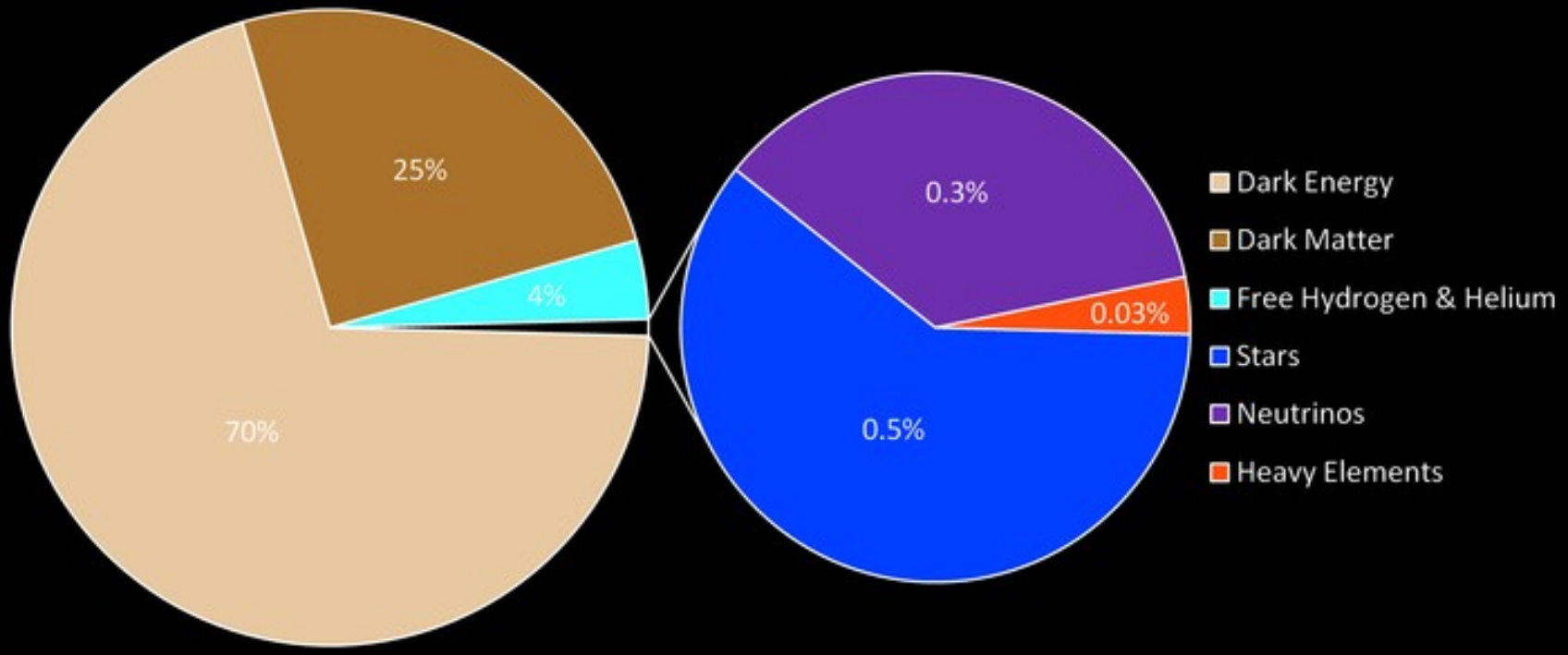
Universums struktur i tid och rum

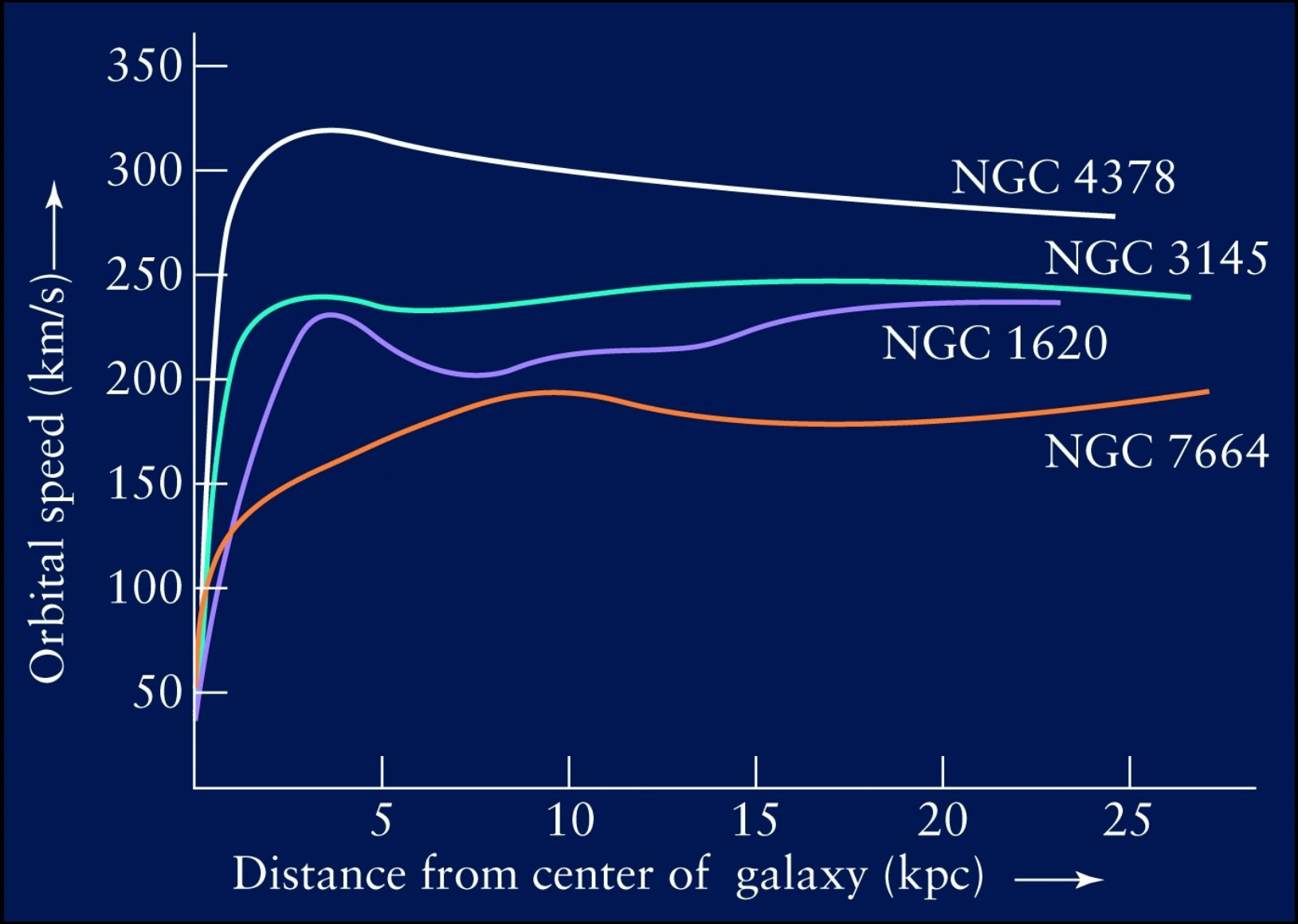
- Vad är mörk materia ?
- Aktiva galaxer, kvasarer och andra exotiska objekt
- Hur bildades universum?

Majoriteten av universums massa är oupptäckt!

