Istituto Nazionale di Astrofisica

Osservatorio astronomico di Brera

Universo in fiore

I Nuclei Galattici Attivi

Anna Wolter

Anna.Wolter@brera.inaf.it

INAF-Osservatorio Astronomico di Brera

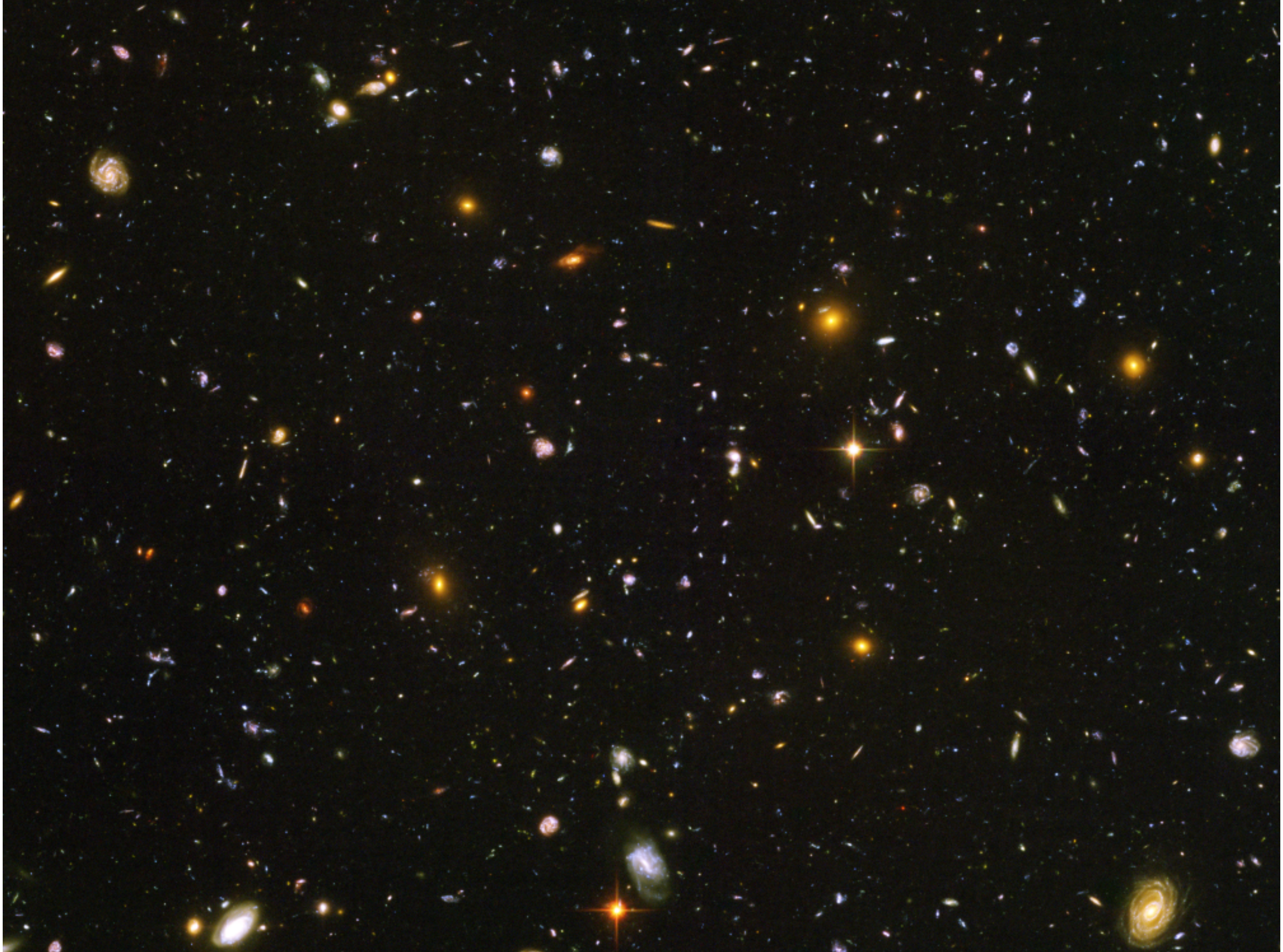
7 marzo 2012

Sommario

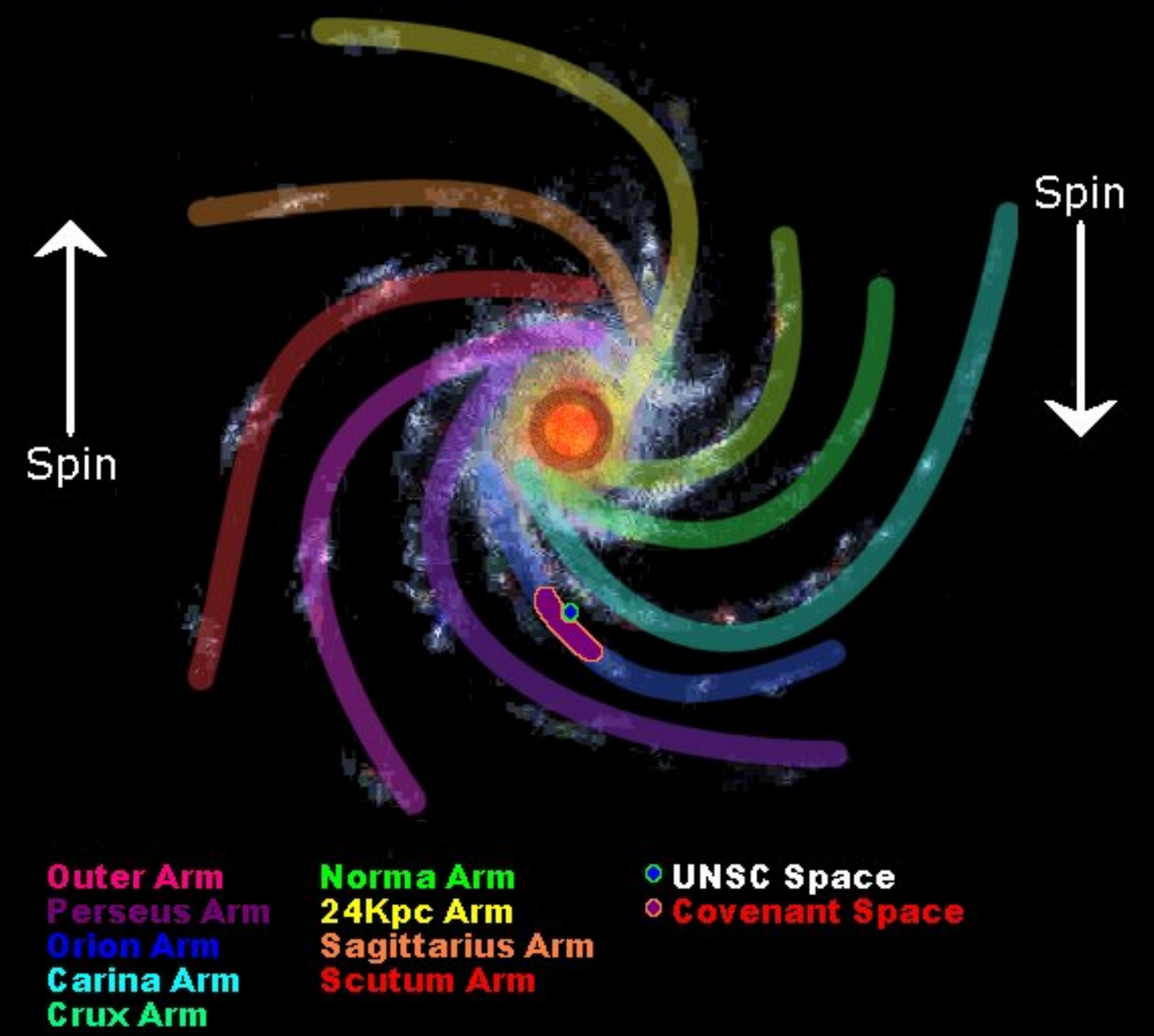
1. Un po’ di storia e di tassonomia
2. Proprietà degli AGN
3. Modello unificato
4. Cosmologia

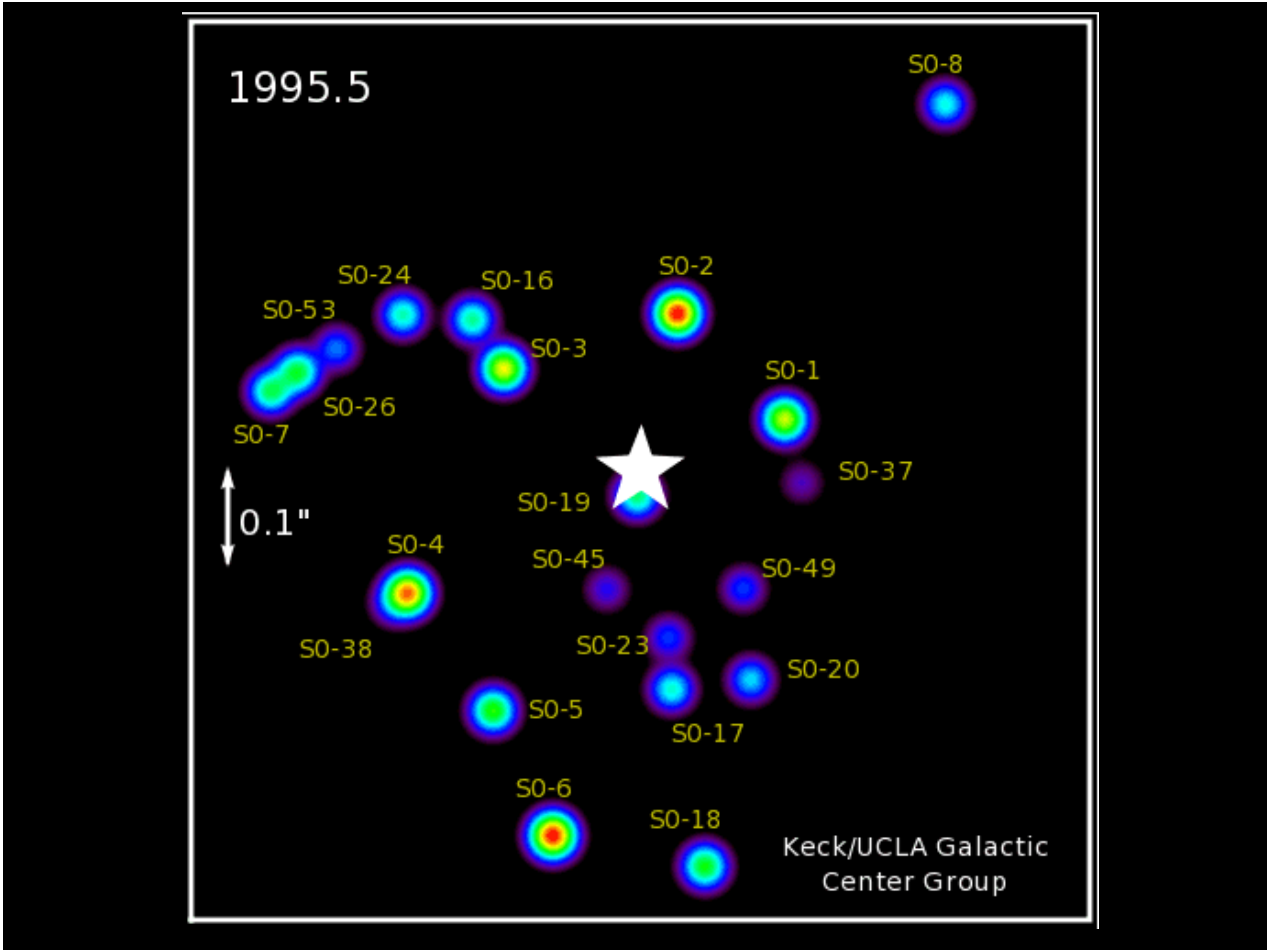
1

Storia e Tassonomia



La Via Lattea




1995.5
S0-8
S0-24
S0-16
S0-2
S0-53
S0-3
S0-1
S0-26
S0-7
S0-37
S0-19
0.1"
S0-4
S0-45
S0-49
S0-38
S0-23
S0-20
S0-5
S0-17
S0-6
S0-18
Keck/UCLA Galactic
Center Group

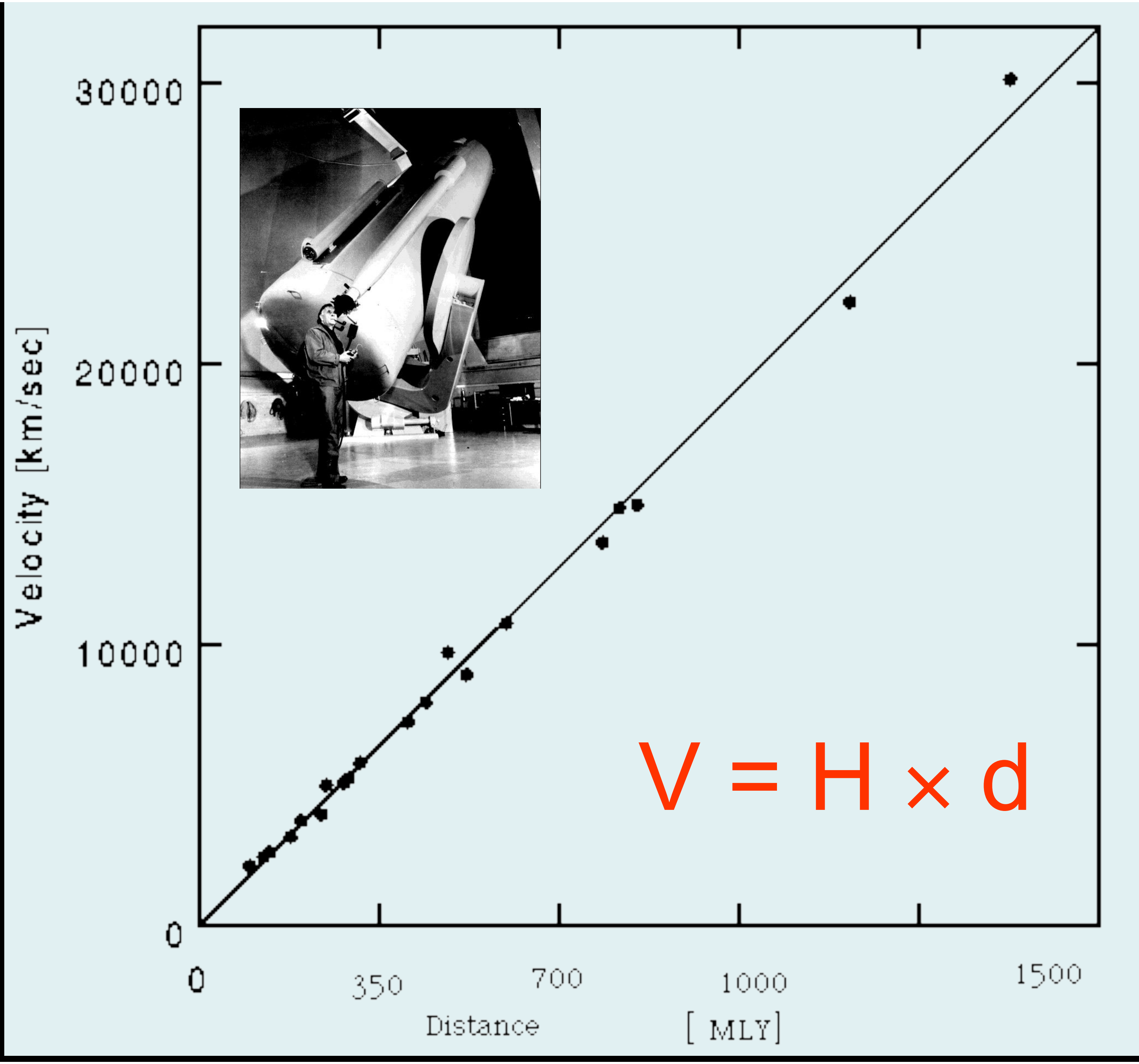
Massa del Buco Nero

$$\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

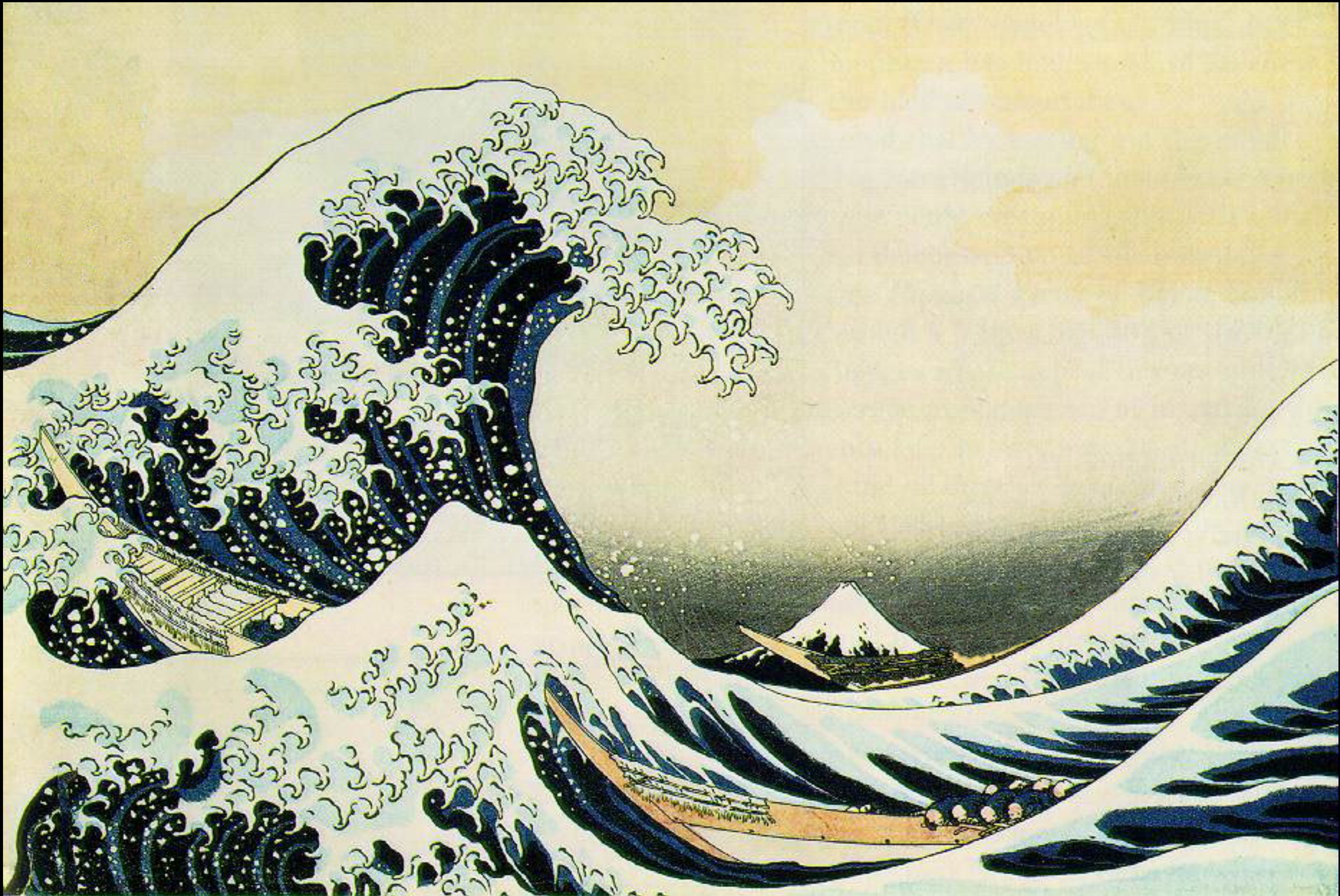
$$p^2 = \frac{4\pi^2}{GM} r^3$$

3ª legge di Keplero

$M =$ 4 milioni di volte la massa del Sole


V = H × d
Velocity [km/sec]
30000
20000
10000
0
Distance
[MLY]
0
350
700
1000
1500

