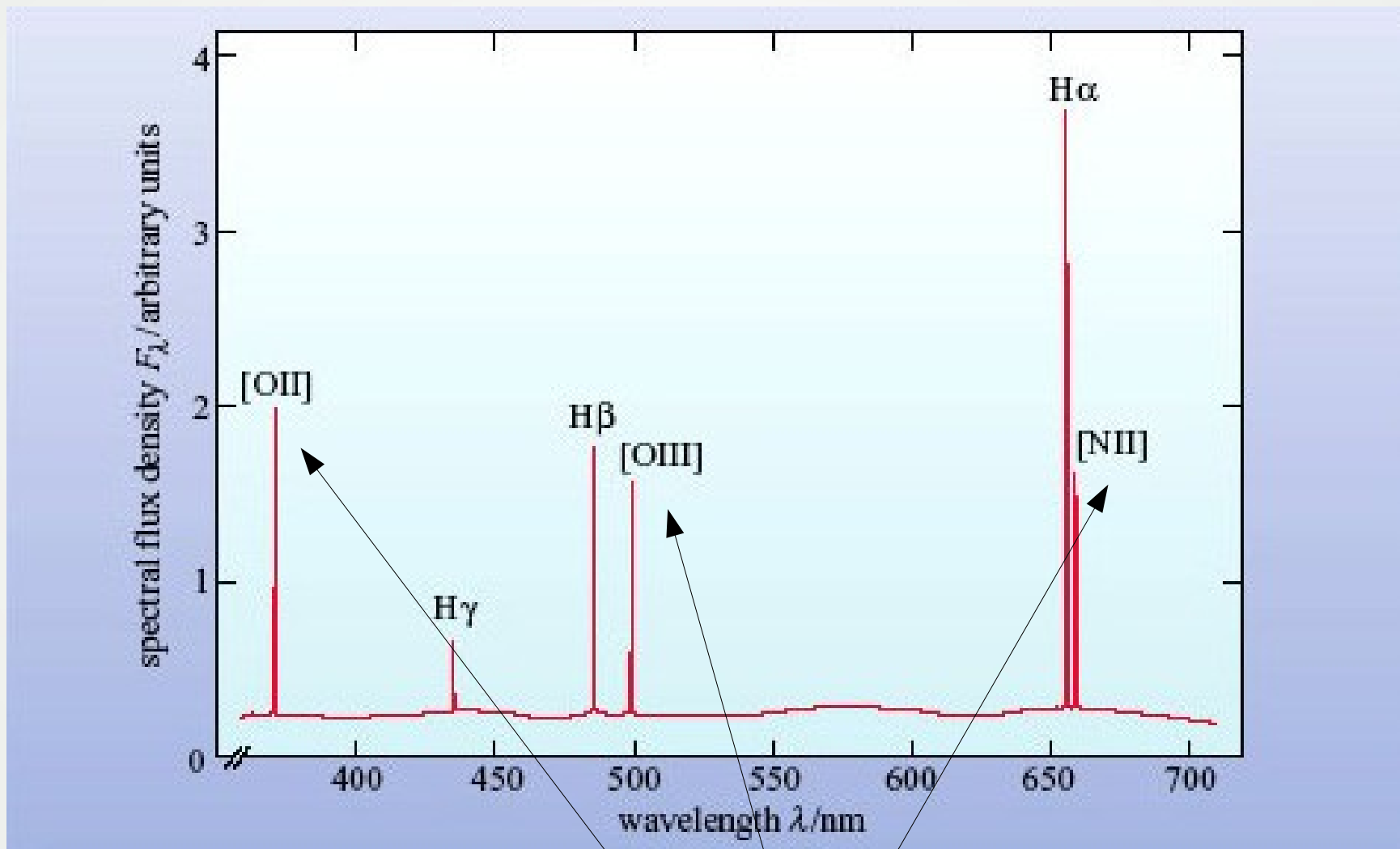
gibanje plinskih delcev

$$\Delta \nu = \left(\frac{2 k T}{m} \right)^{1/2}$$



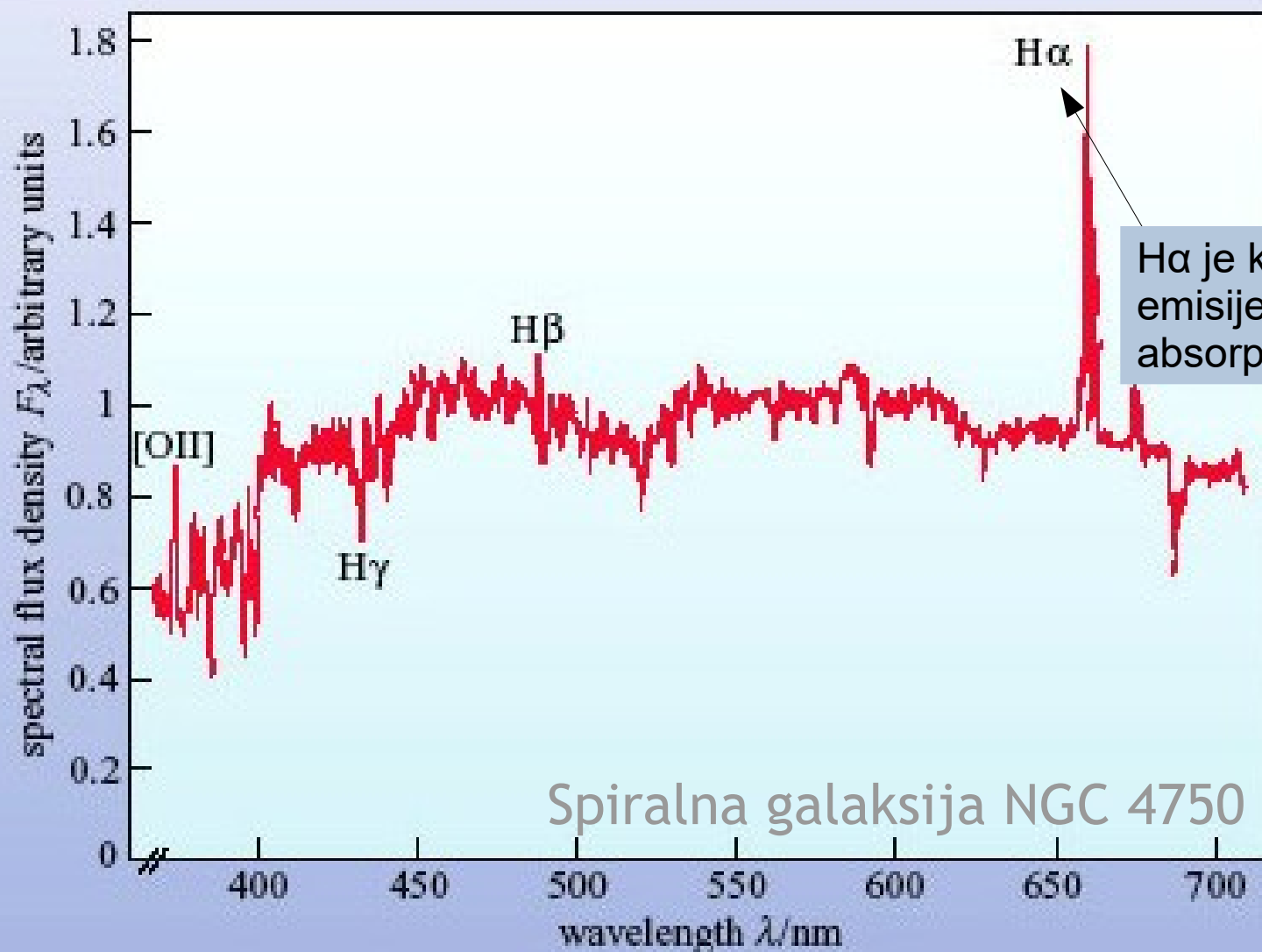
- širokopasovni spekter navadne galaksije
= vsota spektrov zvezd in plina (ter prahu)
- črte so manj izrazite
- premaknjene zaradi kozmološkega rdečega premika: $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$
- premaknjene zaradi gibanja galaksije: $\frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$
- razširjene zaradi gibanja zvezd, oblakov: $\frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$
- namesto $\Delta\lambda$ govorimo pogosto o hitrosti (v km/s)

Plin (območje HII)



Emisijske črte (tudi *prepovedane emisijske črte*)!

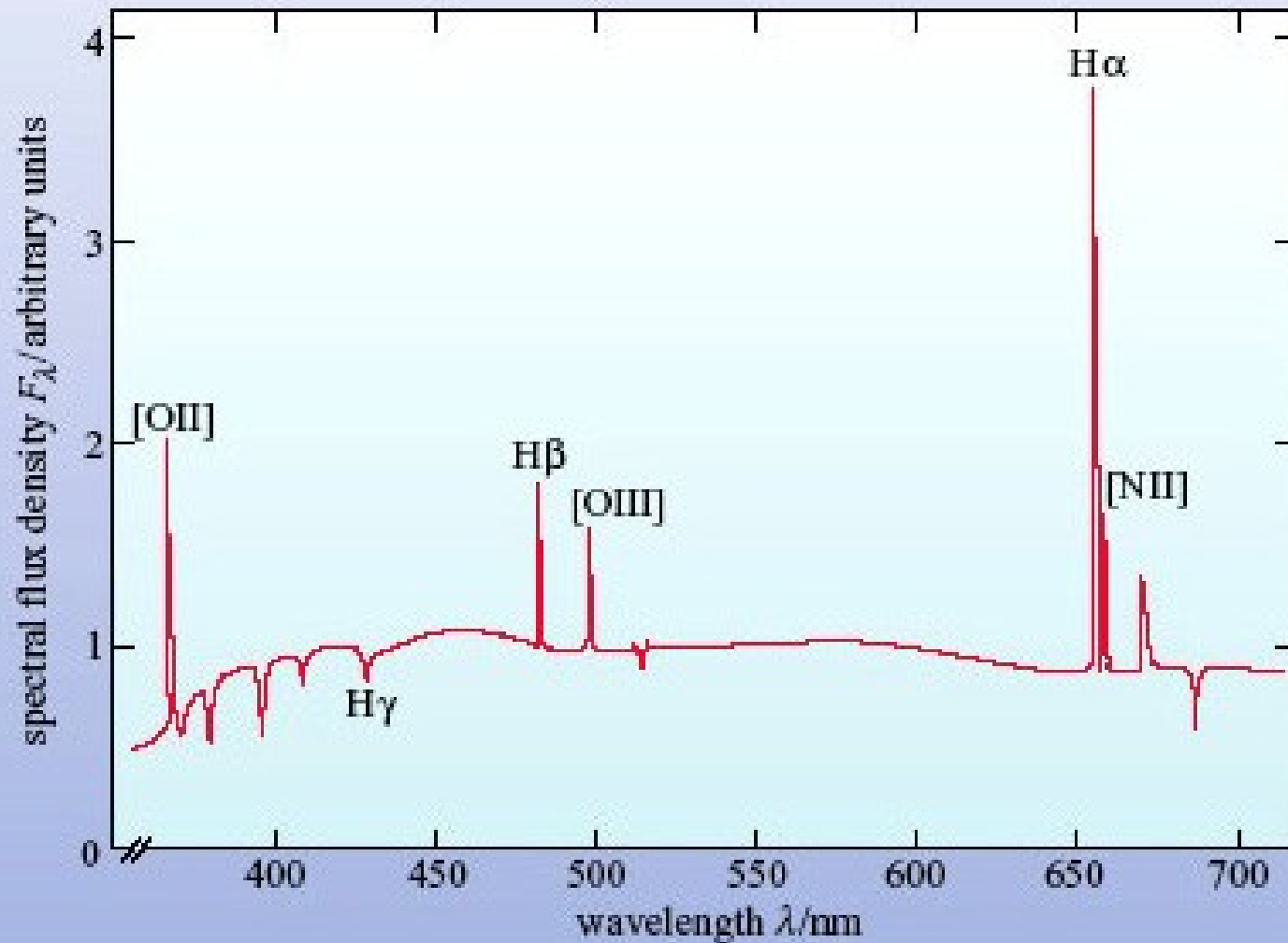
Optični spekter spiralne galaksije



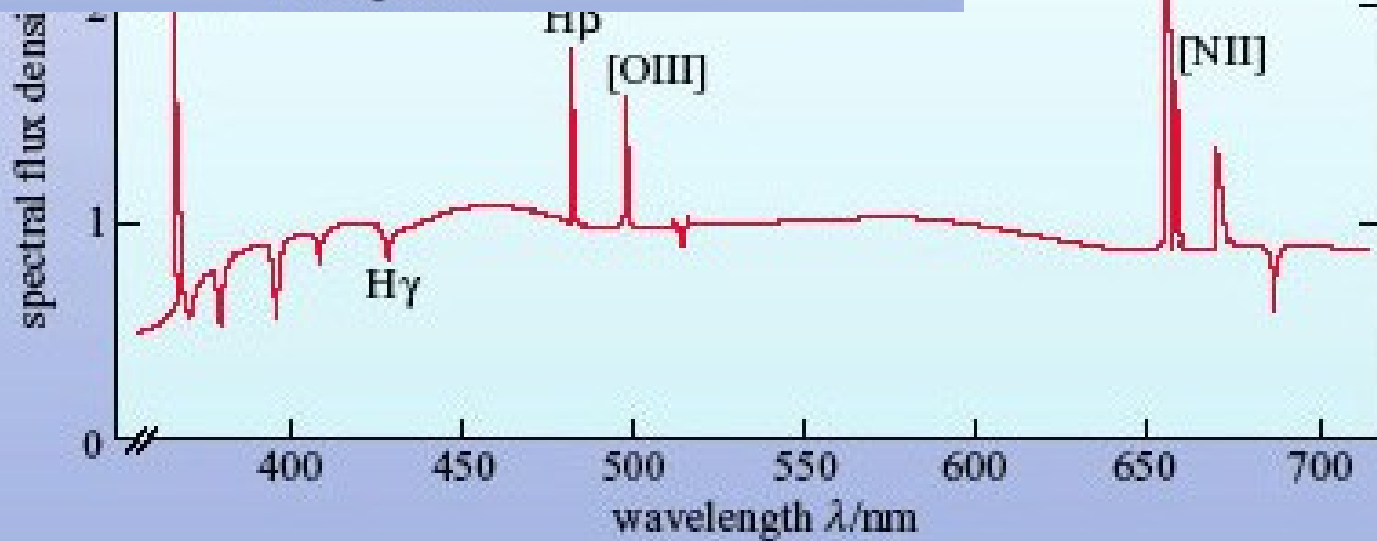
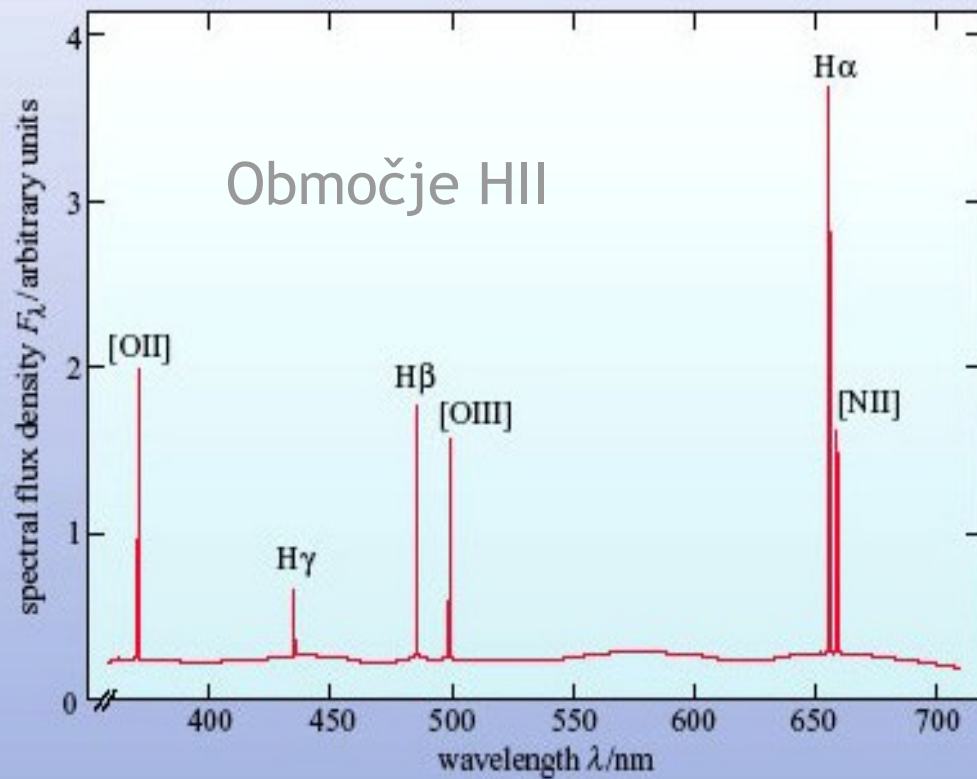
SPLOŠNO PRAVILO:

optične absorpcijske črte - od zvezd, optične emisijske črte - od vročega plina

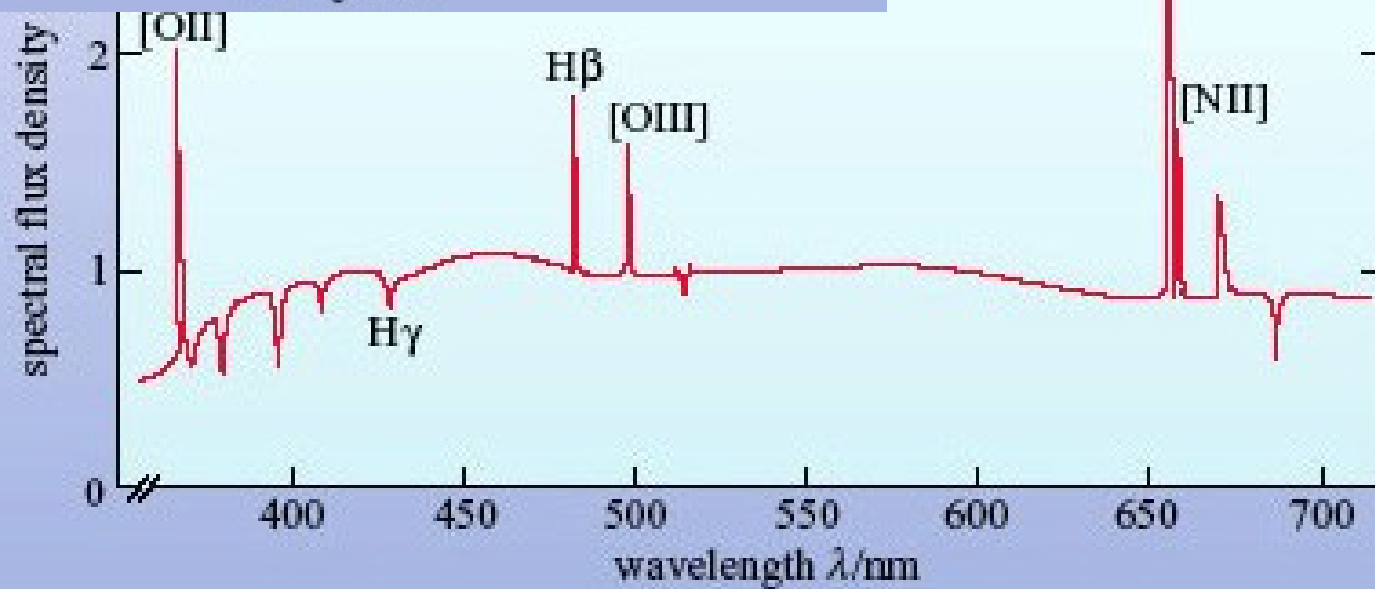
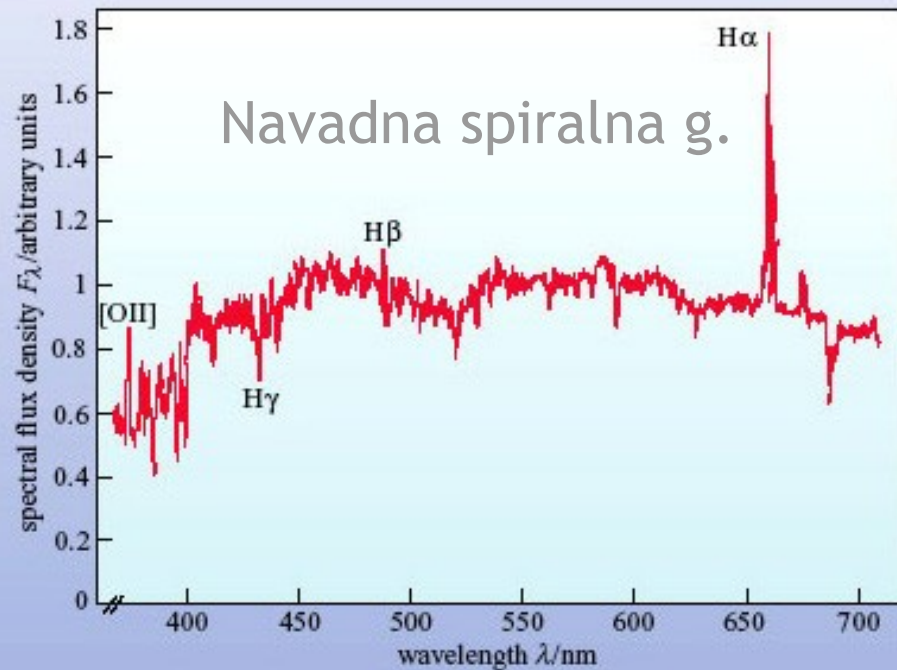
Kakšni galaksiji pripada spodnji spekter?