Energi och materia fördelning

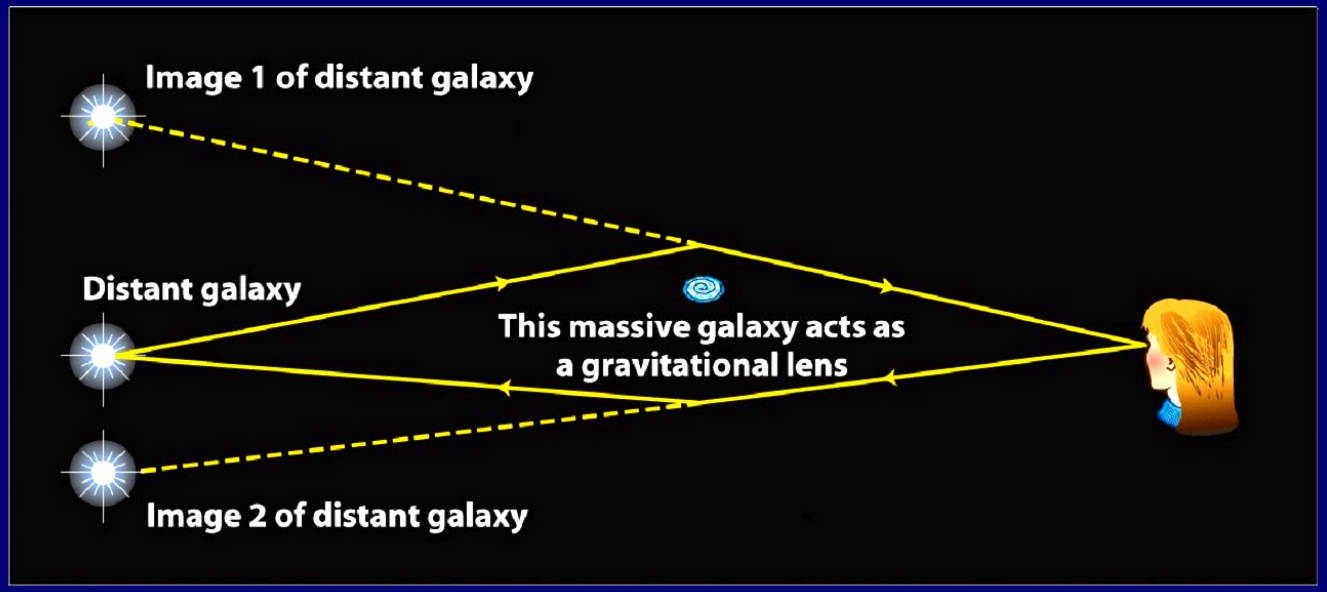


Galaxers rotationskurva

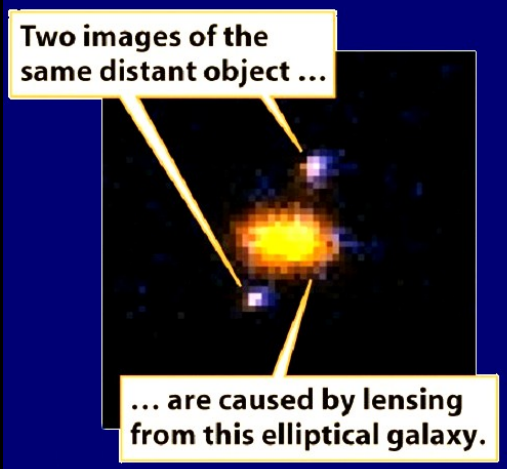


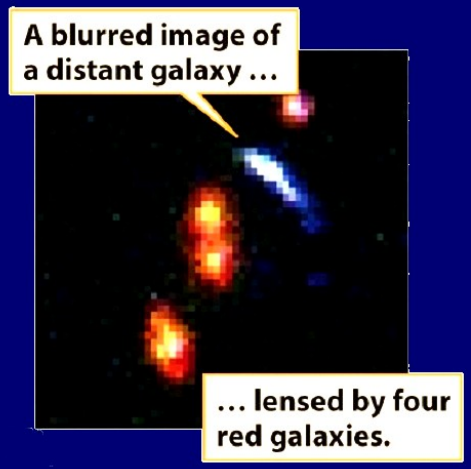
Galaxhop i Herkules

Gravitationslinsning

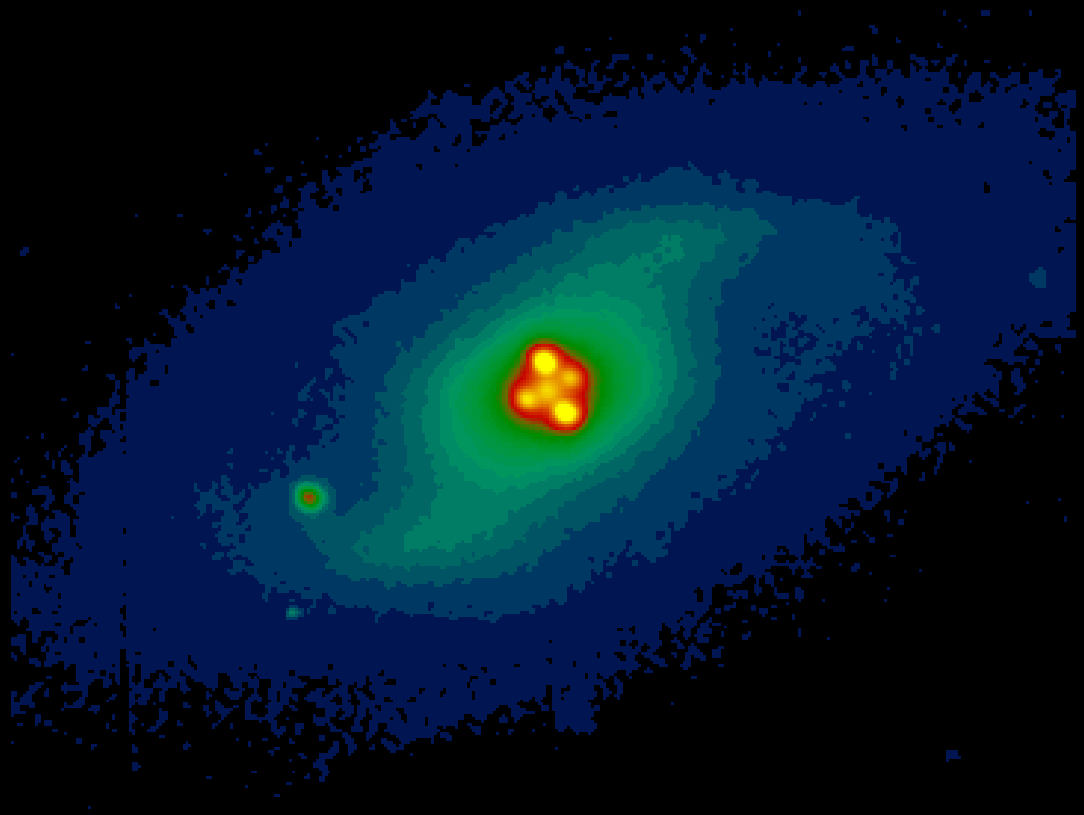


How gravitational lensing happens

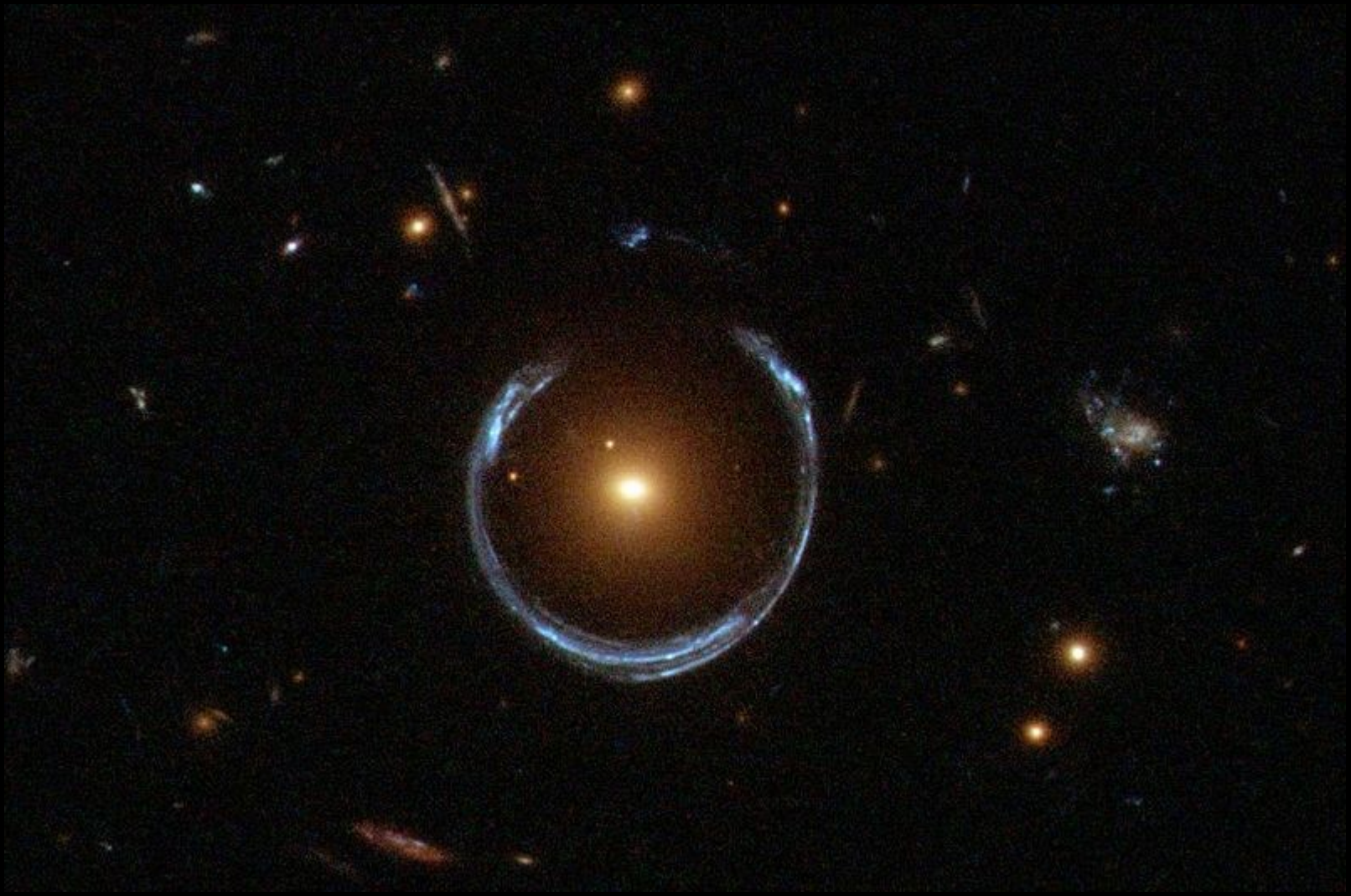




Exempel 1: “Einstein's cross”



Exempel 2: Avlägsen galax



Exempel 3: Galaxhopen Abell 2218

Den mystiska mörka materian

- Tycks vara koncentrerad till galaxerna, ej den intergalaktiska rymden

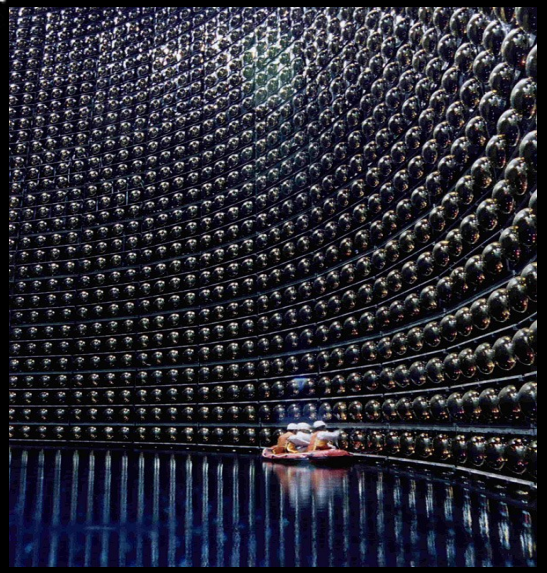
- Några tänkbara kandidater:

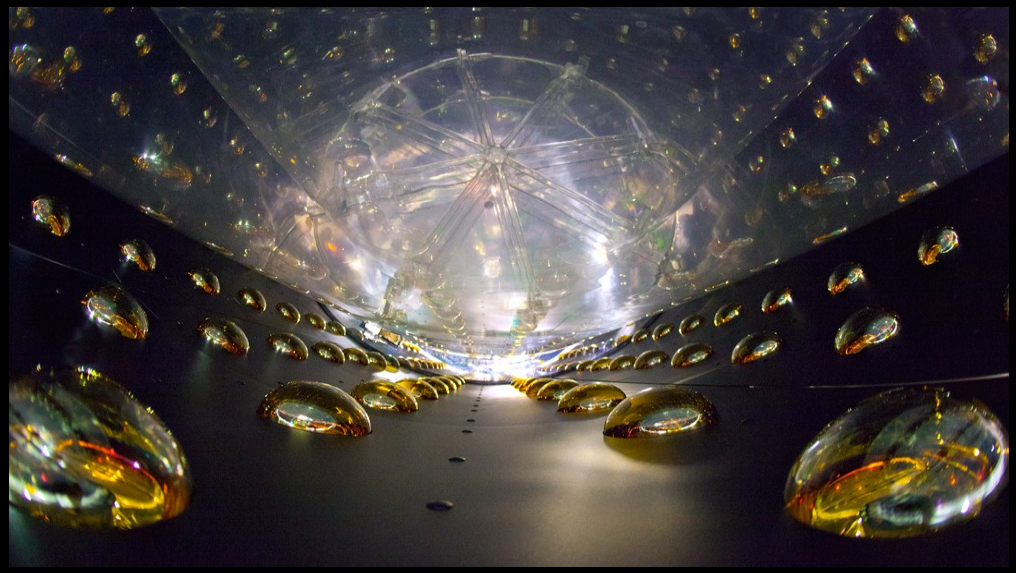
  – objekt med < 1 solmassa (bruna dvärgar, MACHOs)

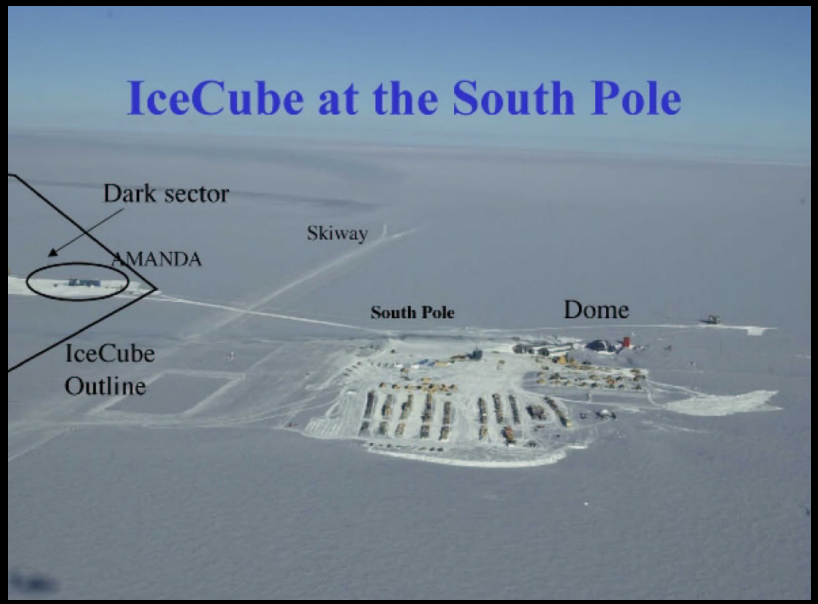
  – neutrinos

  – WIMPs (ny typ av elementarpartikel)