(



Lo spettro elettromagnetico

onde radio

infrarosso

microonde

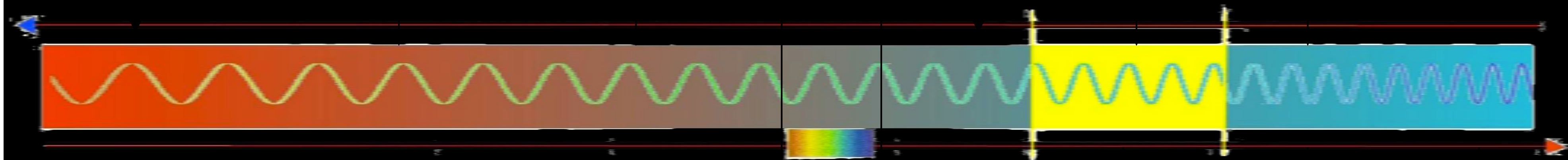
ultravioletto

raggi gamma

visibile

raggi x

energia



200 m

3 cm

3 μm

1000 A

7000 A 3500 A

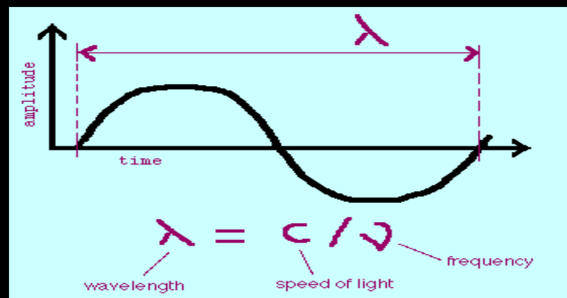
10 MeV

Lunghezza d'onda

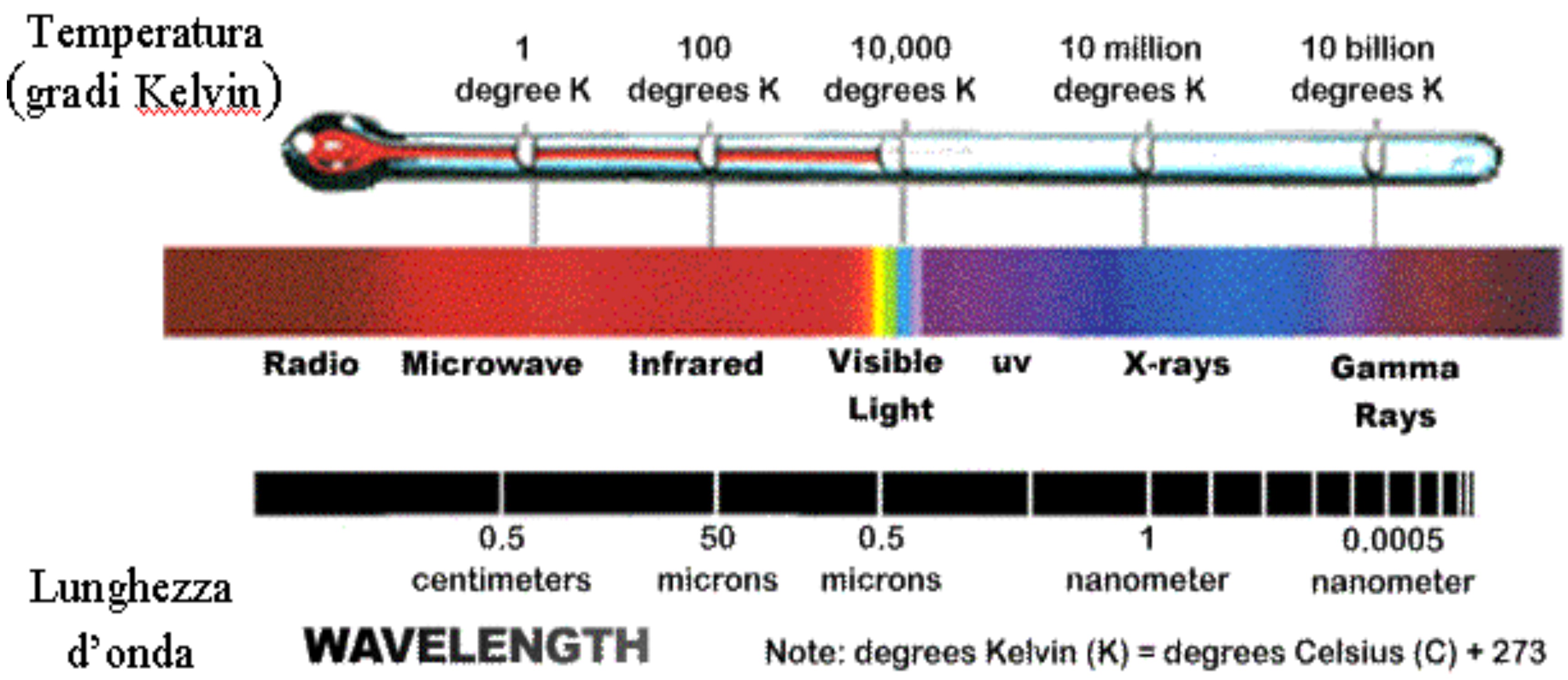
10 keV

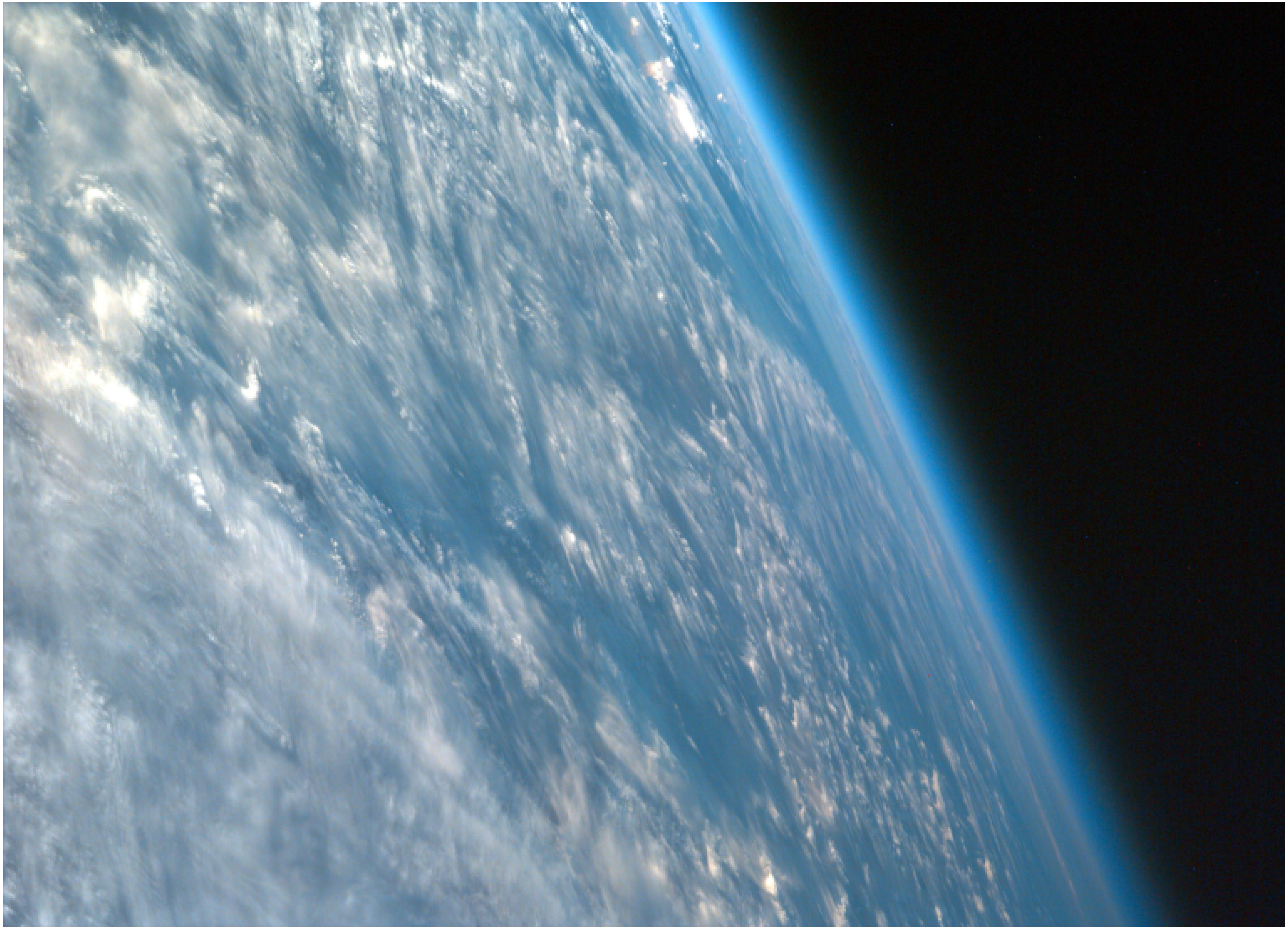
10 GeV

$$E = h\nu = hc / \lambda$$



Radiazione Termica





)

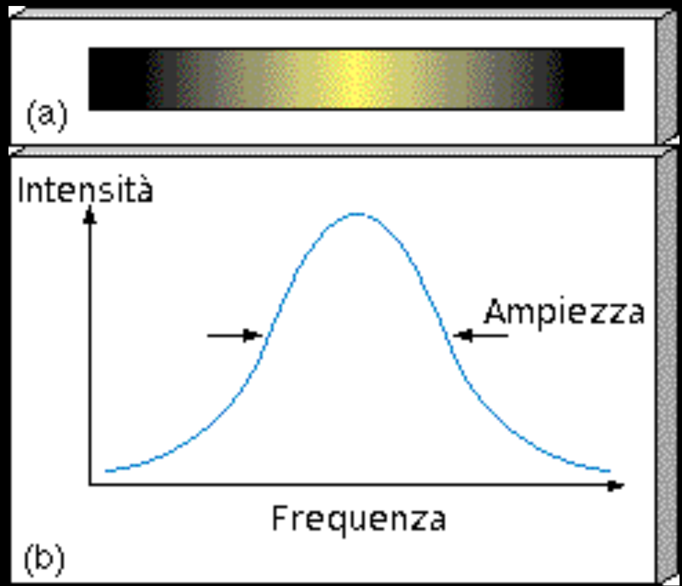
“L’unico vero viaggio verso la scoperta non consiste nella ricerca di nuovi paesaggi, ma nell’avere nuovi occhi”

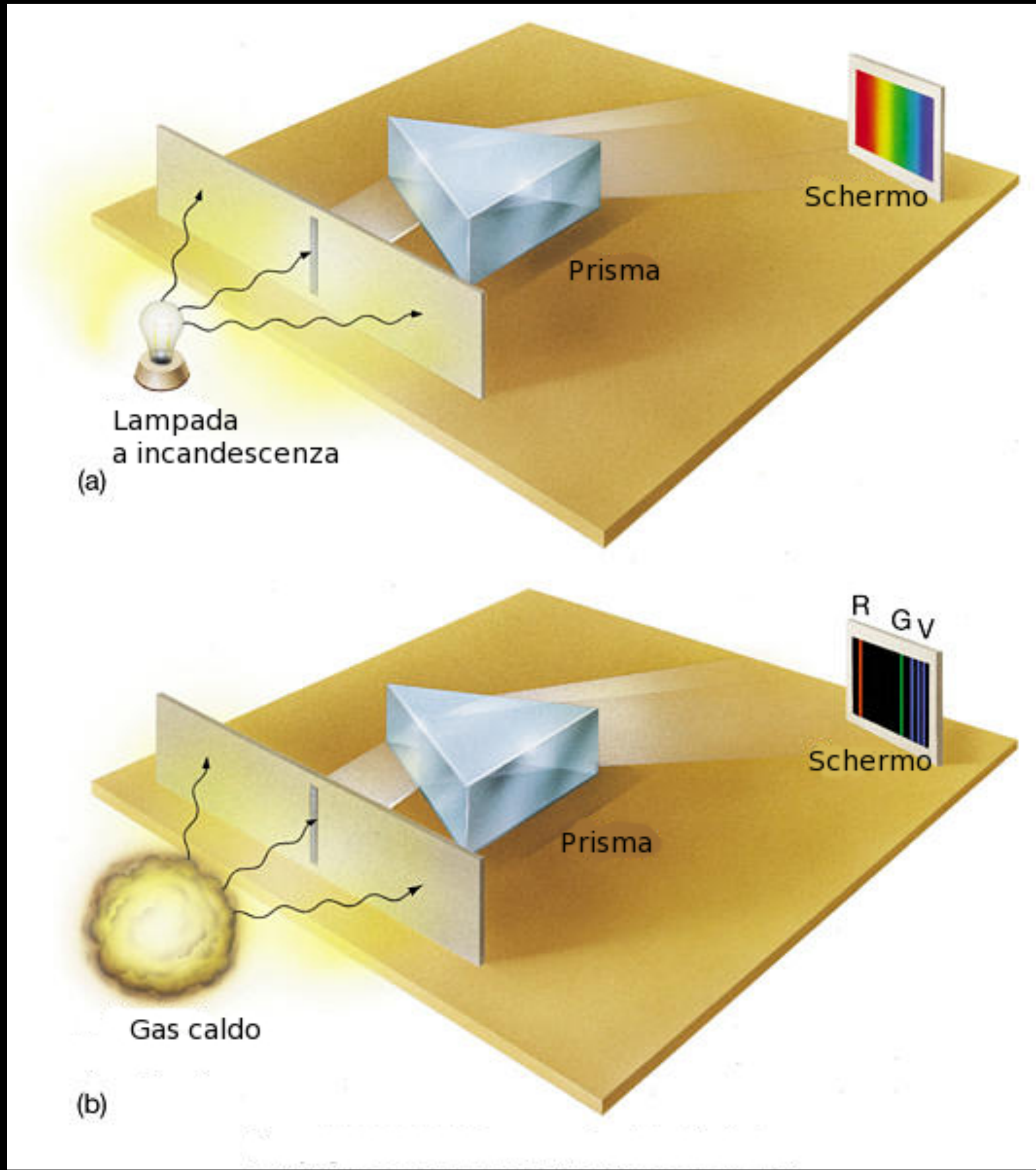
Marcel Proust, *Alla ricerca del tempo perduto*

Come si studiano le sorgenti cosmiche: spettri

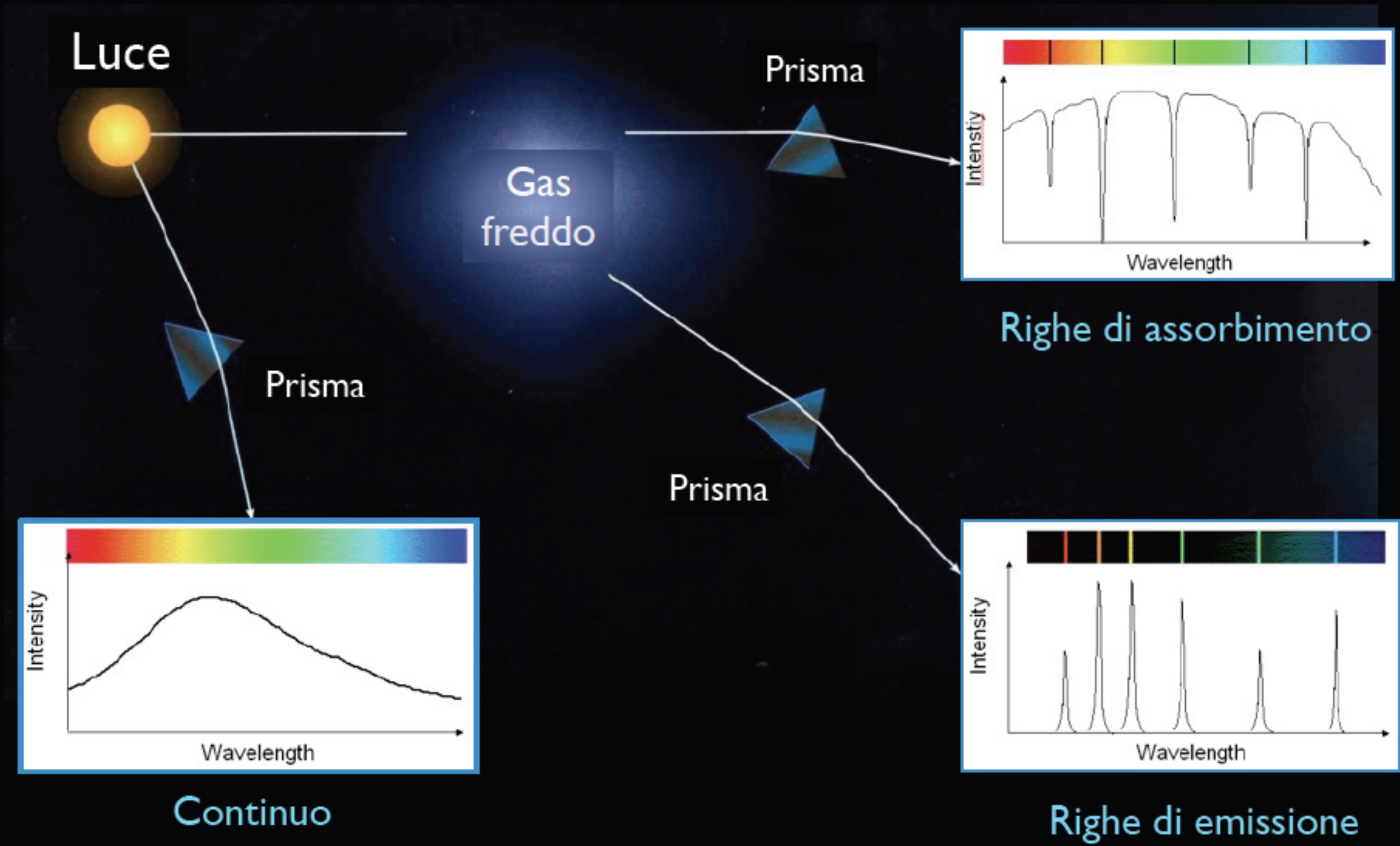
Per cercare di capire la natura delle sorgenti cosmiche, gli astronomi usano gli *spettri*, che non sono fantasmi, ma delle specie di arcobaleni artificiali…

Nota etimologica: *Spettro*: dal latino *spectrum*, costituito dalla base *spec-*, che a sua volta deriva da *specere* (guardare, vedere; cfr spettacolo) e dal suffisso *–trum*, indicante lo strumento. Letteralmente: *il mezzo per vedere*.