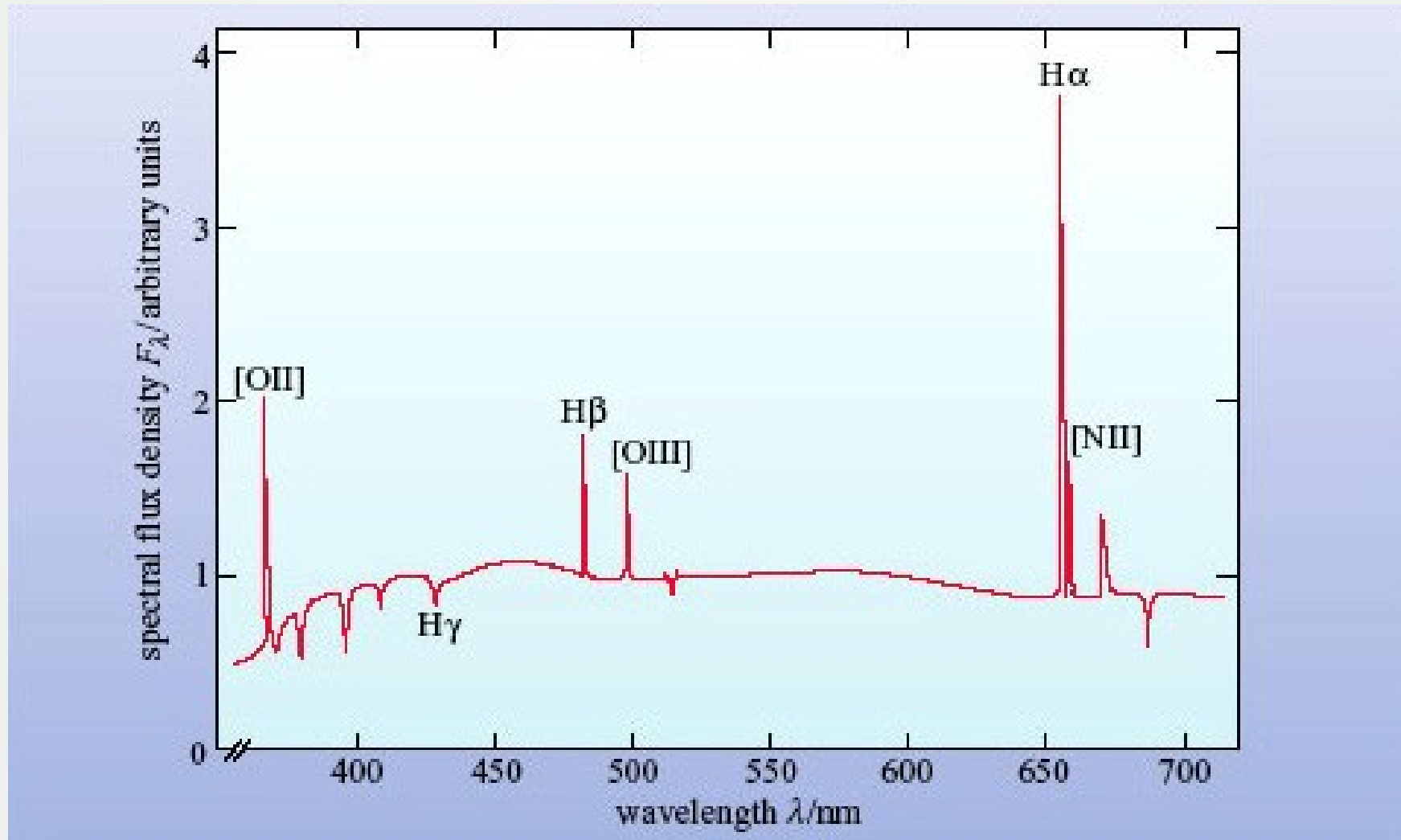
podnji spekter?



spodnji spekter?

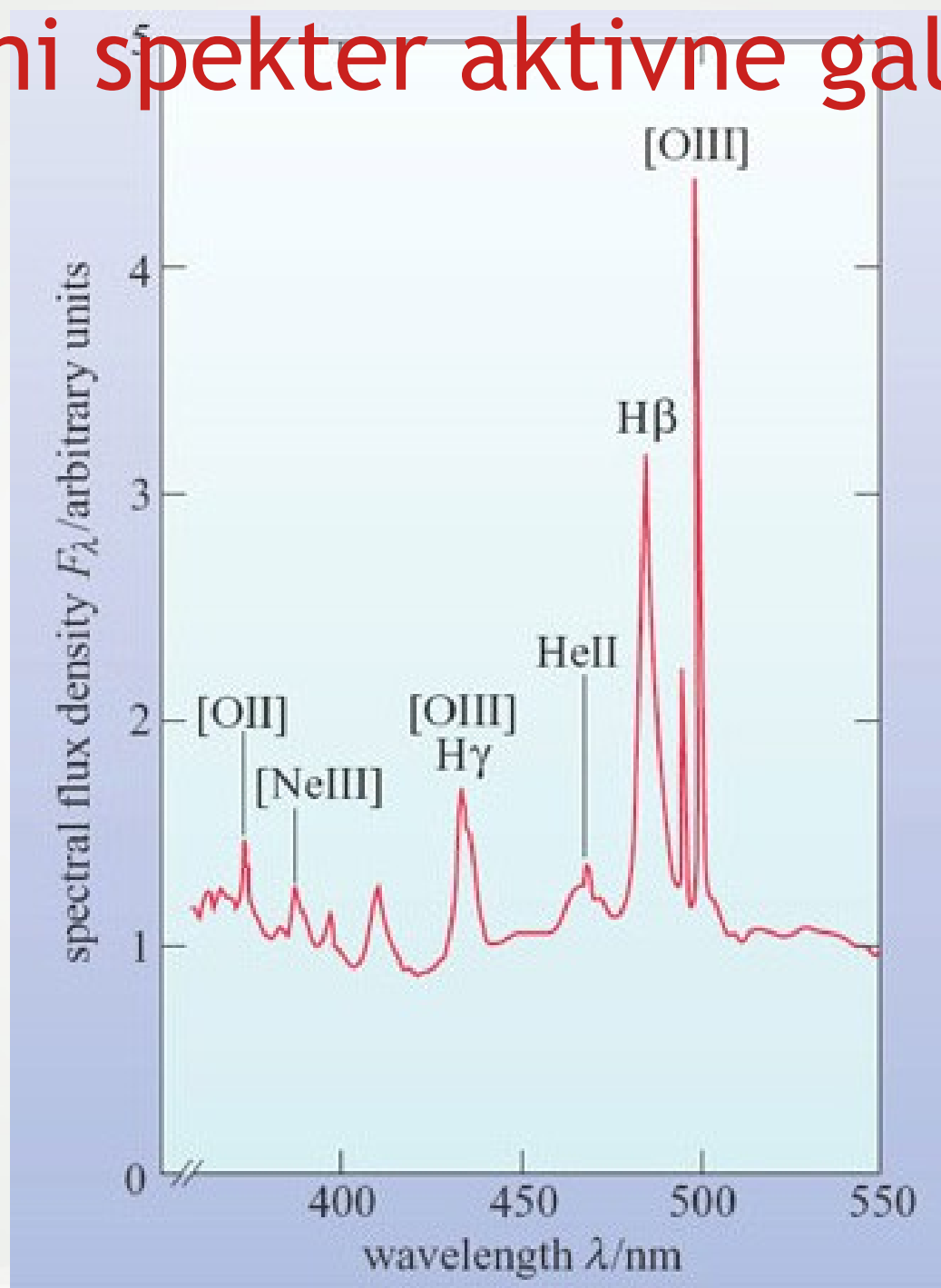


Kakšni galaksiji pripada spodnji spekter?



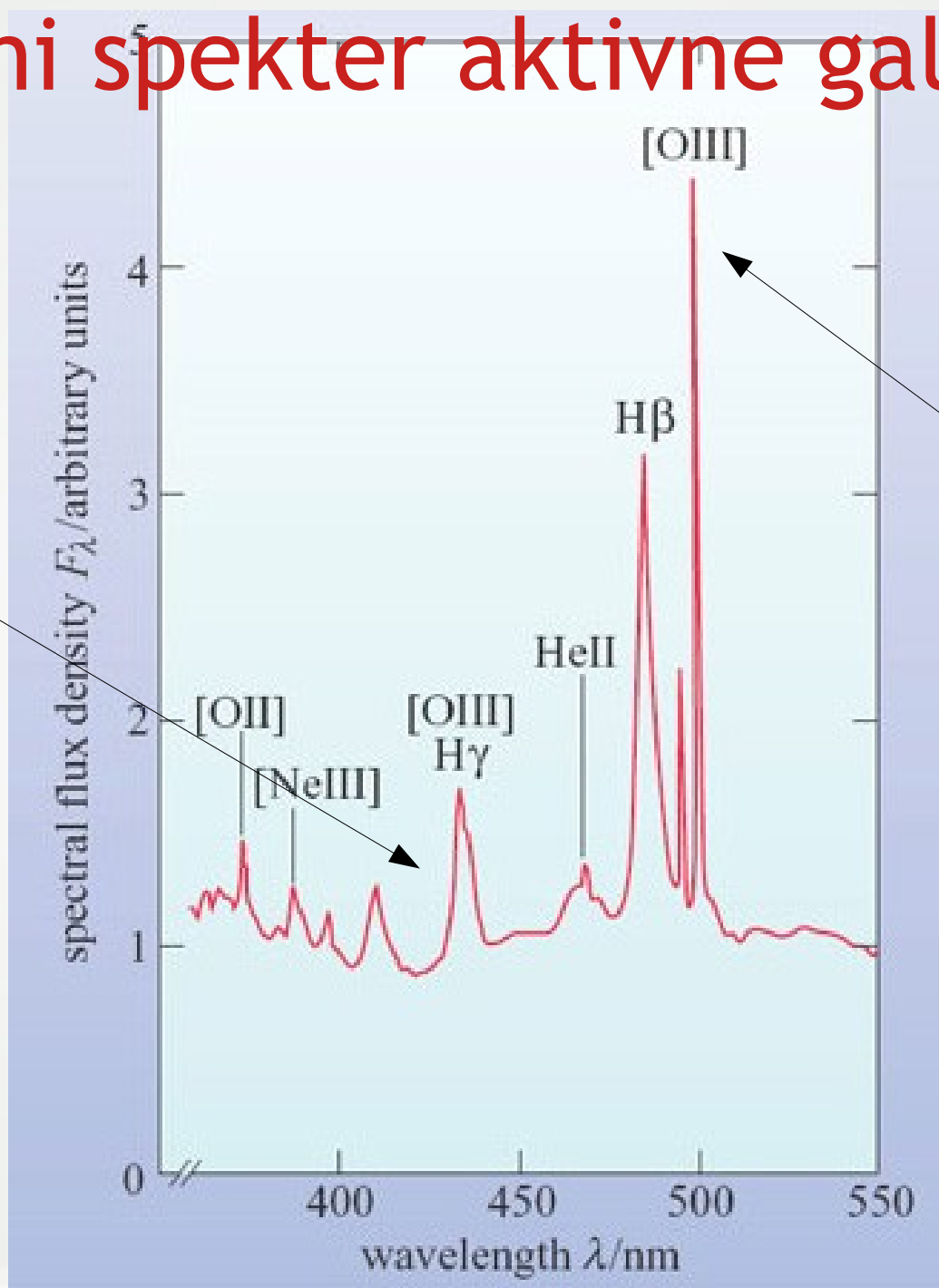
starburst galaksija - galaksija z močnim nastajanjem zvezd

Optični spekter aktivne galaksije



Optični spekter aktivne galaksije

široke črte



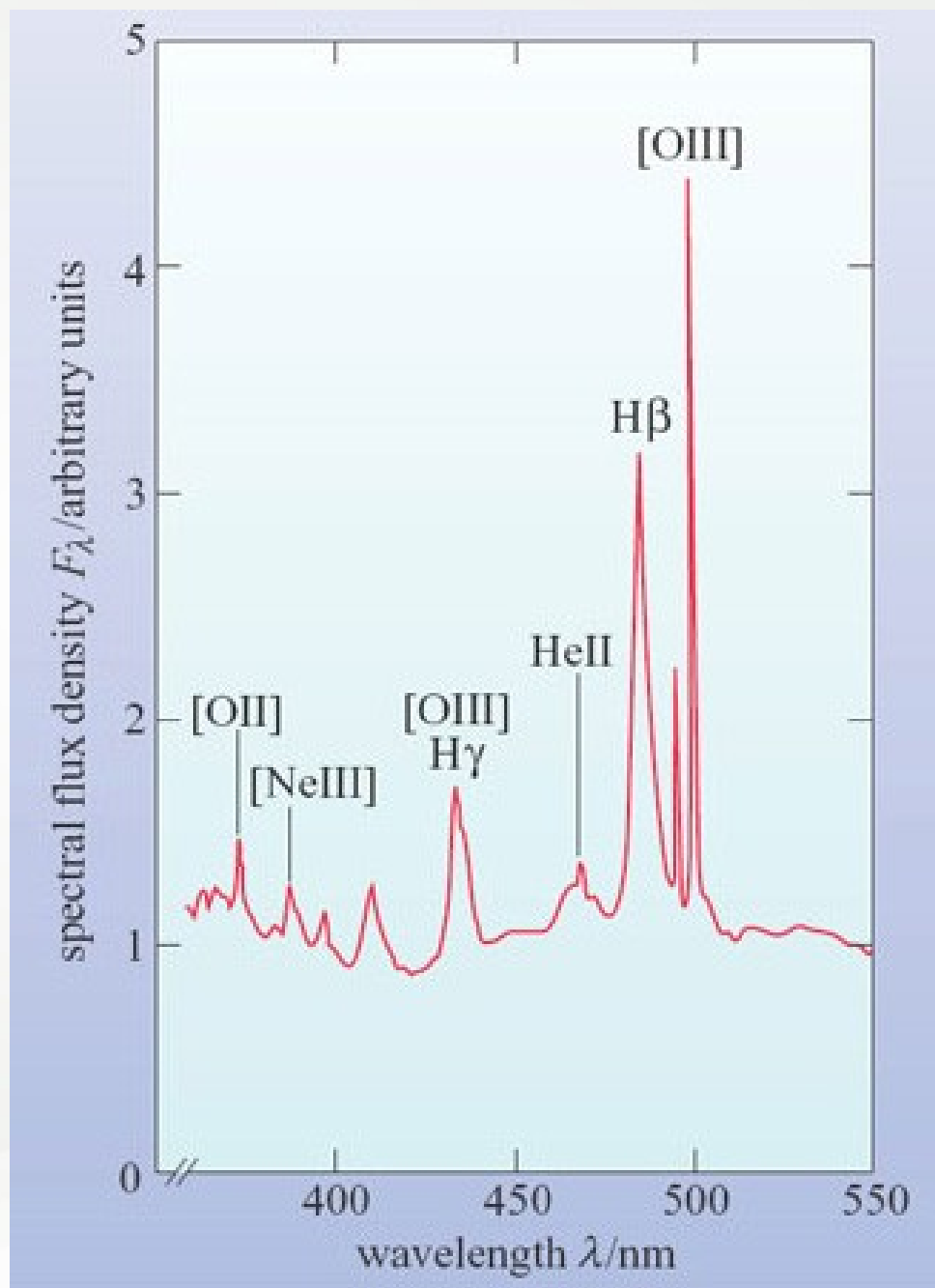
ozke črte
(prepovedani
prehodi)

Optični spekter aktivne galaksije

široke črte:

ali $T \approx 10^9$ K (ne gre!
ni termično gibanje)

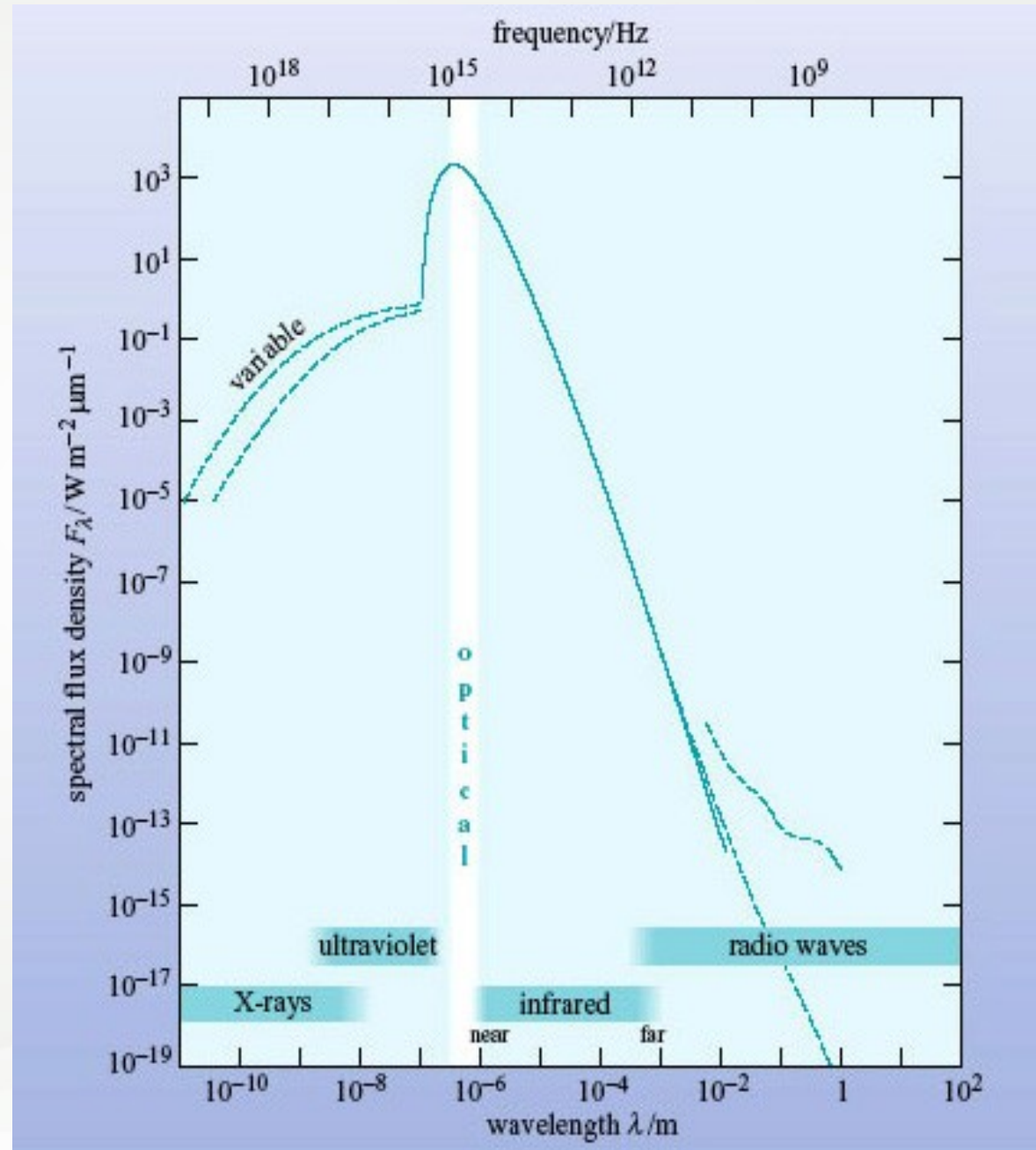
ali $v \approx 1000$ km/s
(plin z izjemno
visokimi hitrostmi)