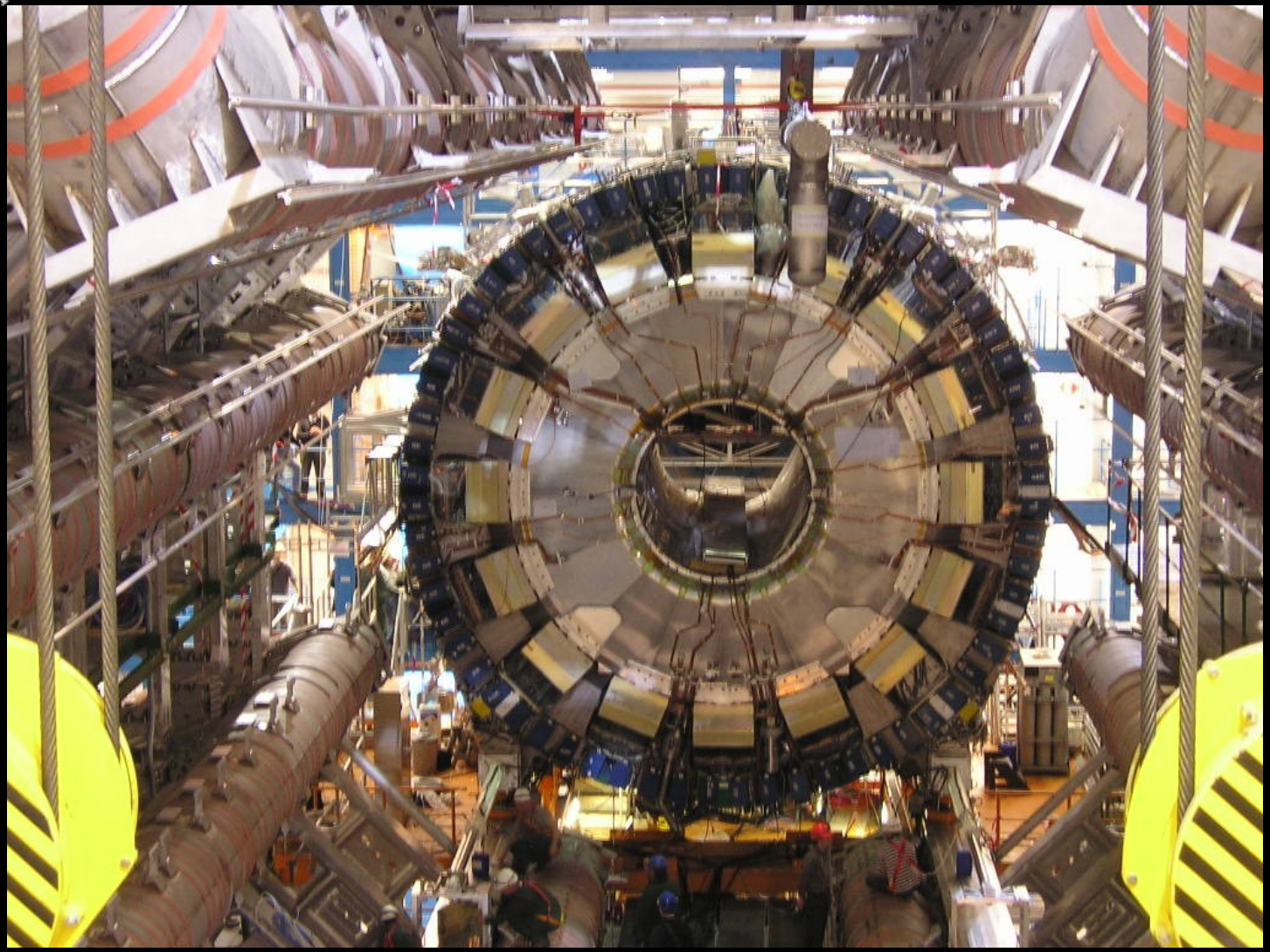
Neutrinodetektorer





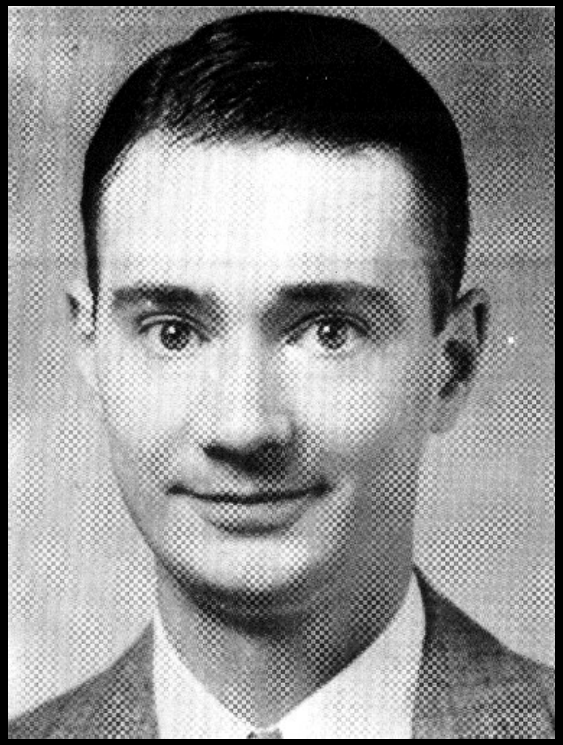


Atlas i CERN

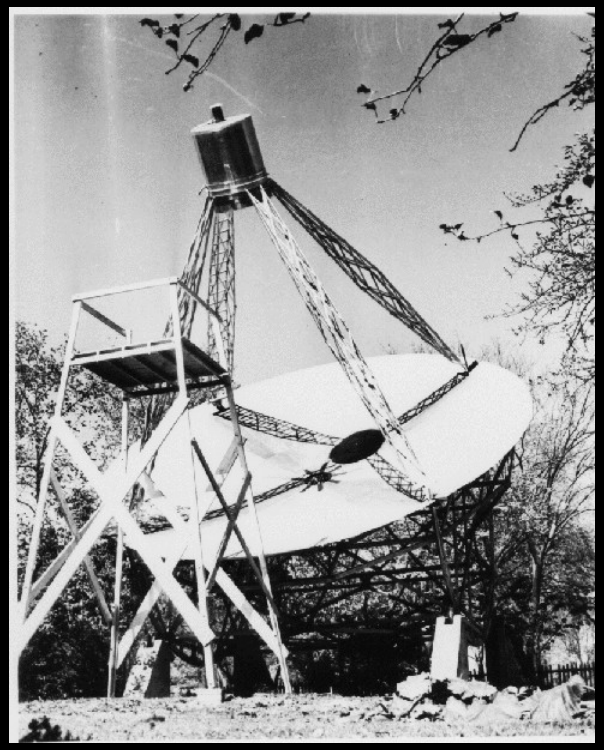


Kvasarer

Upptäckten av kvasarerna I



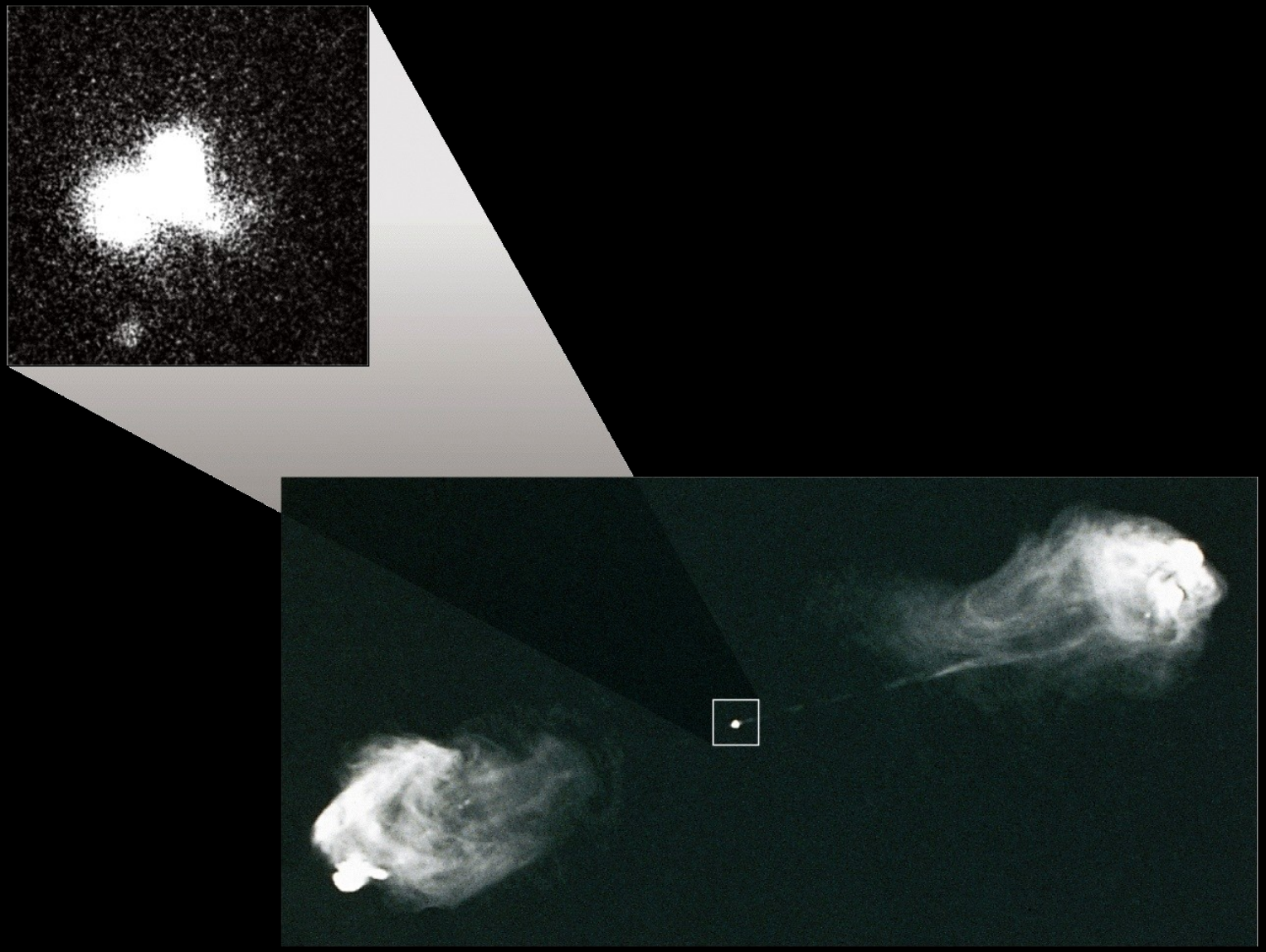
Grote Reber



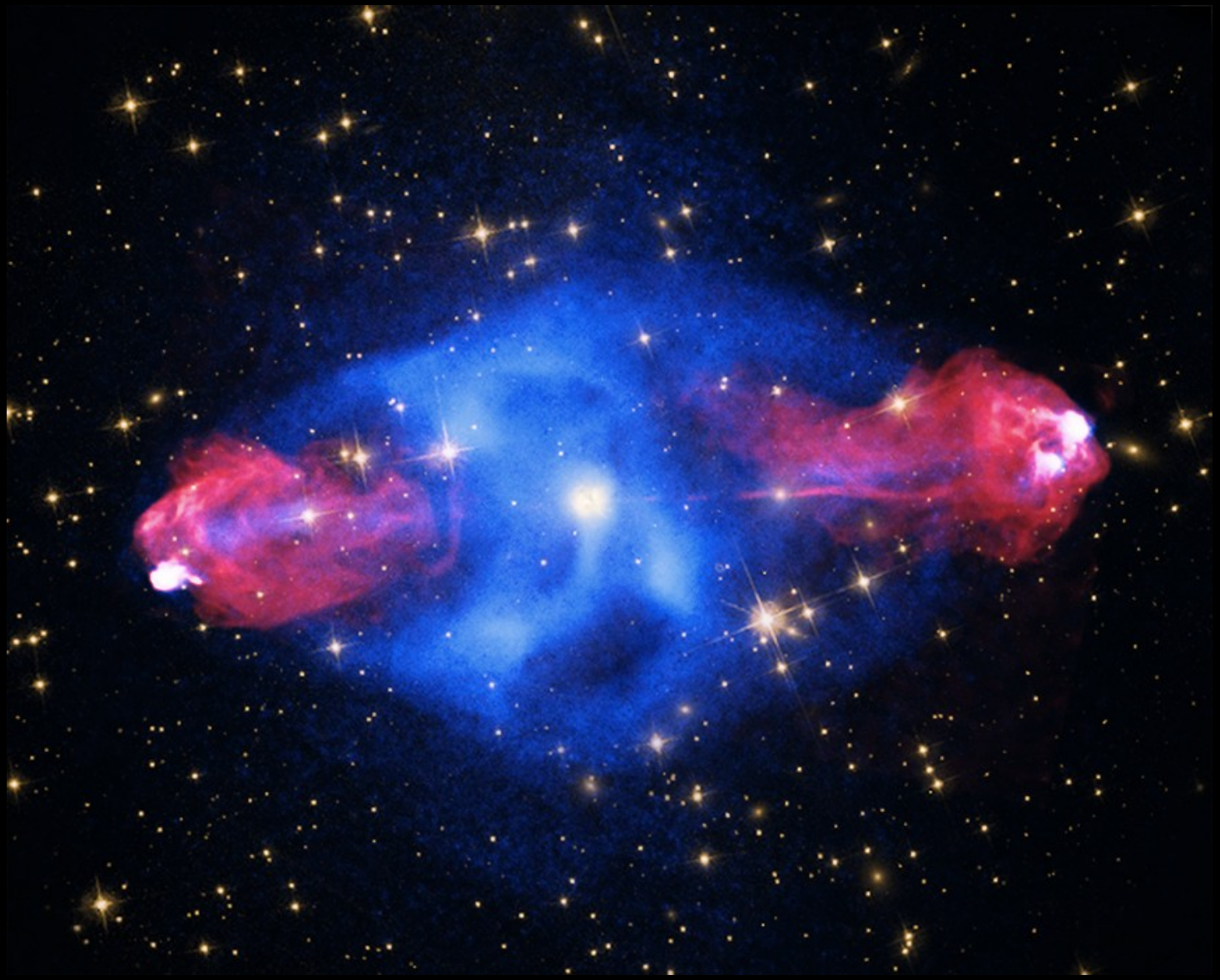
1944

Cygnus A

Cygnus A: radio från 1 miljard ljusår



Cygnus A: radio från 1 miljard ljusår



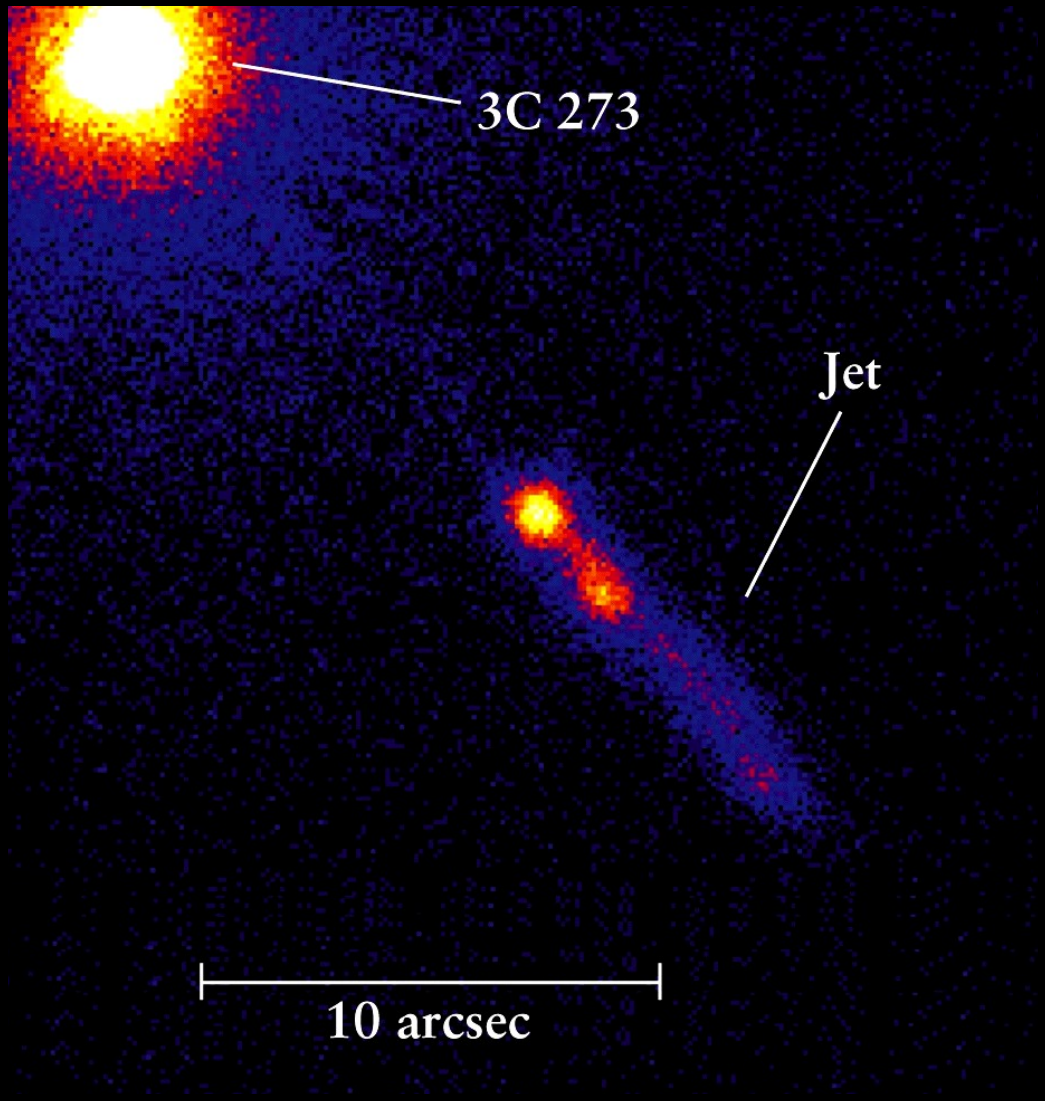
Upptäckten av kvasarerna II

- Baade/Minkowski 1951:
  - Observerade motsvarighet: diffus galax
  - Spektrum med kraftiga emissionslinjer
  - Någon strålning måste finnas som exciterar och joniserar atomer
  - Spektrallinjeskift 5.6 % mot rött
  - z = 0.056 -> 16 000 km/s -> 750 miljoner lå
  - Energiutstrålning: 100 000 x Vintergatans

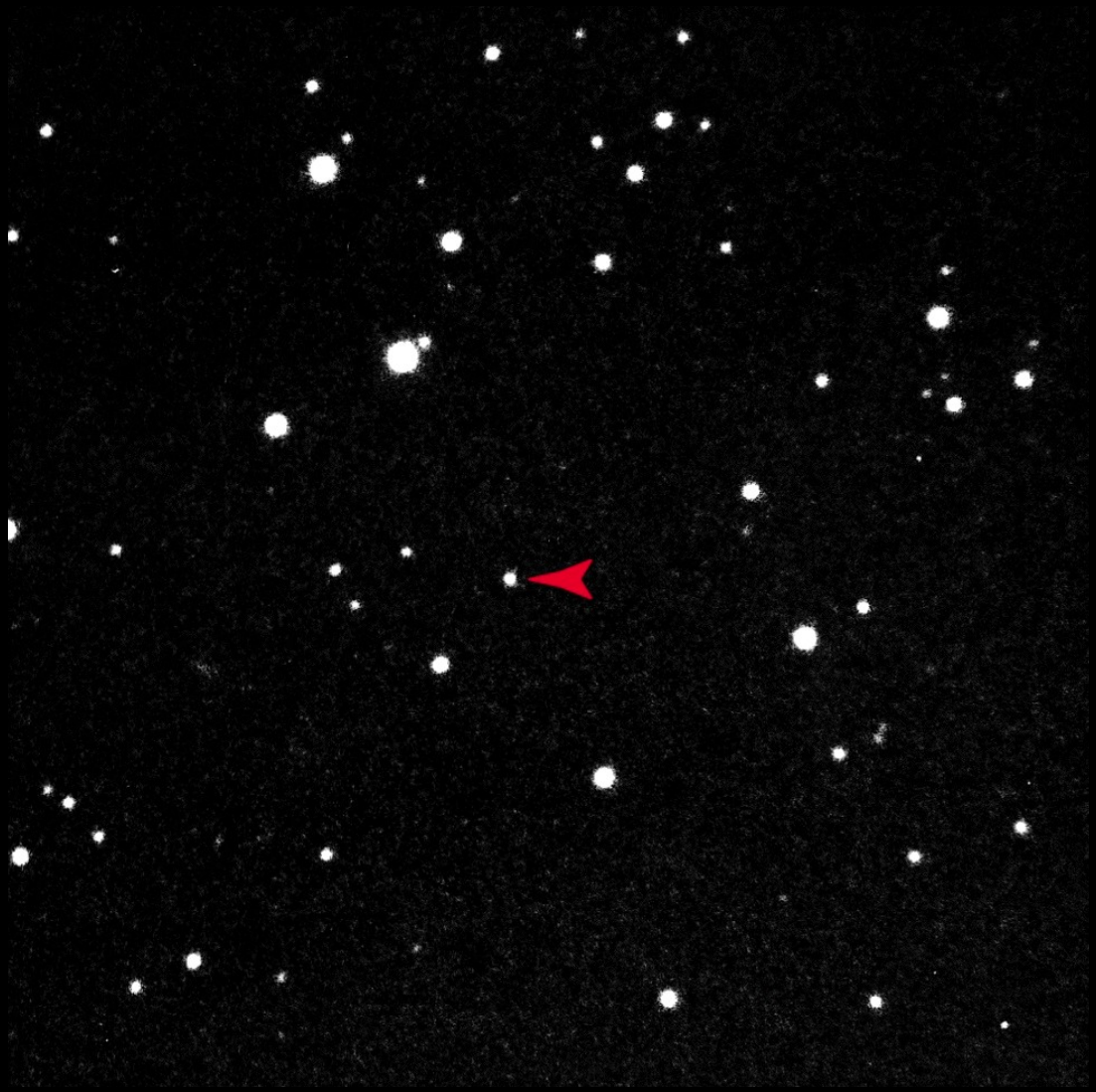
Upptäckten av kvasarerna III

- Sandage, 1960:
  - 3C 48 visade sig ha en optisk motsvarighet
  - Spektrum med kraftiga emissionslinjer kunde inte tolkas
- Sandage, 1962:
  - 3C 273 visade sig ha en optisk motsvarighet, med jet!
  - Spektrum med kraftiga emissionslinjer kunde inte tolkas
- Schmidt, 1963:
  - 3C 273: Tolkade linjerna som vätets Balmerlinjer
  - z = 0.158 -> 44 000 km/s -> 2 miljarder lå
  - Måste vara objekt utanför Vintergatan
  - 3C 48: z = 0.367 -> 100 000 km/s -> 4 miljarder lå