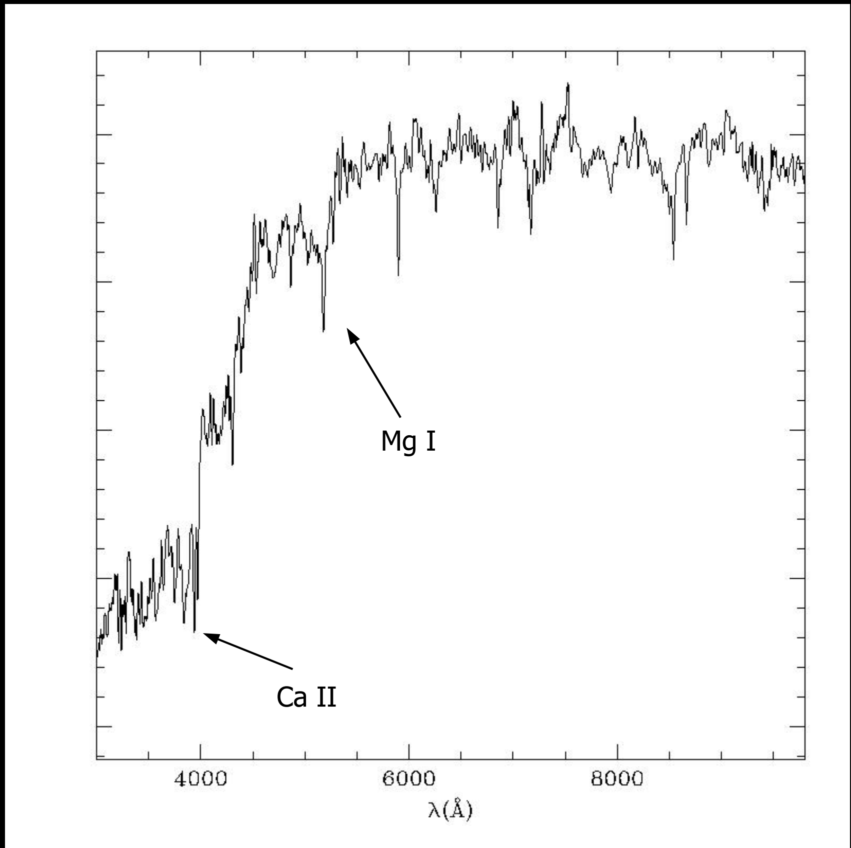


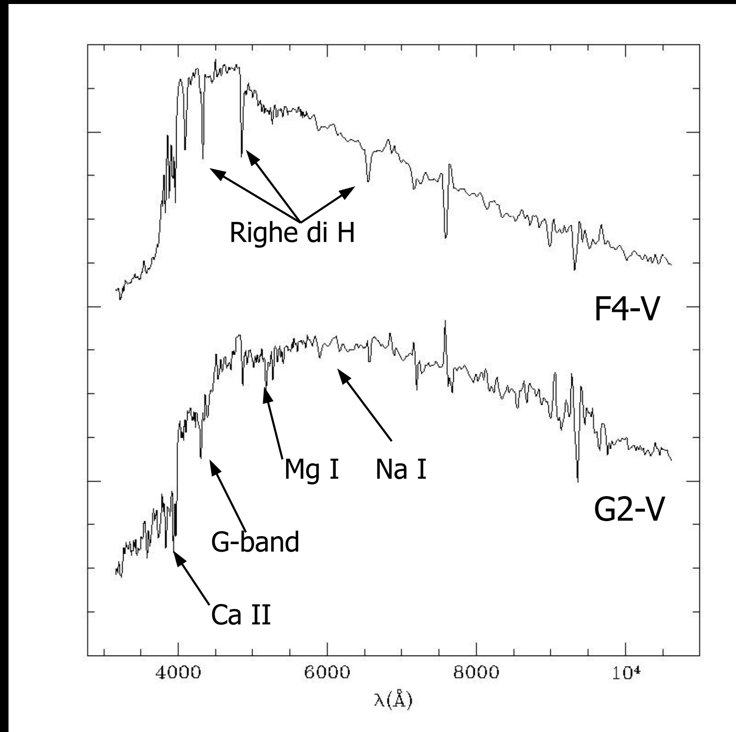


Tipi di spettro



Spettro di una galassia



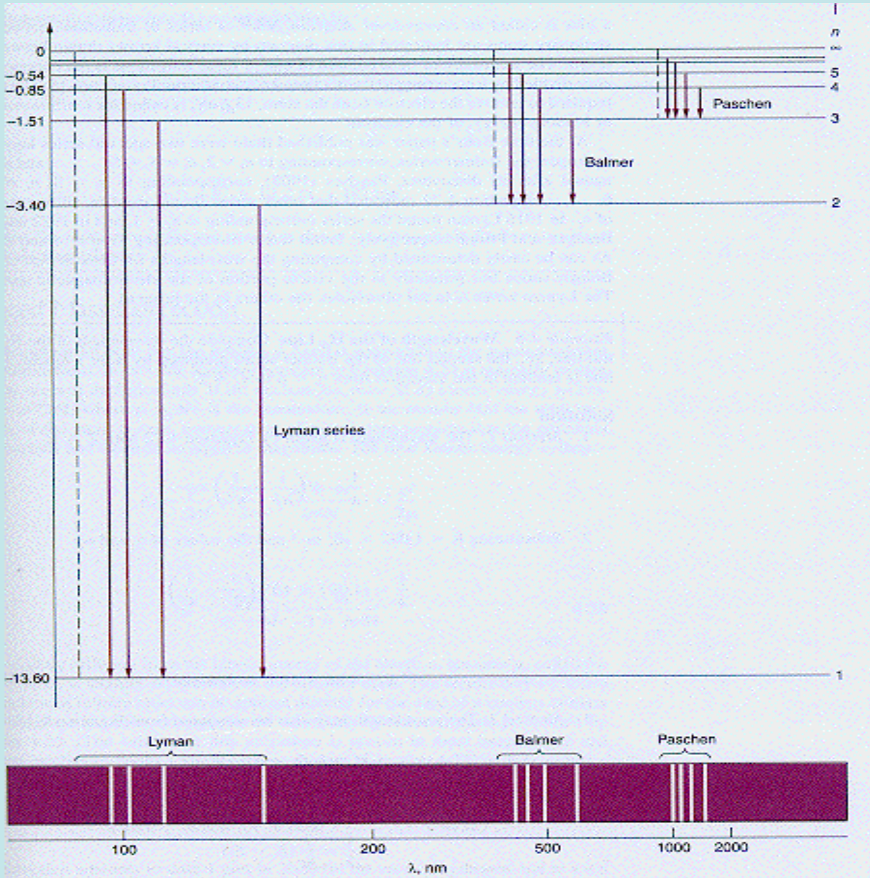


Transizioni quantizzate

Le energie di un atomo di idrogeno seguono la legge

$$E_n = -\frac{Z^2}{n^2} \times 13.6\, eV$$

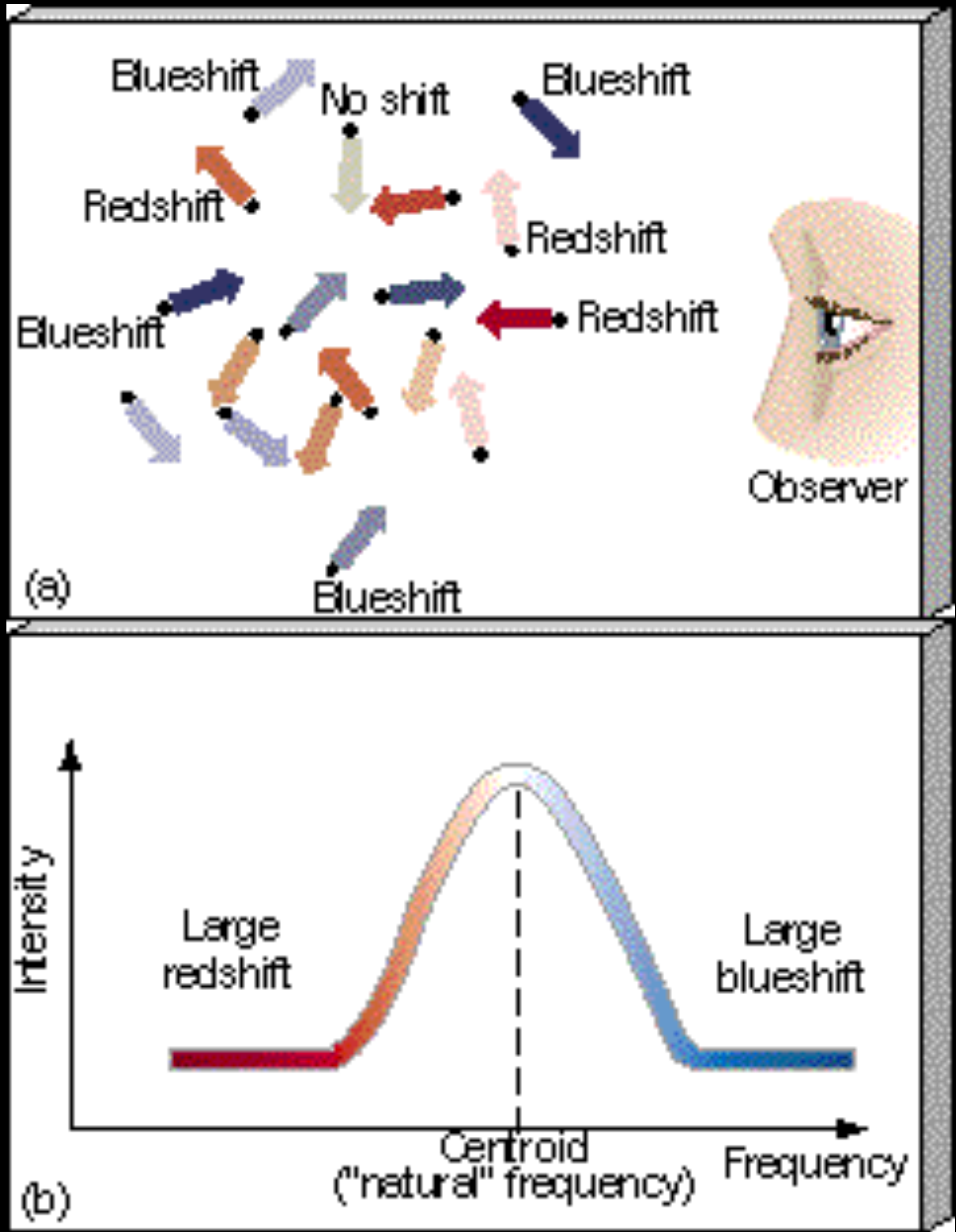
Emissione o assorbimento di fotoni tra livelli quantizzati di un atomo [o di uno ione]



Energie dei fotoni: $hf_{mn} = E_n - E_m$

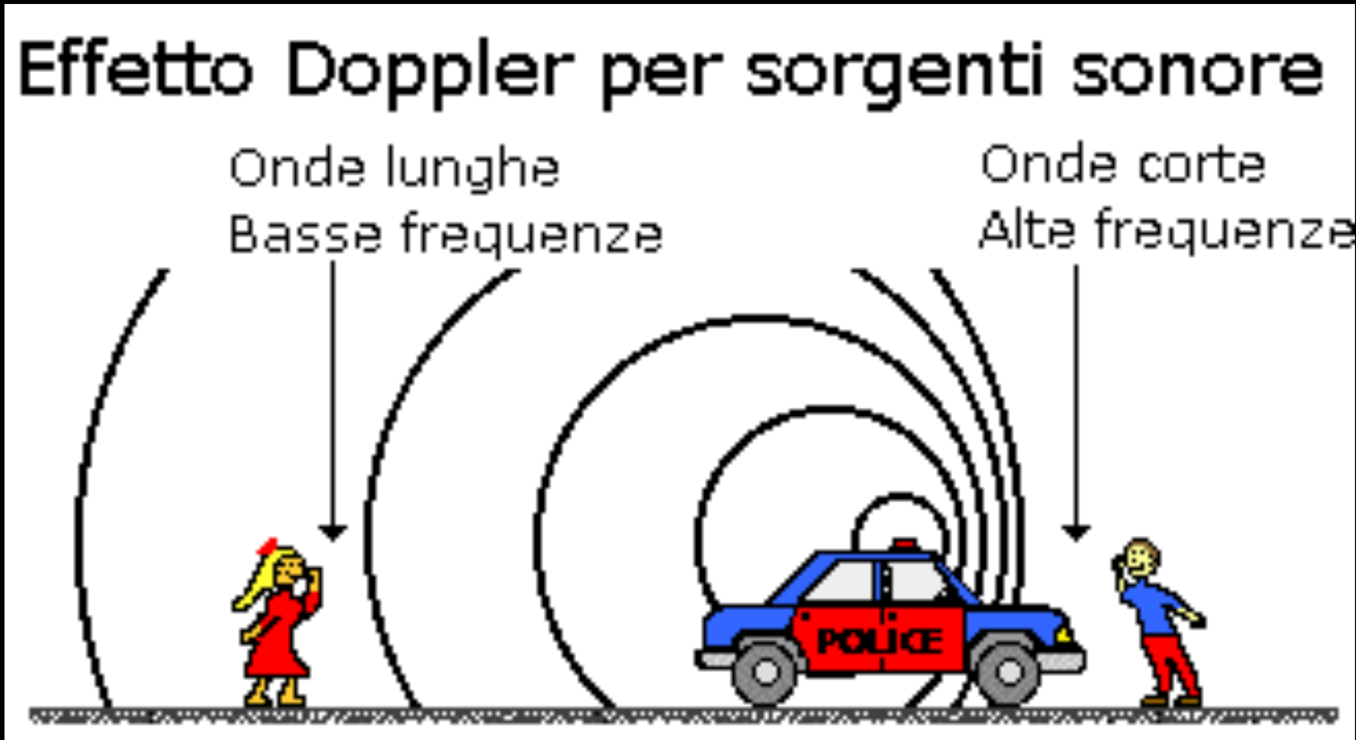
1 fotone di $f=10^{15}$ Hz E = 6.62 10^{-19} Joule lampadina: 100 joule/sec ~ 10^{20} fotoni/sec

Spettri


Blueshift
No shift
Blueshift
Redshift
Redshift
Blueshift
Redshift
Observer
(a)
Blueshift
Intensity
Large
redshift
Large
blueshift
Centroid
("natural" frequency)
Frequency
(b)

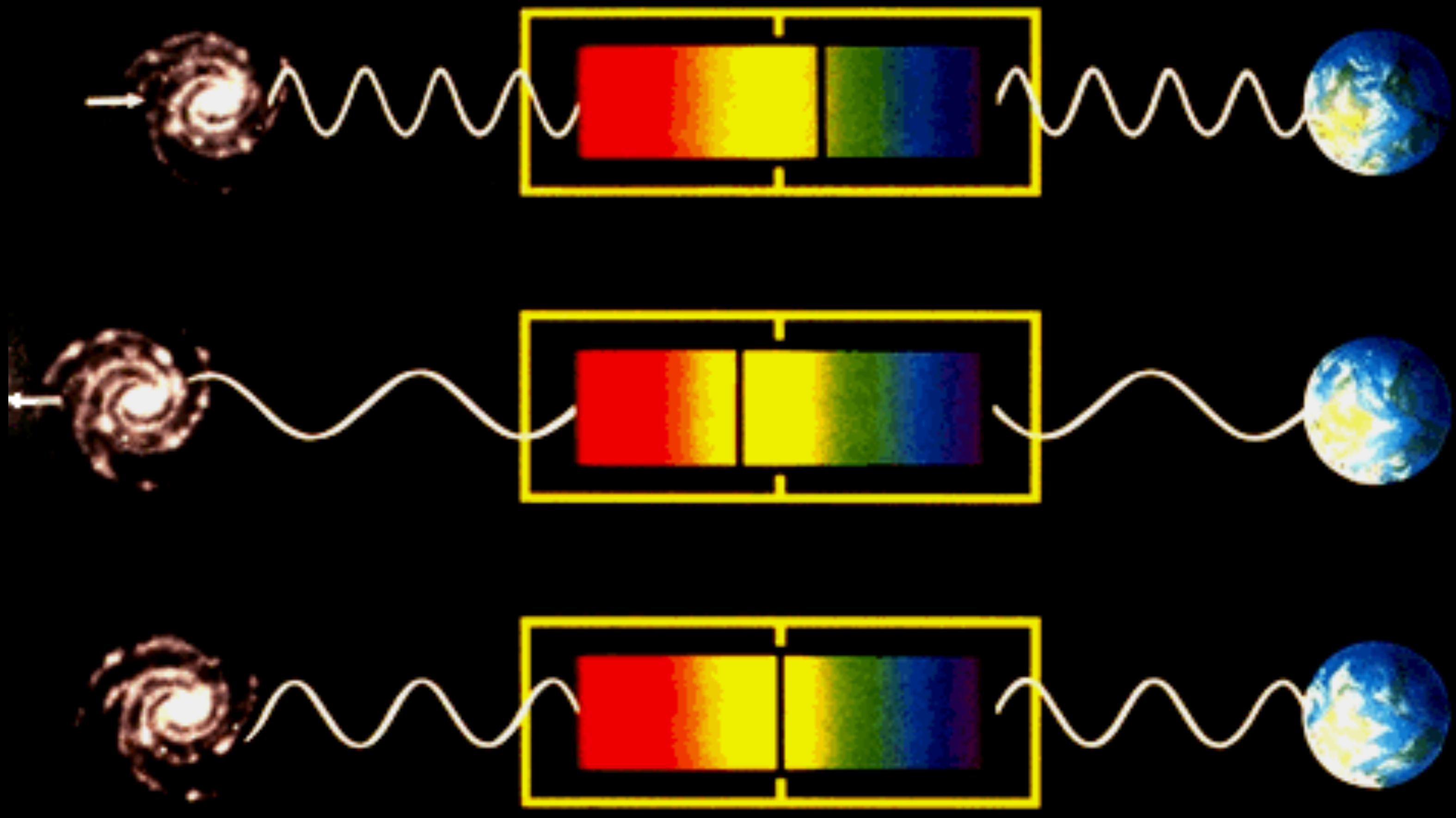
Effetto Doppler

Una sirena su un'auto che si **avvicina** viene udita con un **suono acuto** (alte frequenze), mentre la stessa sirena su un'auto che si **allontana** viene udita con un **suono grave** (basse frequenze).

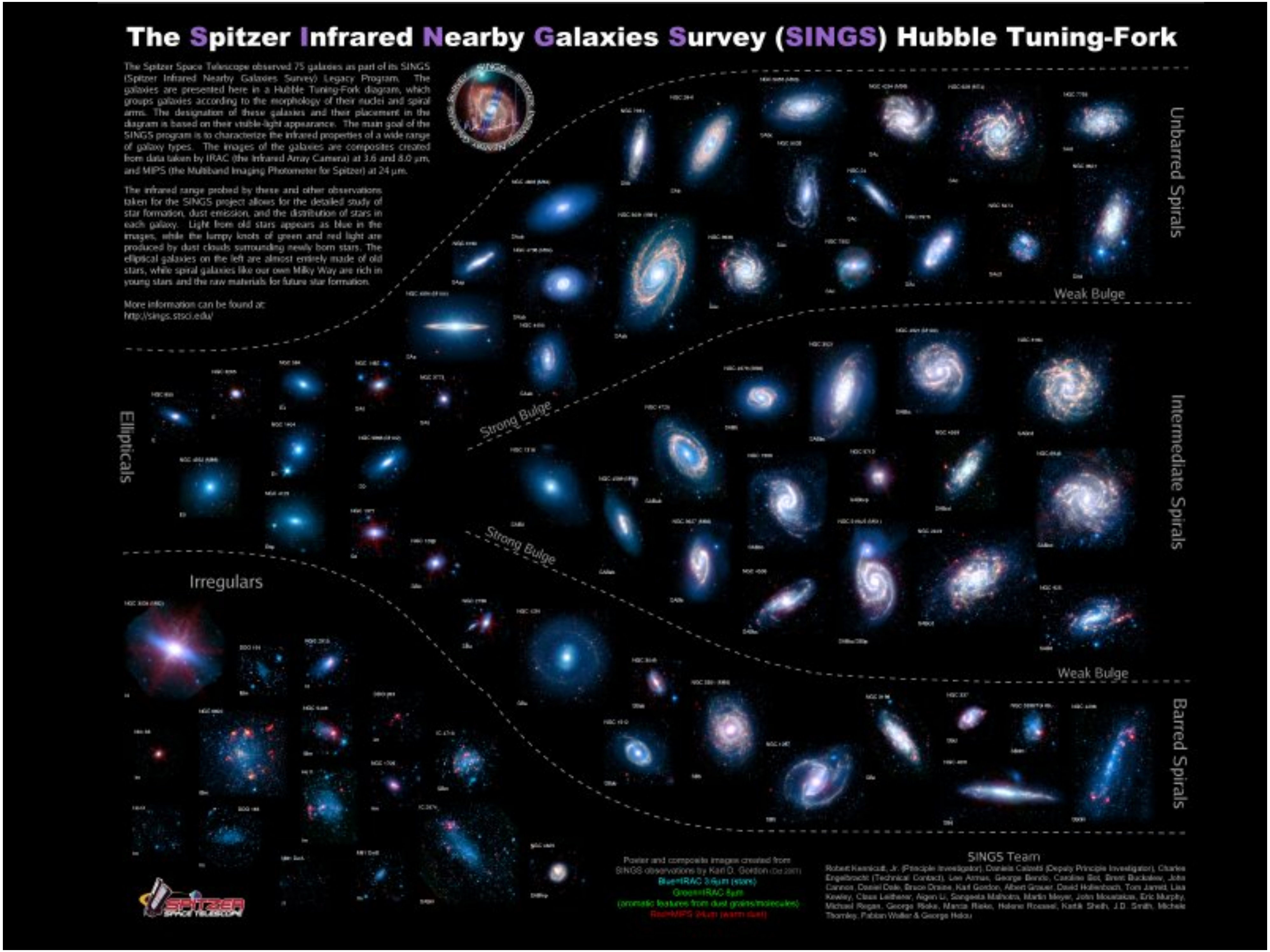


Negli spettri astronomici, una galassia che si allontana mostrerà uno spostamento delle righe verso le basse frequenze (colore rosso; **redshift**), mentre una galassia che si avvicina mostrerà uno spostamento verso le alte frequenze (colore blu; **blueshift**).

La radiazione di una stella che si avvicina alla terra è più blu



La radiazione di una stella che si allontana dalla terra è più rossa


The Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey (SINGS) Hubble Tuning-Fork
The Spitzer Space Telescope observed 75 galaxies as part of its SINGS (Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey) Legacy Program. The galaxies are presented here in a Hubble Tuning-Fork diagram, which groups galaxies according to the morphology of their nuclei and spiral arms. The designation of these galaxies and their placement in the diagram is based on their visible-light appearance. The main goal of the SINGS program is to characterize the infrared properties of a wide range of galaxy types. The images of the galaxies are composites created from data taken by IRAC (the Infrared Array Camera) at 3.6 and 8.0 µm, and MIPS (the Multiband Imaging Photometer for Spitzer) at 24 µm.
The infrared range probed by these and other observations taken for the SINGS project allows for the detailed study of star formation, dust emission, and the distribution of stars in each galaxy. Light from old stars appears as blue in the images, while the lumpy knots of green and red light are produced by dust clouds surrounding newly born stars. The elliptical galaxies on the left are almost entirely made of old stars, while spiral galaxies like our own Milky Way are rich in young stars and the raw materials for future star formation.
More information can be found at: http://sings.stsci.edu/
Unbarred Spirals
Weak Bulge
Strong Bulge
Intermediate Spirals
Strong Bulge
Weak Bulge
Barred Spirals
Ellipticals
Irregulars
Poster and composite images created from SINGS observations by Karl D. Gordon
Blue=IRAC 3.6µm (stars)
Green=IRAC 8µm
(aromatic features from dust grains/molecules)
Red=MIPS 24µm (warm dust)
SINGS Team
Robert Kennicutt, Jr. (Principle Investigator), Daniela Calzetti (Deputy Principle Investigator), Charles Engelbracht (Technical Contact), Lee Armus, George Bendo, Caroline Bot, Brent Buckalew, John Cannon, Daniel Dale, Bruce Draine, Karl Gordon, Albert Grauer, David Hollenbach, Tom Jarrett, Lisa Kewley, Claus Leitherer, Aigen Li, Sangeeta Malhotra, Martin Meyer, John Moustakas, Eric Murphy, Michael Regan, George Rieke, Marcia Rieke, Helene Roussel, Kartik Sheth, J.D. Smith, Michele Thornley, Fabian Walter & George Helou
SPITZER SPACE TELESCOPE

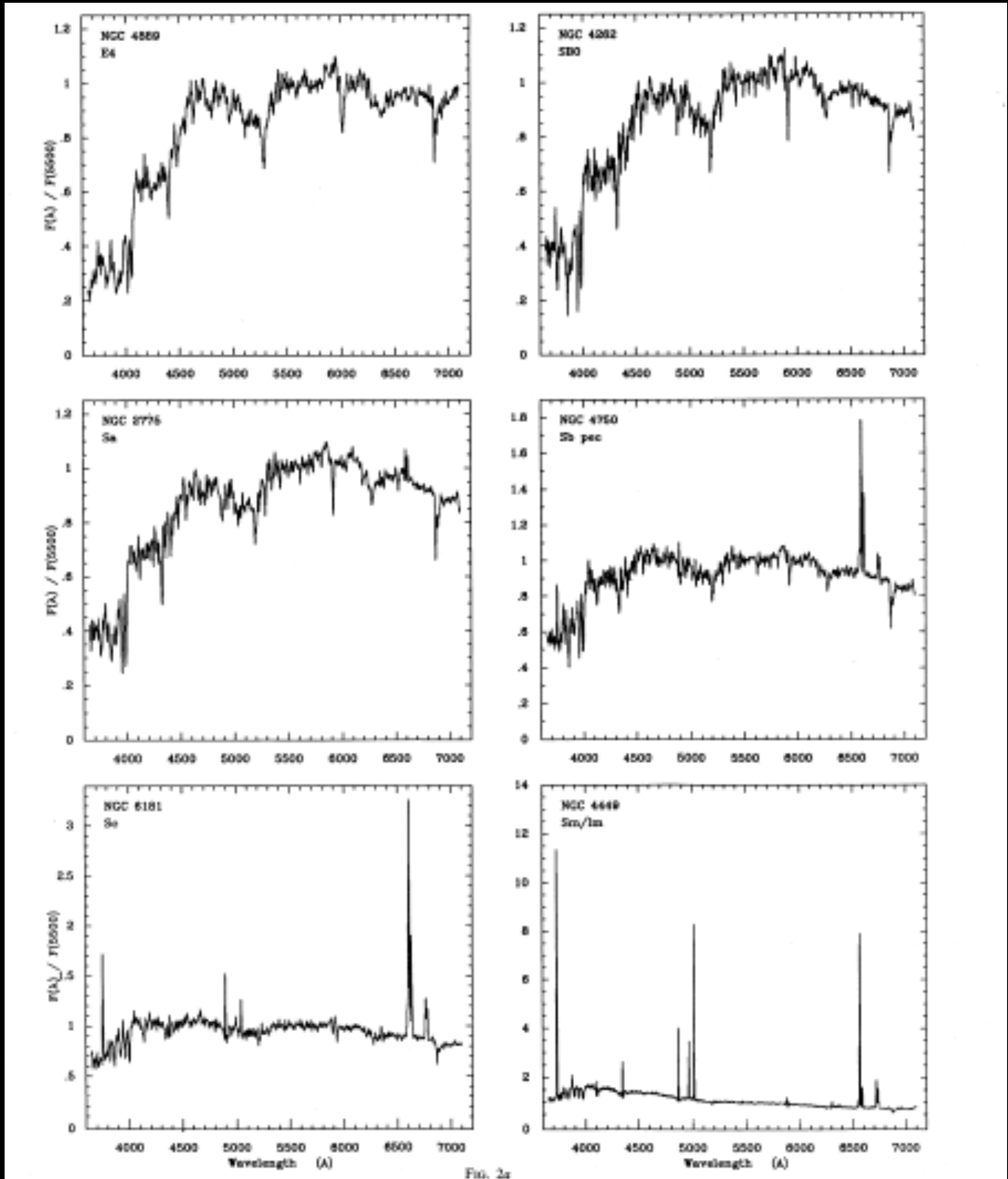
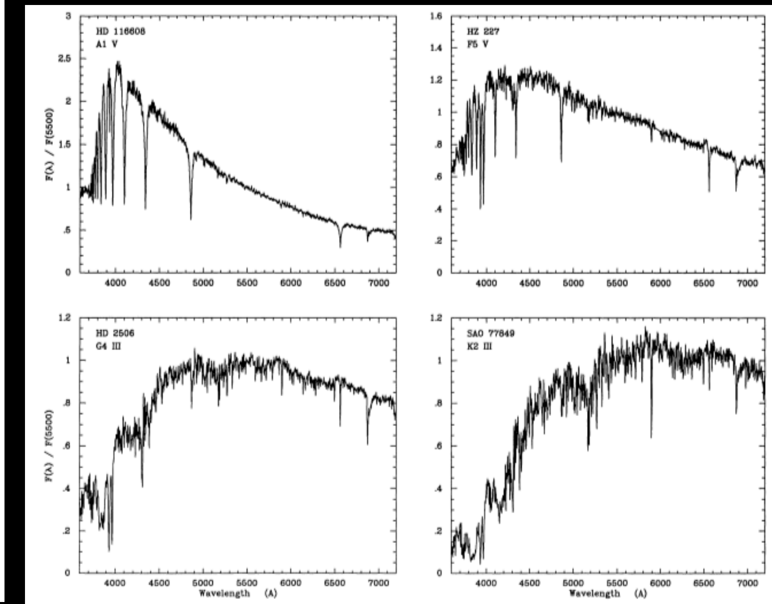


FIG. 2a

FIG. 2.—(a) The spectral Hubble sequence. Galaxies are shown in order of increasing Hubble type from top to bottom. See Table 3 for data on the galaxies. (b) Same spectra as in (a), but expanded in the blue to show the properties of the absorption-line spectra.