Širokopasovni spekter

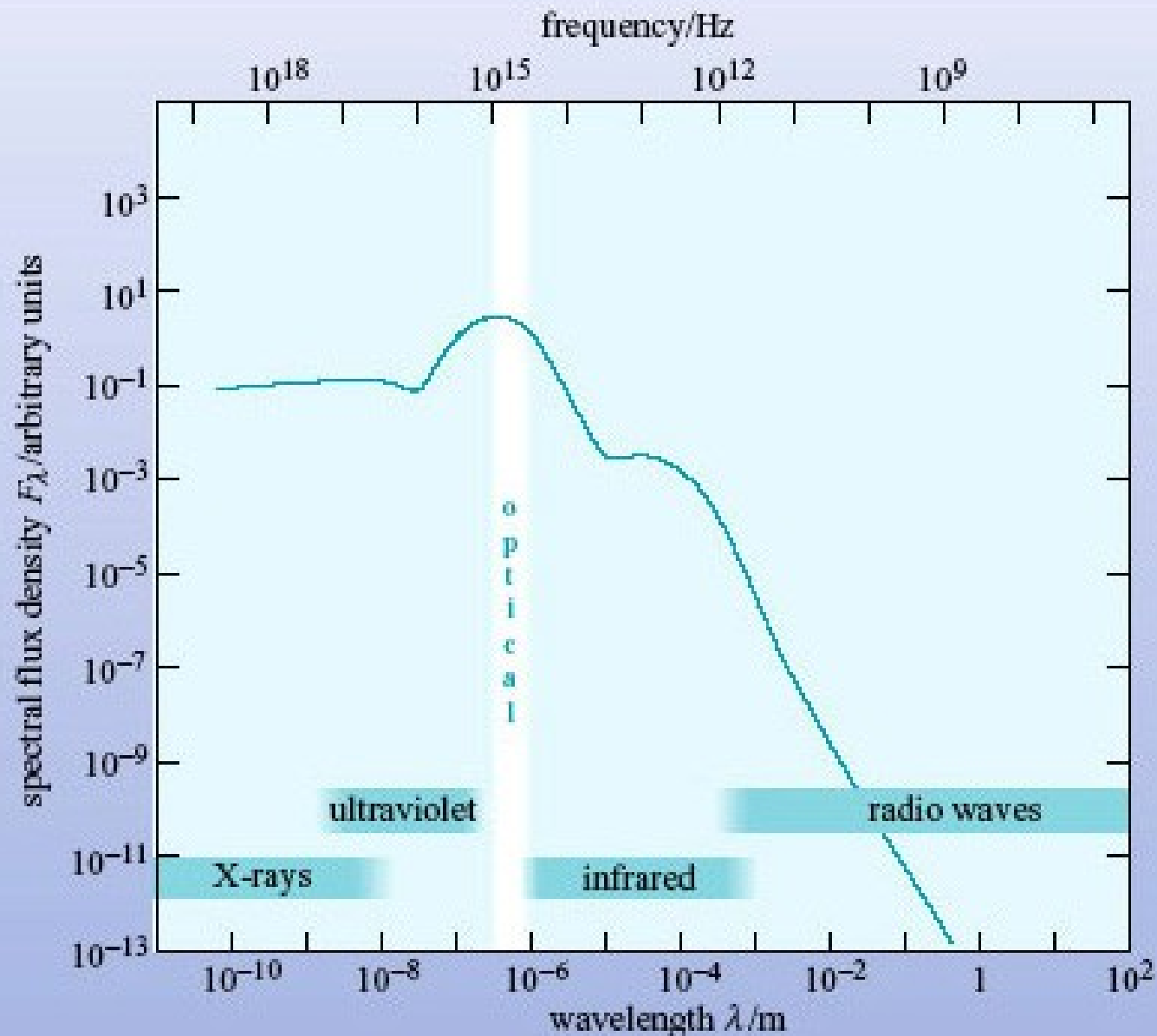
- Sonce:
 - spreminjajoča območja (X, radio)
- log-log

širokopasovni spekter Sonca



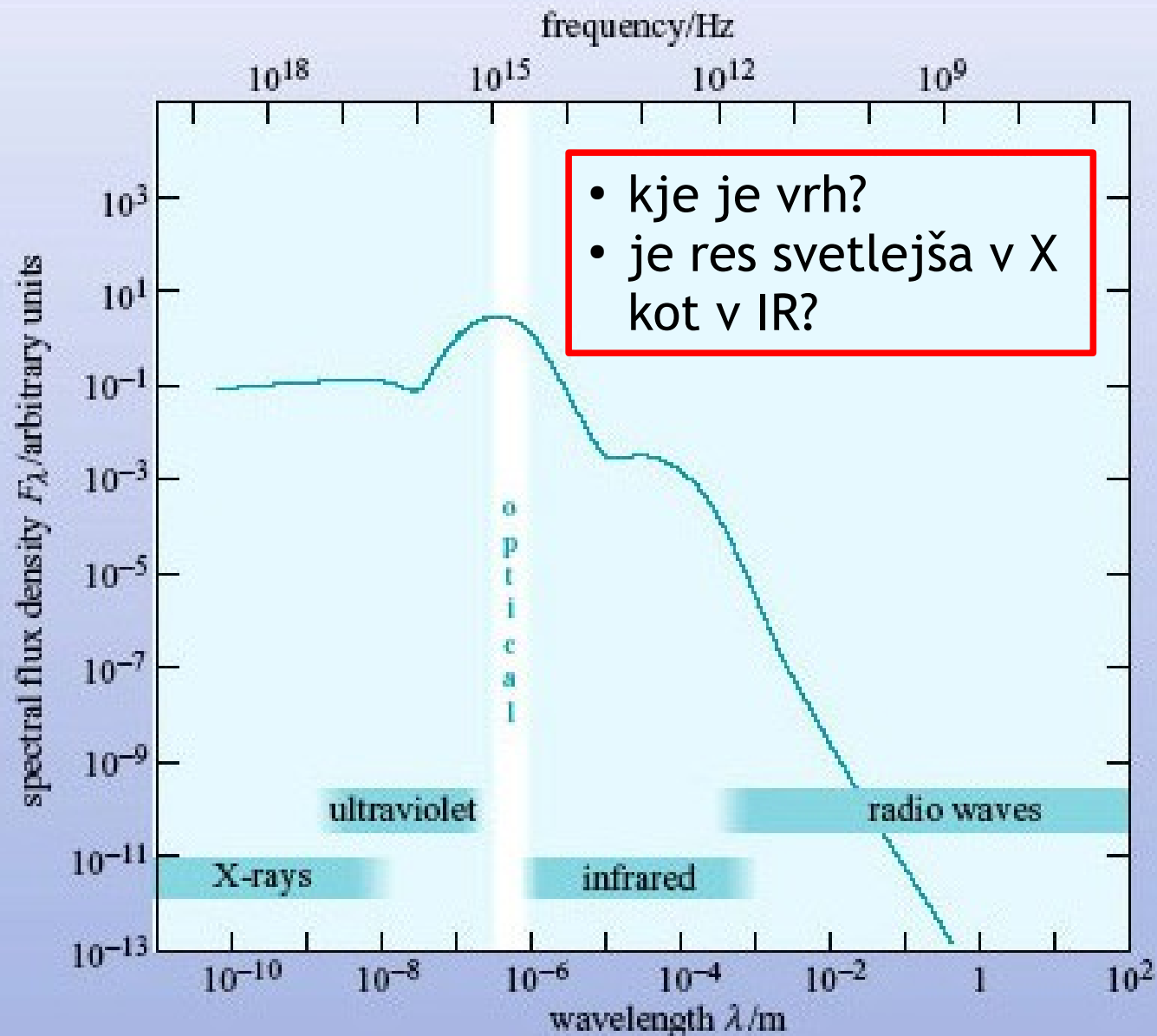
Širokopasovni spekter

normalna spiralna galaksija



Širokopasovni spekter

normalna spiralna galaksija



Specifična gostota svetl. toka

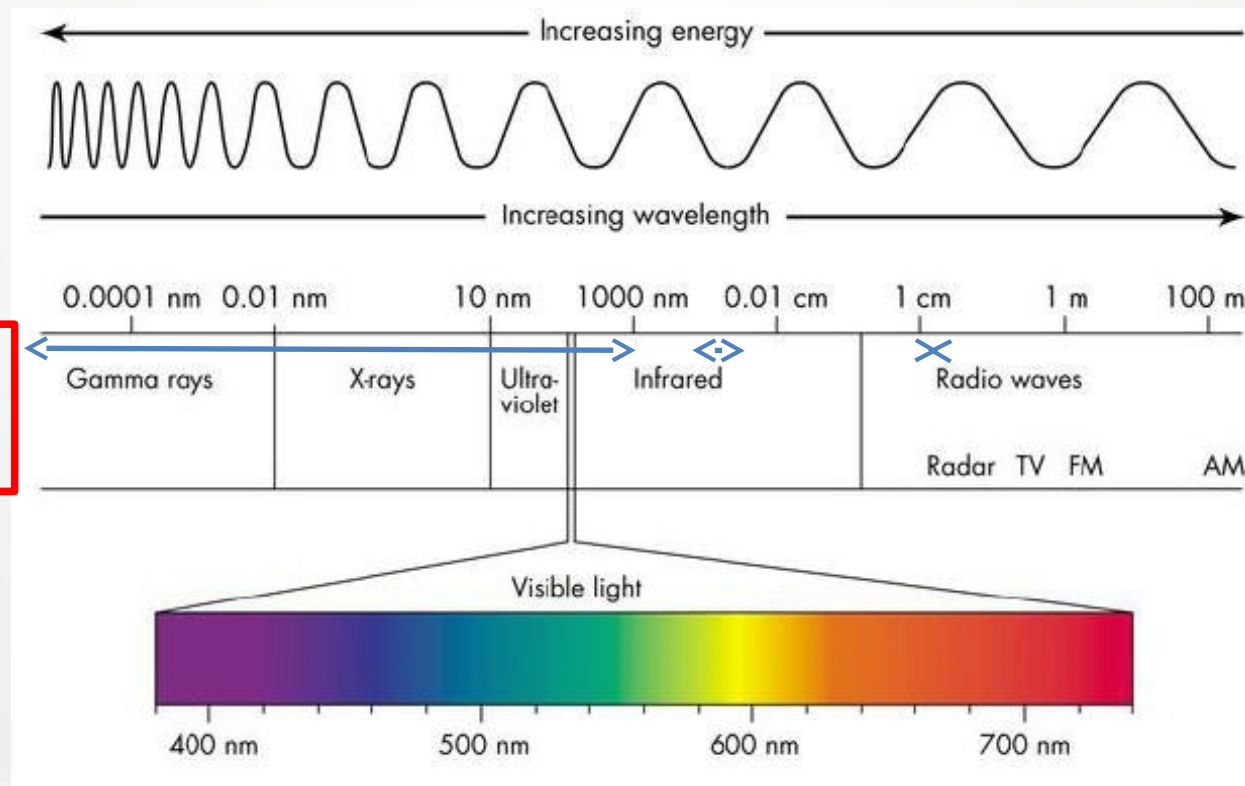
- y os: F_λ ali j_λ

$$j_\lambda = \frac{dE}{dt \cdot dS \cdot d\lambda}$$

$$\text{enota: } \frac{W}{m^2 \mu m}$$

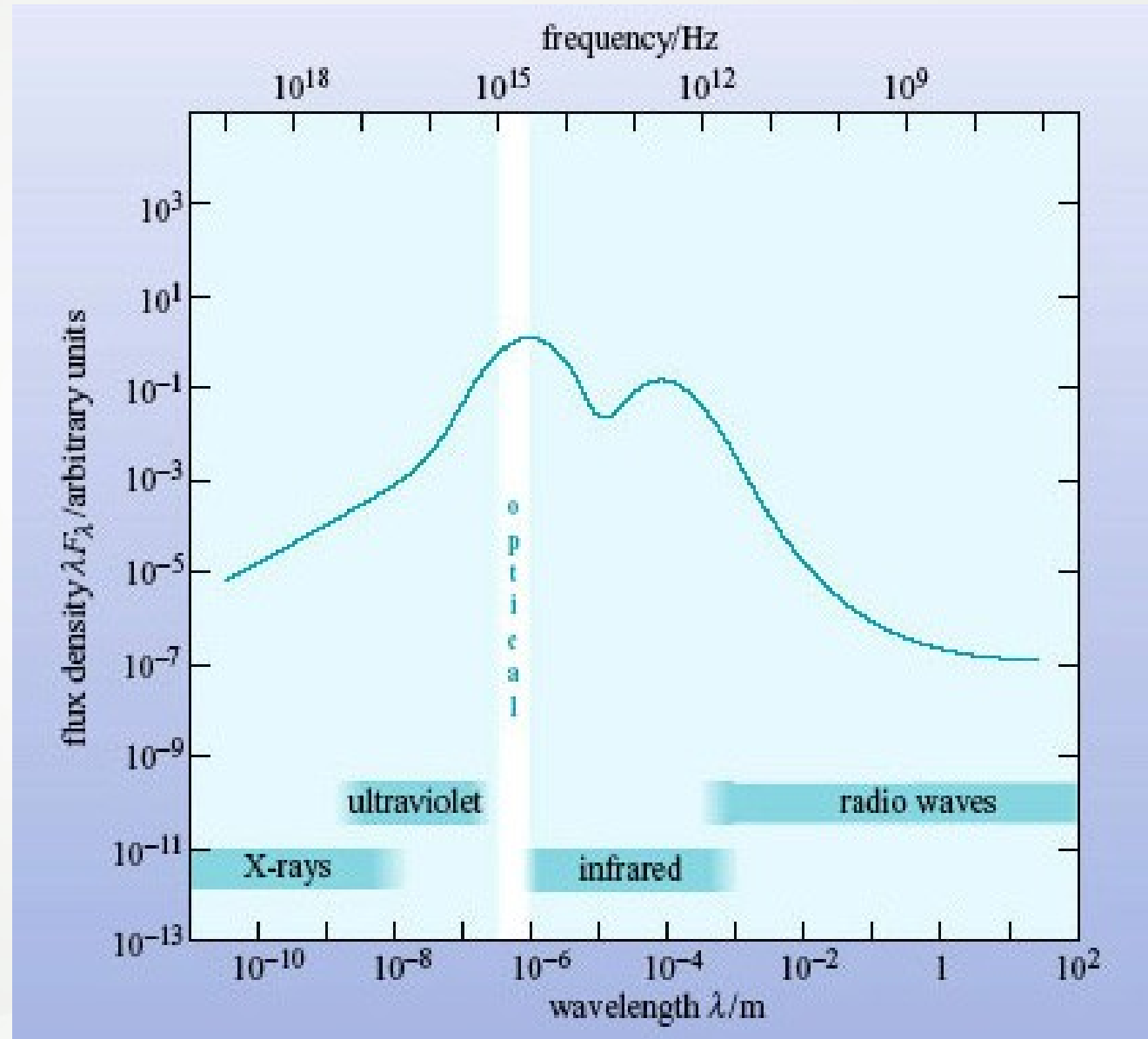
$$(\text{ali } j_\nu = F_\nu = \frac{dE}{dt \cdot dS \cdot d\nu} \quad \text{enota: } \frac{W}{m^2 \text{ Hz}})$$

pretirano v X,
premalo v IR, radio



Spektralna distribucija energije (SED)

- λF_λ ali νF_ν
- enote: W/m^2
- vrh log-log grafa kaže območje, v katerem oddaja največ
- **SED**
Spectral
Energy
Distribution



Primer

Galaksiji A in B sta na isti razdalji.

- galaksija A: pri $\lambda=500 \text{ nm}$ ima $F_\lambda=10^{-29} \text{ W/m}^2/\mu\text{m}$
pri $\lambda=100 \mu\text{m}$ ima zgornjo mejo $F_\lambda<10^{-32} \text{ W/m}^2/\mu\text{m}$
- galaksija B: pri $\lambda=500 \text{ nm}$ ima $F_\lambda=10^{-30} \text{ W/m}^2/\mu\text{m}$
pri $\lambda=100 \mu\text{m}$ ima $F_\lambda=10^{-30} \text{ W/m}^2/\mu\text{m}$
- **Katera je svetlejša (odda več energije)?**

Primer

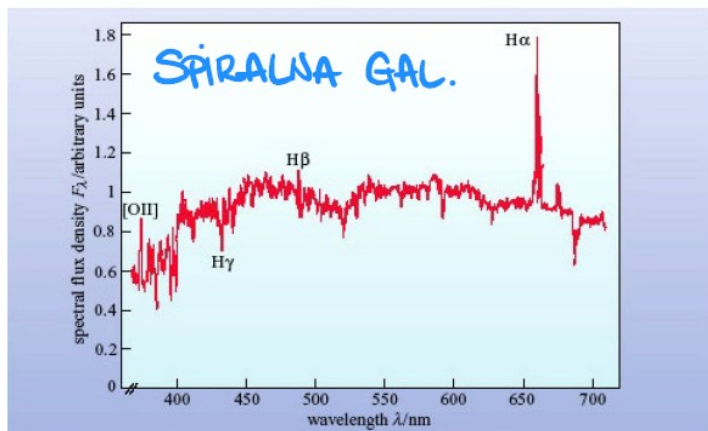
Galaksiji A in B sta na isti razdalji.

- galaksija A: pri $\lambda=500 \text{ nm}$ ima $F_\lambda=10^{-29} \text{ W/m}^2/\mu\text{m}$
pri $\lambda=100 \mu\text{m}$ ima zgornjo mejo $F_\lambda<10^{-32} \text{ W/m}^2/\mu\text{m}$
- galaksija B: pri $\lambda=500 \text{ nm}$ ima $F_\lambda=10^{-30} \text{ W/m}^2/\mu\text{m}$
pri $\lambda=100 \mu\text{m}$ ima $F_\lambda=10^{-30} \text{ W/m}^2/\mu\text{m}$
- Katera je svetlejša (odda več energije)?
- galaksija A: pri $\lambda=500 \text{ nm}$ ima $\lambda F_\lambda=0.5 \times 10^{-29} \text{ W/m}^2$
pri $\lambda=100 \mu\text{m}$ ima zgornjo mejo $\lambda F_\lambda<10^{-30} \text{ W/m}^2$
- galaksija B: pri $\lambda=500 \text{ nm}$ ima $\lambda F_\lambda=0.5 \times 10^{-30} \text{ W/m}^2$
pri $\lambda=100 \mu\text{m}$ ima $\lambda F_\lambda=10^{-28} \text{ W/m}^2$
- v optičnem območju je galaksija A 10-krat svetlejša od B,
vendar je galaksija B v FIR svetlejša od A za obe območji!
Najsvetlejša je galaksija B!