Kvasaren 3C 273



Kvasar 3C 48: 4 miljarder ljusår



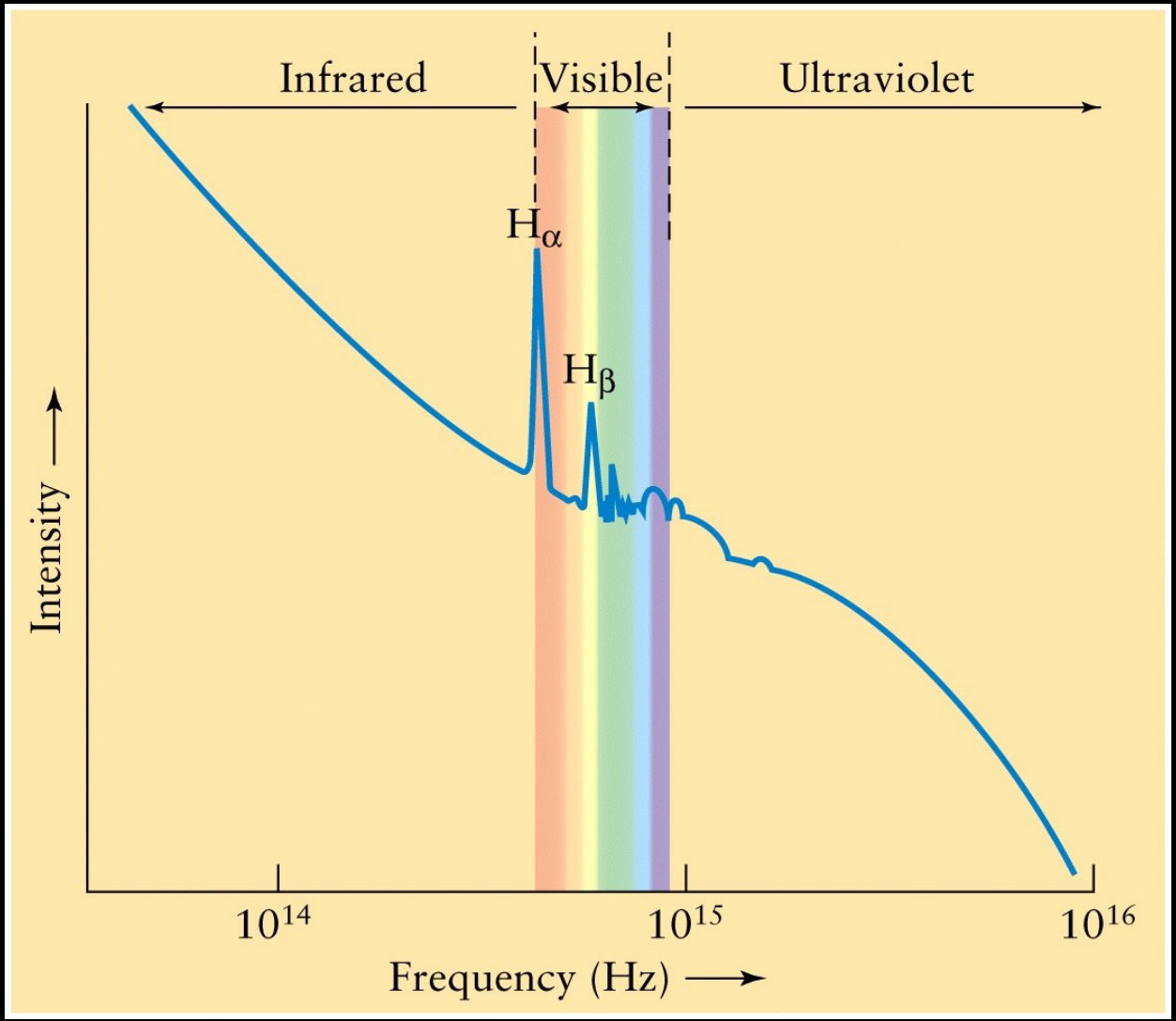
Kvasarer: Grunddata I

- Begrepp:
  - Kvasi-stellära radiokällor -> kvasarer
  - Kvasi-stellära objekt -> QSO:s
- Nu:
  - Mer än 10 000 kvasarer kända
  - Ca 10% är kraftiga radiokällor, de övriga radiotysta
  - $0.06 < z < 5.8$ -> från 0.8 till 12-13 miljarder lå

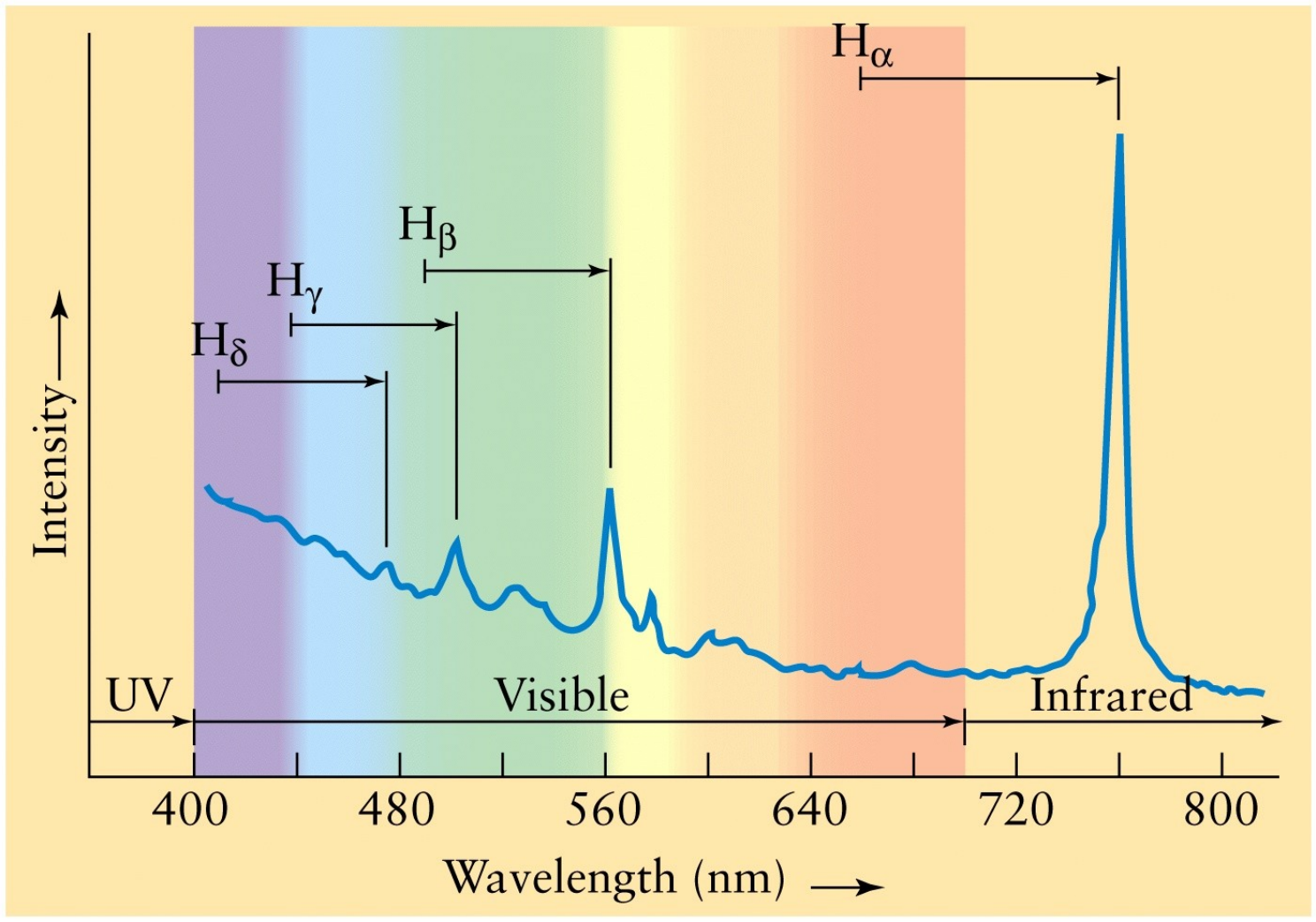
Sambandet mellan rödförskjutning och hastighet

z	v/c	(Mpc)	(10^9 ly)
0.000	0.000	0	0.00
0.100	0.095	400	1.30
0.200	0.180	750	2.43
0.300	0.257	1050	3.42
0.400	0.324	1310	4.28
0.500	0.385	1550	5.04
0.750	0.508	2020	6.57
1.00	0.600	2370	7.71
1.50	0.724	2840	9.27
2.00	0.800	3140	10.2
3.00	0.882	3480	11.4
4.00	0.923	3670	12.0
5.00	0.946	3780	12.3
∞	1.00	4130	13.5