Spettri di galassie
in ordine di “tipo di
Hubble”

Sono la SOMMA
degli spettri stellari
Un poco “spostati”
a causa del redshift



Hubble elabora una **relazione tra distanza e velocità** (confermando i risultati teorici del belga Lemaître).

Gli effetti della velocità (redshift) vengono usati come misura della **distanza**.

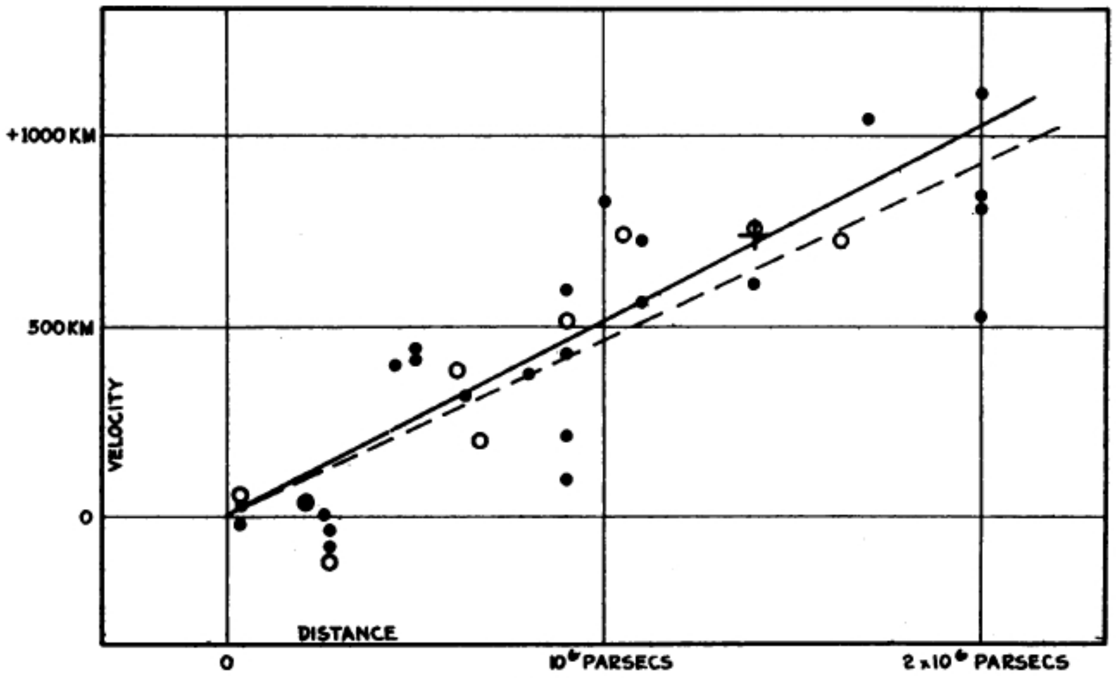


FIGURE 1
Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

A RELATION BETWEEN DISTANCE AND RADIAL VELOCITY AMONG EXTRA-GALACTIC NEBULAE

By Edwin Hubble

Mount Wilson Observatory, Carnegie Institution of Washington

Communicated January 17, 1929

Determinations of the motion of the sun with respect to the extra-galactic nebulae have involved a K term of several hundred kilometers which appears to be variable. Explanations of this paradox have been sought in a correlation between apparent radial velocities and distances, but so far the results have not been convincing. The present paper is a re-examination of the question, based on only those nebular distances which are believed to be fairly reliable.

Si tratta della base osservativa che condurrà alla formulazione della teoria del **Big Bang.**

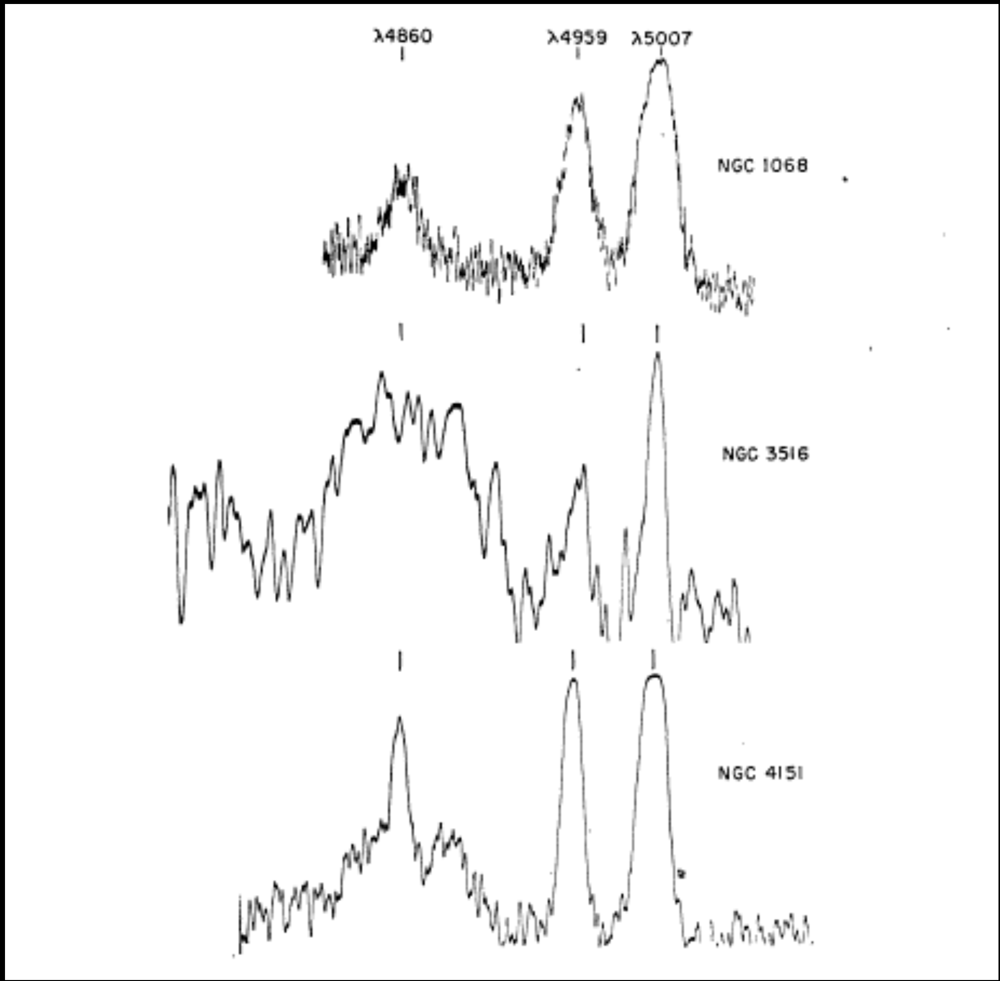
2

Strane galassie

Nel 1943 si scoprono delle "strane" galassie: "Nuclear Emission in Spiral Nebulae" by Carl K. Seyfert

- Nucleo
- Variabilita' < 1 anno
- Righe di Emissione

Carl Seyfert al telscopoio da 24 pollici della Vanderbilt University. (Credit: U. Vanderbilt)



I primi radiotelescopi

Identificazione delle radio sorgenti

- Se l'identificazione della radio sorgente è corretta, allora non c'è alcuna correlazione tra l'emissione di onde radio e la galassia

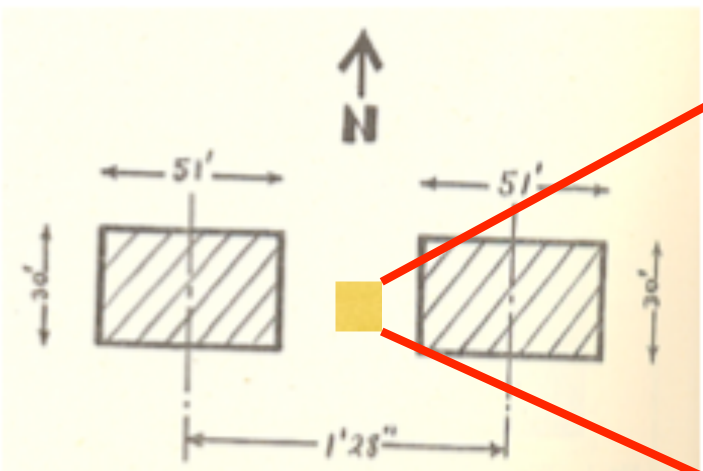
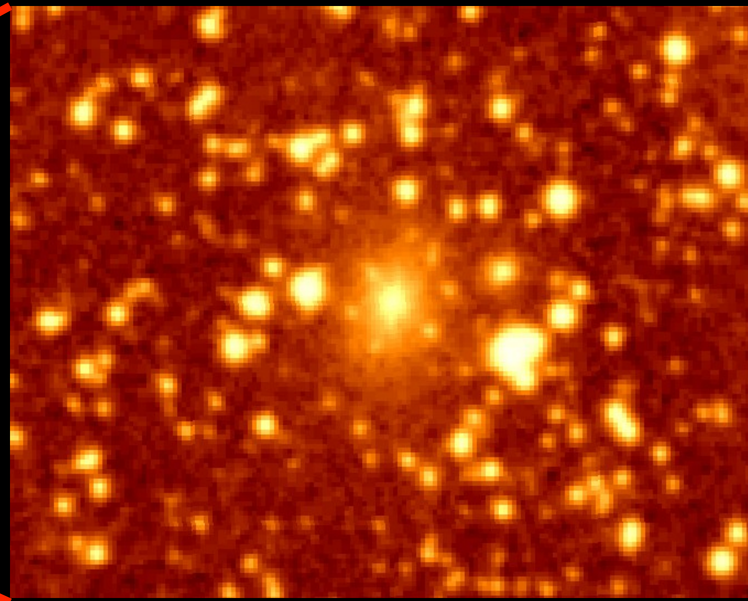


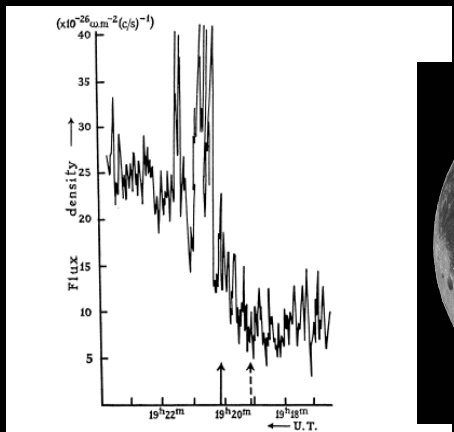
Fig. 2. Approximate intensity distribution of the extra-terrestrial radio source in Cygnus

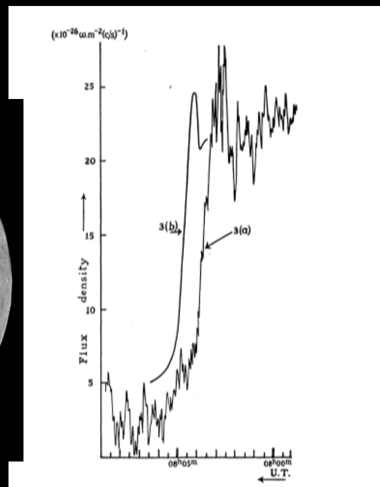


Osservazione di 3C 273

Dal 3° catalogo di Radio Sorgenti di Cambridge (Edge et al 1959)
Che contiene 471 sorgenti di onde radio (159 MHz)

Schmidt 1962: 3C 286 riga a 5170 A° Non identificato!
Matthews & Sandage 1963 “Radio stars” 3C 48 3C 169 e 3C 286
Hazard + 1963 occultazione lunare





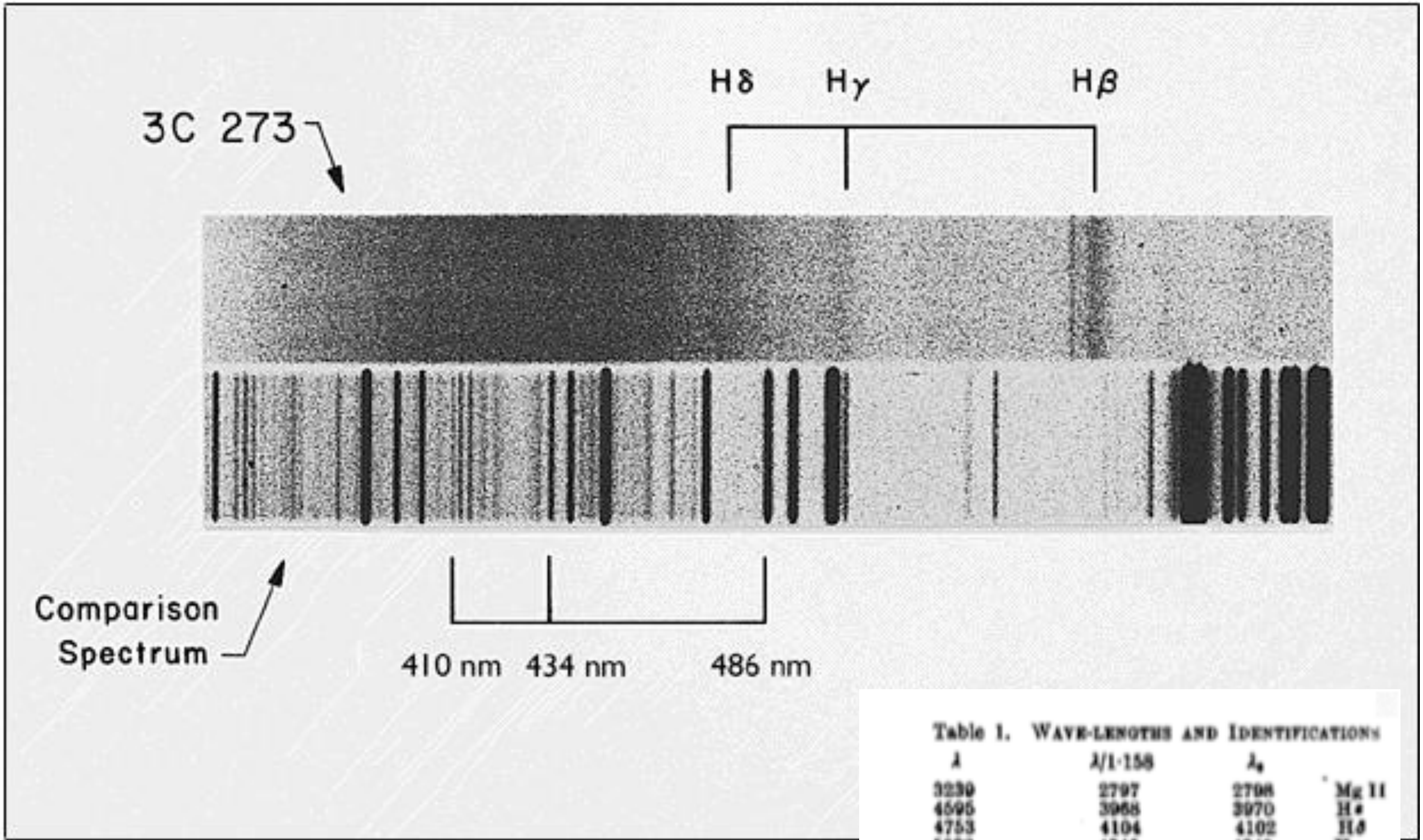
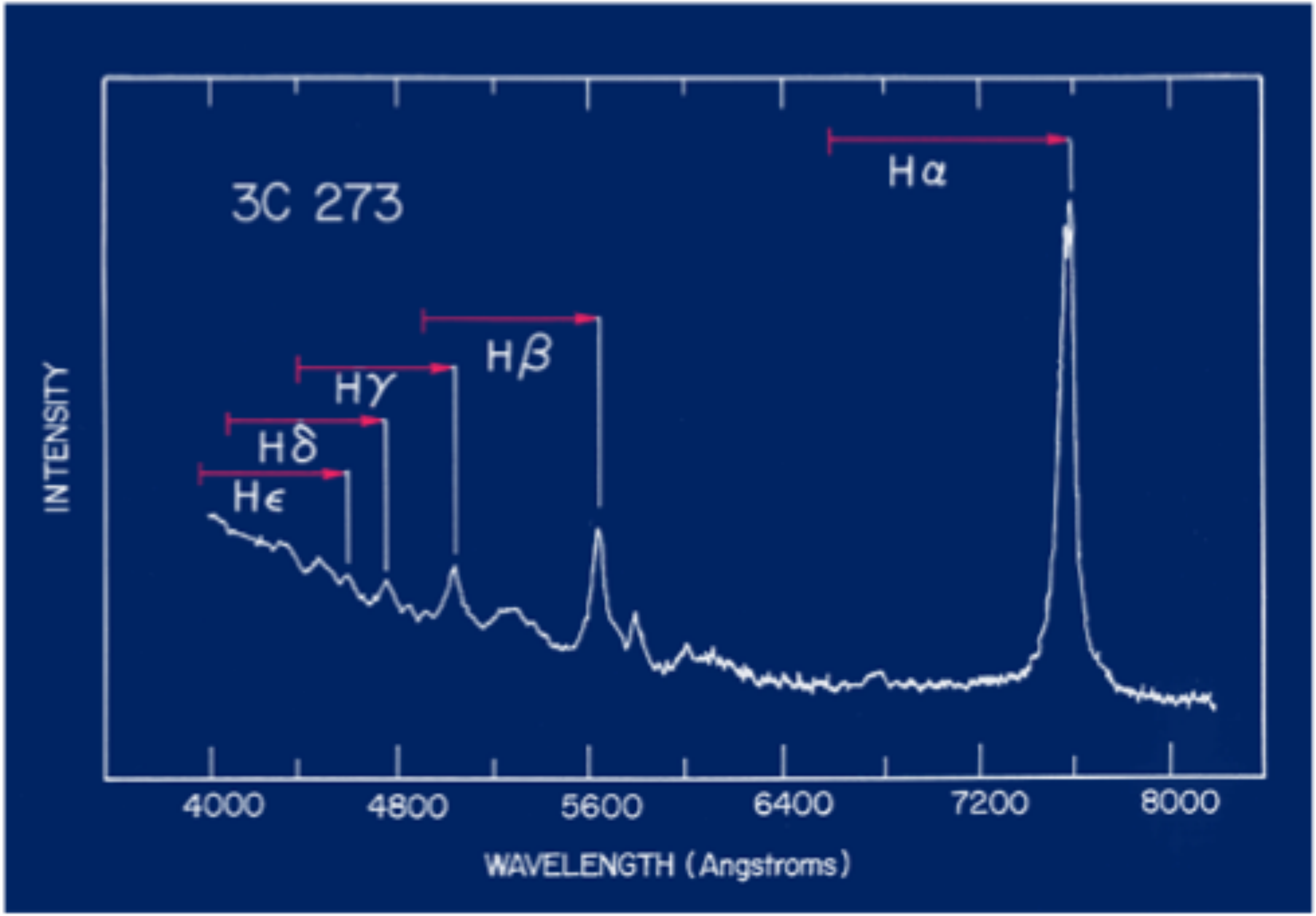


Table 1. Wave-lengths and Identifications

λ	$\lambda/1{\cdot}158$	λ_0	
3239	2797	2798	Mg II
4595	3968	3970	Hε
4753	4104	4102	Hδ
5032	4345	4340	Hγ
5200–5415	4490–4675		
5632	4864	4861	Hβ
5792	5002	5007	[O III]
6005–6190	5186–5345		
6400–6510	5527–5622		

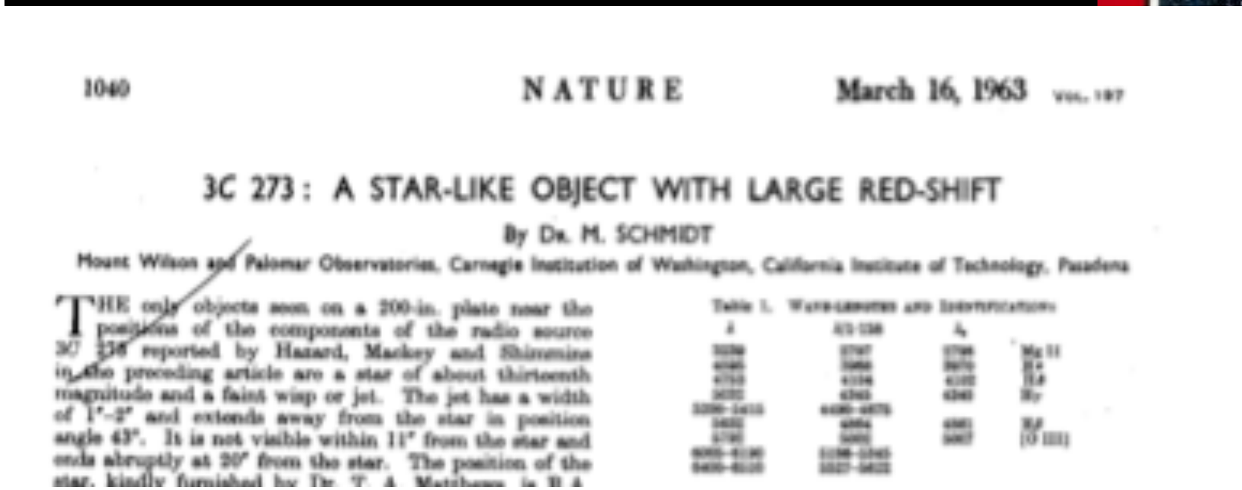
[redacted]


3C 273
Hα
Hβ
Hγ
Hδ
Hϵ
INTENSITY
4000
4800
5600
6400
7200
8000
WAVELENGTH (Angstroms)

QUASAR

Secondo la legge di Hubble, questo voleva dire che 3C 273 è distante dalla Terra ben 500 Mpc (~2 miliardi di anni luce) e si allontana alla velocità di 50000 km/s (1/6 di quella della luce!).