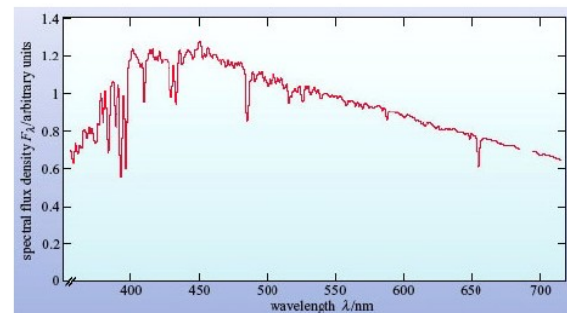
Aktivne galaksije (ponovitev)

AKTIVNE GALAKSIJE

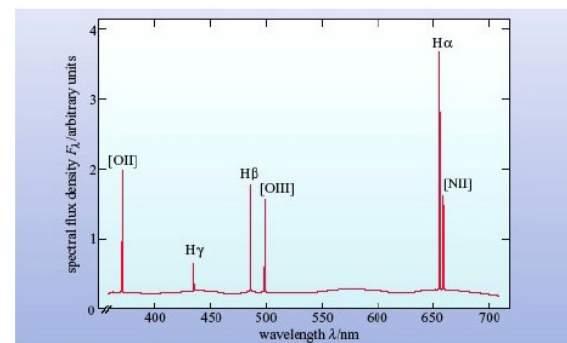
Spekter galaksije



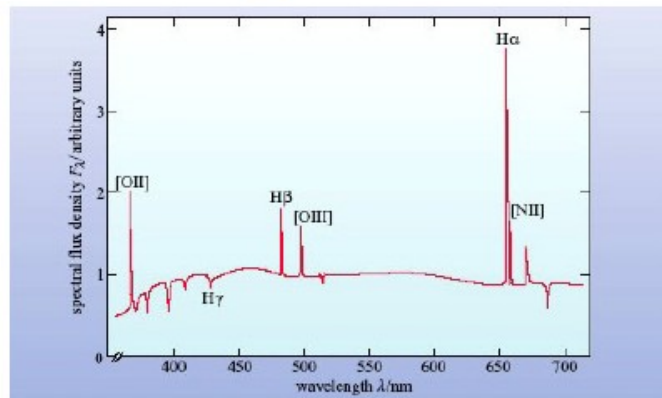
Spekter zvezde



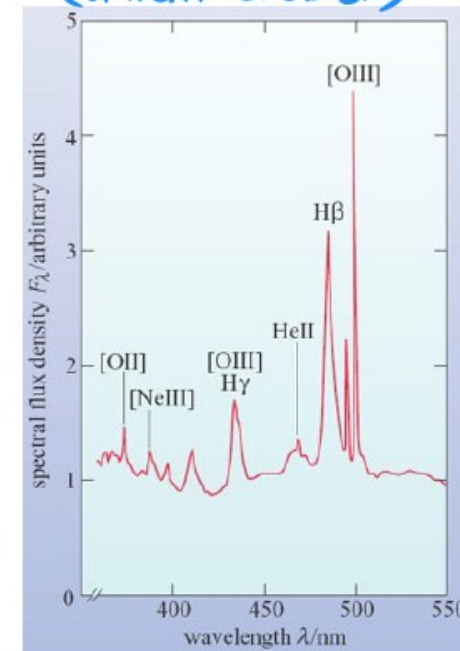
$=$ {
+ Spekter plina
+ dodatne HII
+ Spekter prahu
(v IR delu spektra)



GALAKSIJA Z MOČNIM NASTAJANJEM ZVEZD



AKTIVNA GALAKSIJA (OPTIČNI SPEKTER)



Dopplerjeva razširitev črt

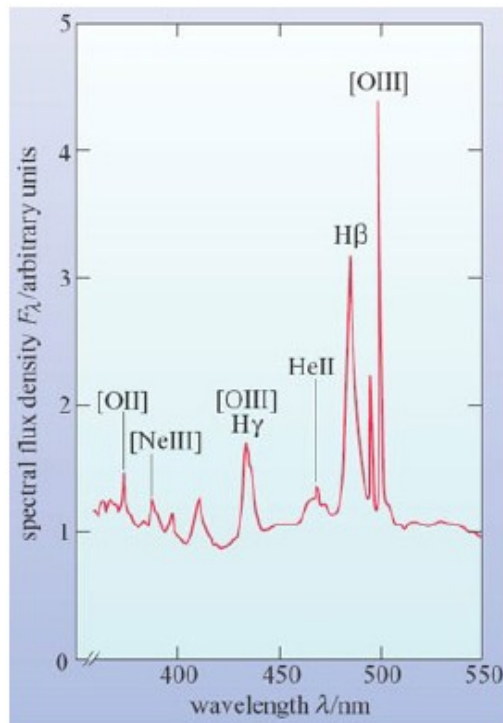
$$\frac{\Delta v}{c} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda}$$

- vroč plin (Boltzmann) $\Delta v \approx \left(\frac{2kT}{m}\right)^{1/2}$

- rotacija ↺ ↻
- kolaps ➞ ⤴
- širjenje (eksplozija) ↙ ↘ ↗ ↖
- kaotično gibanje

odvisnost
od elementar (mase!)

} gibanje plina
učinkuje enako
na vse črte



Aktivna galaksija

preporedane črte - ozke

vodikove črte - široke

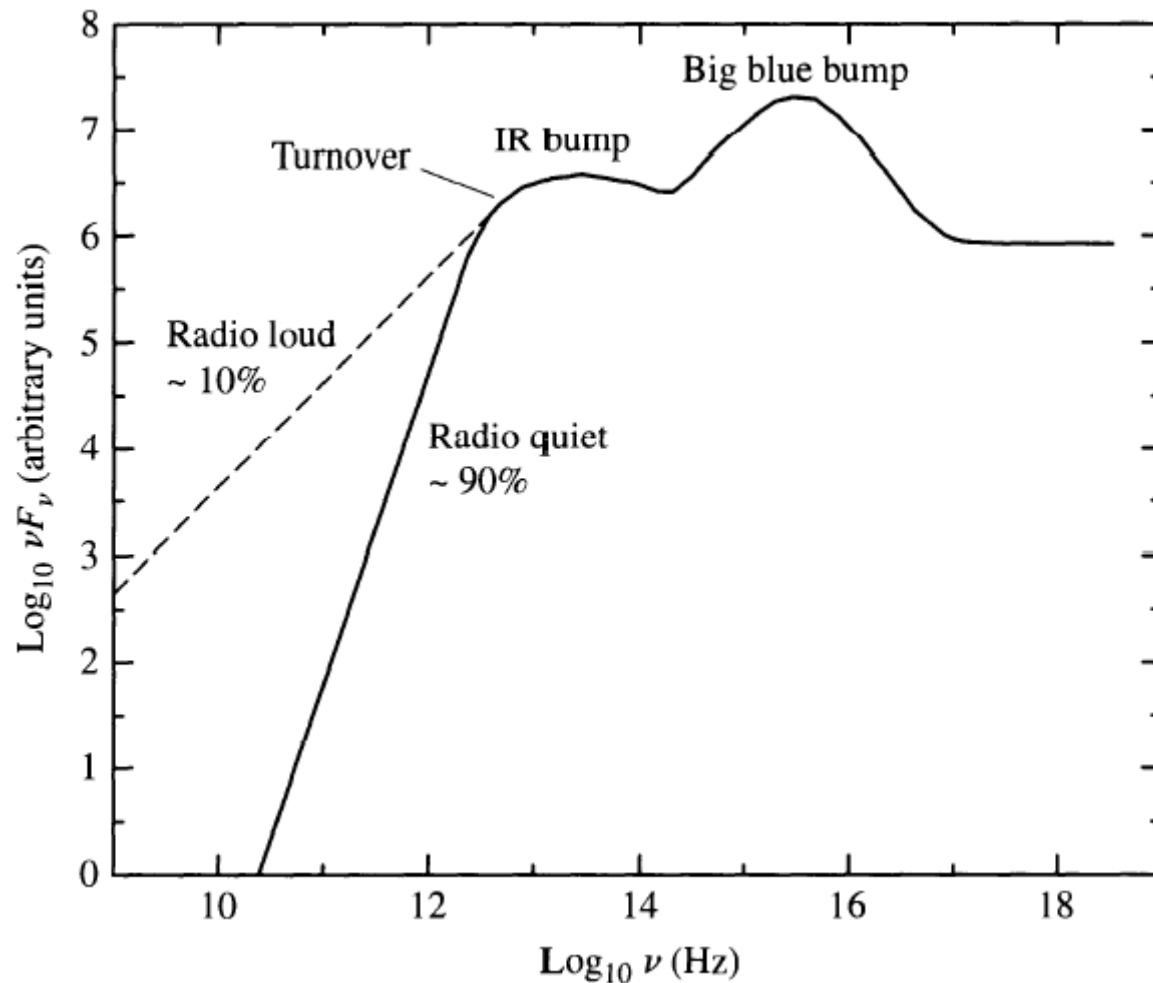
termična en: $T \sim 8 \cdot 10^8 \text{ K}$

kinetična en: $\Delta v \approx 3700 \text{ km/s}$

$$\Delta \lambda = 6 \text{ nm}$$

$$\lambda_{H\beta} = 486 \text{ nm}$$

SED aktivnih galaksij

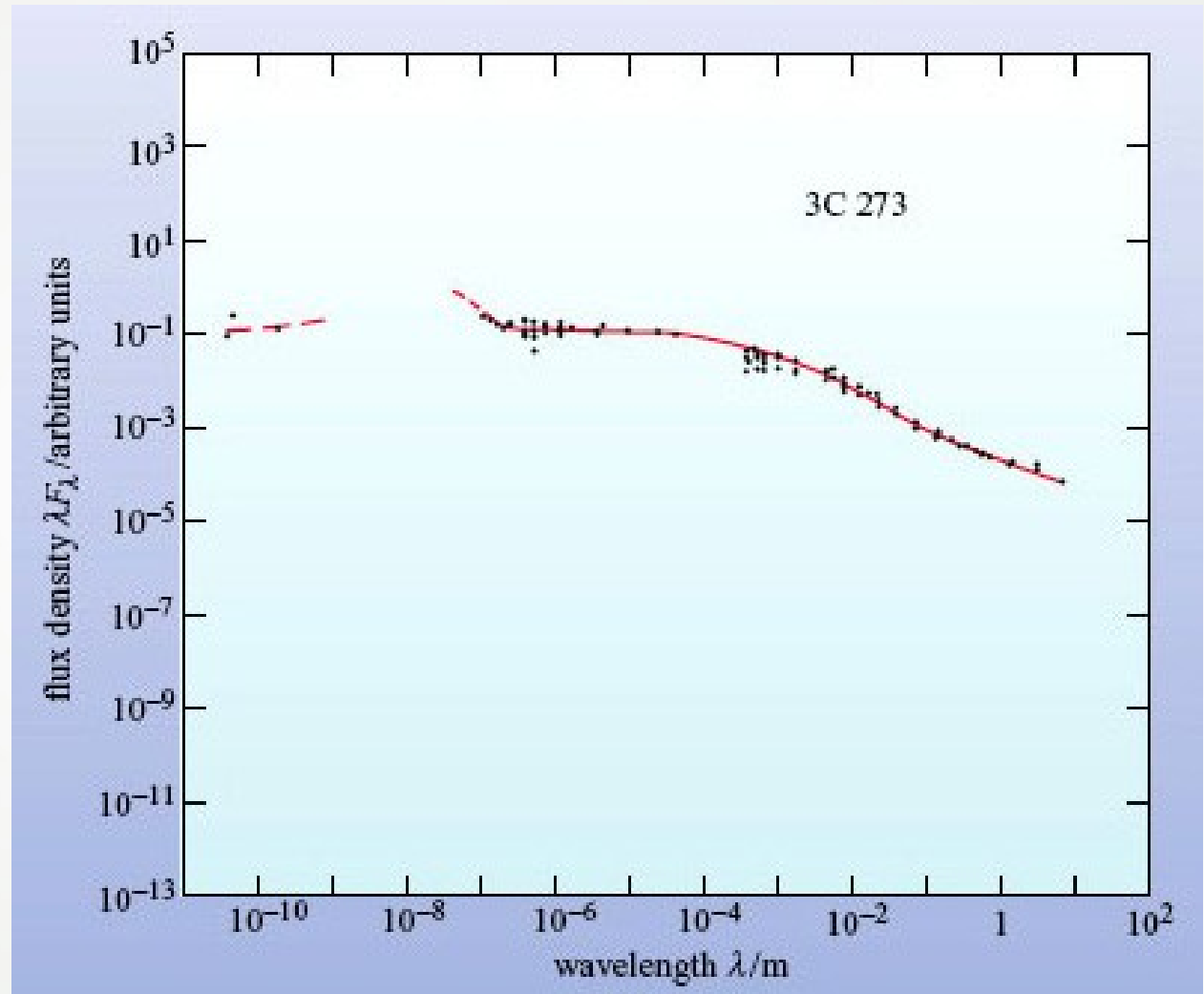


$$F_{\nu} \propto \nu^{-\alpha}$$

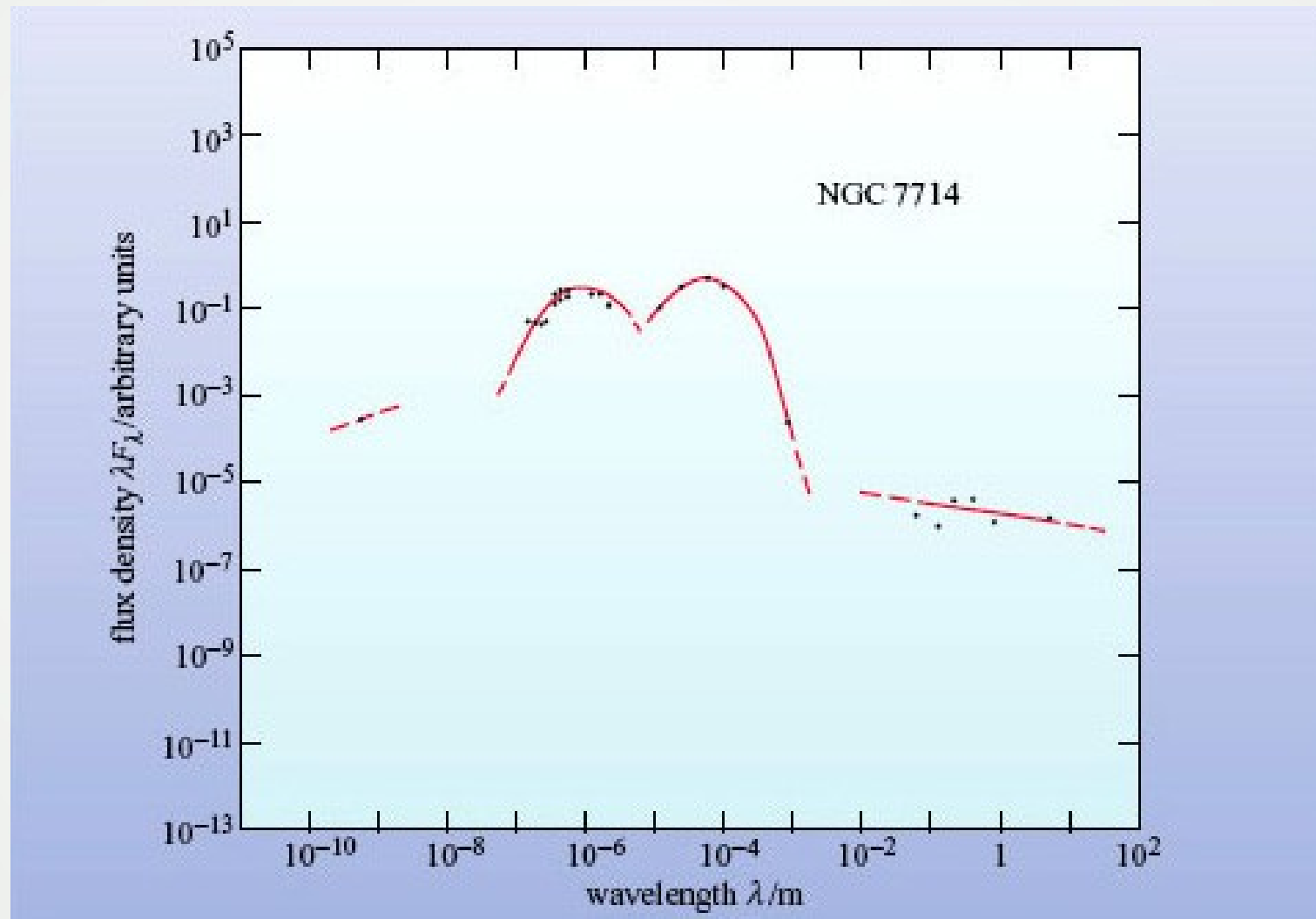
α - spektralni indeks

SED aktivne galaksije

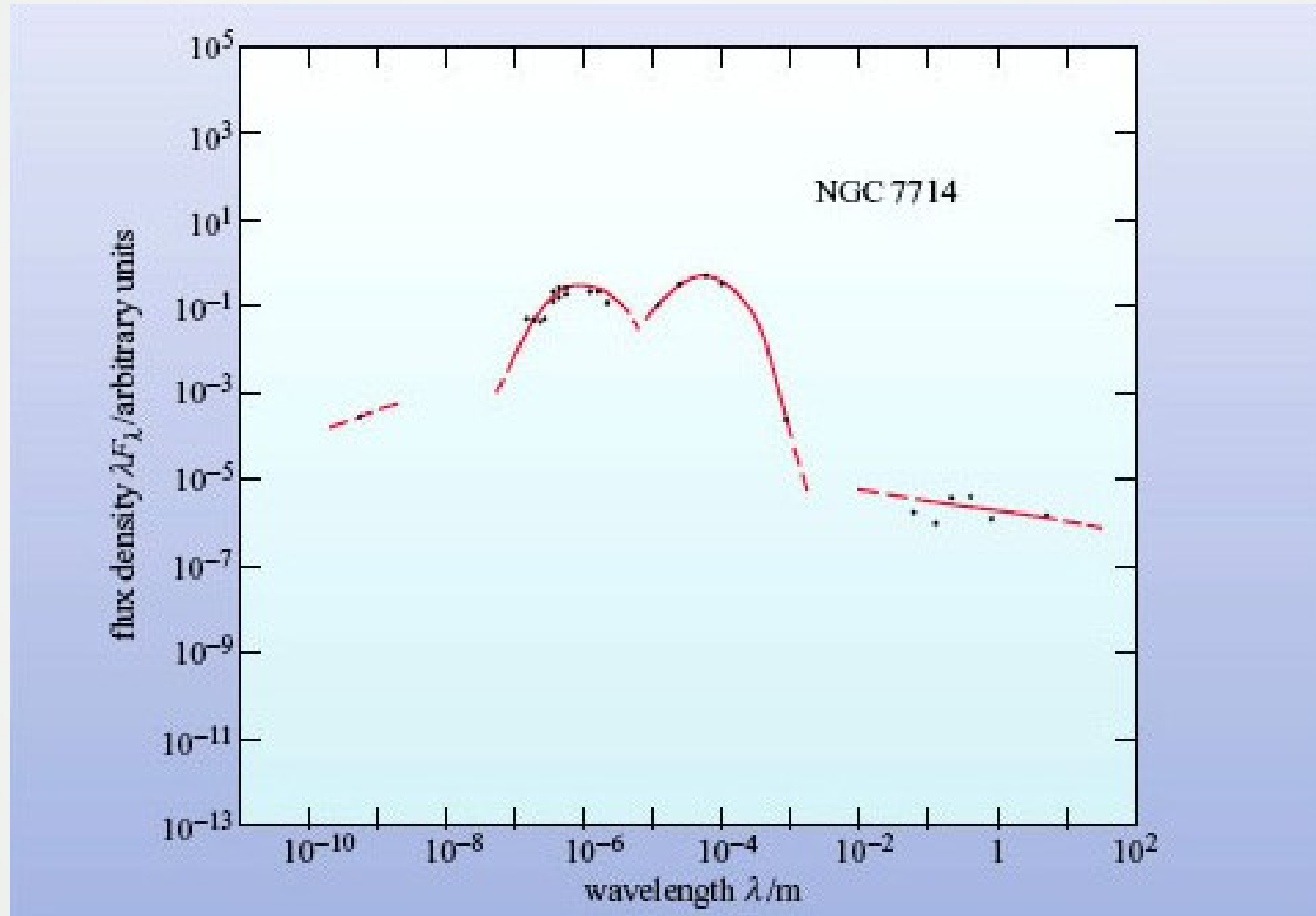
- spektralni presežek (spectral excess)
- več energije
- npr. big blue bump



kakšna galaksija je to?