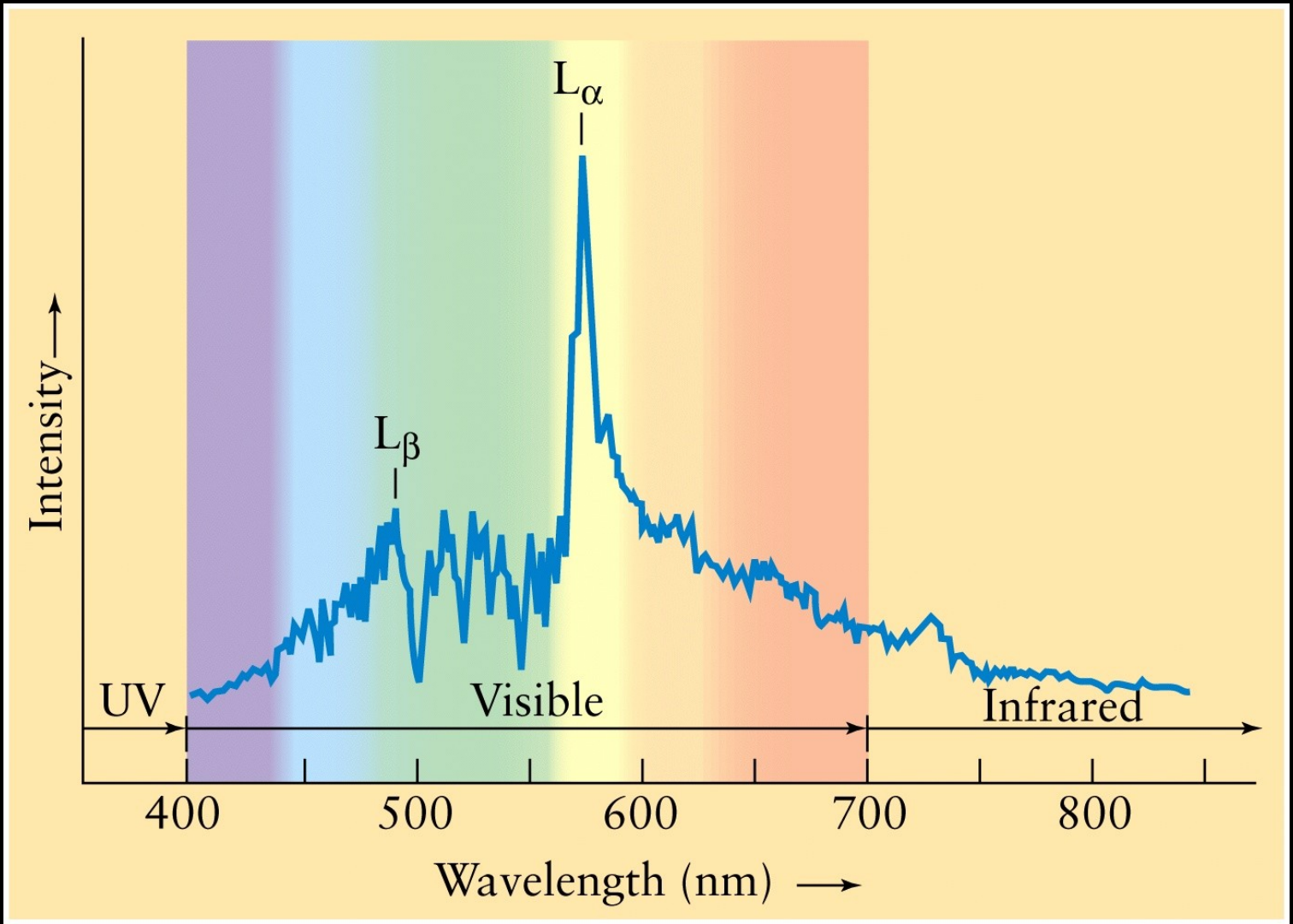
En kvasars spektrum



Kvasaren 3C 273: spektrum



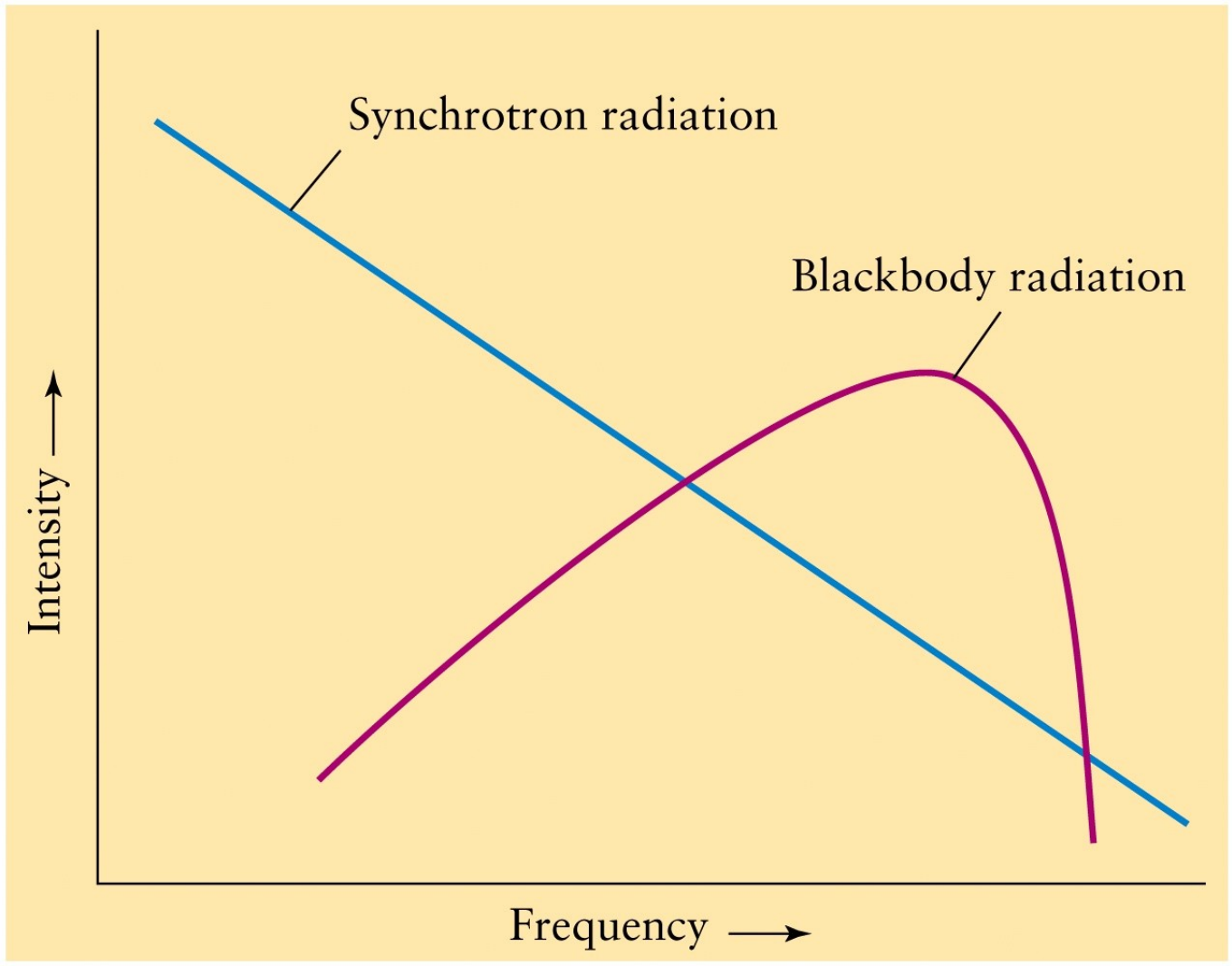
Hög rödförskjutning: z = 3.773



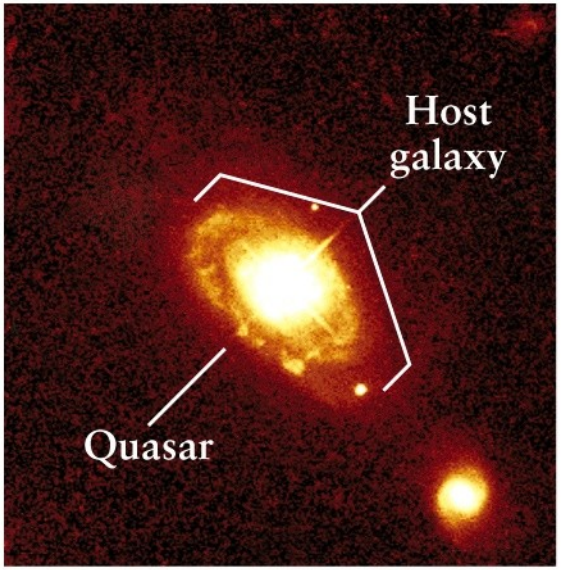
Lite om kvasarernas fysik

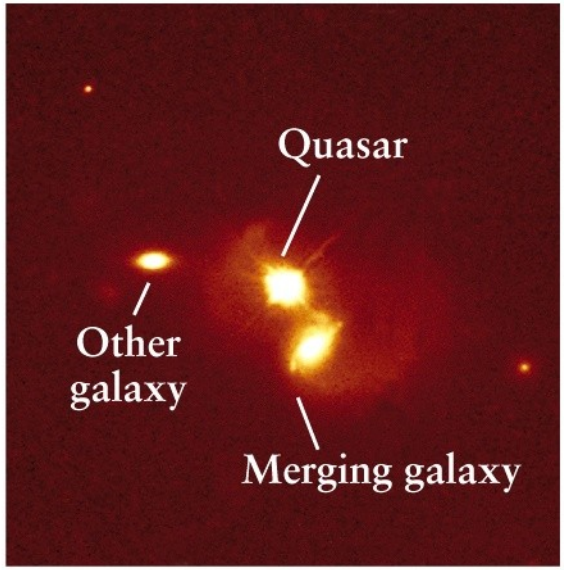
- Synkrotronstrålning
  - Relativistiska elektroner växelverkar med kraftiga magnetfält
  - Polariserat ljus -> magnetfält

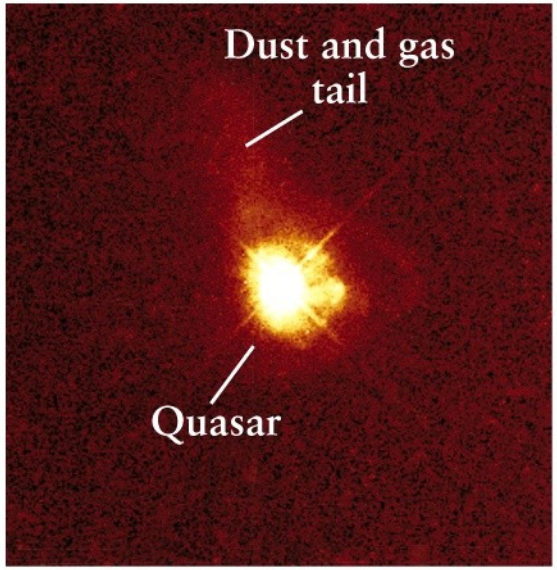
Termisk och icke-termisk strålning



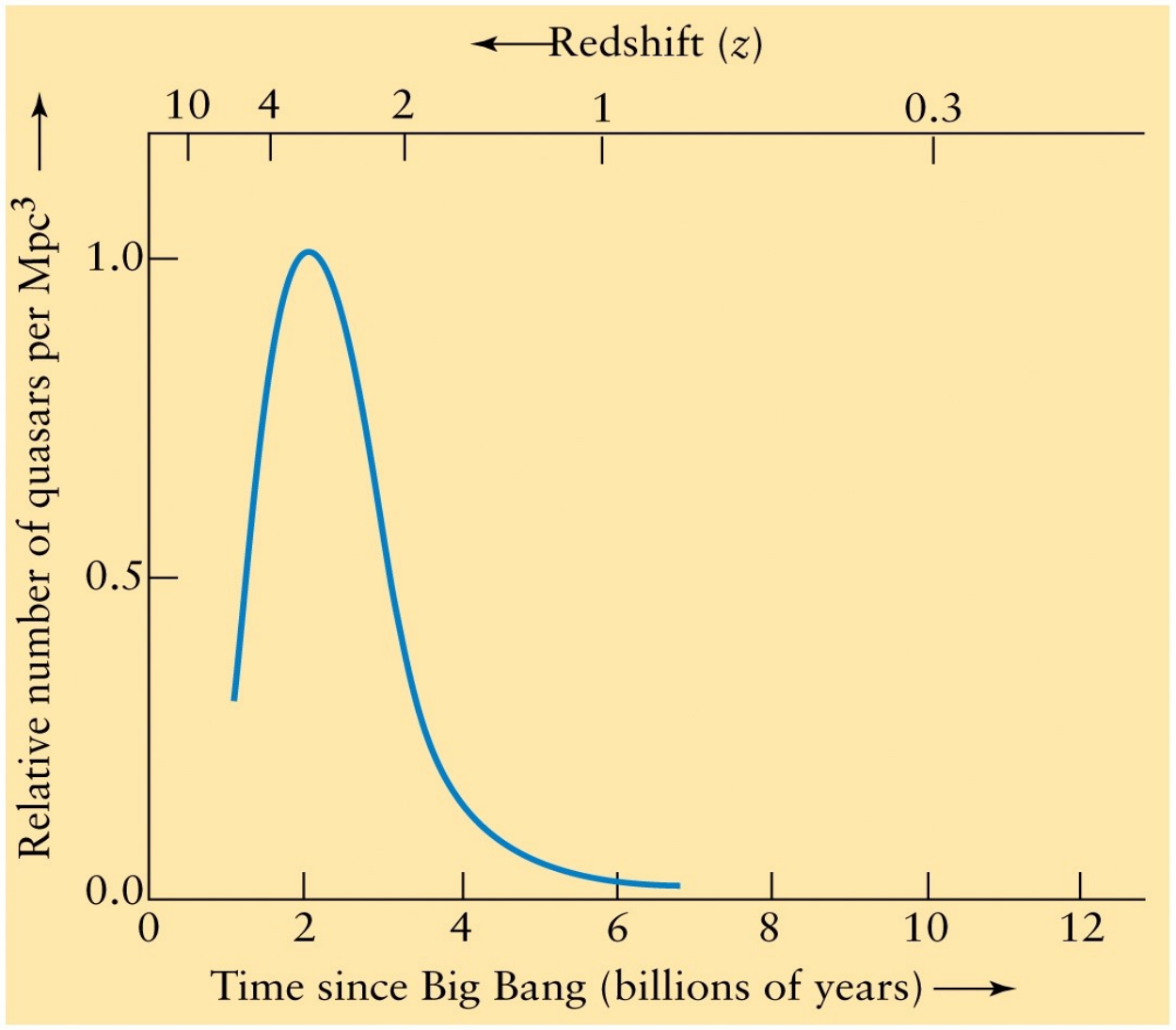
Interaktion mellan kvasarer och galaxer







De utdöda kvasarerna…



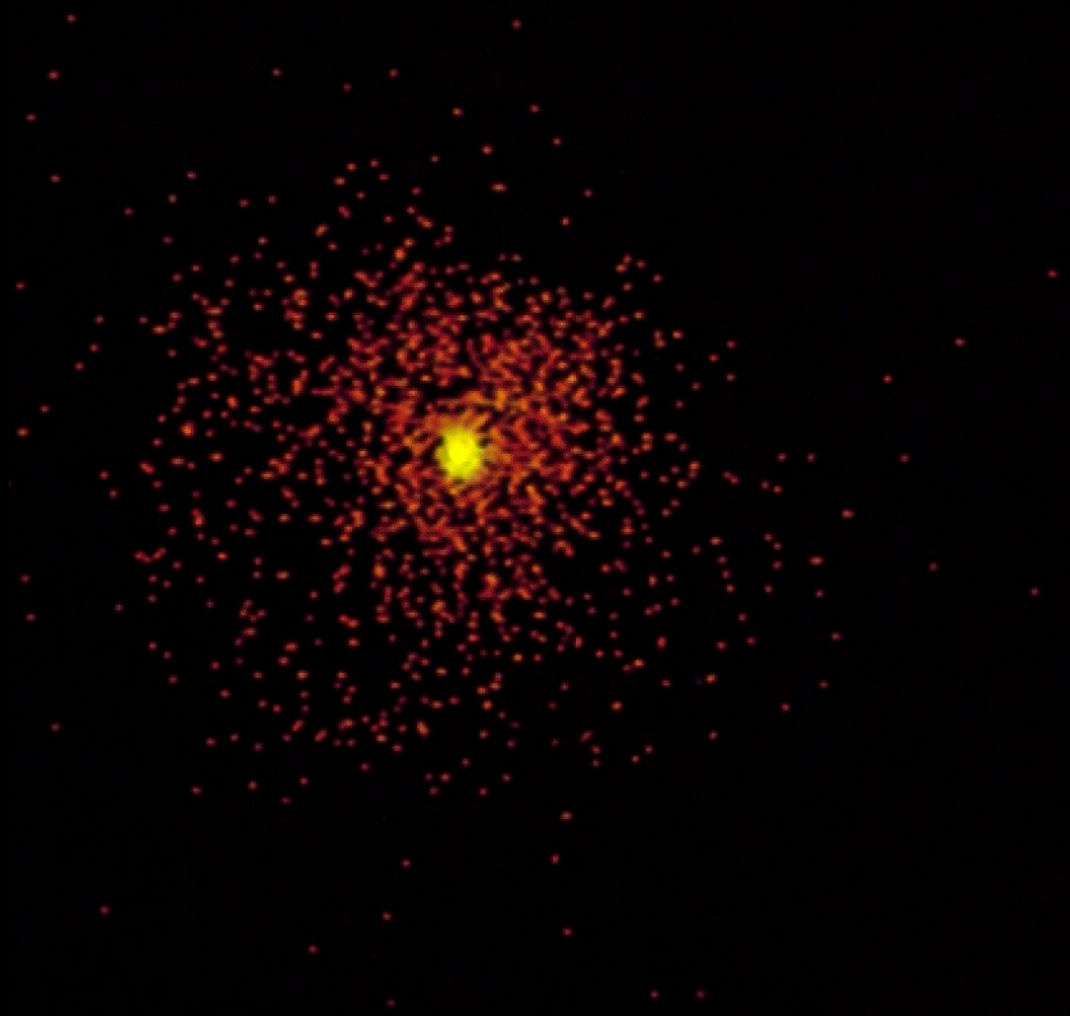
De felande länkarna – aktiva galaxer I

- Seyfertgalaxer
  - Första upptäcktes redan 1943
  - Spektrum med kraftiga emissionslinjer
  - 700 upptäckta tills nu
  - Svag radiostrålning

Aktiva galaxer: Seyfert galax

NGC1275: Kolliderande galaxer?