“Most direct and least objectionable”
La spiegazione più diretta e meno discutibile



1040 NATURE March 16, 1963

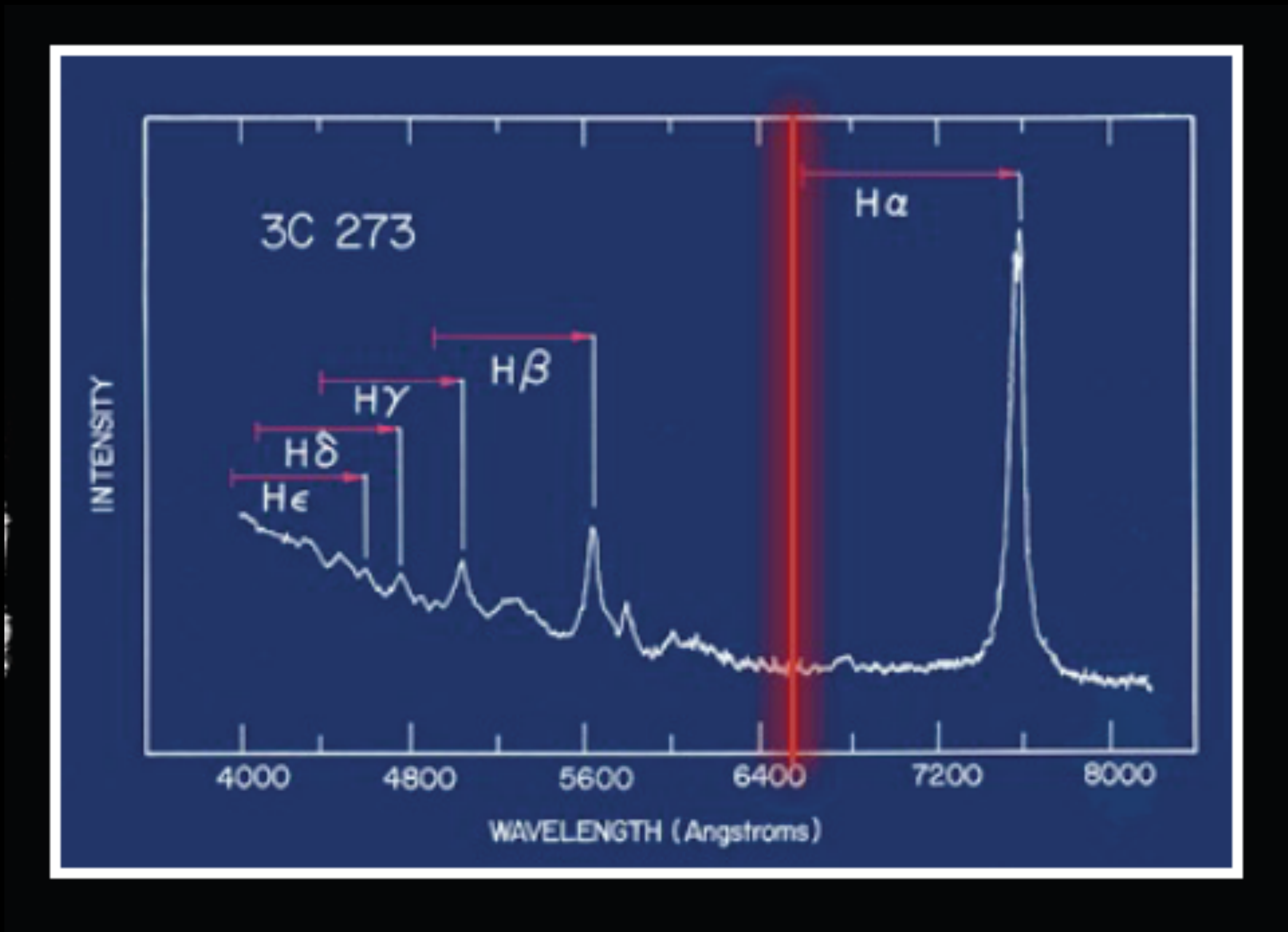
3C 273: A STAR-LIKE OBJECT WITH LARGE RED-SHIFT

By Dr. M. SCHMIDT

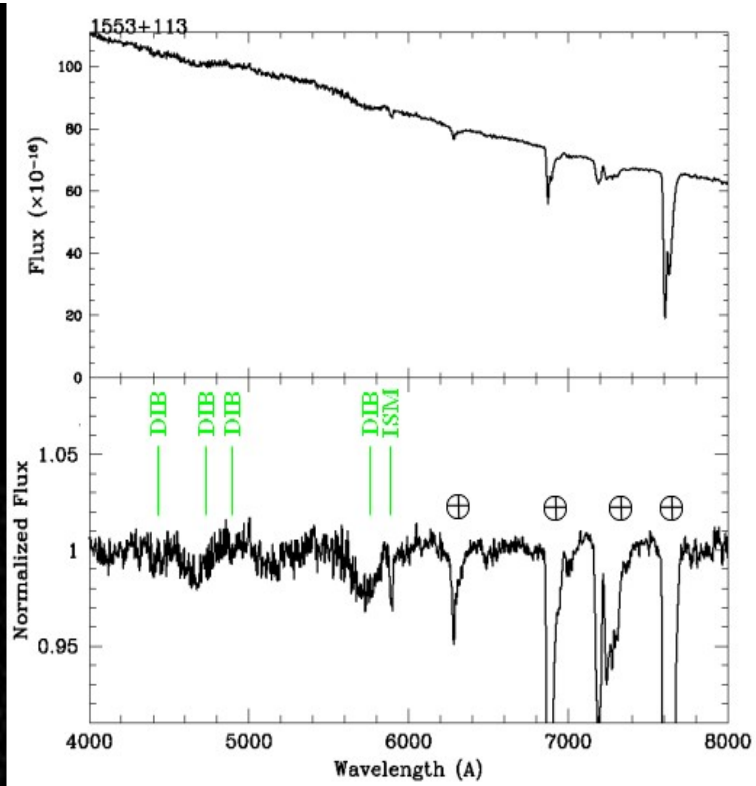
Mount Wilson and Palomar Observatories, Carnegie Institution of Washington, California Institute of Technology, Pasadena

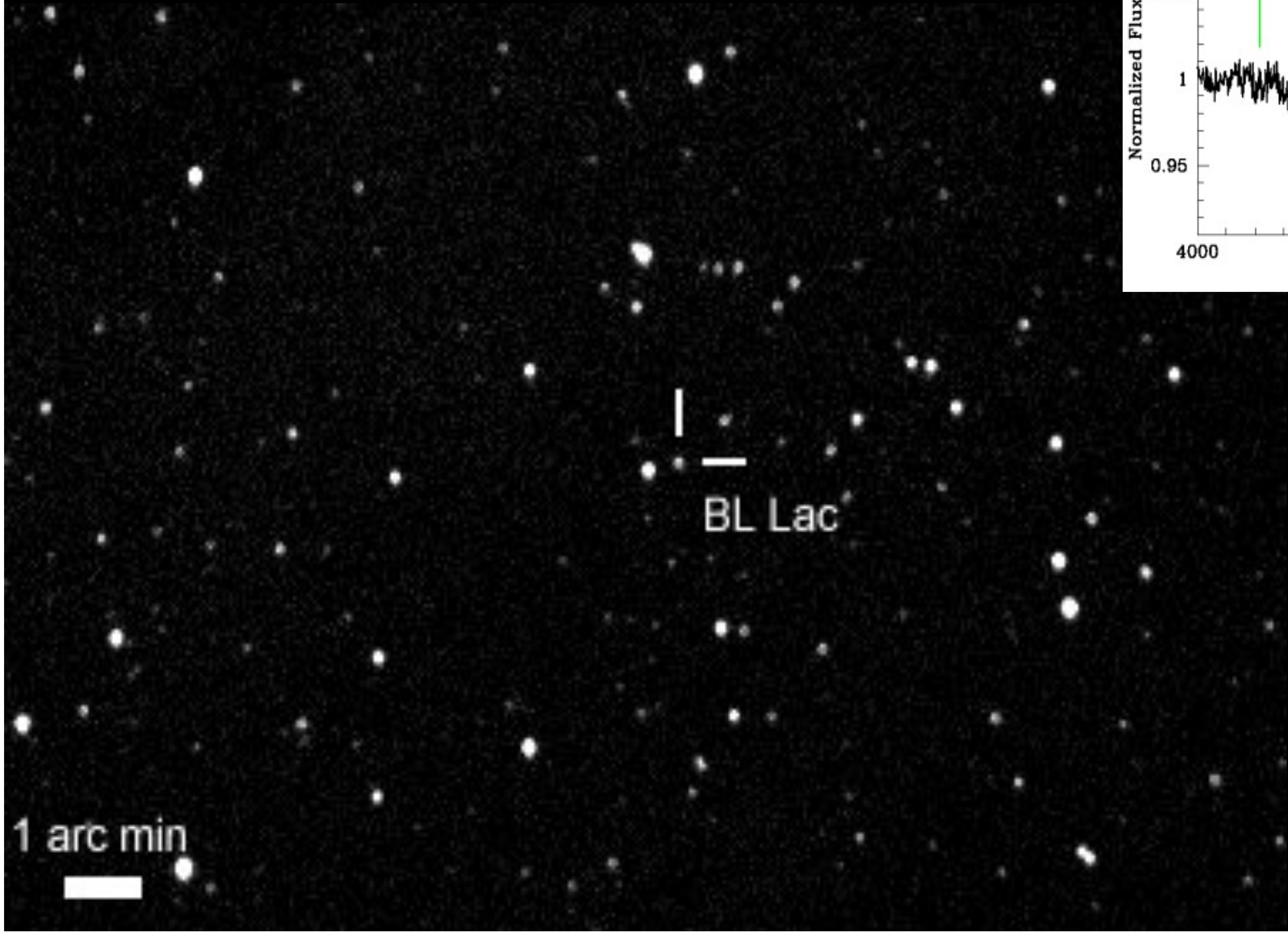
THE only objects seen on a 200-in. plate near the positions of the components of the radio source 3C 273 reported by Hazard, Mackey and Shimmins in the preceding article are a star of about thirteenth magnitude and a faint wisp or jet. The jet has a width of 1"-2" and extends away from the star in position angle 43°. It is not visible within 11" from the star and ends abruptly at 20" from the star. The position of the star, kindly furnished by Dr. T. A. Matthews, is R.A.

La luminosità di questa sorgente è 100-1000 volte maggiore di qualsiasi oggetto noto in quel momento.



Oggetti di tipo BL Lac





Radio stella

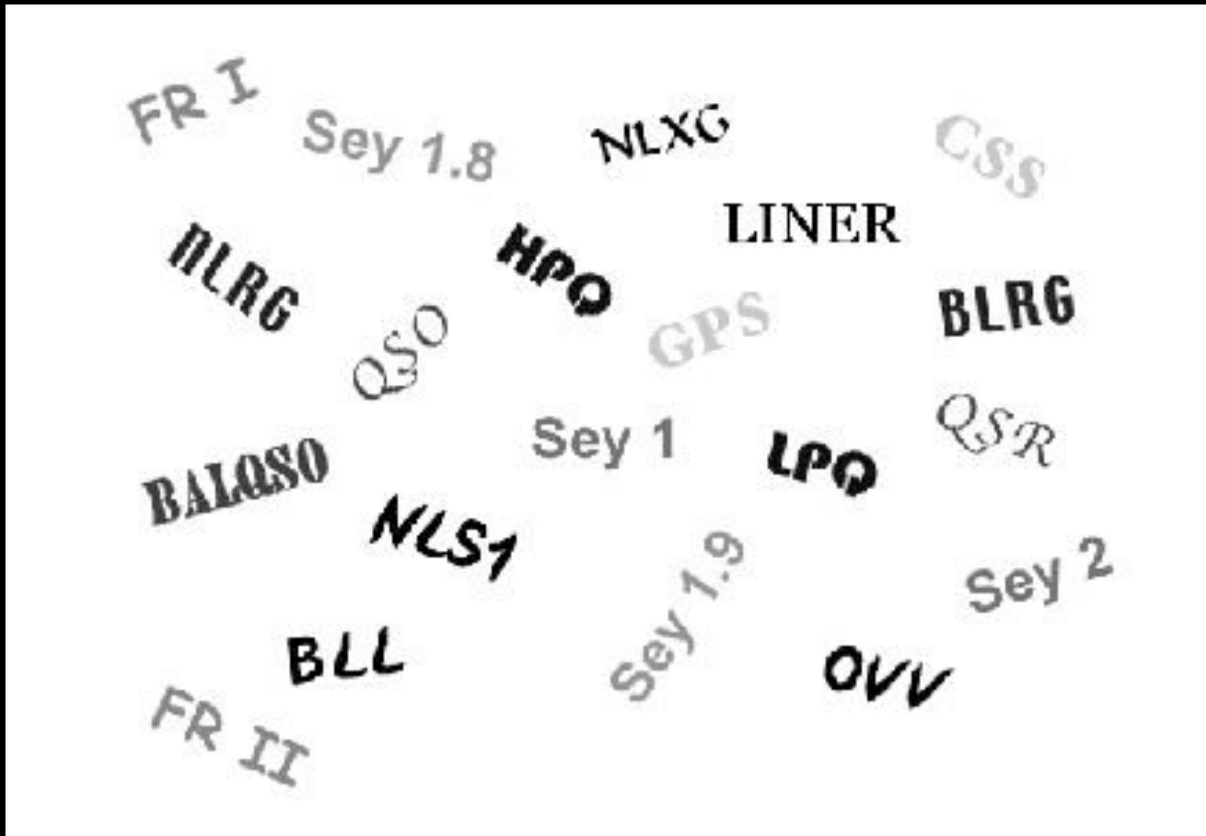
La ricerca continua

1967: >100 quasars identificati, spettri codificati e distanze misurate
(M. Burbidge 1967, Annual Review of Astronomy & Astrophysics)

M. Burbidge

3

I Nuclei Galattici Attivi
proprietà

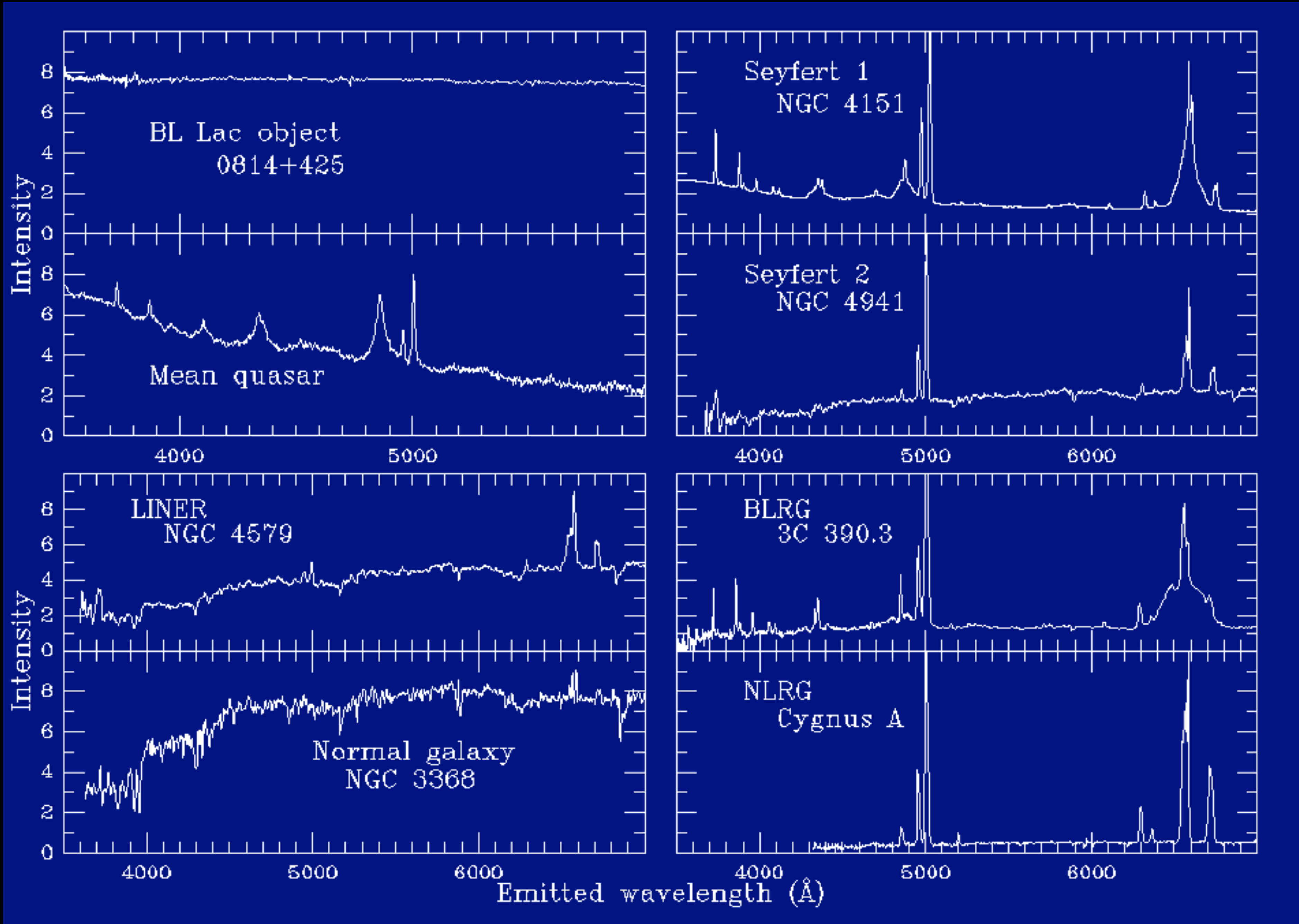

FR I
Sey 1.8
NLXG
CSS
NLRG
HPQ
LINER
BLRG
QSO
GPS
Sey 1
LPQ
QSR
BALQSO
NLS1
Sey 1.9
Sey 2
BLL
OVV
FR II

Proprietà

Spettri con righe di emissione larghe
Luminosità elevata
Morfologia peculiare – getti
Variabilità
Emissione RADIO
Moti superluminali