kakšna galaksija je to?



starburst galaxy - galaksija z močnim nastajanjem zvezd

Aktivne galaksije

vrste aktivnih galaksij

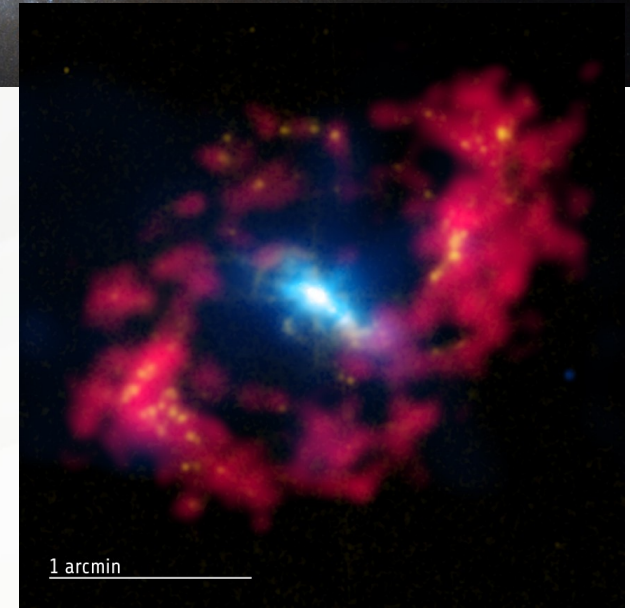
Viri: Jones, Lambourne (Chap. 3),
Schneider (Chap. 5), Carroll, Ostlie (Chap. 28)

Vrste aktivnih galaksij

- Seyfertove galaksije
- radijske galaksije
- blazarji
- kvazarji

Seyfertove galaksije

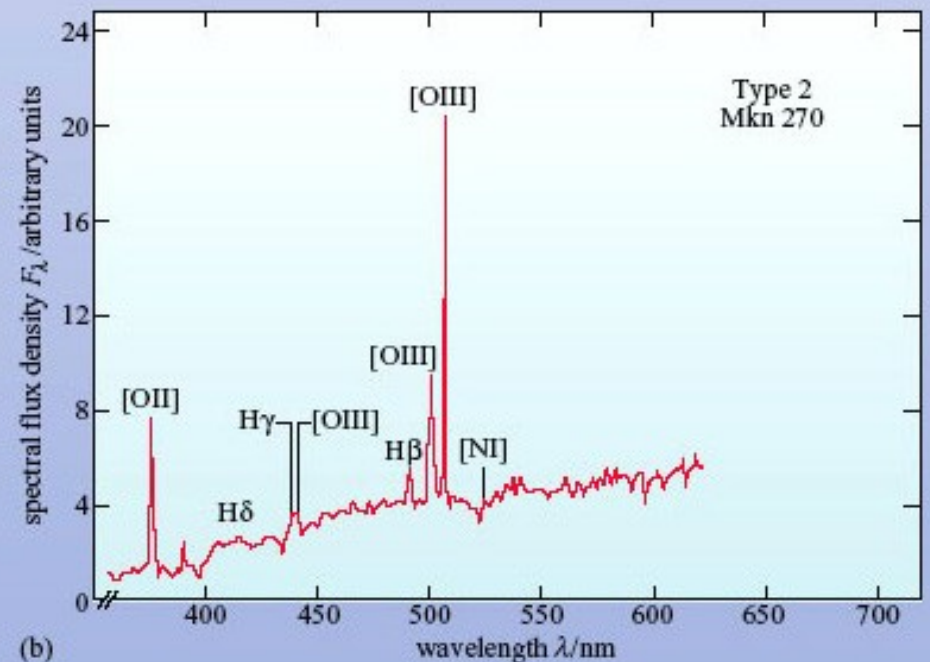
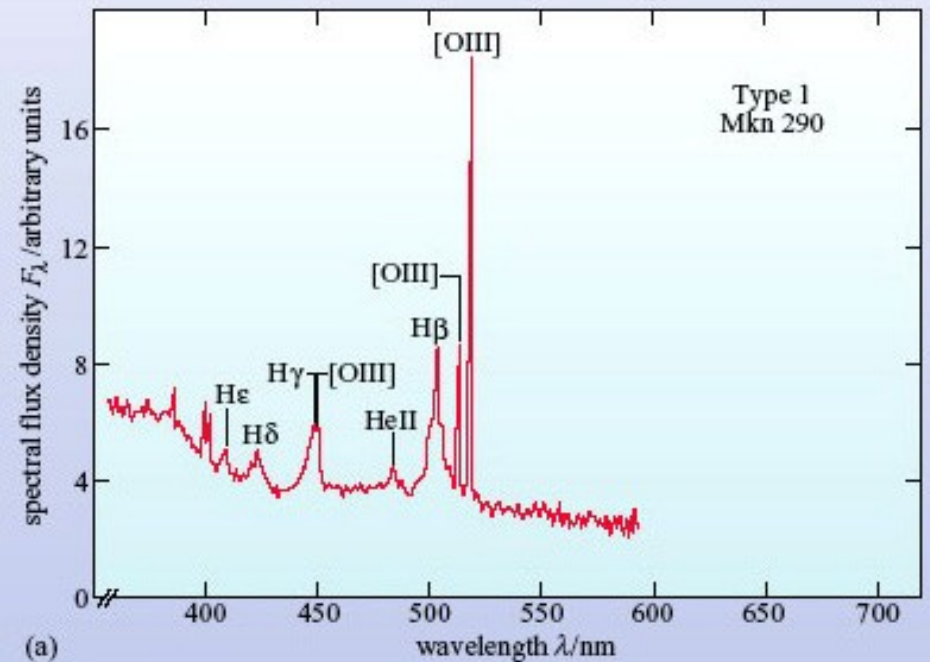
- ~1940 - Carl Seyfert
- izrazito svetlo jedro
- večina dovolj blizu, da jih prepoznamo
- spiralne galaksije, tudi v interakciji



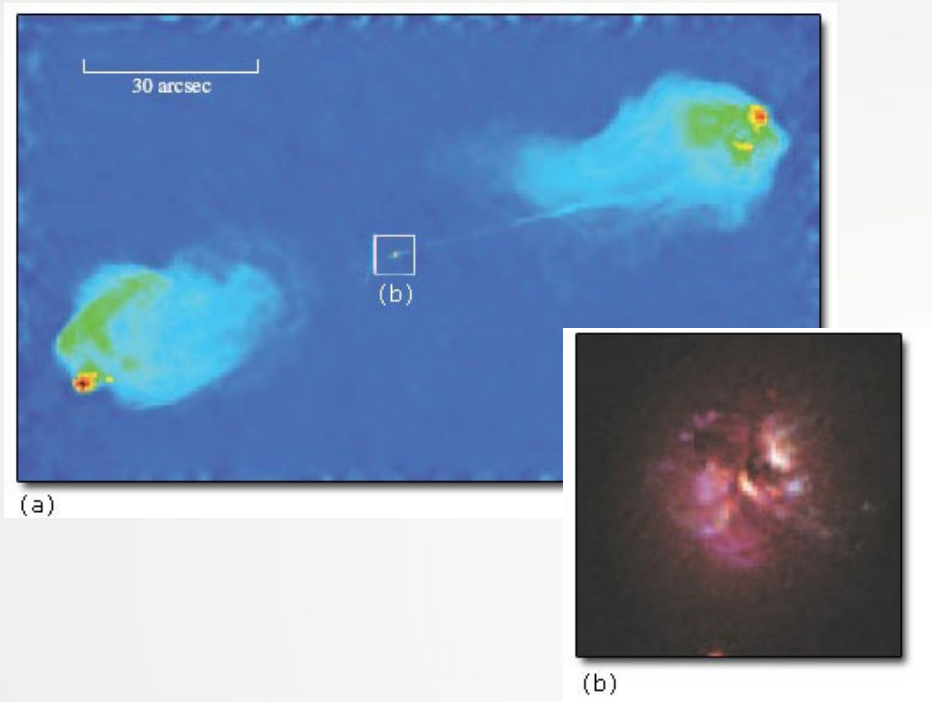
Seyfertove galaksije

Podvrste:

- tip 1
 - široke črte in ozke prepovedane črte
 - do 10000 km/s
 - več X sevanja
 - spreminjanje v času
- tip 2
 - samo ozke črte
 - ~400 km/s

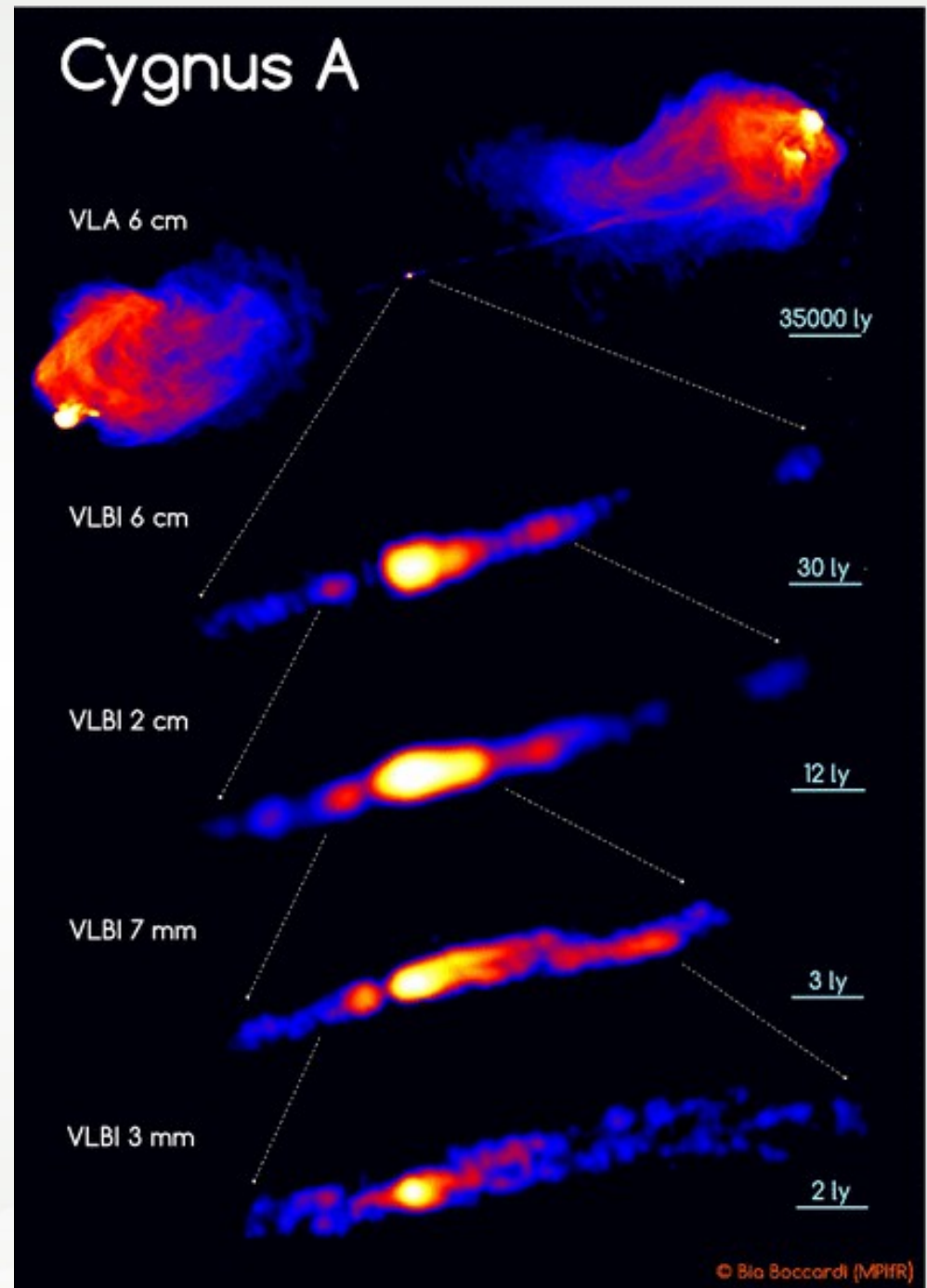


Radijske galaksije



“močna” radijska galaksija

- radijska emisija izven območja galaksije
- radijska ovala
- curki (ali curek)



The radio galaxy Cygnus A on scales from hundreds of kilo-parsecs imaged with the Very Large Array (Perley et al. 1984) to the sub-parsec probed with mm-VLBI (Boccardi et al. 2016a, b)

Primer: radijska galaksija Labod A

$$z \sim 0,057 \quad d = 170 \text{ Mpc}/h \text{ (oz } \underline{240 \text{ Mpc}})$$

$$F_{\nu_0} = 1,255 \cdot 10^{-23} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{Hz}} \quad (= 1255 \text{ Jy})$$

$$\nu_0 = 1400 \text{ MHz}$$

$$\alpha \approx 0,8$$

$$F_\nu = F_{\nu_0} \left(\frac{\nu}{\nu_0} \right)^{-\alpha}$$

$$\nu_2 = 3 \cdot 10^9 \text{ Hz} \quad (\lambda \approx 0,1 \text{ m})$$

$$\nu_1 = 10^7 \text{ Hz}$$

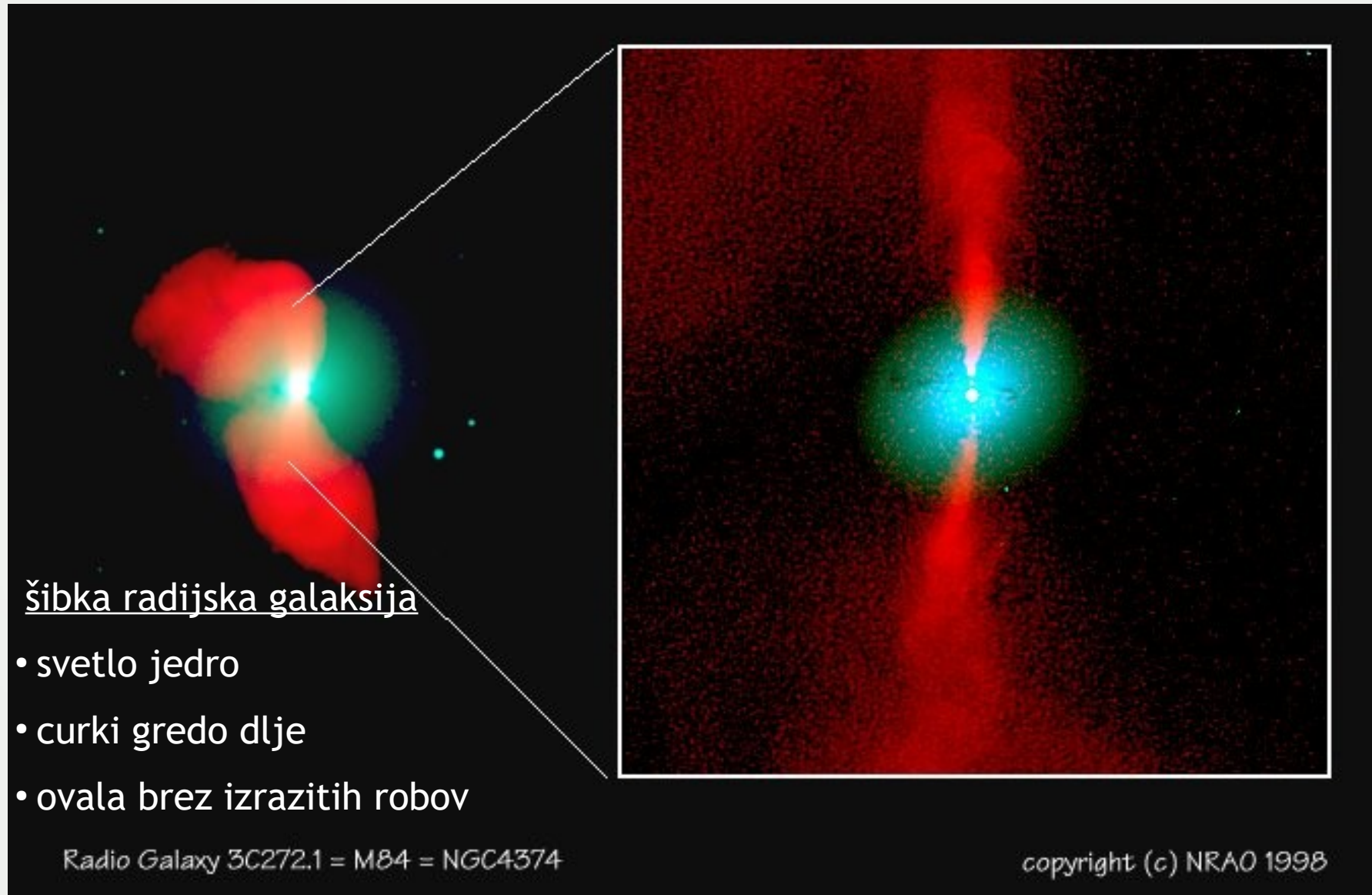
$$L_{\text{radio}} = 4\pi d^2 \int_{\nu_1}^{\nu_2} F_\nu d\nu = 4\pi d^2 F_{\nu_0} \int_{\nu_1}^{\nu_2} \left(\frac{\nu}{\nu_0} \right)^{-0,8} d\nu = \underline{4,8 \cdot 10^{37} \text{ W}}$$

$$L_{\text{radio}} = 3 \times L_{\text{Galaksije}}$$

Hubblara konstanta
 $H_0 = 100 \cdot h \cdot \text{km/s/Mpc}$
 $h = 0,7$ ← Hubble parameter

$$\int \frac{dj}{d\lambda} d\lambda = j \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2} 4\pi d^2$$