NGC1275: Röntgenbild



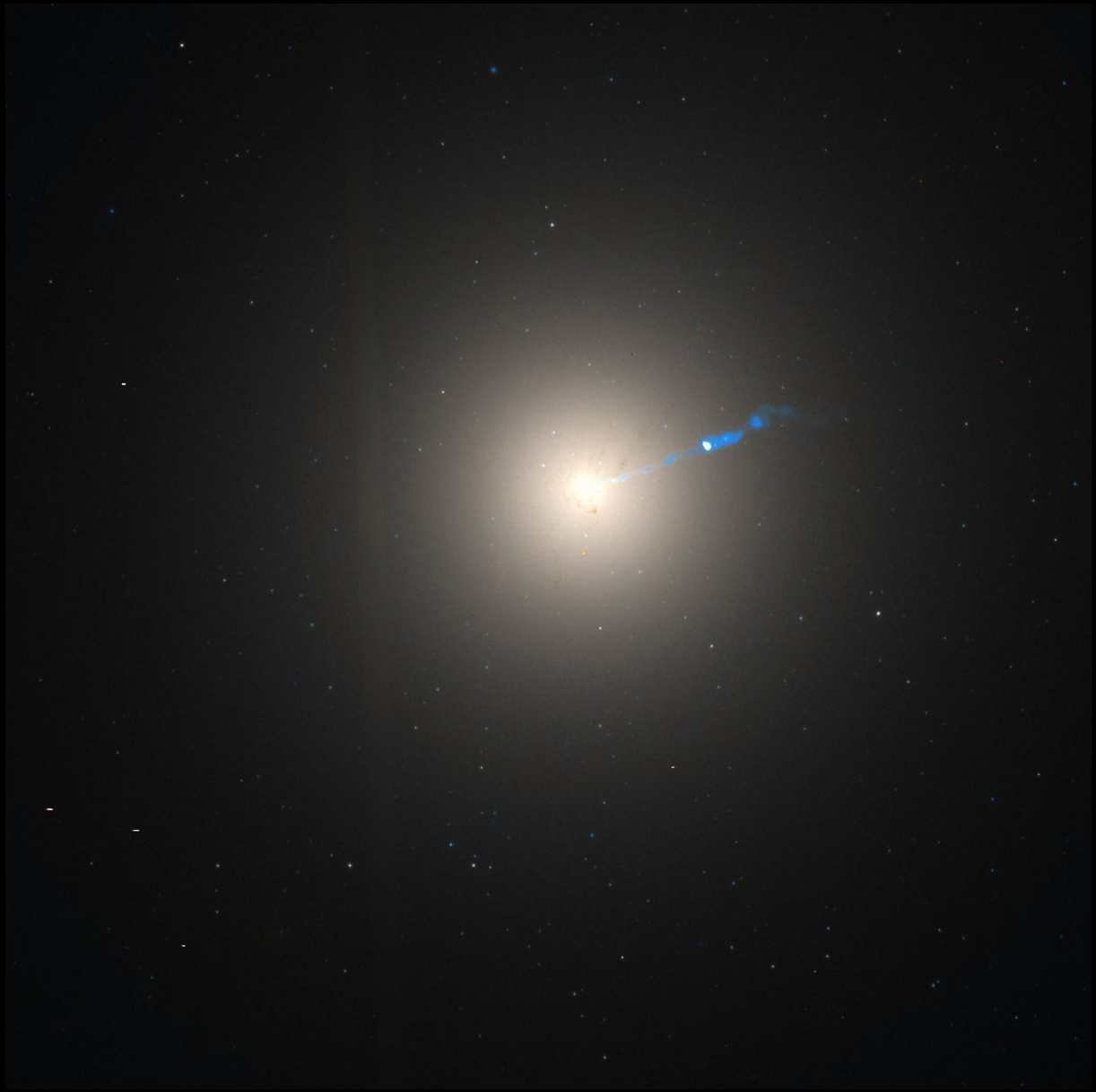
De felande länkarna – aktiva galaxer II

- Radiogalaxer
  - Kraftig radiostrålning från “normala” galaxer
  - M87 paradexempel med jetstråle:
    - Centrum: termisk strålning
    - Jet: synkrotronstrålning

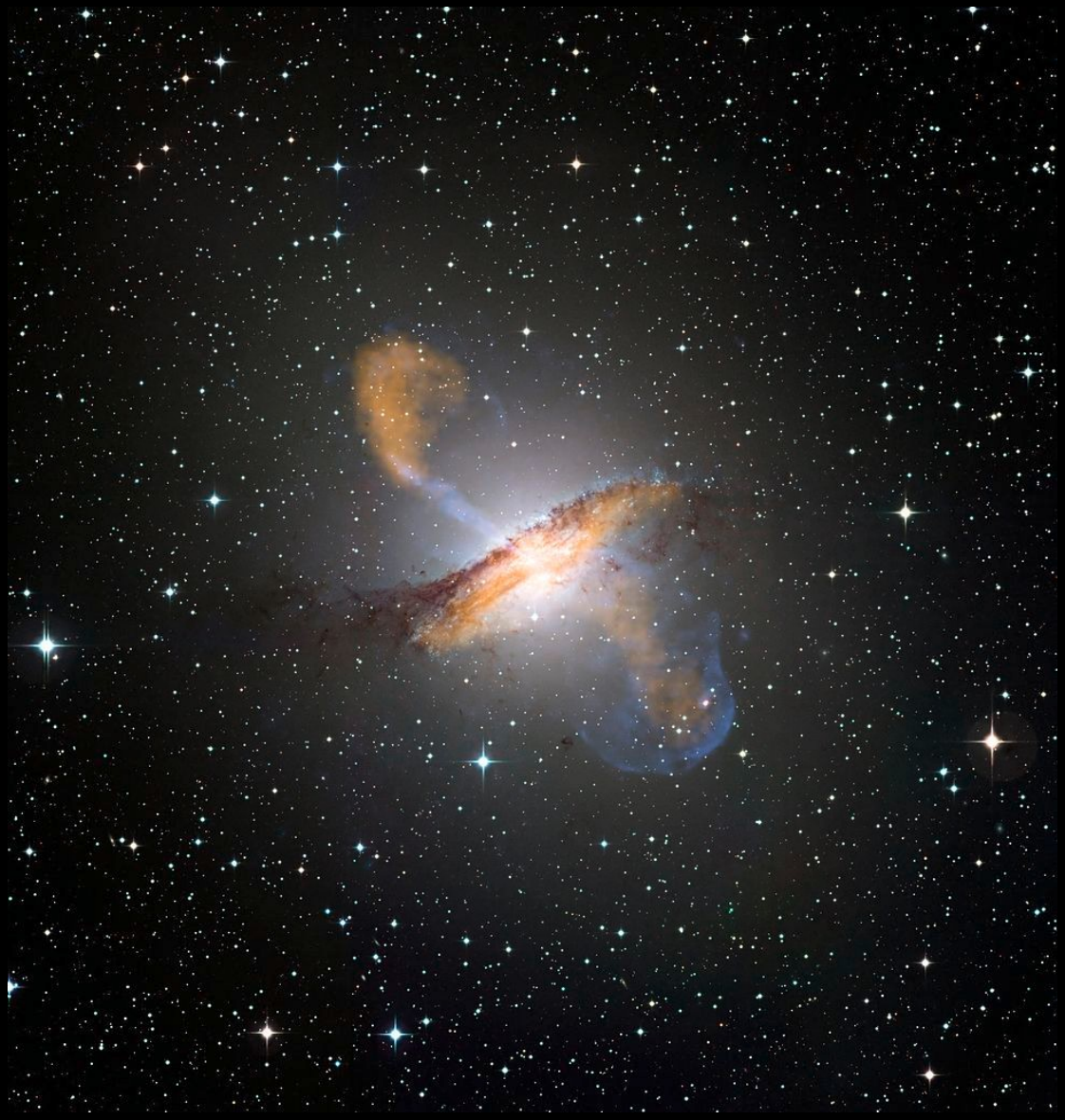
Radiogalaxen M87

Radiogalaxen M87

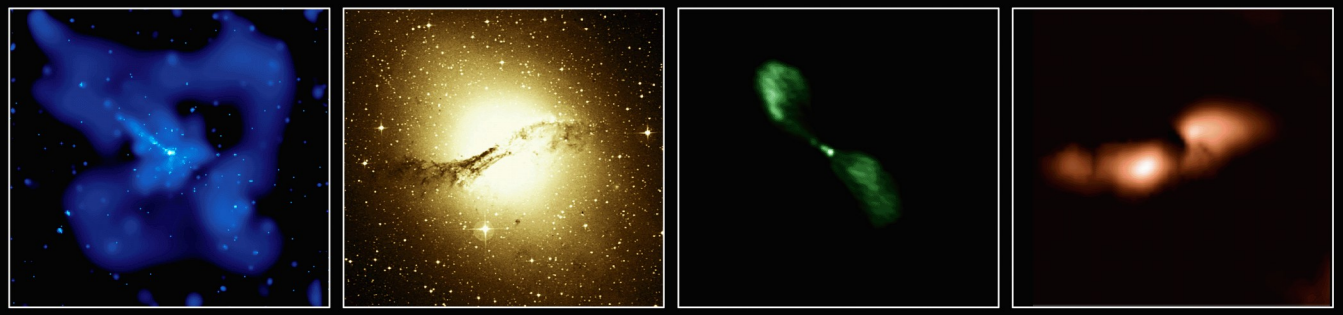
Centrala delen av M87: jetstråle



Centaurus A



Centaurus A



Chandra X-ray | DSS Optical | NRAO Radio Continuum | NRAO Radio (21-cm)

Samband mellan kvasarer och aktiva galaxer

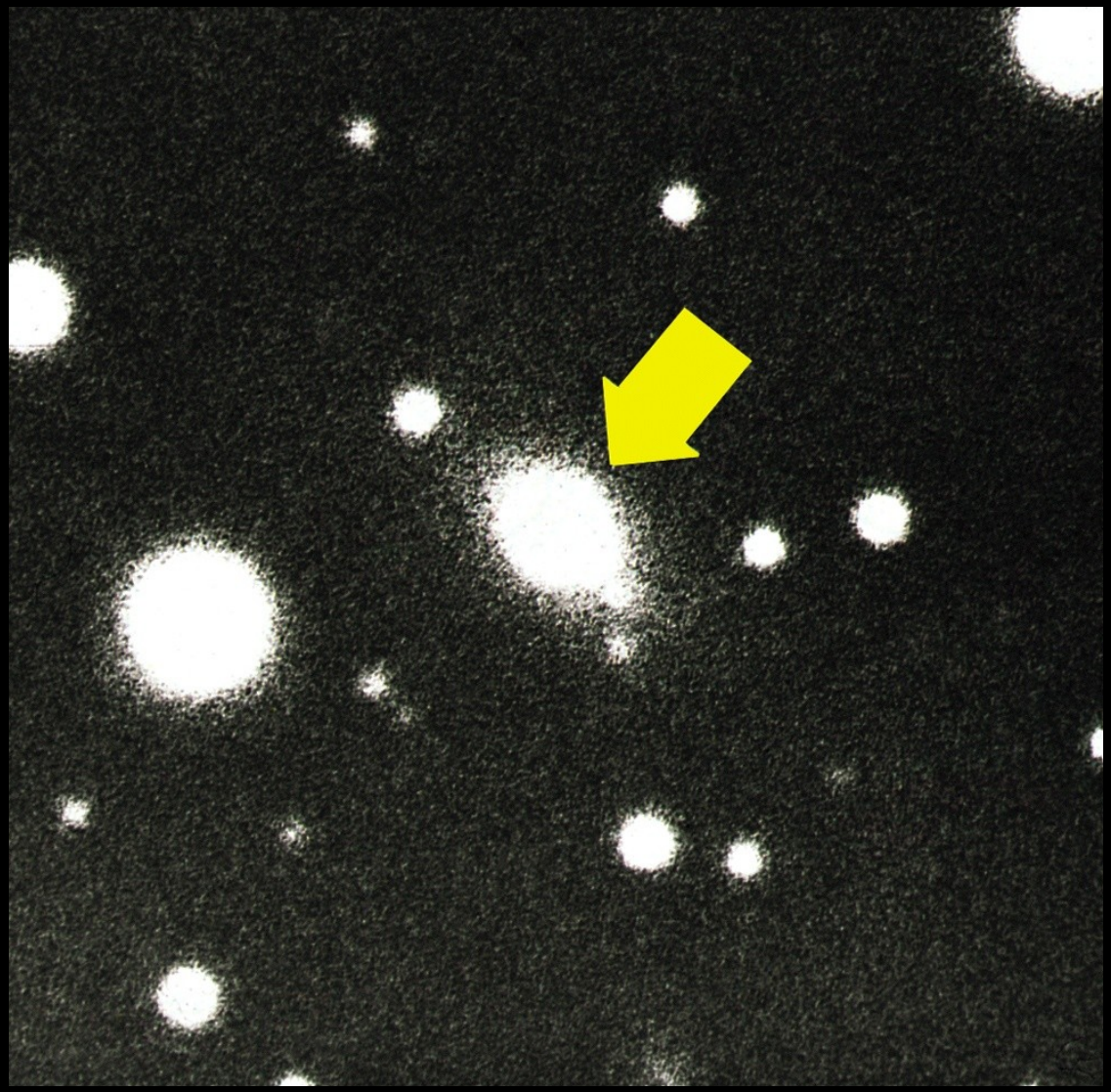
- Seyfert-galaxer kan utgöra vidareutvecklingen/resterna av "radiotysta" kvasarer (QSOs)

- Radiogalaxer kan utgöra vidareutvecklingen/resterna av "radio" kvasarer

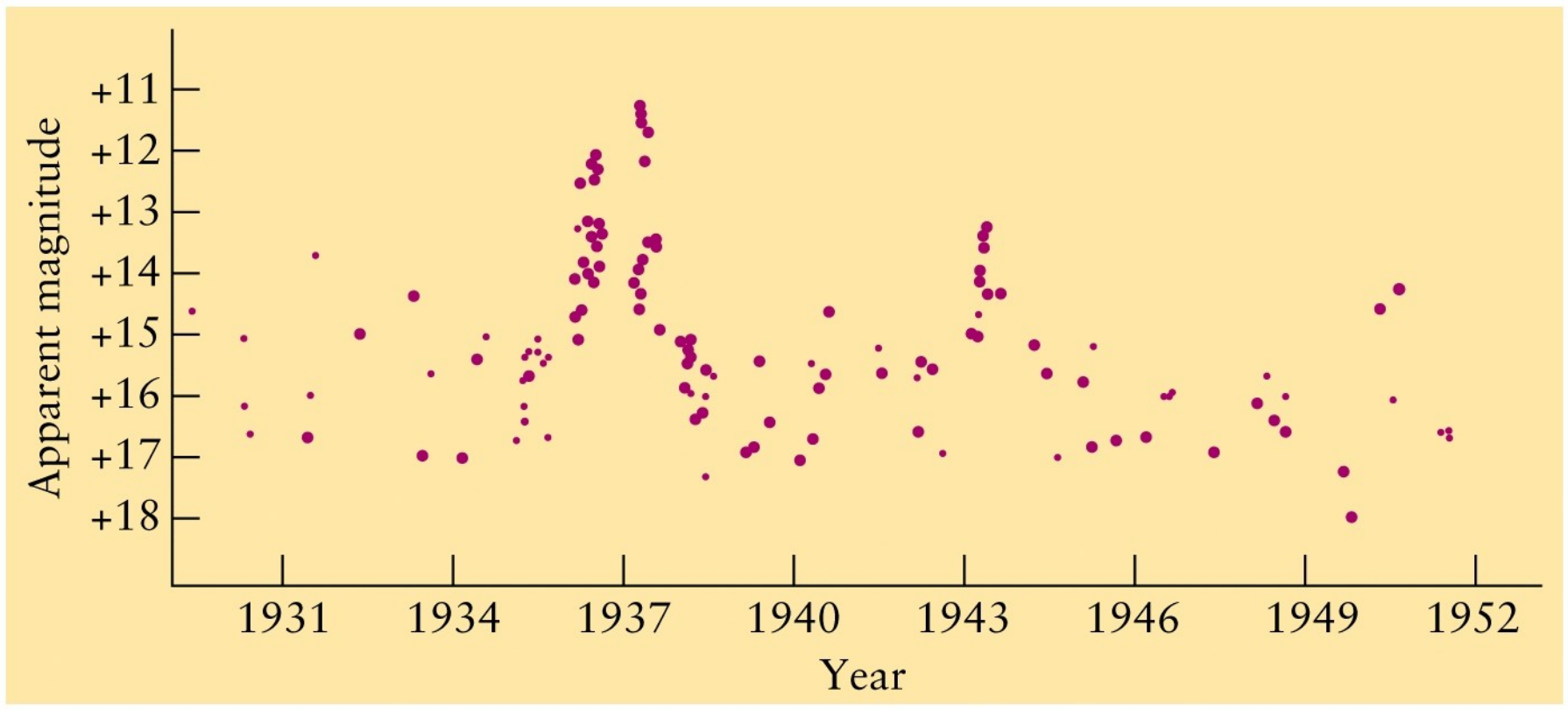
De felande länkarna – aktiva galaxer III

- Blazarer
  - Första upptäcktes 1929 (!): BL Lacertae
  - Kraftiga och snabba ljusvariationer
  - Polariserat ljus -> synkrotronstrålning

“Blazarer”: BL Lacertae (1 miljard lå)



Ljusstyrkevariationer i en blazar



Blazarer är radiogalaxer med jetstrålen riktad direkt mot jorden.