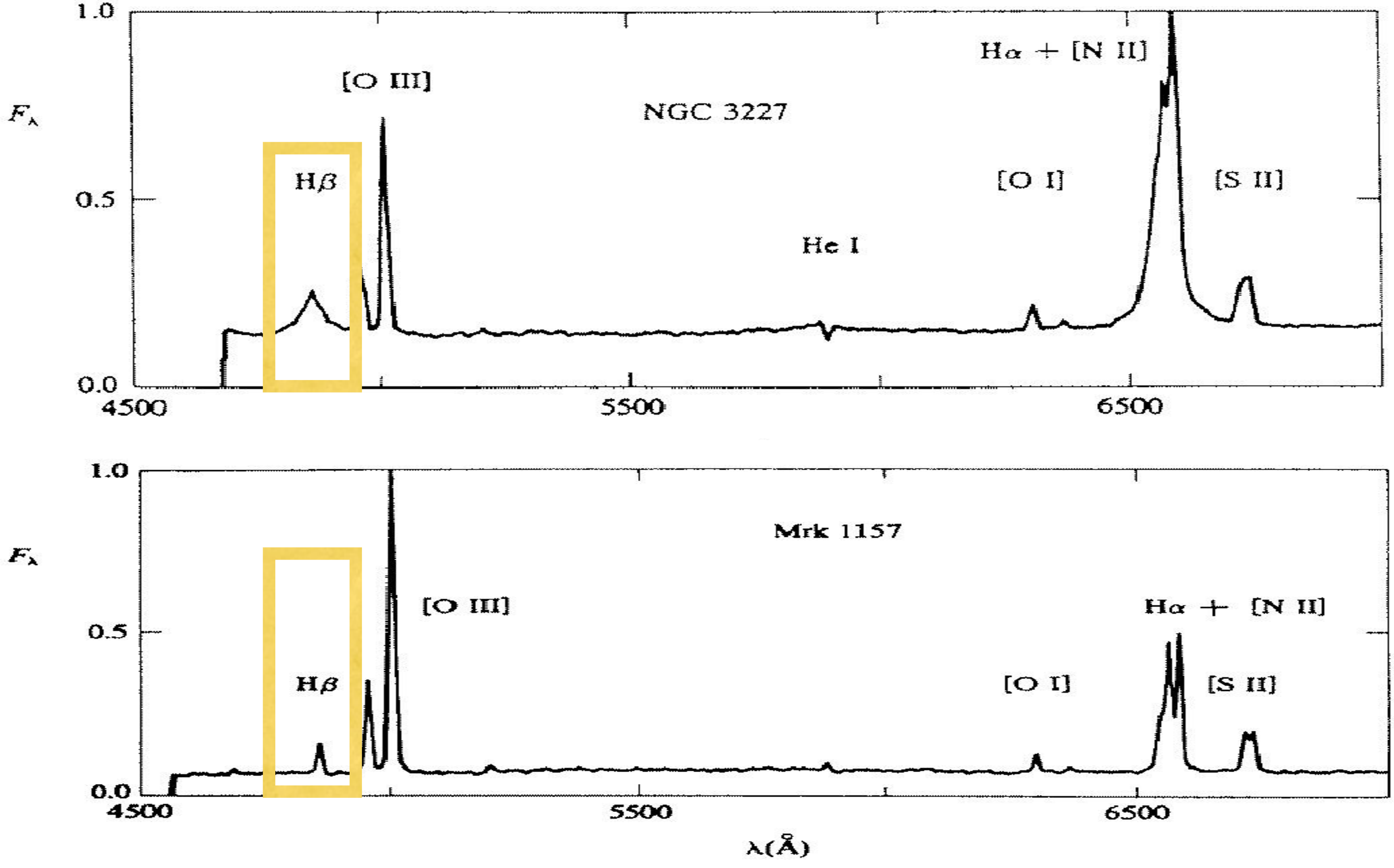
Proprietà

Spettri con righe di emissione larghe
Luminosità elevata
Morfologia peculiare – getti
Variabilità
Emissione RADIO
Moti superluminali



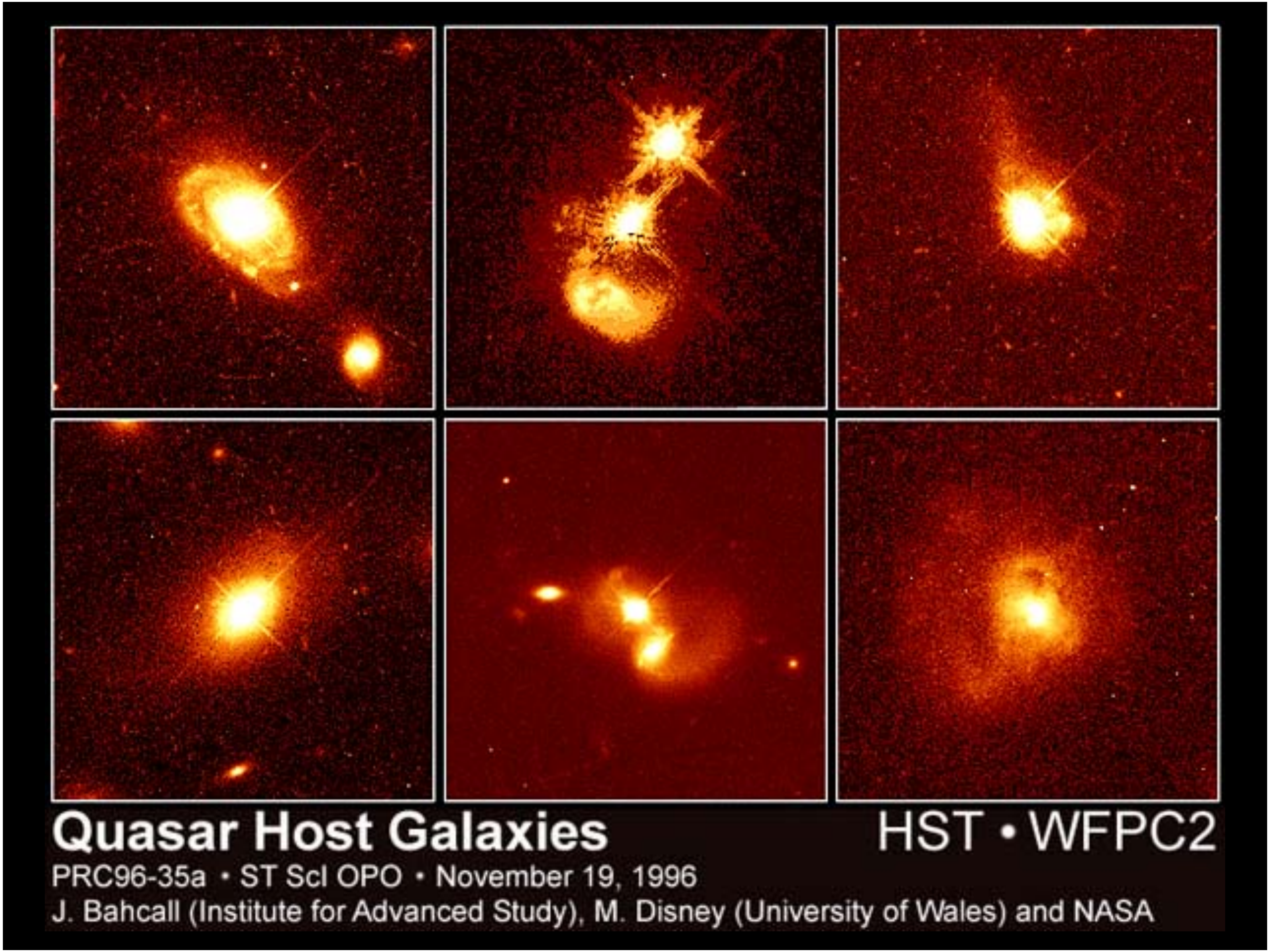
BL Lac object
0814+425
Mean quasar
Seyfert 1
NGC 4151
Seyfert 2
NGC 4941
LINER
NGC 4579
Normal galaxy
NGC 3368
BLRG
3C 390.3
NLRG
Cygnus A
Intensity
Intensity
Emitted wavelength (Å)
0
2
4
6
8
4000
5000
6000

Spettro di emissione



Proprietà

Spettri con righe di emissione larghe
Luminosità elevata
Morfologia peculiare – getti
Variabilità
Emissione RADIO
Moti superluminali


Quasar Host Galaxies
HST • WFPC2
PRC96-35a • ST ScI OPO • November 19, 1996
J. Bahcall (Institute for Advanced Study), M. Disney (University of Wales) and NASA

Produce molta energia:

Spesso di più di quella prodotta dalla galassia che lo ospita

10^{37} Watt

1˙000˙000˙000˙000˙000˙000˙000˙000 ×

Energia consumata sulla Terra ogni secondo

Proprietà

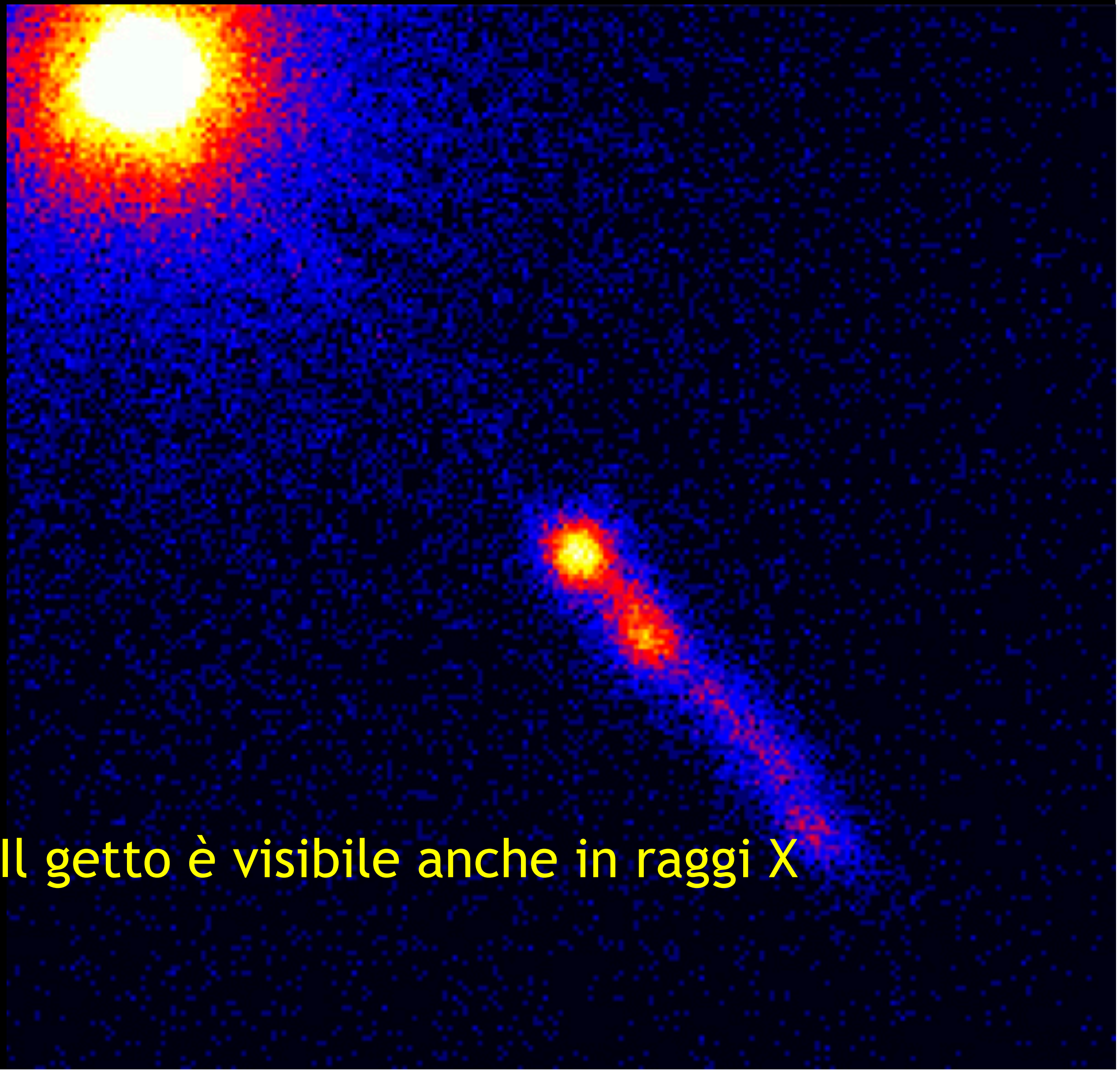
Spettri con righe di emissione larghe
Luminosità elevata
Morfologia peculiare – getti
Variabilità
Emissione RADIO
Moti superluminali

3C273

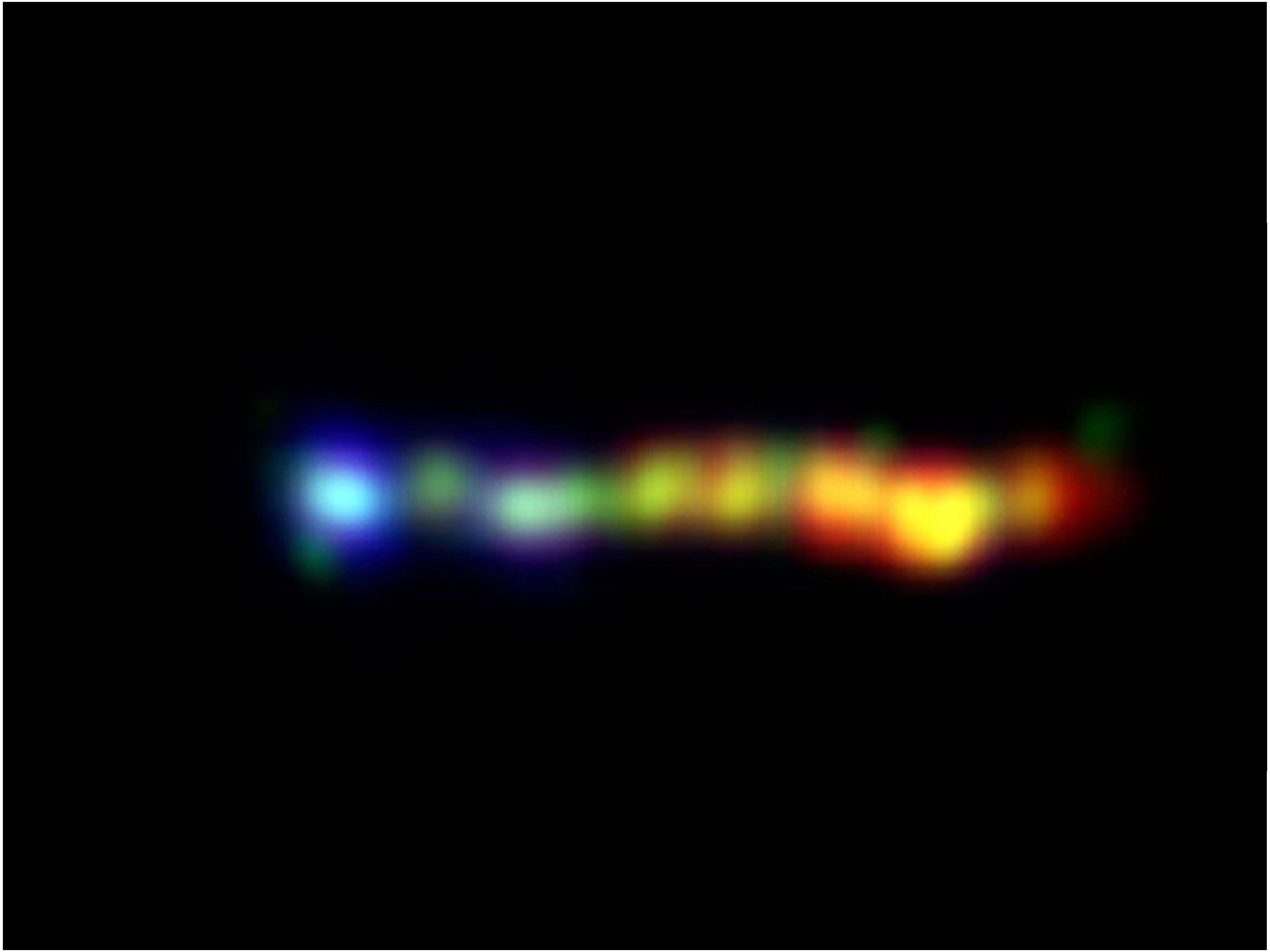
Uno dei piú vicini a noi, 3 miliardi di anni luce

Pur essendo il più brillante è mille volte troppo debole per essere visto ad occhio nudo dalla Terra

La sua luminosita' è 12 ordini di grandezza (10^{12} volte maggiore di quella del sole)

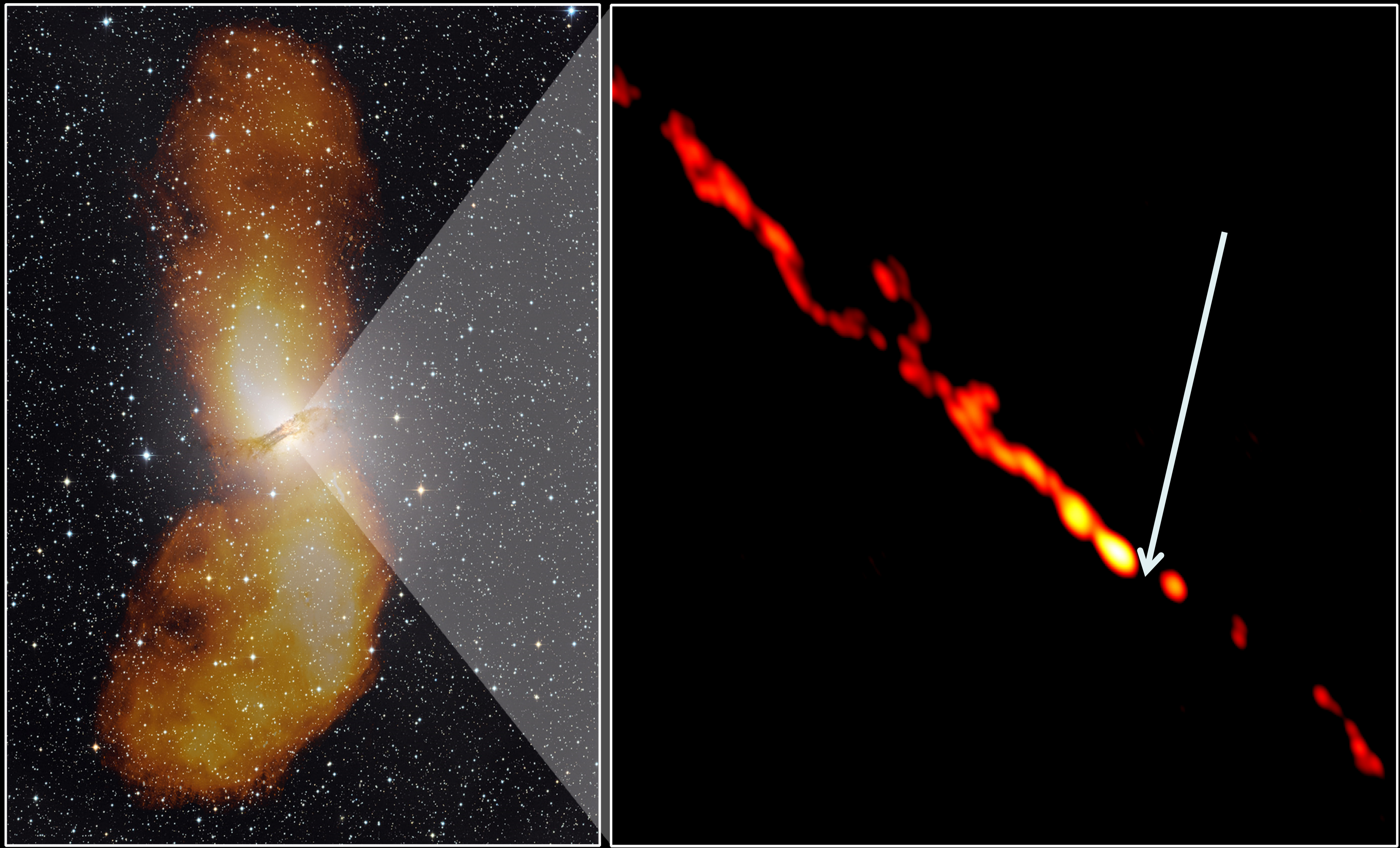


Il getto è visibile anche in raggi X



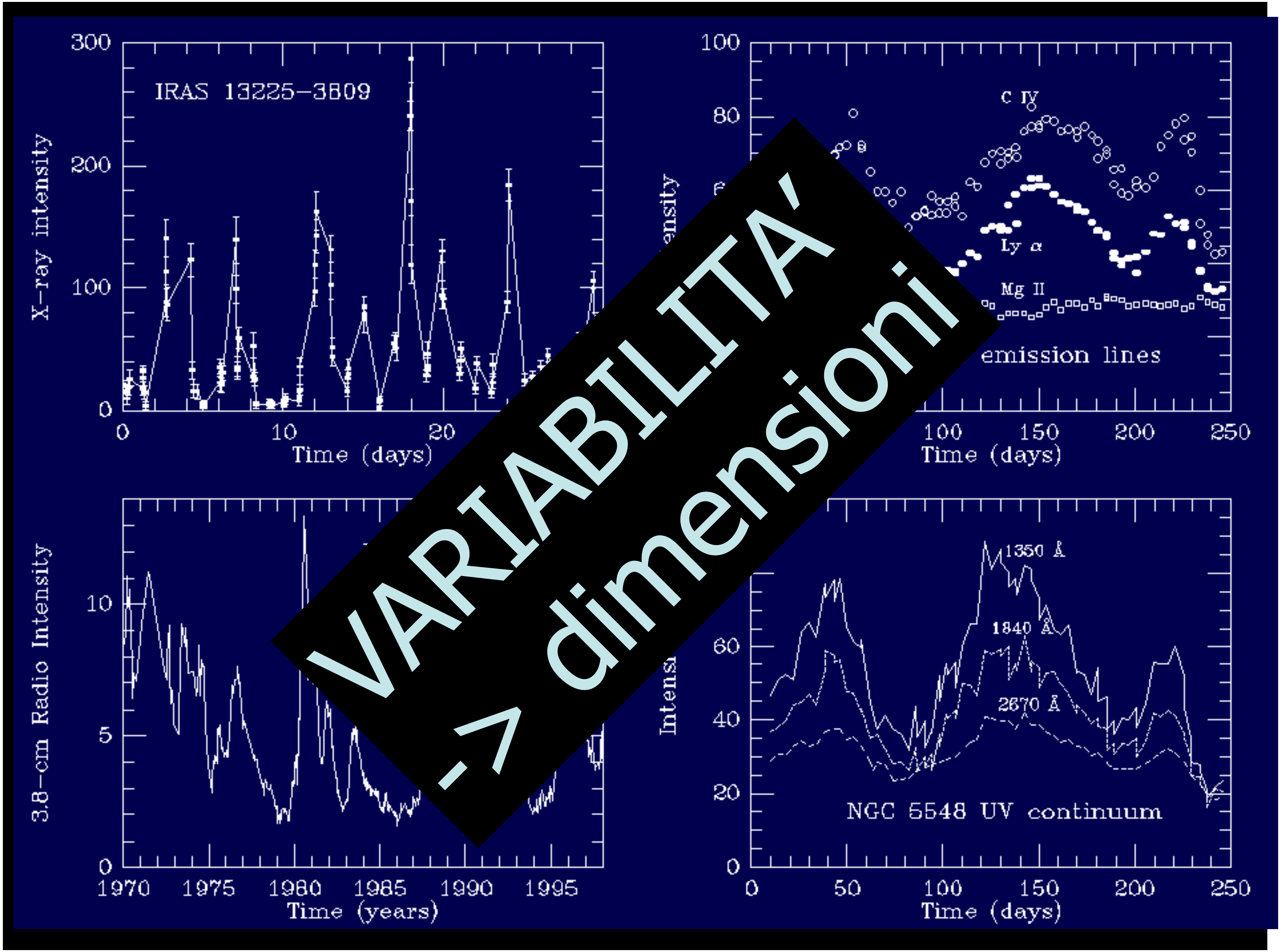
Centauro A: risultato di uno scontro

I getti interni di Centauro A



Proprietà

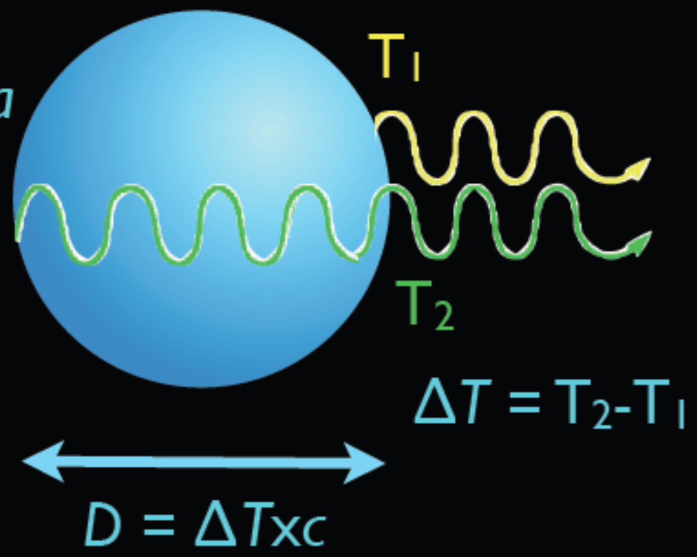
Spettri con righe di emissione larghe
Luminosità elevata
Morfologia peculiare – getti
Variabilità
Emissione RADIO
Moti superluminali