Radijske galaksije



Šibka radijska galaksija M84

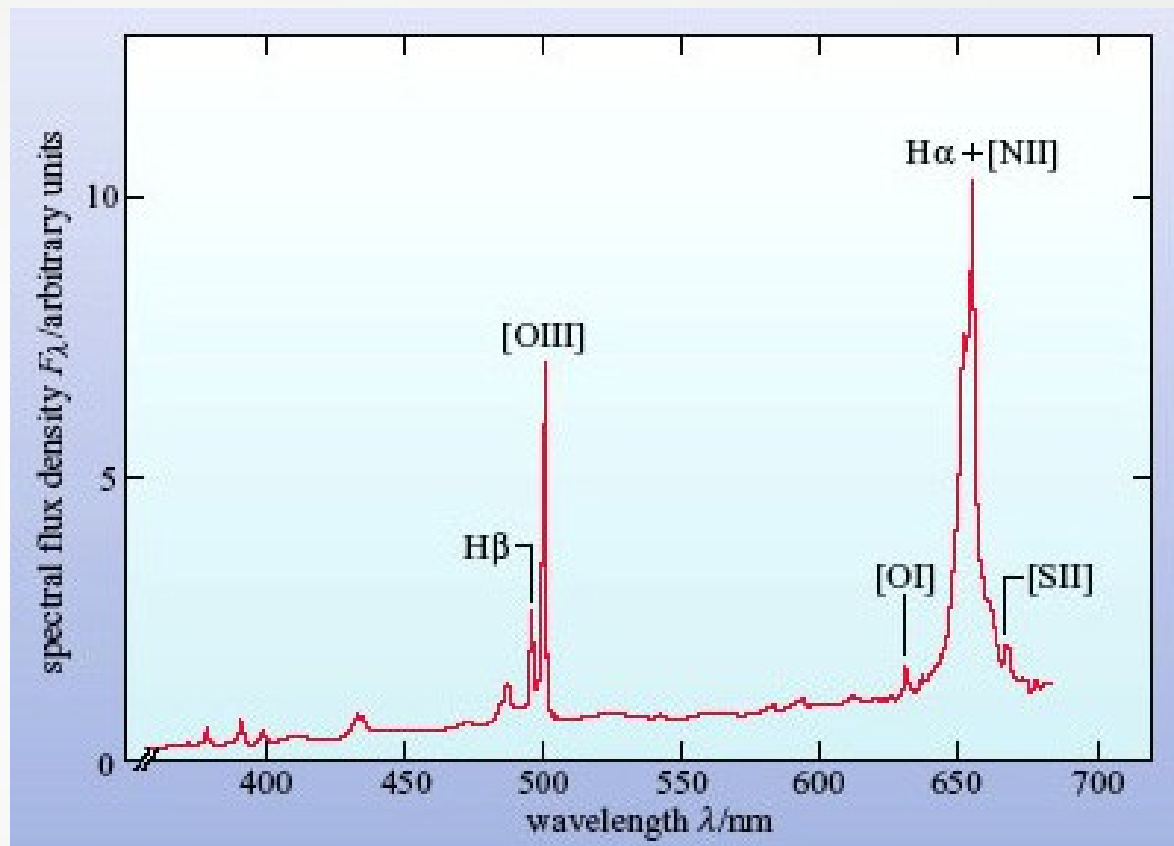
Radijske galaksije

jedro:

- emisijske črte
- širokopasovni spekter širši od navadne galaksije
- spreminjajoč sij

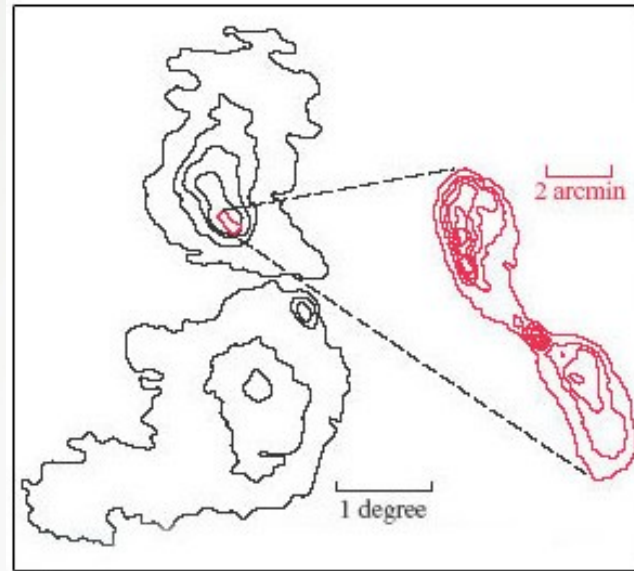
optični spekter:

- *broad-line* rad. gal.
- *narrow-line* rad. gal



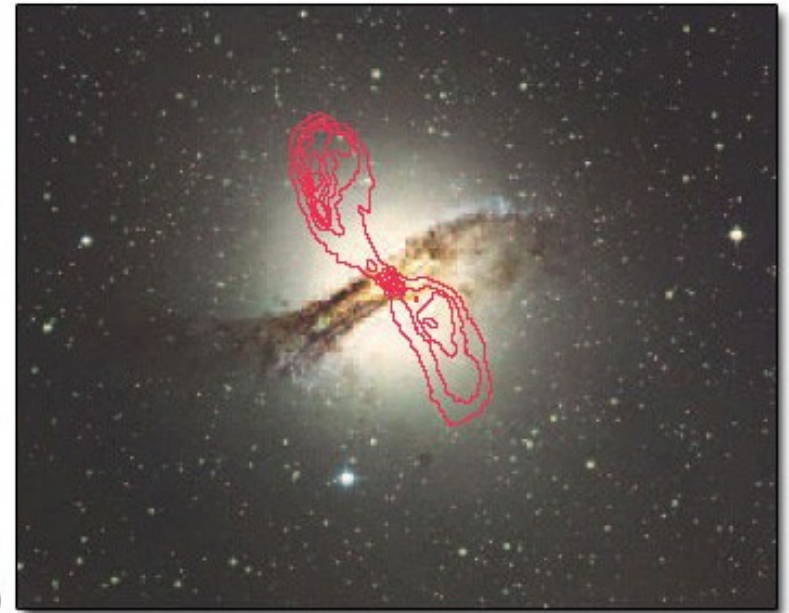
Radijska galaksija s širokimi črtami 3C 445

Radijske galaksije



(a)

(b)

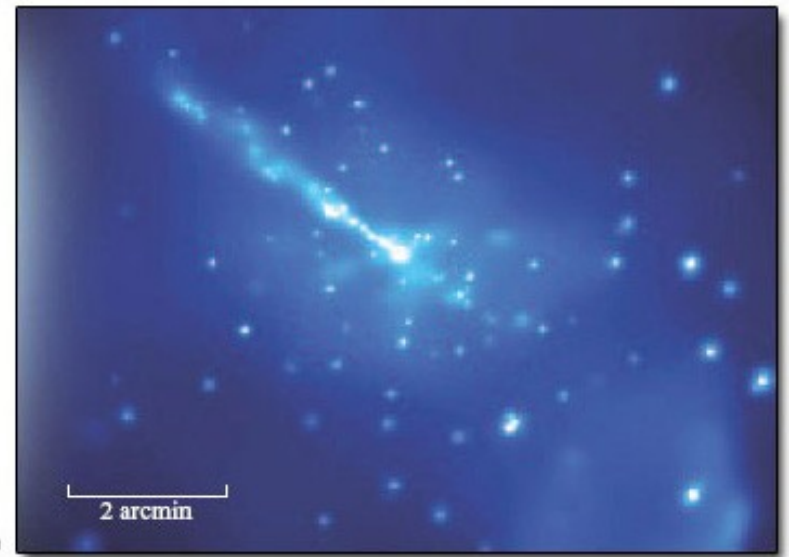


Kentaver A:

- a) ovali v razmiku 9 stopinj
- b) eliptična galaksija (v vidnem spektru) z notranjima radijskima ovaloma
- c) rentgenski posnetek curka in središča

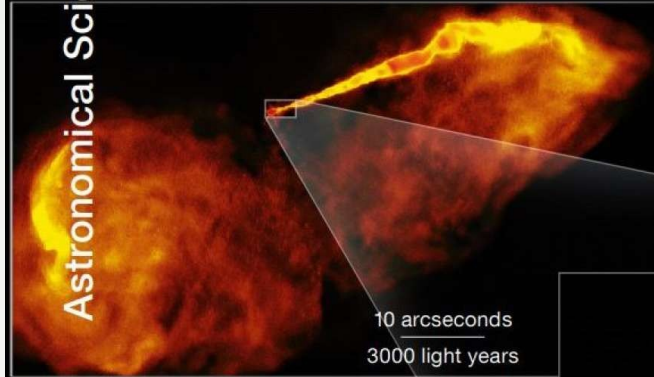
večina radijskih galaksij je eliptičnih

(c)



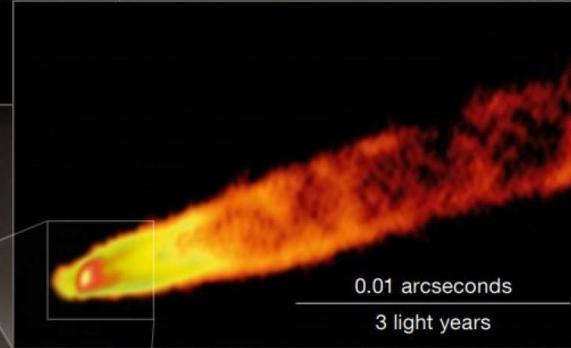
Astronomical Science

VLA – 1.5 GHz



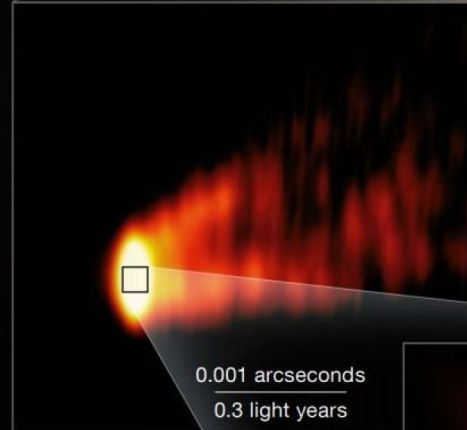
10 arcseconds
3000 light years

VLBA – 43 GHz



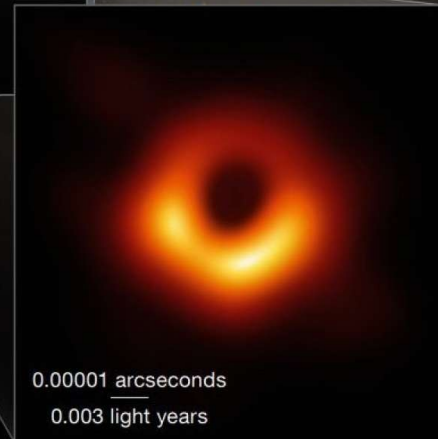
0.01 arcseconds
3 light years

GMVA – 86 GHz



0.001 arcseconds
0.3 light years

EHT – 230 GHz

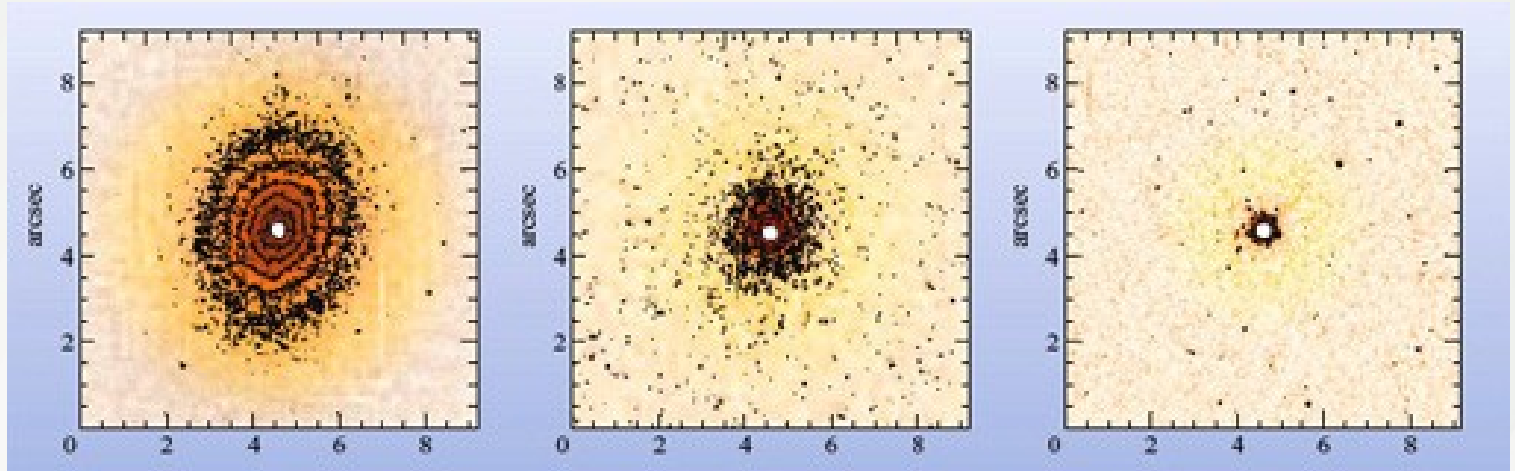


0.00001 arcseconds
0.003 light years

The centre of the giant elliptical galaxy M87 seen at spatial resolution scales spanning six orders of magnitude. The detailed structure of the relativistic jet is revealed by observations at different radio wavelengths using several interferometric facilities, zooming into the supermassive black hole imaged by the EHT collaboration.

EHT Collaboration/M. Kornmesser/ESO

Blazarji

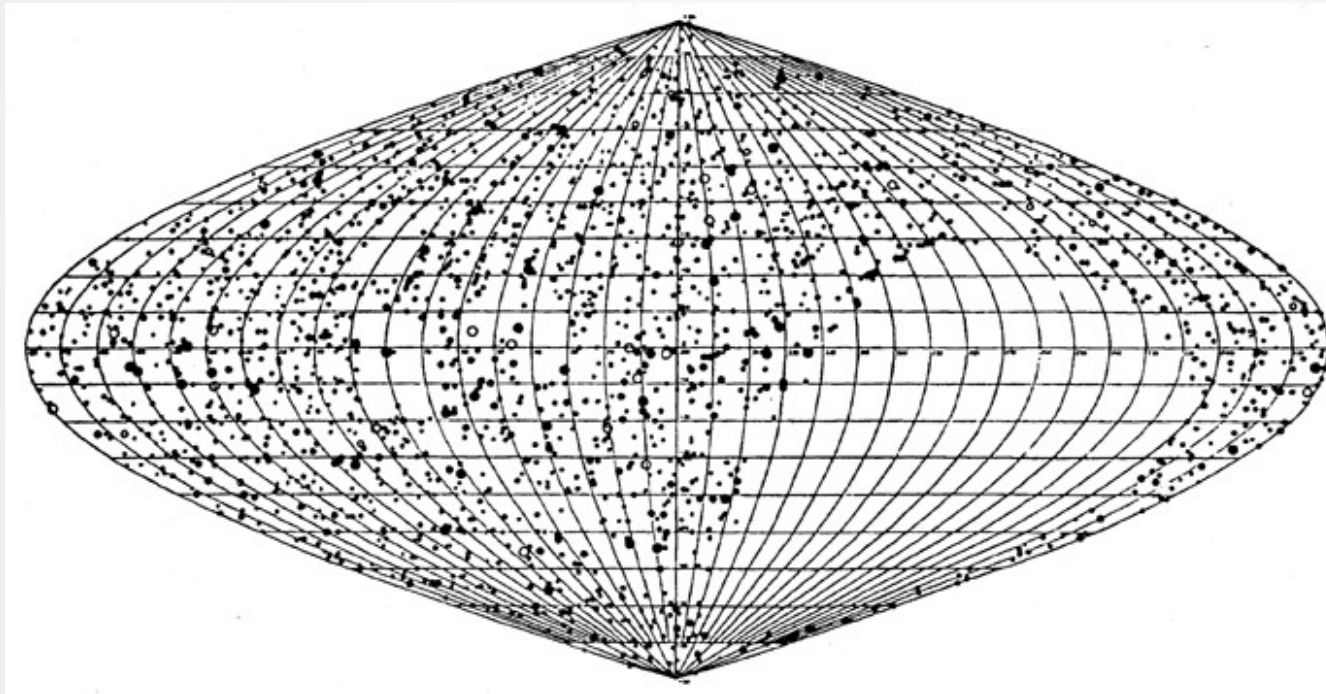


- hitra sprememba sija (~dni)
- podvrsti:
 - BL Lac
(ni emisijskih črt, relativno nizek z , pretežno eliptične)
 - OVV - *optically violent variables*
(svetli, široke emisijske črte, višji z)

Izofote okrog treh BL Lac objektov: (levo) vidne so izofote eliptične galaksije; (na sredi) izofote navadne eliptične galaksije; (desno) galaksija je pod resolucijo; jedro je prekrito.

Kvazarji

Začetki radijske astronomije



Martin Ryle, 1968

Avtorstvo slike: John T Scott,
AIP Emilio Segrè Visual Archives,
Physics Today Collection

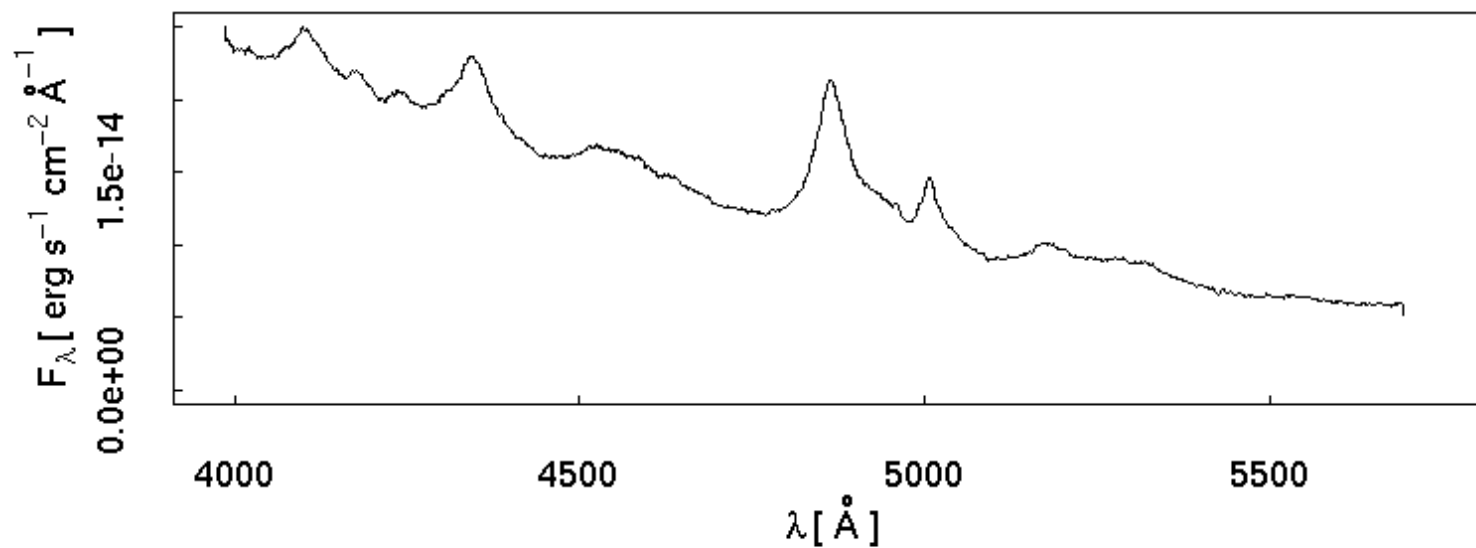
Radijski izvori na nebu, katalog 2C (Cambridge Interferometer, Anglija)

Kvazarji



Maarten Schmidt

(Slika James McClanahan, E&S magazine, May 1965)