Samband mellan kvasarer och aktiva galaxer

- Seyfert-galaxer kan utgöra vidareutvecklingen/resterna av “radiotysta” kvasarer (QSOs)
- Radiogalaxer kan utgöra vidareutvecklingen/resterna av “radio” kvasarer
- Blazarer är radiogalaxer med jetstrålen riktad direkt mot jorden

Hur förklarar man de aktiva galaxerna?

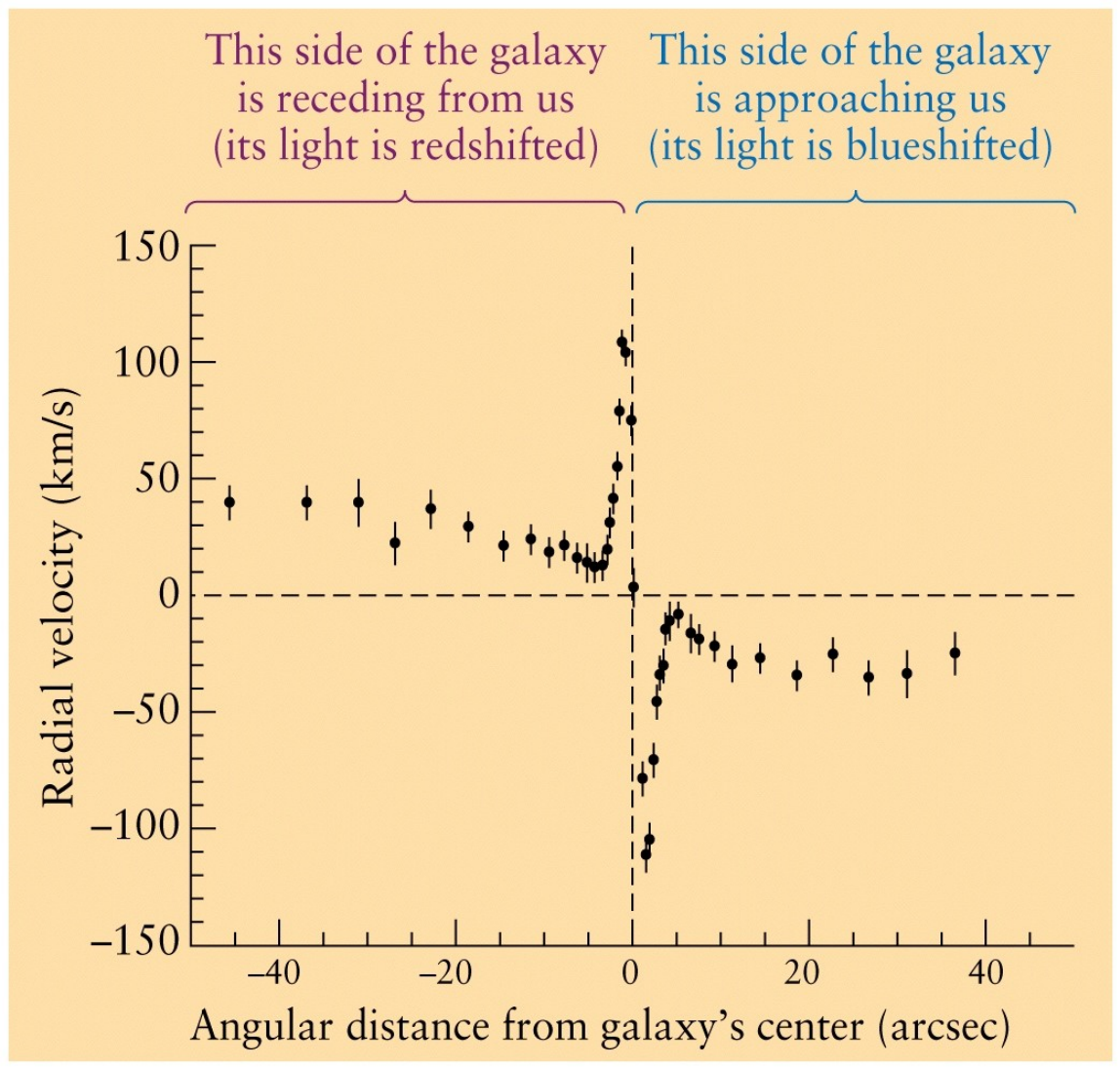
Enhetsmodellen för aktiva galaxer I

- Hypotes:

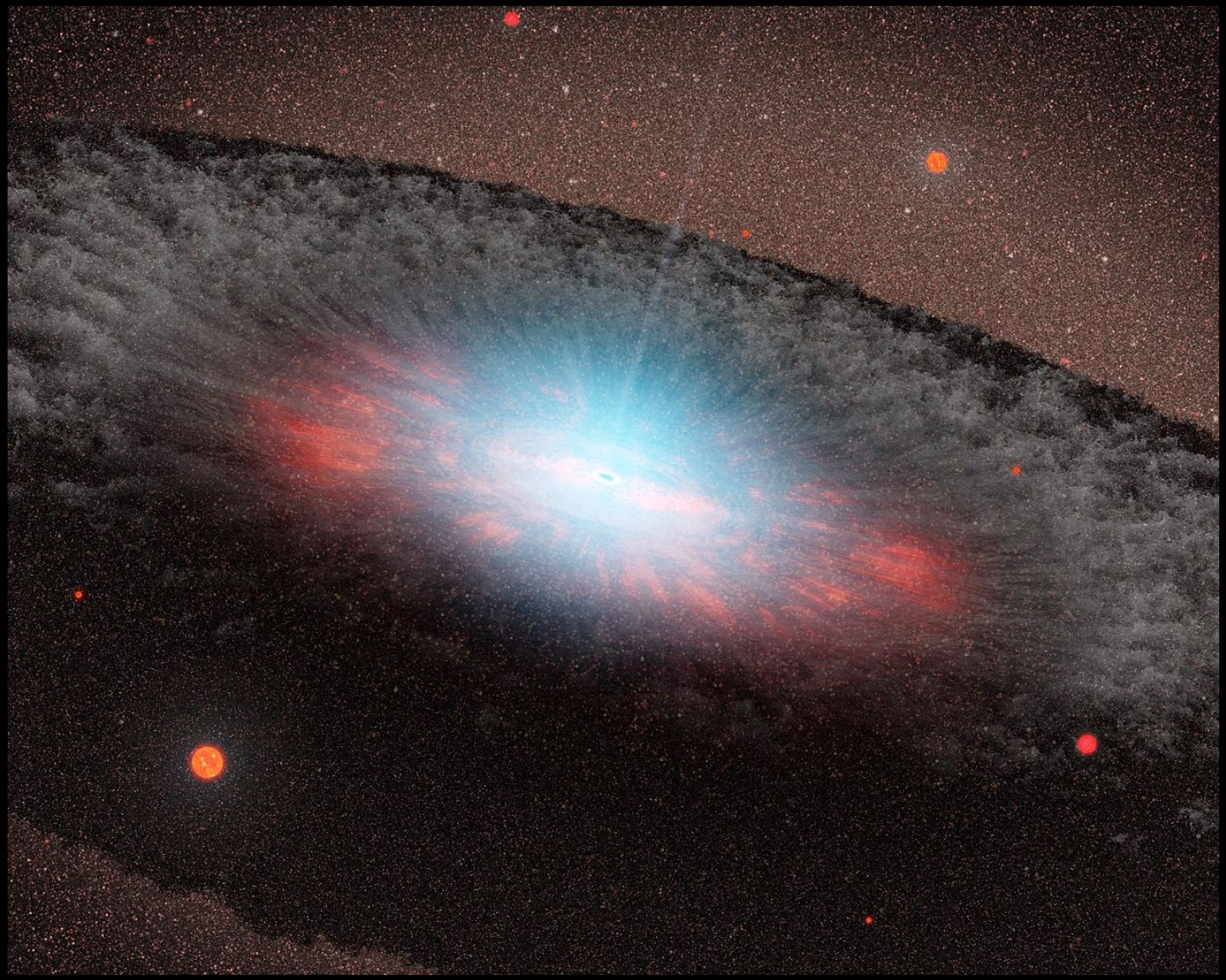
  I centrum finns ett supertungt svart hål.

  - Kan generera enorma mängder energi
  - Är tillräckligt litet, mindre än ett solsystem
  - Massan måste vara enorm
  - Det finns nu många indikationer på svarta hål i normala galaxer