VARIABILITA'
-> dimensioni
IRAS 13225-3809
X-ray intensity
Time (days)
C IV
Ly α
Mg II
emission lines
Time (days)
3.8-cm Radio Intensity
Time (years)
1350 Å
1840 Å
2670 Å
NGC 5548 UV continuum
Time (days)

La variabilità implica una sorgente di dimensioni piccole

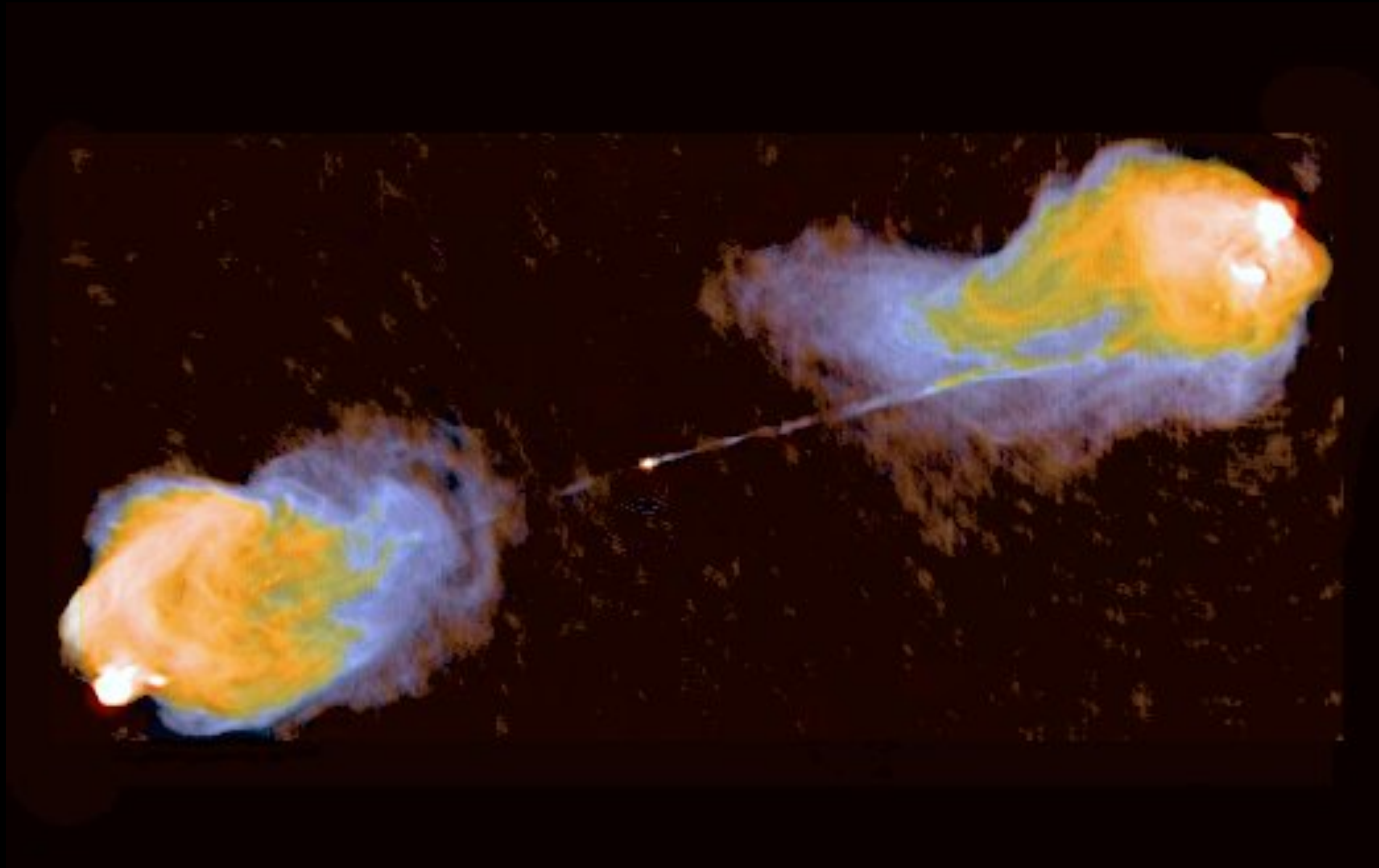
ΔT = *tempo sul quale la luce varia*

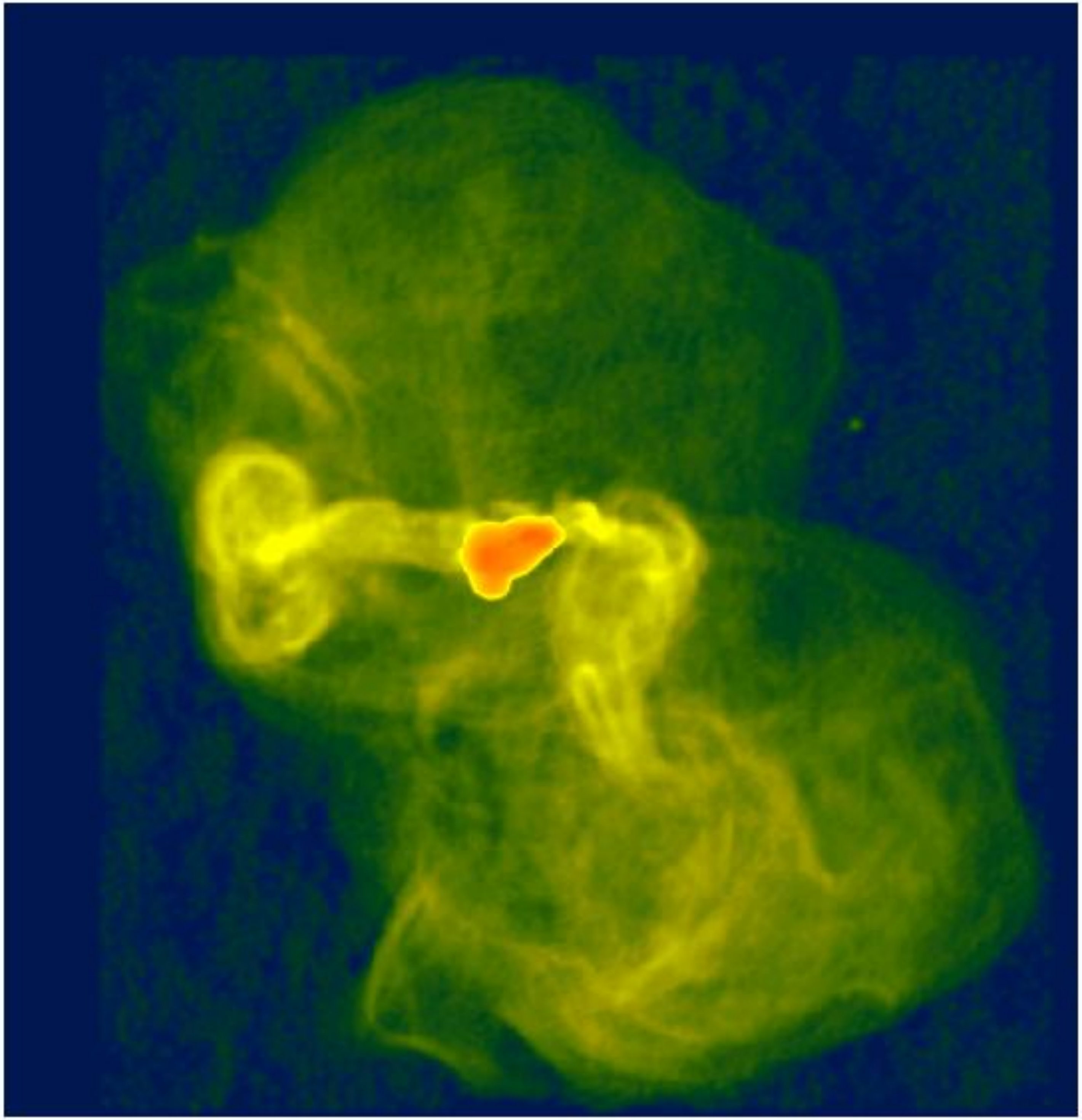
c = *velocità della luce*

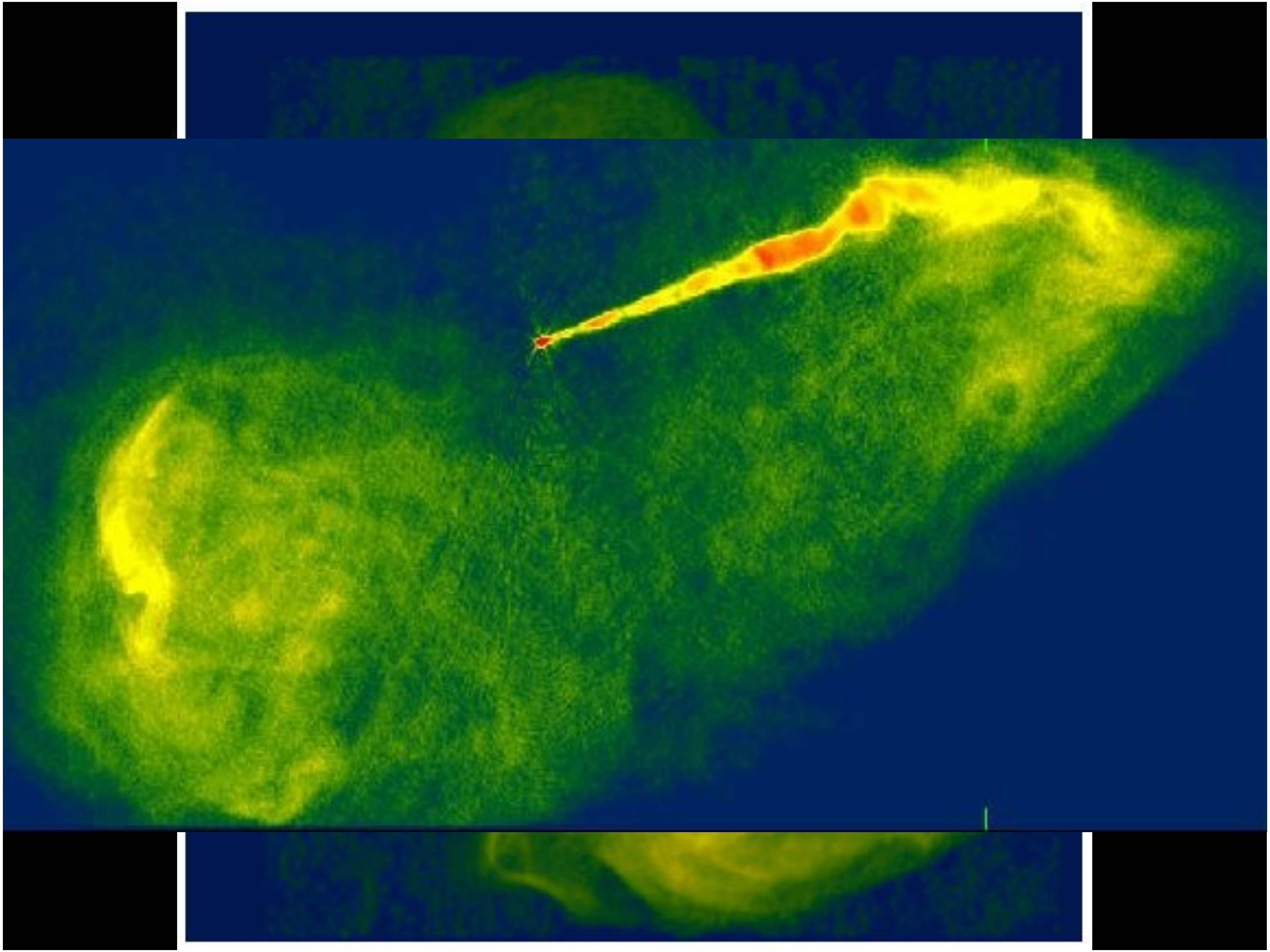


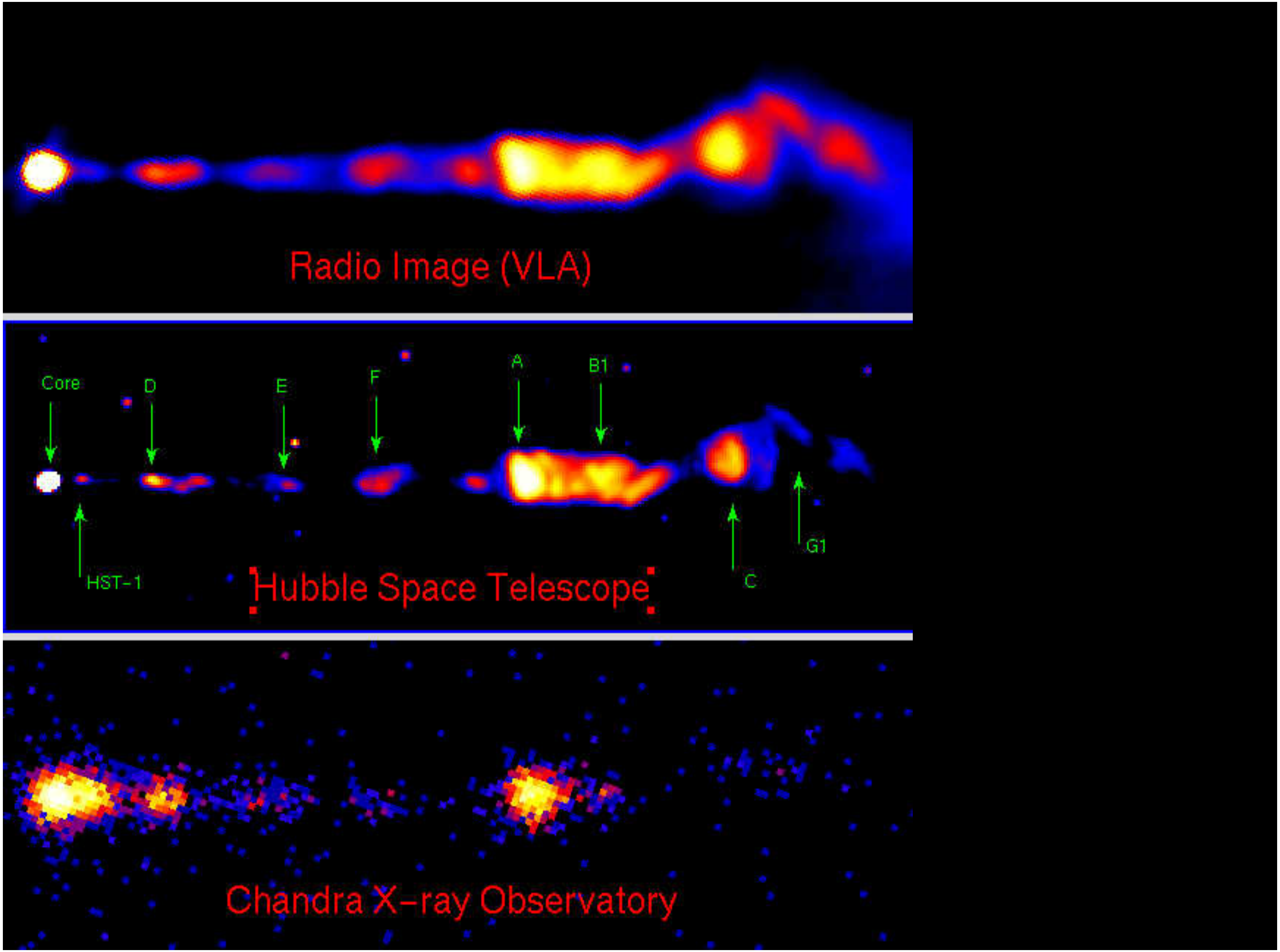
Proprietà

Spettri con righe di emissione larghe
Luminosità elevata
Morfologia peculiare – getti
Variabilità
Emissione RADIO
Moti superluminali



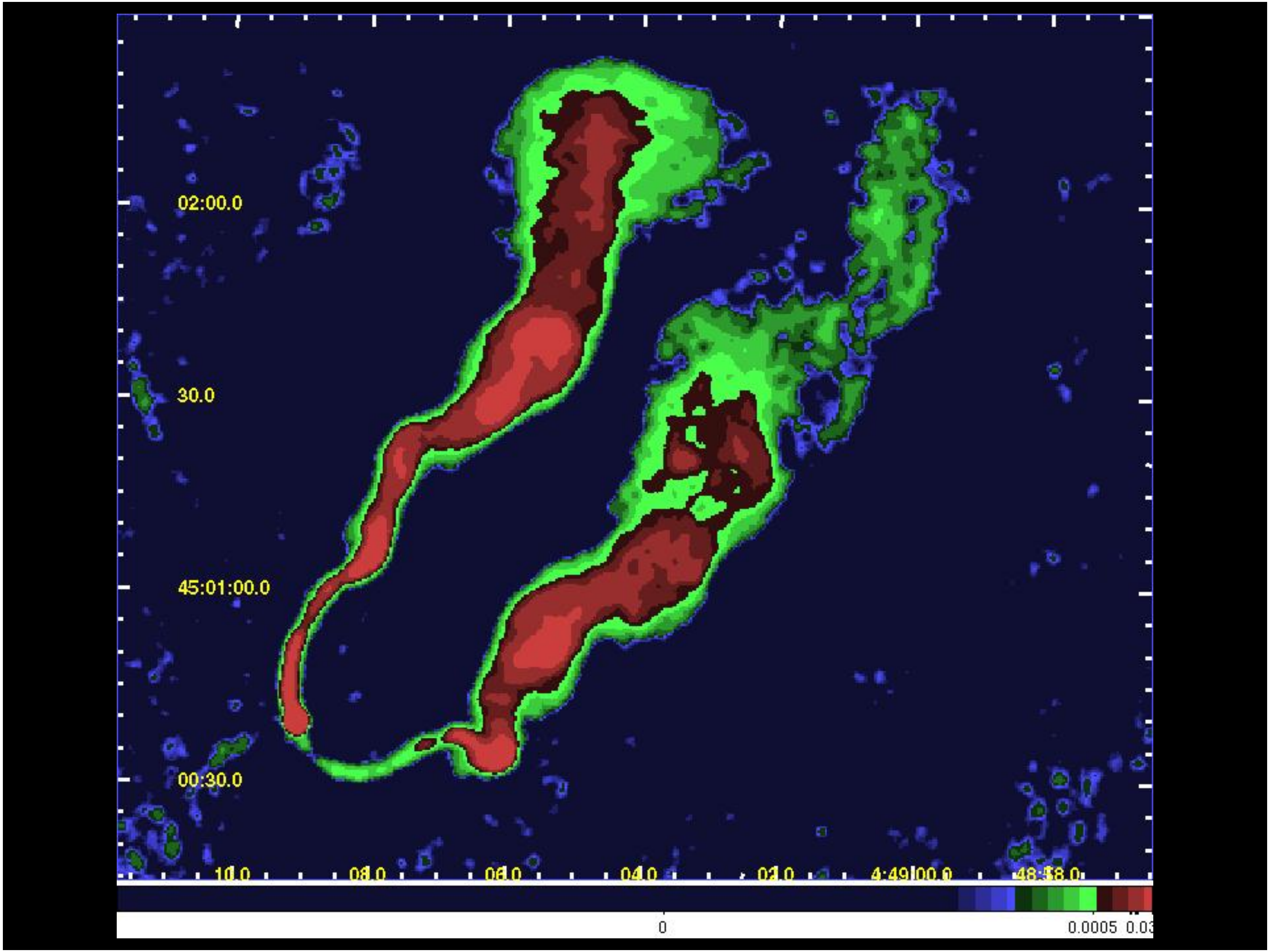




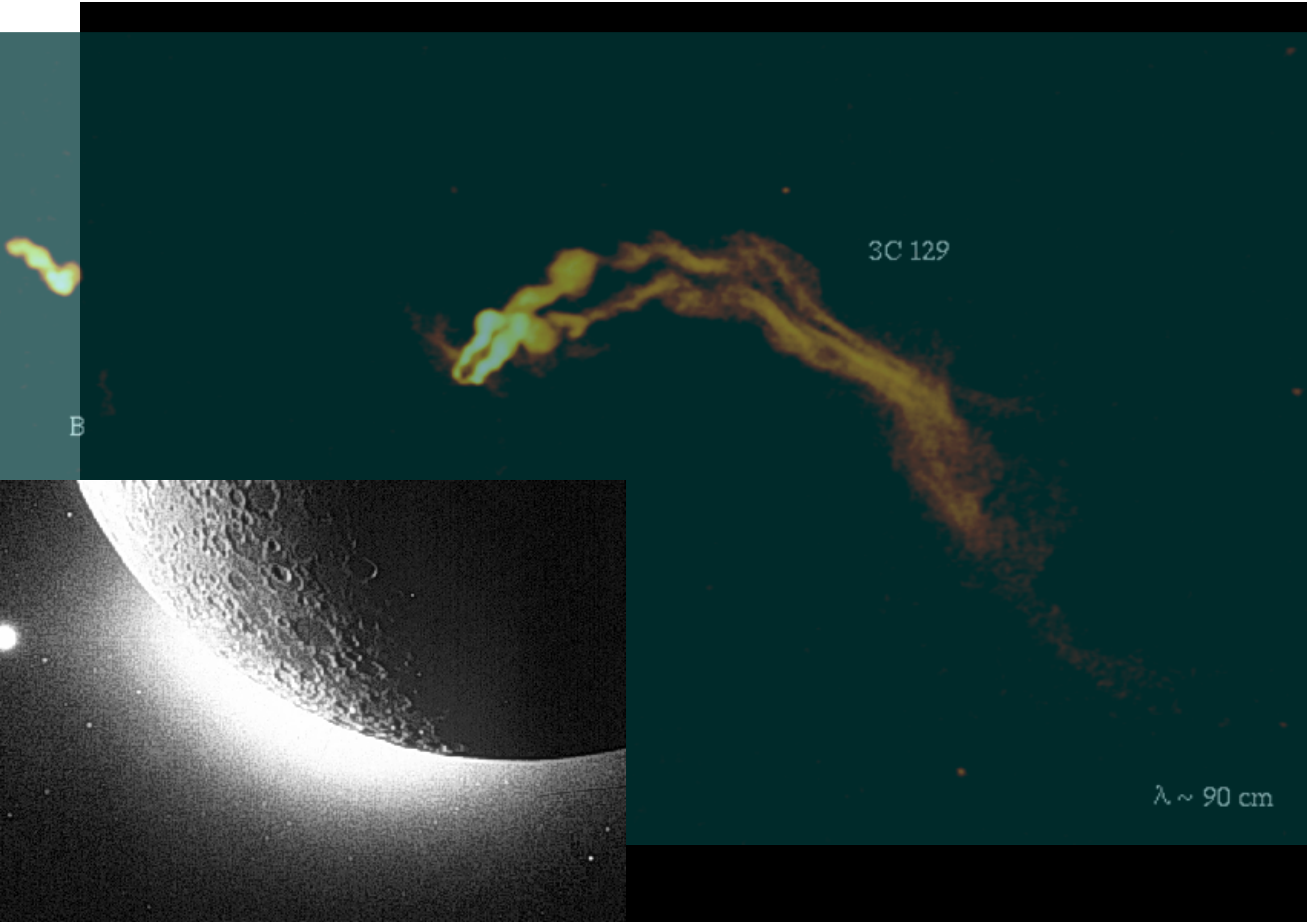

Radio Image (VLA)
Core
D
E
F
A
B1
HST-1
Hubble Space Telescope
C
G1
Chandra X-ray Observatory