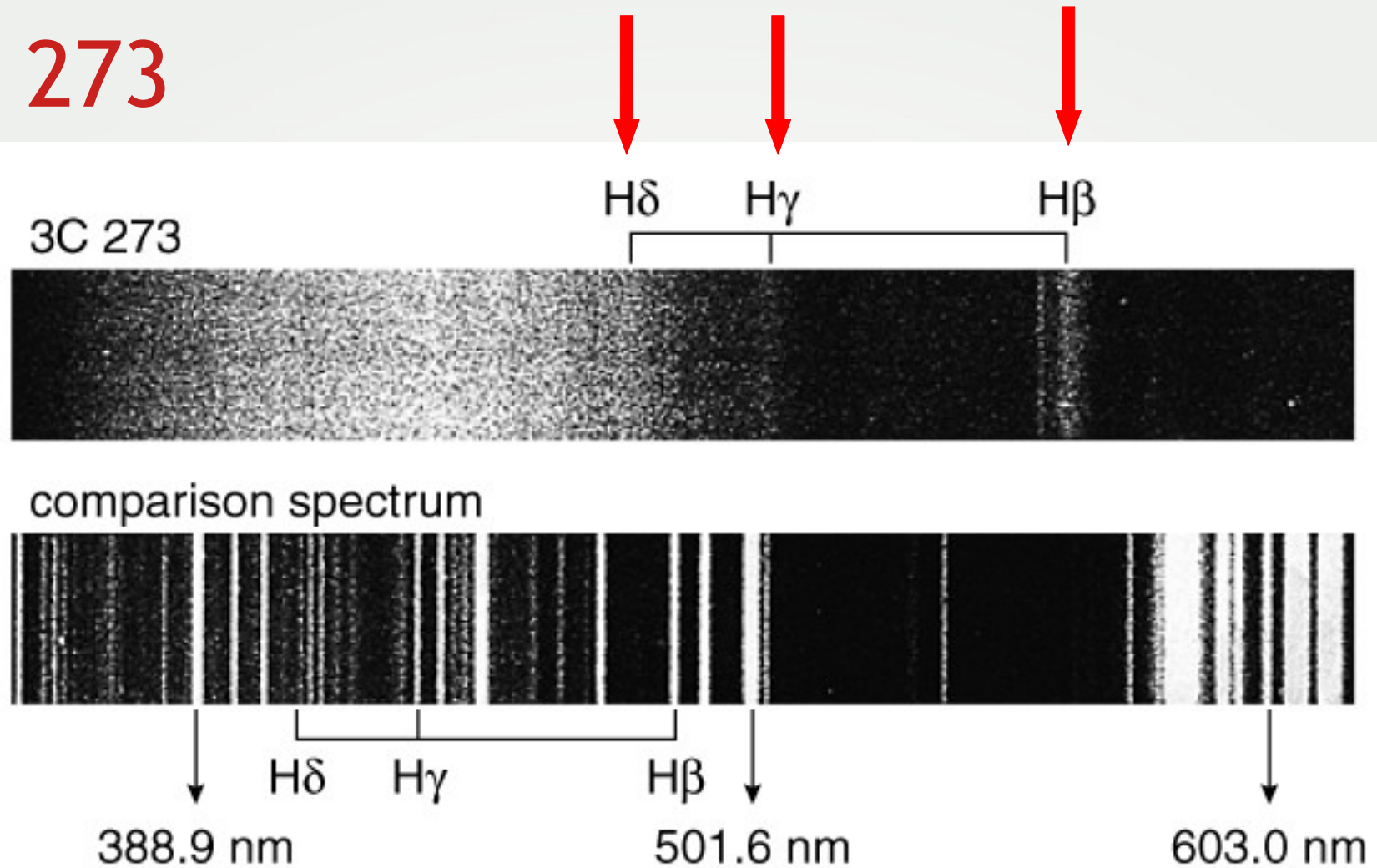


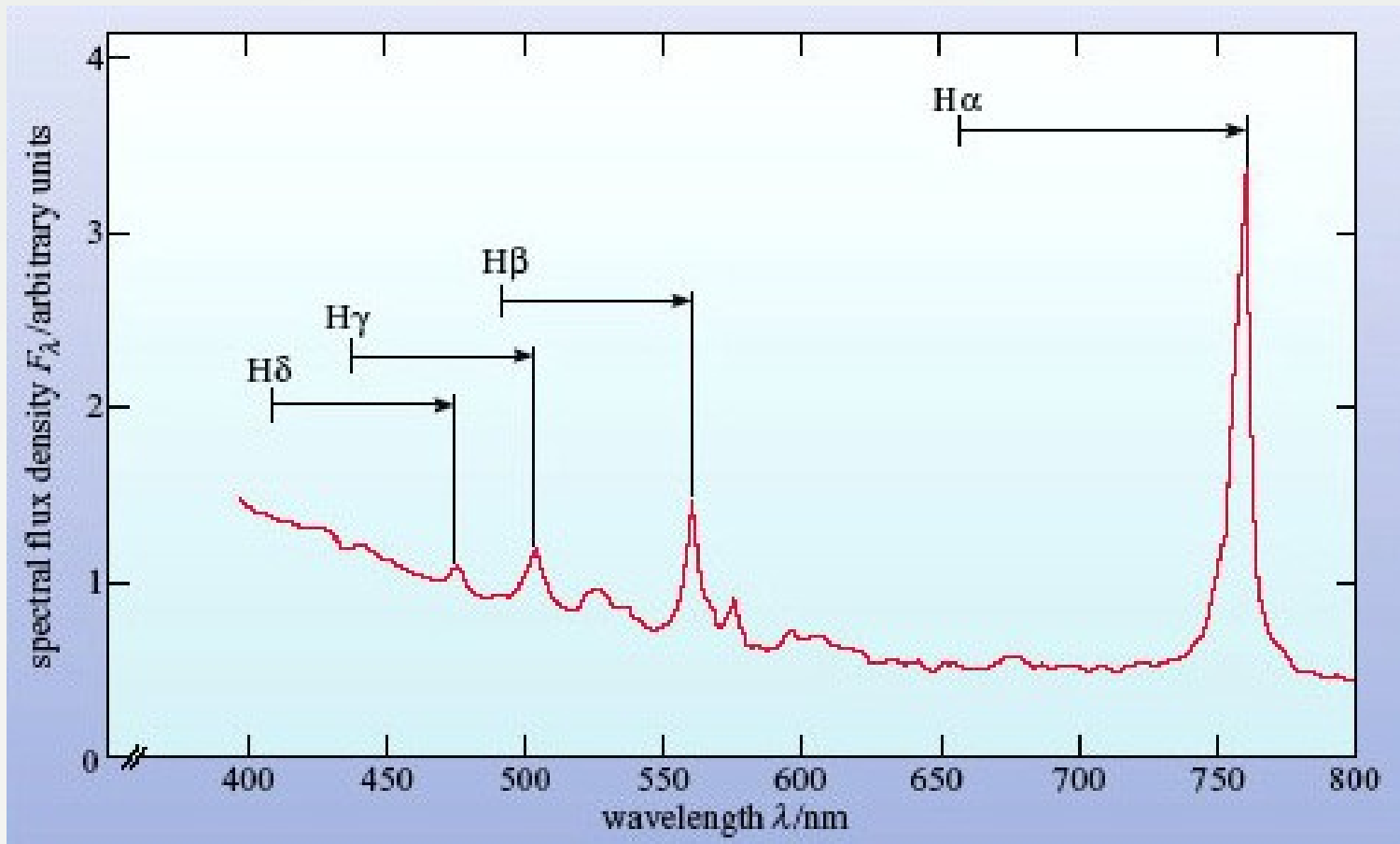
Eksotičen objekt
v naši Galaksiji?

Kaj pa če gre za
izredno oddaljen
objekt?



3C 273





Uporabi zgornji optični spekter prvega odkritega kvazarja 3C 273 in izračunaj:

- na kolikšnem rdečem premiku se nahaja kvazar?
- kolikšni hitrosti širjenja vesolja (oddaljevanja) ustreza?

KVAZARJI (izračun)

$$\lambda_{H\beta} = 485 \text{ nm}$$

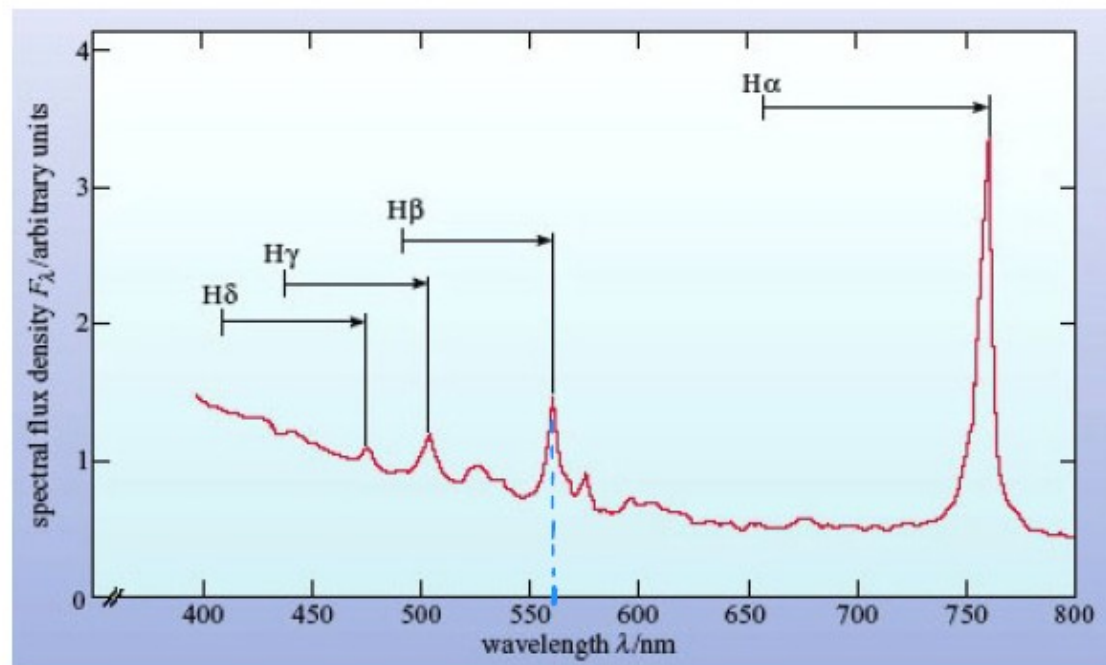
$$\lambda \approx 560 \text{ nm} \quad (\text{spekter})$$

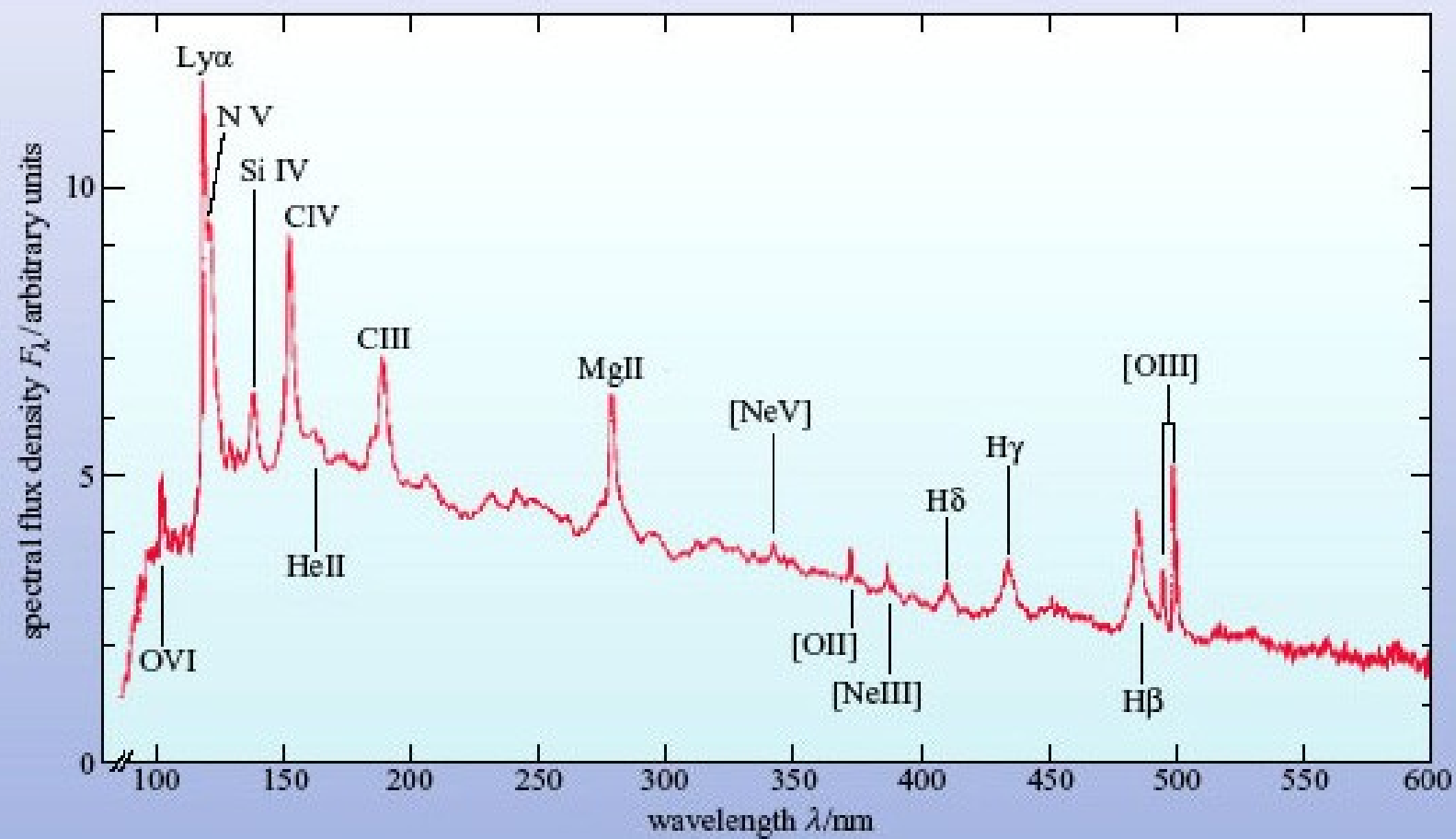
$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{560 - 485}{485} = 0,15$$

$$v = zc = 0,15 \cdot c = 45000 \text{ km/s}$$

$$zc = H_0 d \rightarrow d = \frac{v}{H_0} = 642 \text{ Mpc}$$

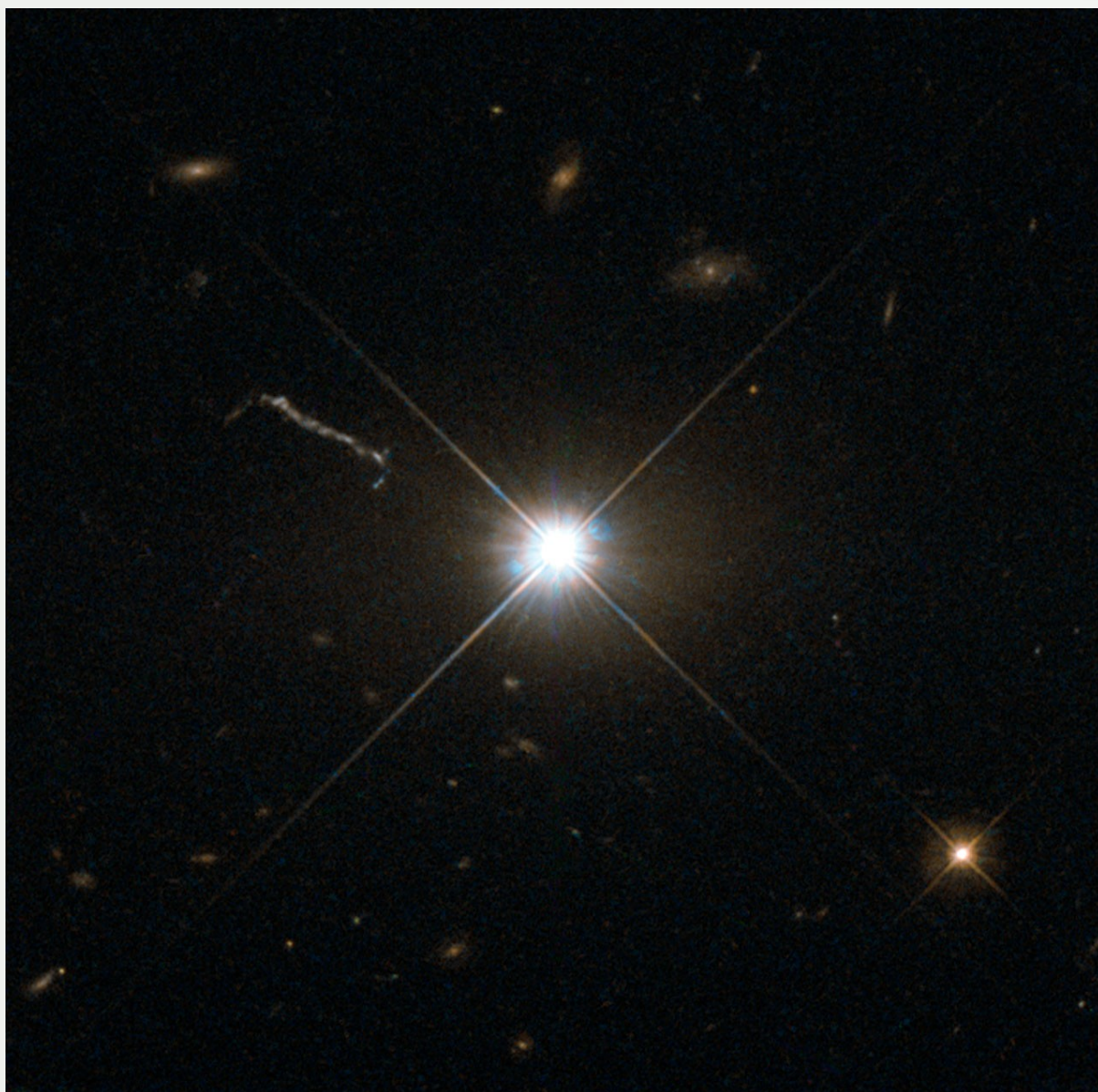
($H_0 = 70 \text{ km/s/Mpc}$)