Rotationskurvan nära M31:s centrum



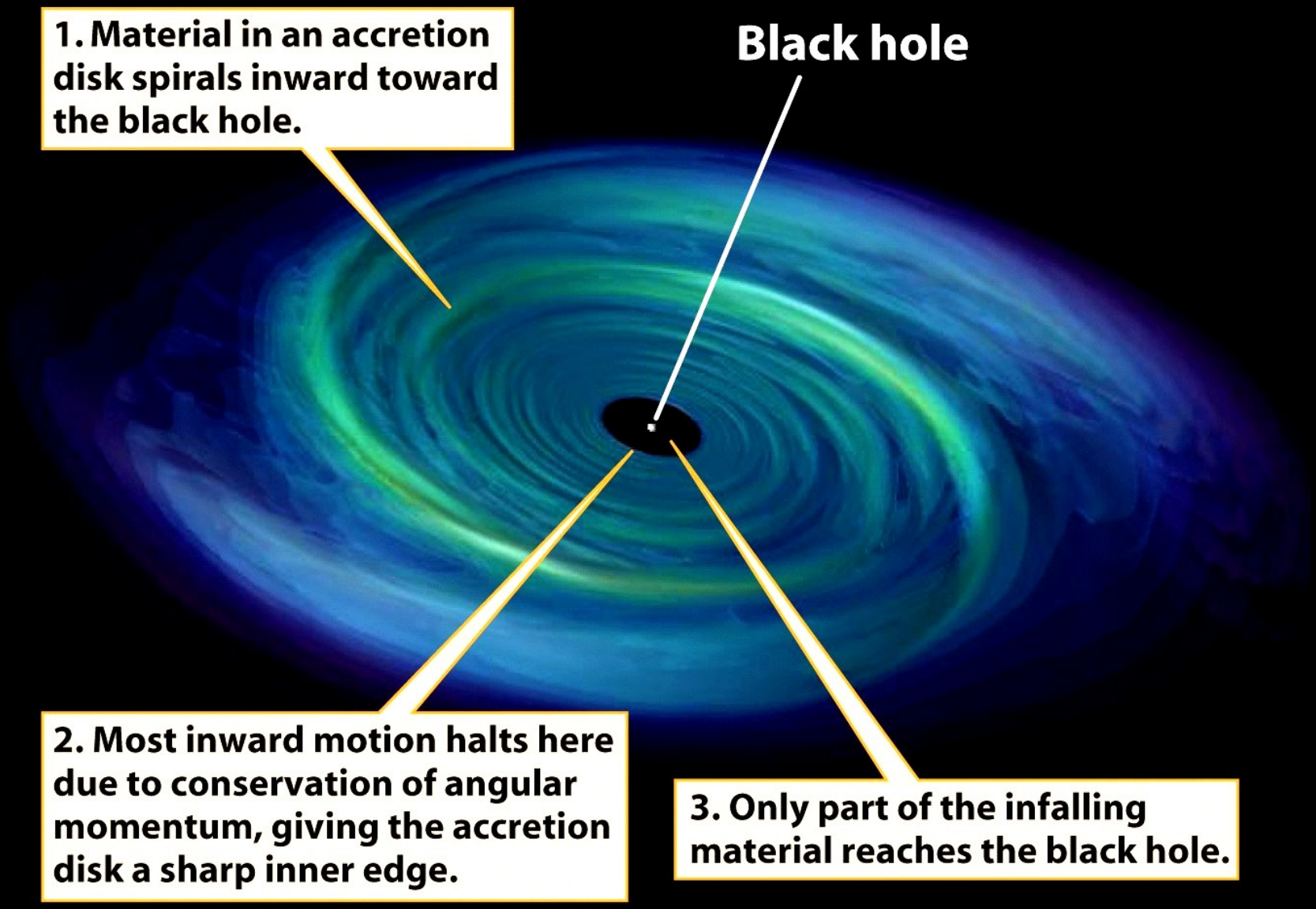
Kärnan av en aktiv galax



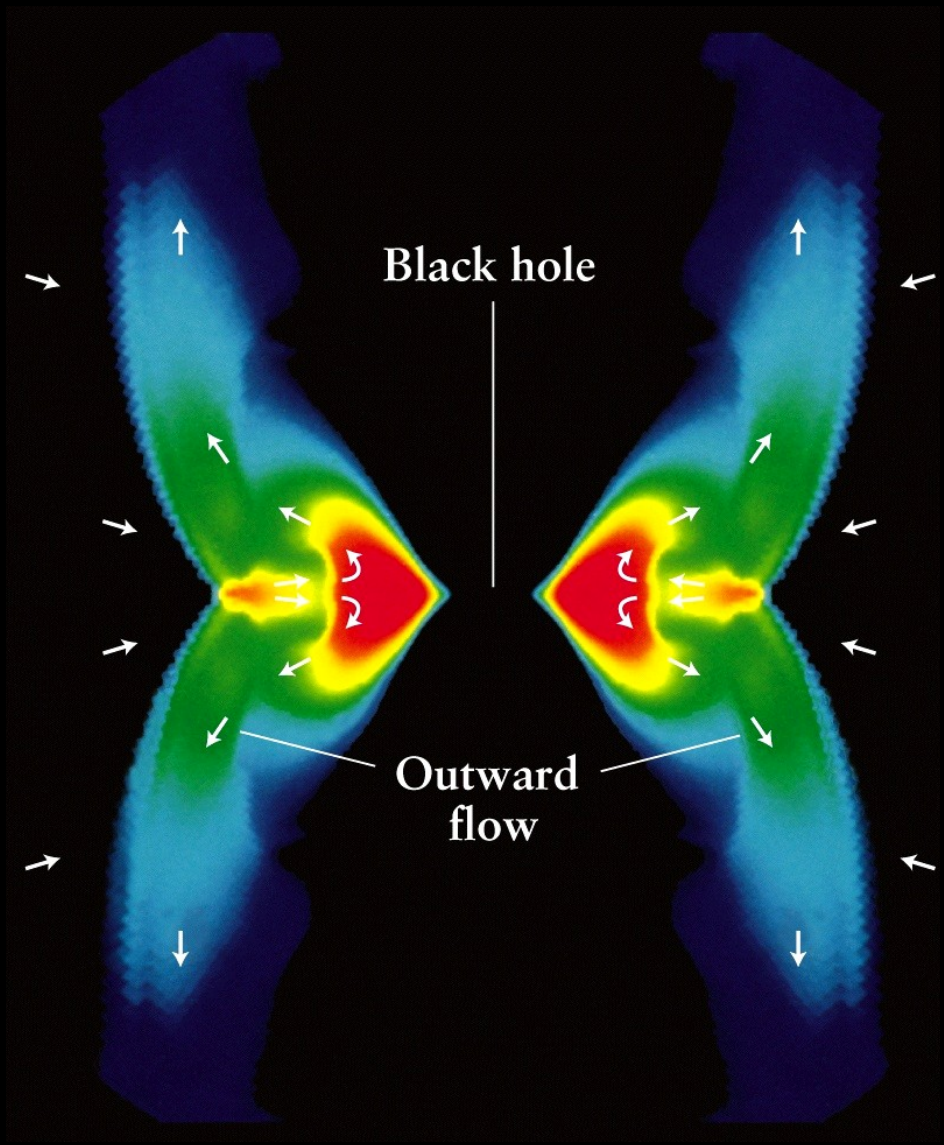
Enhetsmodellen för aktiva galaxer II

- Energin skapas i växelverkan mellan det svarta hålet och dess ackretionsskiva
  - Gas dras in mot hålet och hettas upp extremt mycket
  - Variationer i gastäthet ger variationer i ljus
  - Hålets rotation tvingar ut en del gas i polriktningarna (relativistiska partiklar)

Svarta hålets yttre struktur



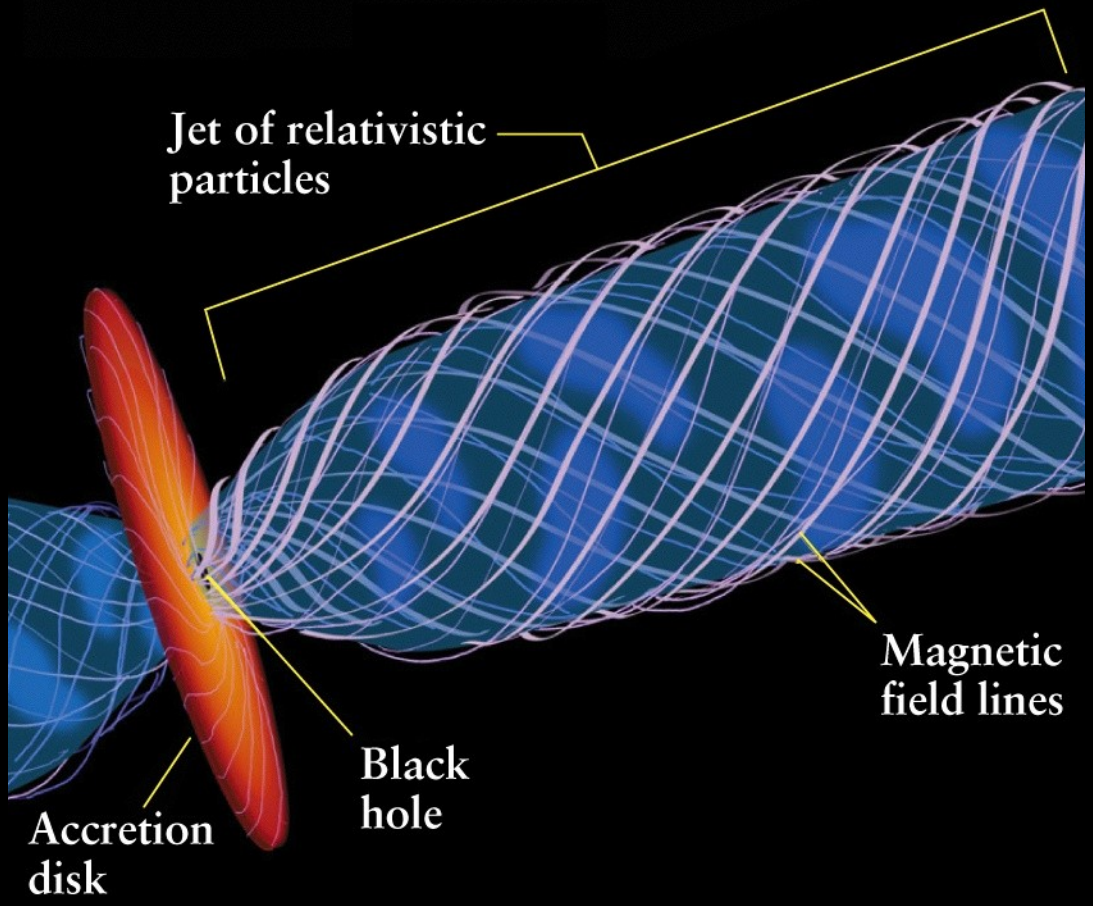
Inre delarna av en ackretionsdisk



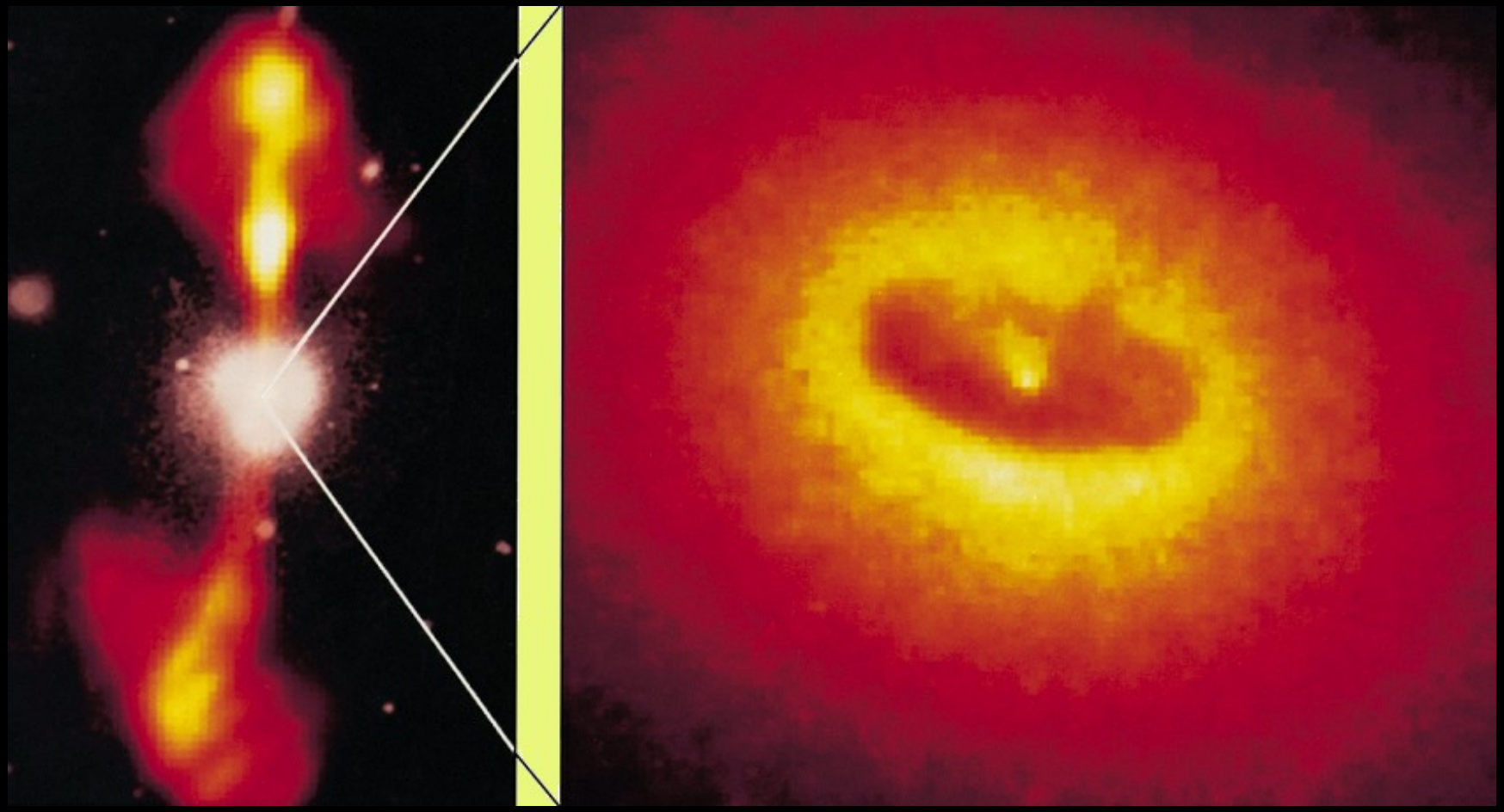
Enhetsmodellen för aktiva galaxer III

- Gasens temperatur gör den till ett plasma vars rörelser skapar ett kraftigt magnetfält
- Ackretionskivans differentiella rotation och magnetfältets växelverkan med plasman "tvinnar" magnetfältlinjerna till ett rör
- De relativistiska partiklarna tvingas ut längs detta rör

Jetstrålar från ett supertungt svart hål



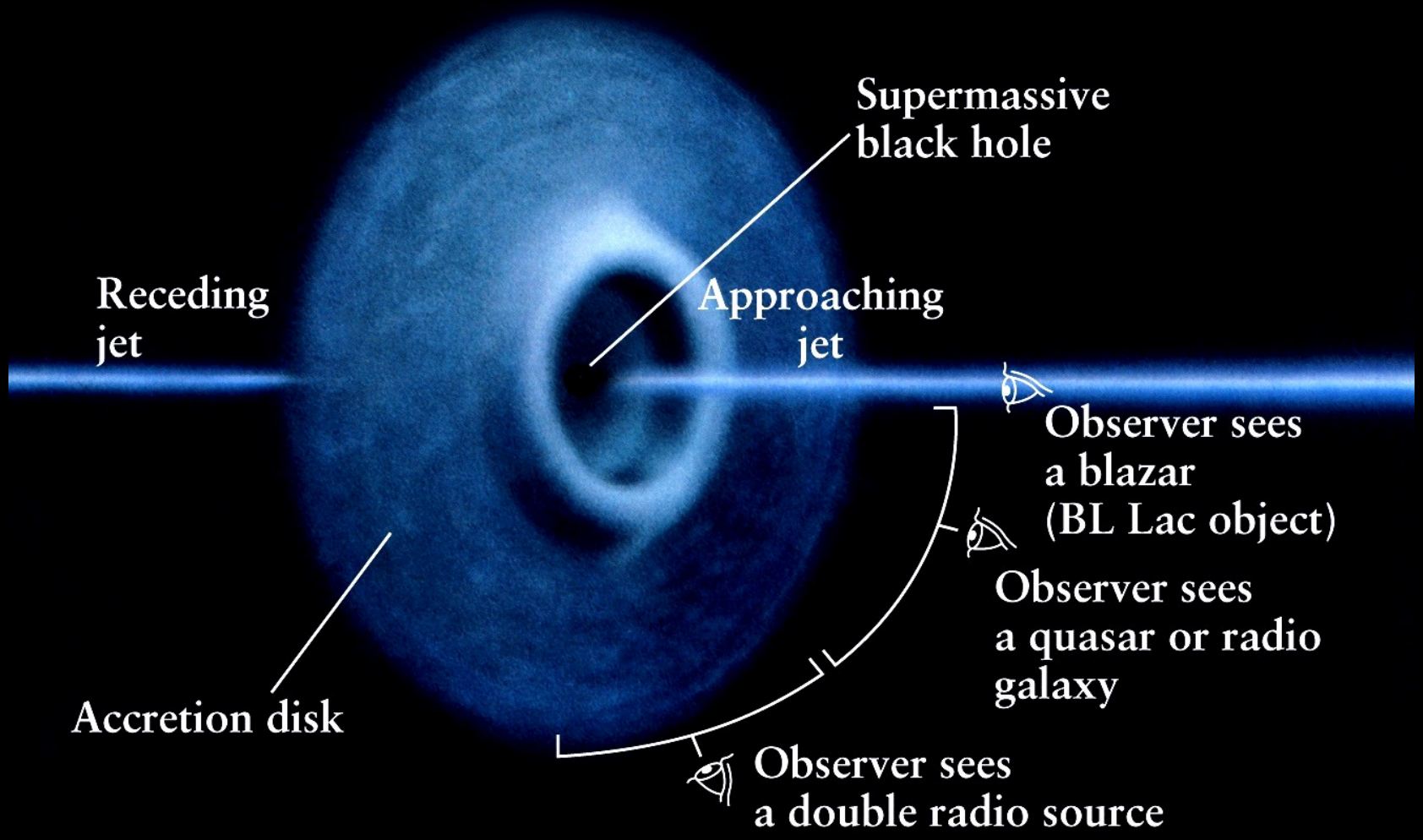
Supertungt svart hål i jättegalaxen NGC4261



Enhetsmodellen för aktiva galaxer IV

- Observationsvinkeln avgör vilket sorts fenomen vi ser:
  - Jetstrålen riktad direkt mot jorden -> Blazar
  - Ackretionsskivan sedd från sidan -> Dubbel radiogalax
  - Ackretionsskivan sedd i vinkel -> Enkel radiogalax

En enhetlig modell av aktiva galaxer



De mystiska kvasarerna...

- har (hade) gigantiska svarta hål som energikällor
- deras "efterträdare" finns i aktiva (och normala) galaxer
- har nästan "sopat rent" och är därför ljussvagare nu