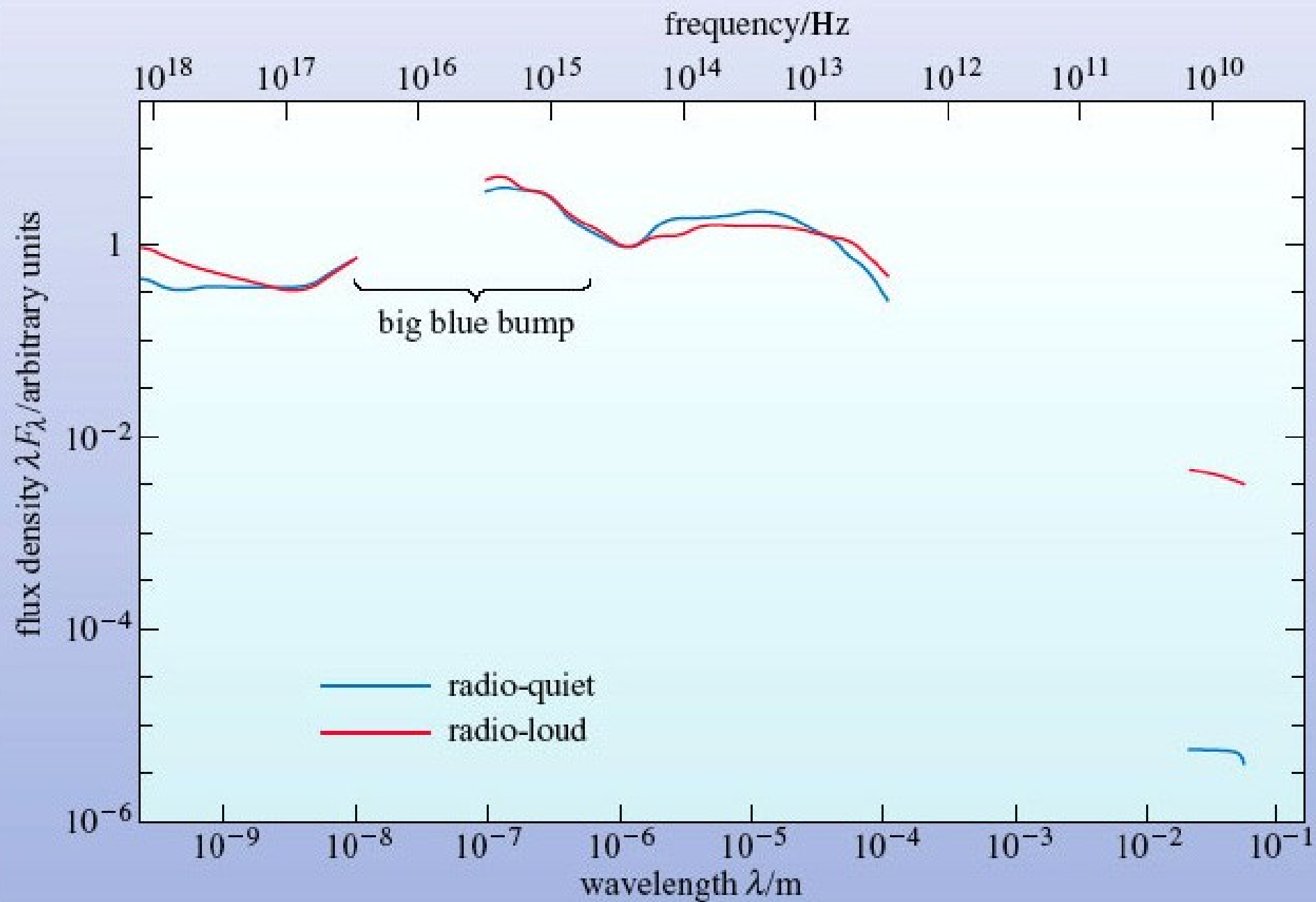
Povprečni spekter 700 kvazarjev

Kvazarji



- zgledajo kot zvezde
quasi stellar radio source (QSR)
ali quasi stellar object (QSO)
= quasar (*kvazar*)
- visok rdeči premik
(pretežno vodikove črte)
- presežek v IR
- delitev:
 - glasni radijski izvori
(*radio loud*)
 - tihi radijski izvori
(*radio quiet*)
- sprememba sija ~dan/mesec
- prisotnost curka

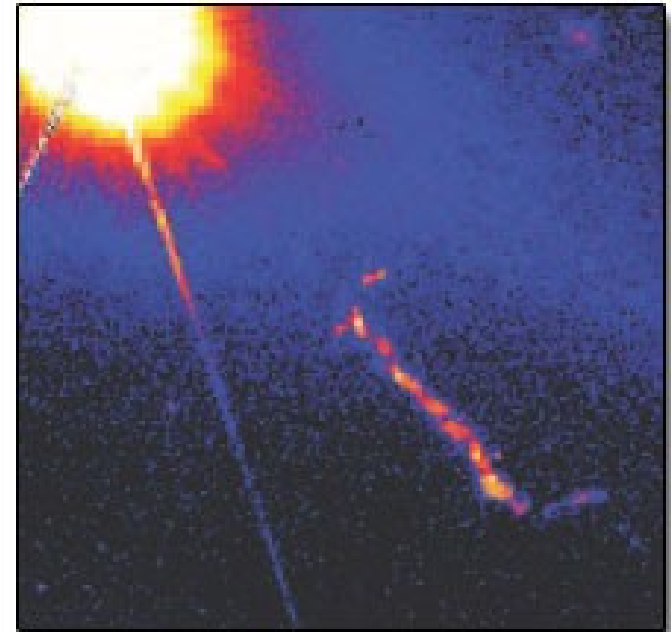
glej naslednji
graf!



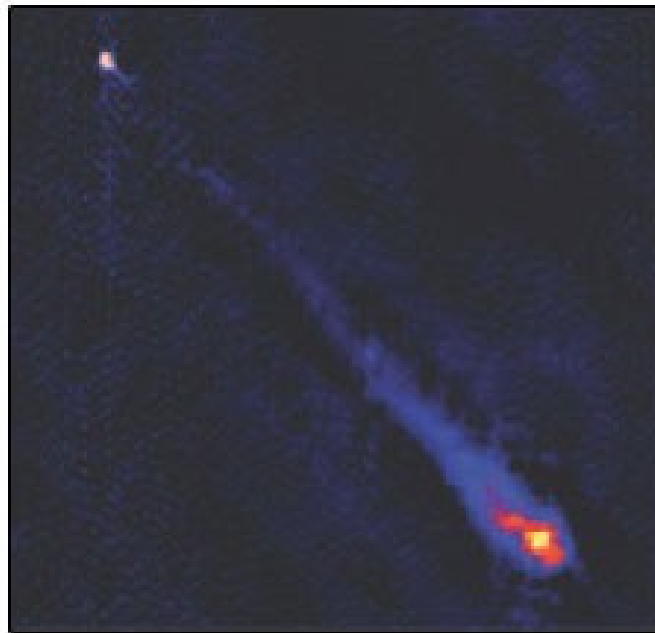
curki
(*jets*)



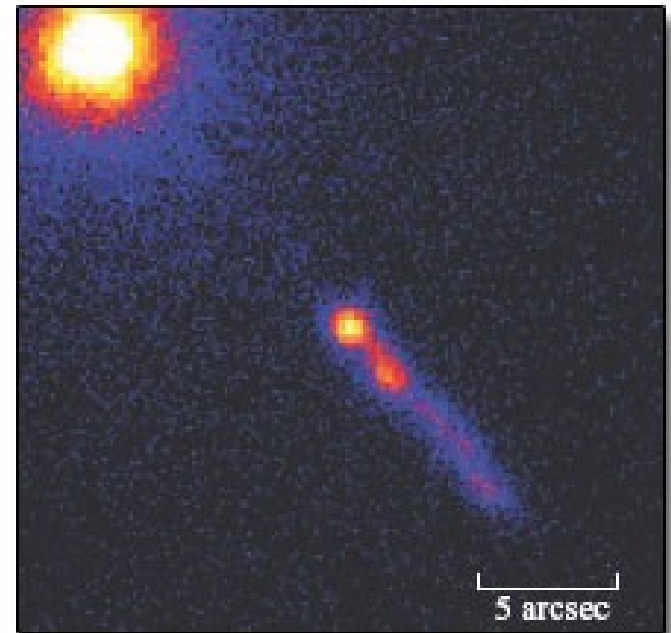
(a)



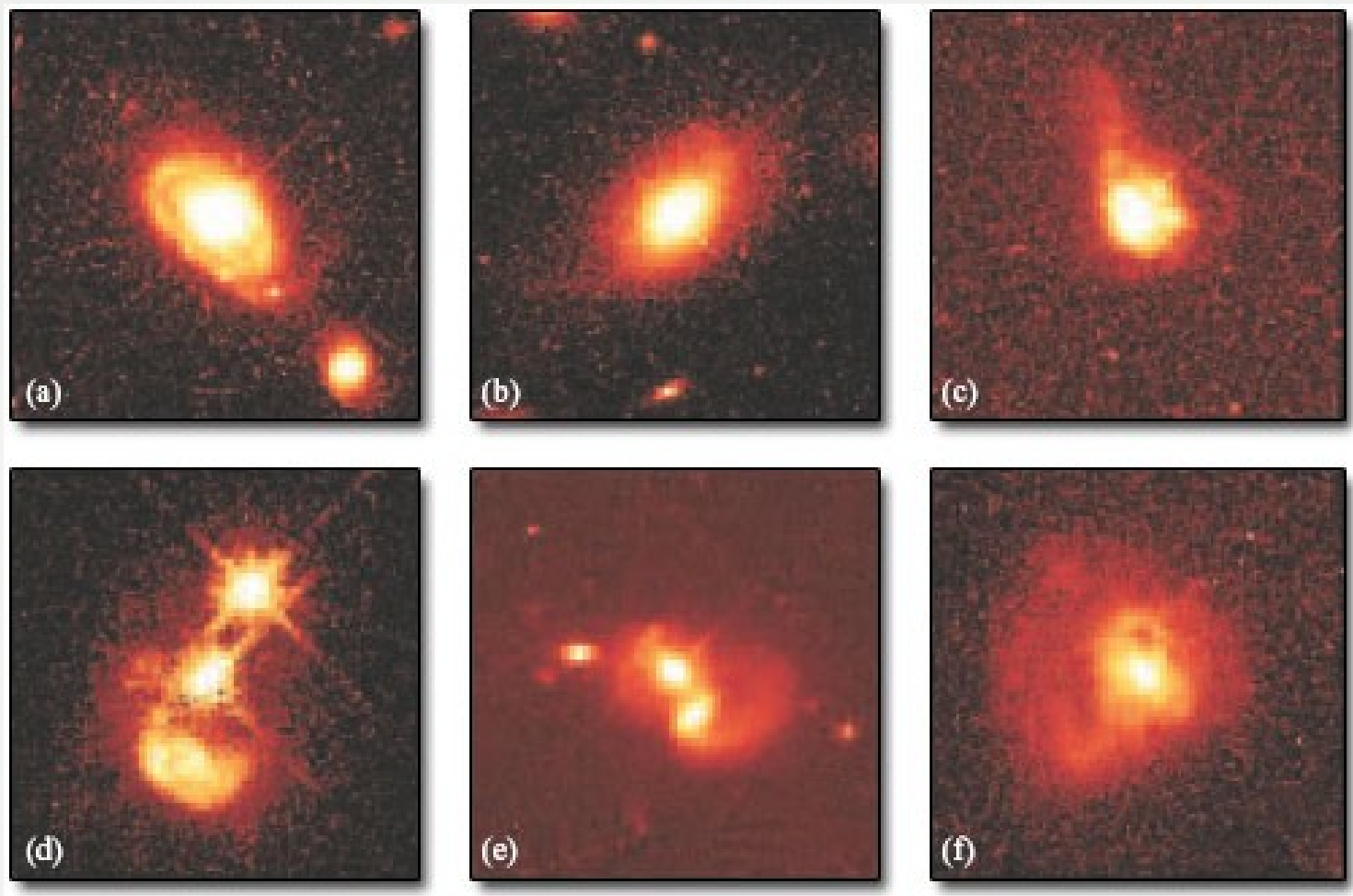
(b)



(c)



(d)



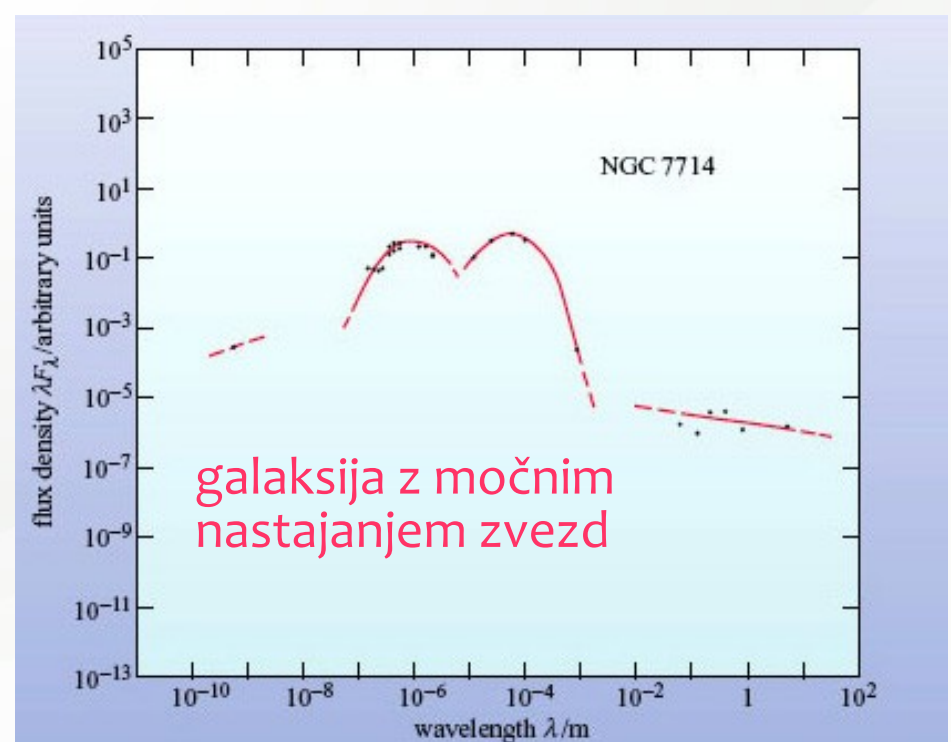
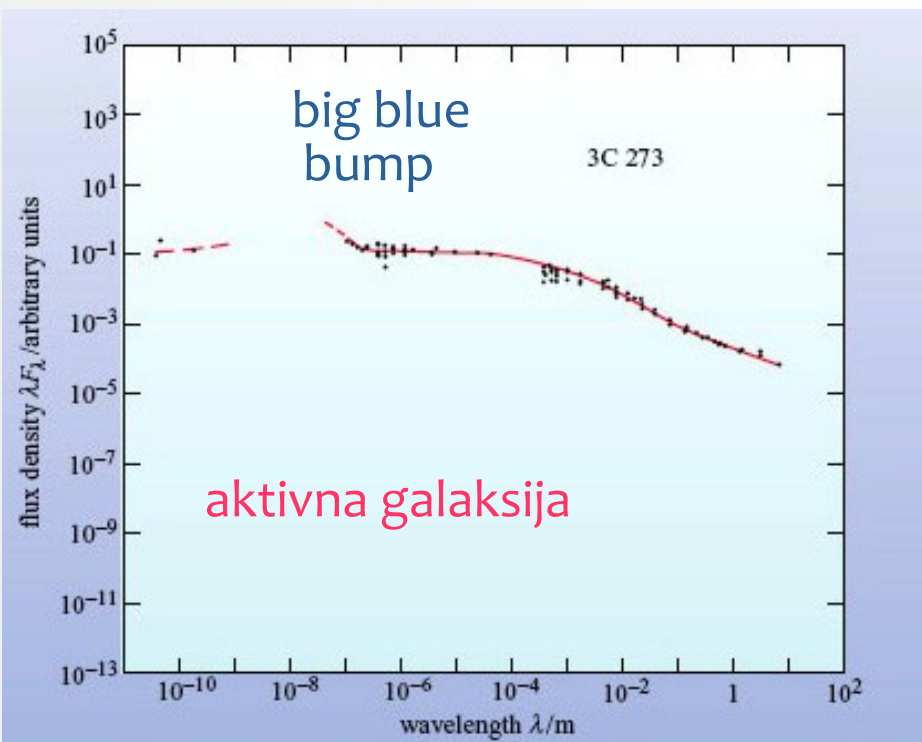
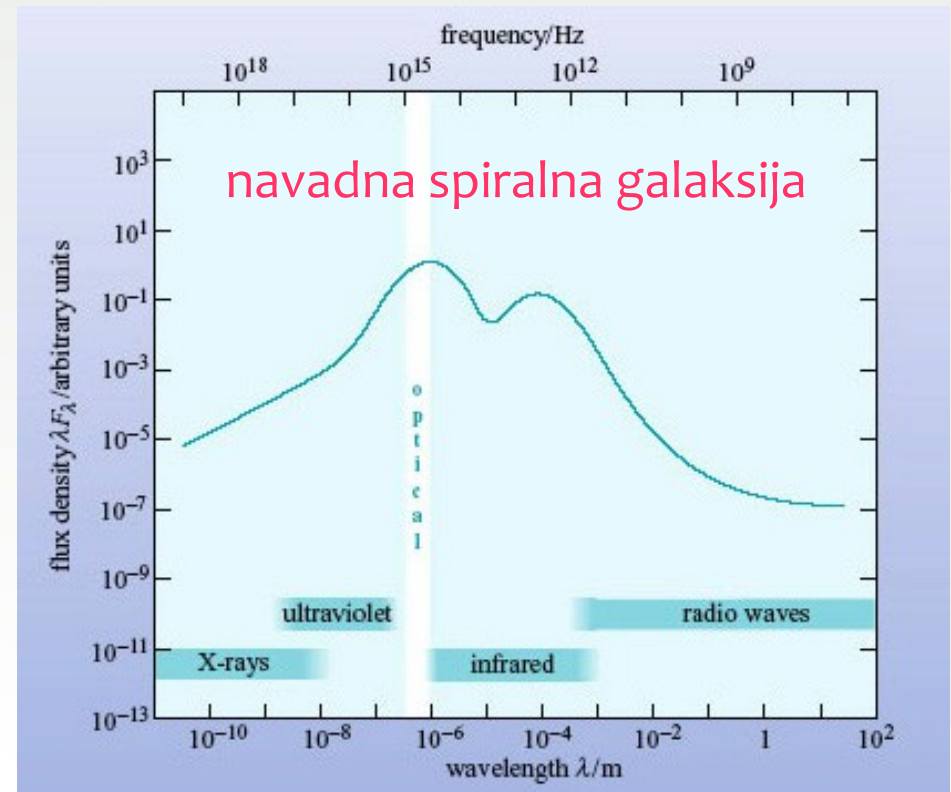
Zaradi oddaljenosti kvazarjev težko raziskujejo matične galaksije, vendar po pogostosti opazijo:

- *radio loud*: eliptične in galaksije v interakciji
- *radio quiet*: eliptične in spiralne galaksije

kvazarji so najsvetlejši izmed aktivnih galaksij

Povzetek

- λF_λ – log-log prikaz za širokopasovni spekter (SED)
- presežek:
 - big blue bump
 - FIR presežek



Vrste galaksij

- **Seyfertove galaksije:**

- spiralne s svetlim, točkastim jedrom, ki se mu izsev spreminja
- presežek v daljnem infrardečem območju (pa tudi drugih območjih)
- izrazite široke emisijske črte (broad emission lines)

- **kvazarji:**

- podobni zelo oddaljenim Seyfertovim gal.
- izjemno svetlo jedro, s spreminjajočim se izsevom
- 10% kvazarjev: močni radijski izvor (curki snovi s hitrostjo svetlobe)

- **radijske galaksije:**

- giant radio lobes zaradi prisotnosti enega ali dveh curkov
- kompaktno jedro (kot v primeru Seyfertovih gal.), spreminjajoče
- emisijske črte so lahko široke ali ozke

- **blazarji:**

- konstanten spekter na širokem območju
- emisijske črte (če prisotne) so široke in manj izrazite
- spreminjajoče na zelo hitrih časovnih skalah

Vse aktivne galaksije imajo kompaktno in energetsko jedro -
AGJ (aktivno galaktično jedro)

Aktivne galaksije

Navadne

Seyfertove gal.

kvazarji

radijske gal.

blazarji

Lastnosti

Ozke emisijske črte	šibke	ja	ja	ja	ne
Široke emisijske črte	ne	včasih	ja	včasih	včasih
Rentgensko sevanje	šibko	včasih	včasih	včasih	ja
UV sevanje	ne	včasih	ja	včasih	ja
FIR presežek	ne	ja	ja	ja	ne
Močna radijska emisija	ne	ne	včasih	ja	včasih
Curki in ovali	ne	ne	včasih	ja	ne
Spremenljivost	ne	ja	ja	ja	ja

skupno: velik izsev iz jedra in spremenljivost