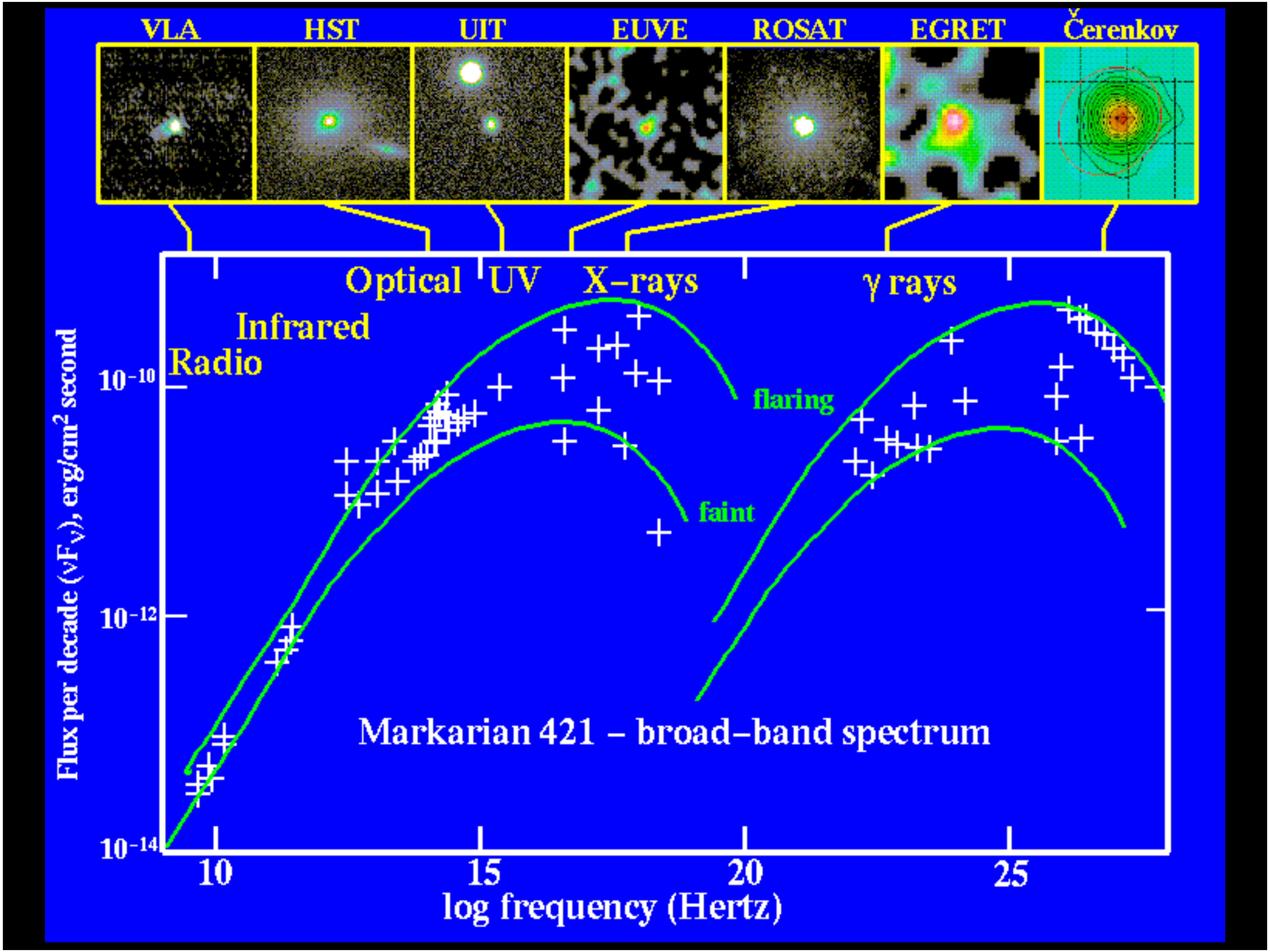
PKS2356-61 ($z = 0.1$)

Quasar in una galassia ellttica

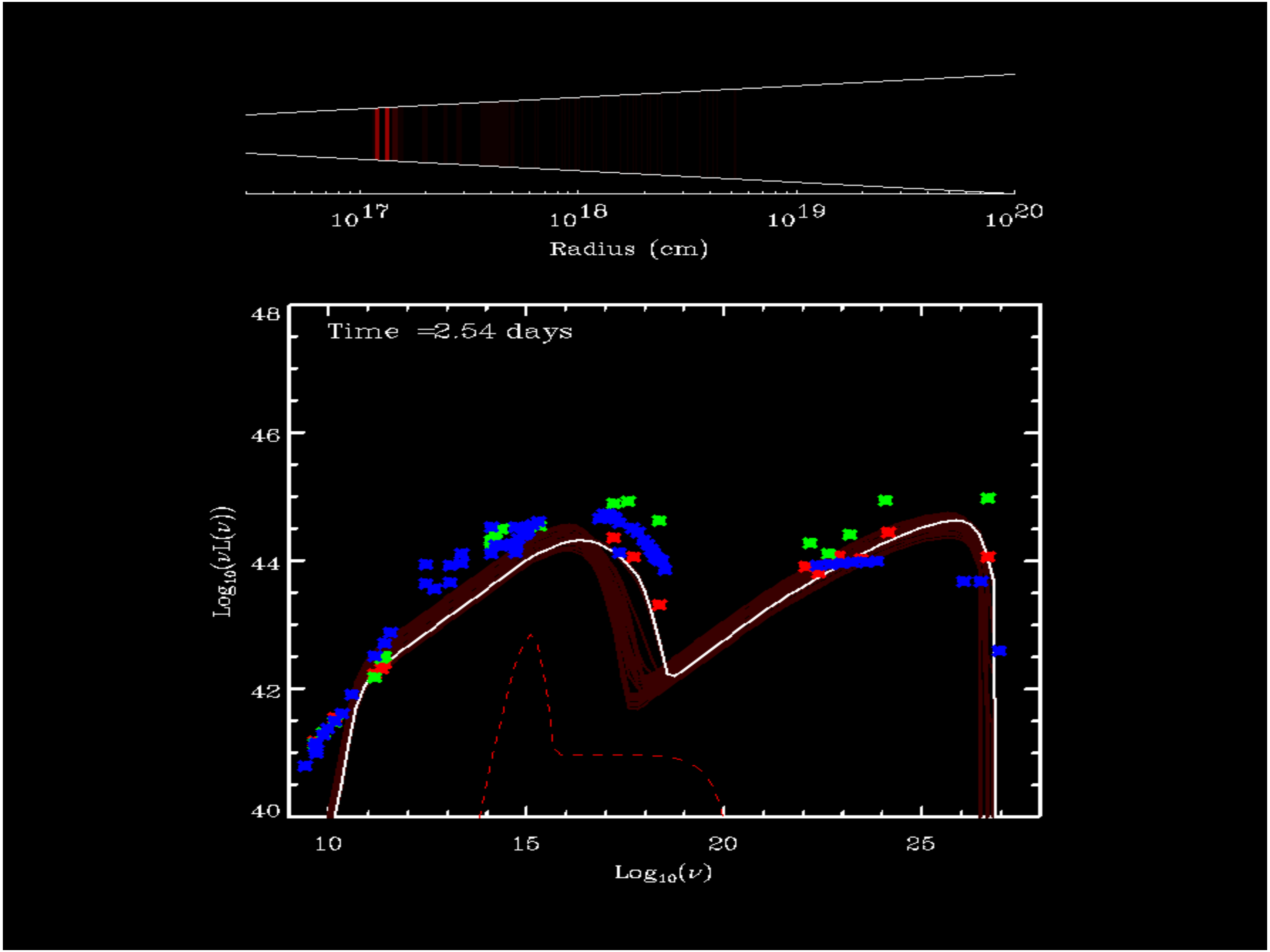


02:00.0
30.0
45:01:00.0
00:30.0
10.0
08.0
06.0
04.0
02.0
4:49:00.0
48:58.0
0
0.0005


B
3C 129
λ ~ 90 cm



VLA
HST
UIT
EUVE
ROSAT
EGRET
Čerenkov
Optical
UV
X-rays
γ rays
Infrared
Radio
flaring
faint
Markarian 421 – broad-band spectrum
Flux per decade (νFν), erg/cm² second
10⁻¹⁰
10⁻¹²
10⁻¹⁴
10
15
20
25
log frequency (Hertz)

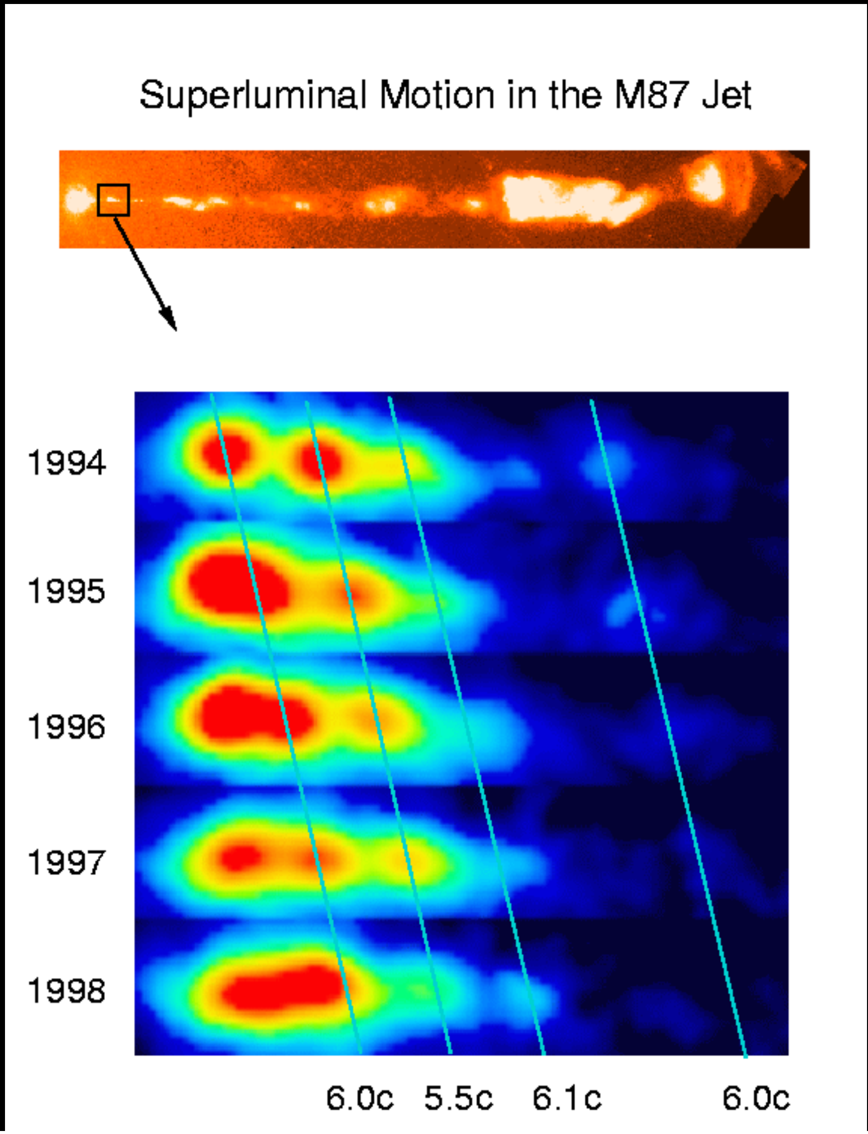


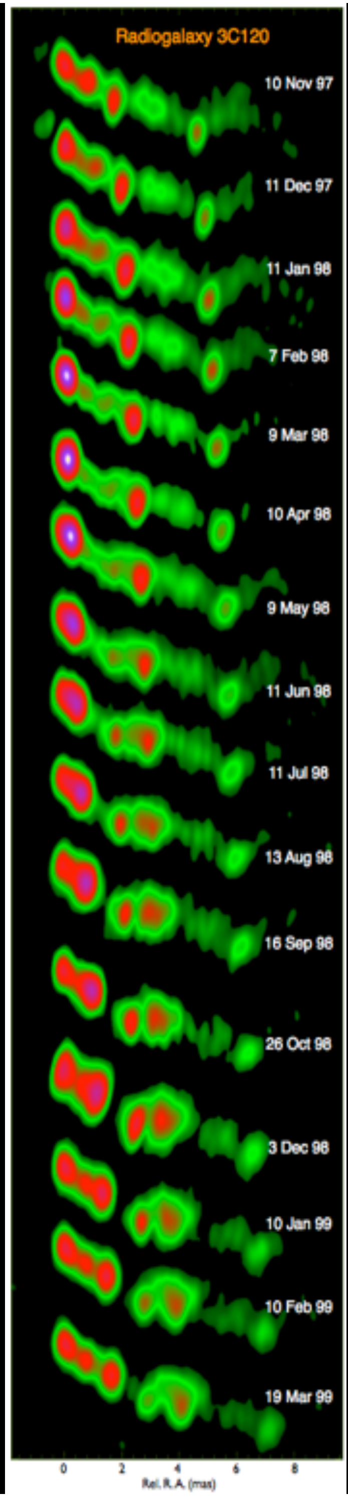
10^{17}
10^{18}
10^{19}
10^{20}
Radius (cm)
Time =2.54 days
48
46
44
42
40
10
15
20
25
$Log_{10}(\nu L(\nu))$
$Log_{10}(\nu)$

Proprietà

Spettri con righe di emissione larghe
Luminosità elevata
Morfologia peculiare – getti
Variabilità
Emissione RADIO
Moti superluminali

Moti superluminali





VLBA 22 GHz Observations of 3C120

José–Luis Gómez IAA (Spain)

Alan P. Marscher BU (USA)

Antonio Alberdi IAA (Spain)

Svetlana Marchenko–Jorstad BU (USA)

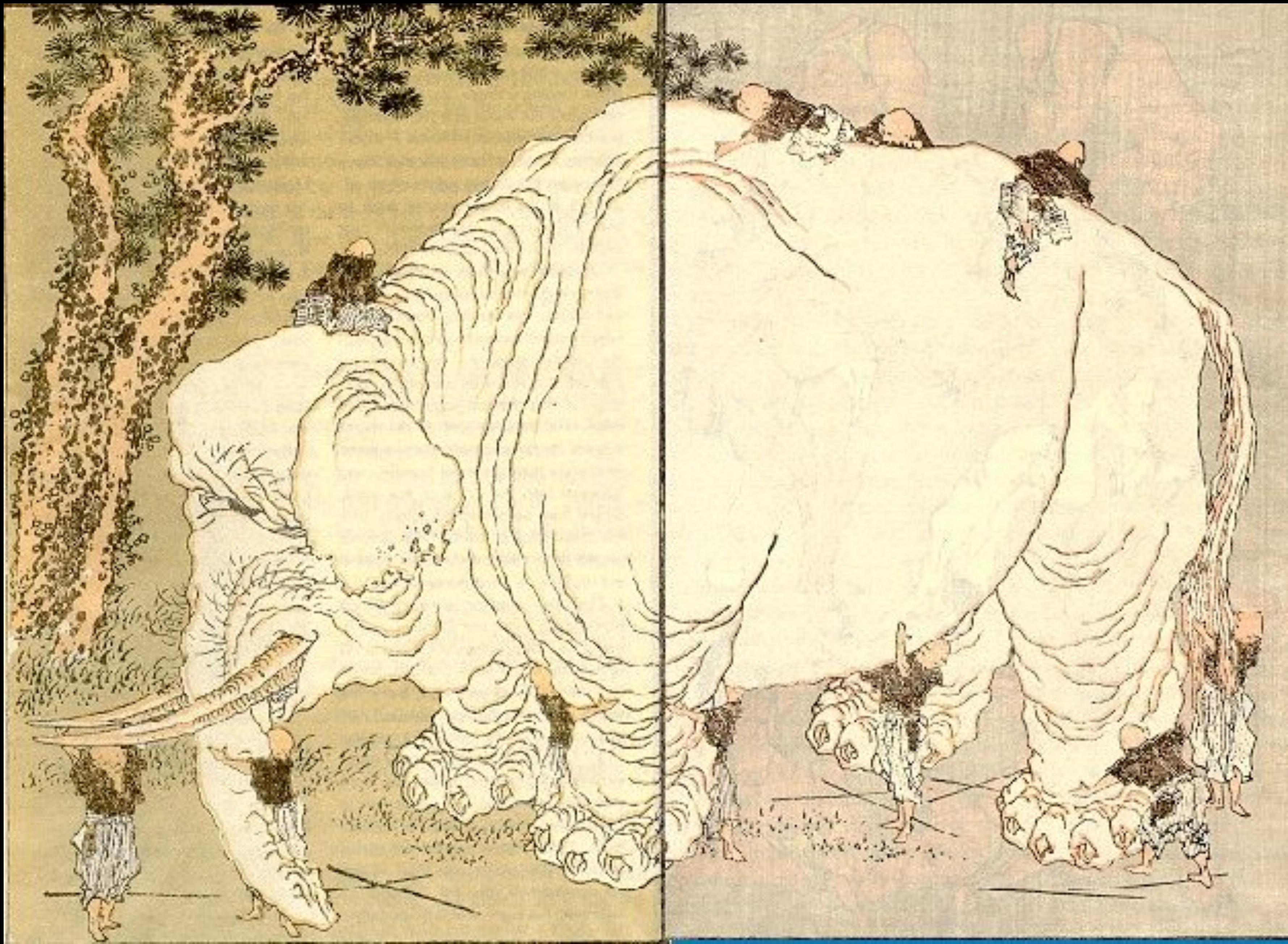
Cristina García–Miró IAA (Spain)

Più veloce della luce!!!

L'elemento B del getto si muove a velocità $v = \frac{5}{6}\,c$

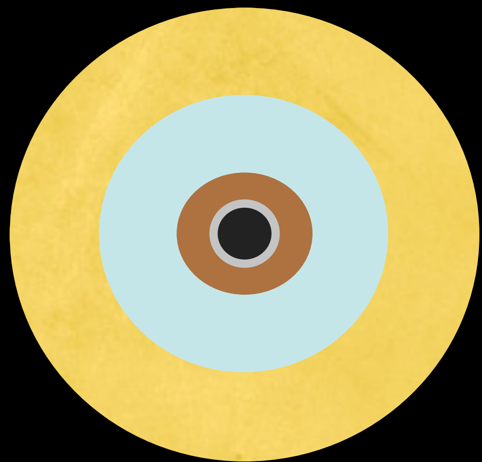
Il segnale dell'elemento B giungerà a noi 2 anni dopo il segnale dell'elemento N, ma la distanza apparente tra i due elementi sarà di 3 anni luce

Velocità apparente $v_{app} = \frac{3}{2}\,c$



$$V_{FUGA} = \left(\frac{2GM}{R} \right)^{1/2}$$

1783-1795
Michell e
Laplace
“Stella Oscura”



V_{FUGA} = [illegible] $km\ s^{-1}$

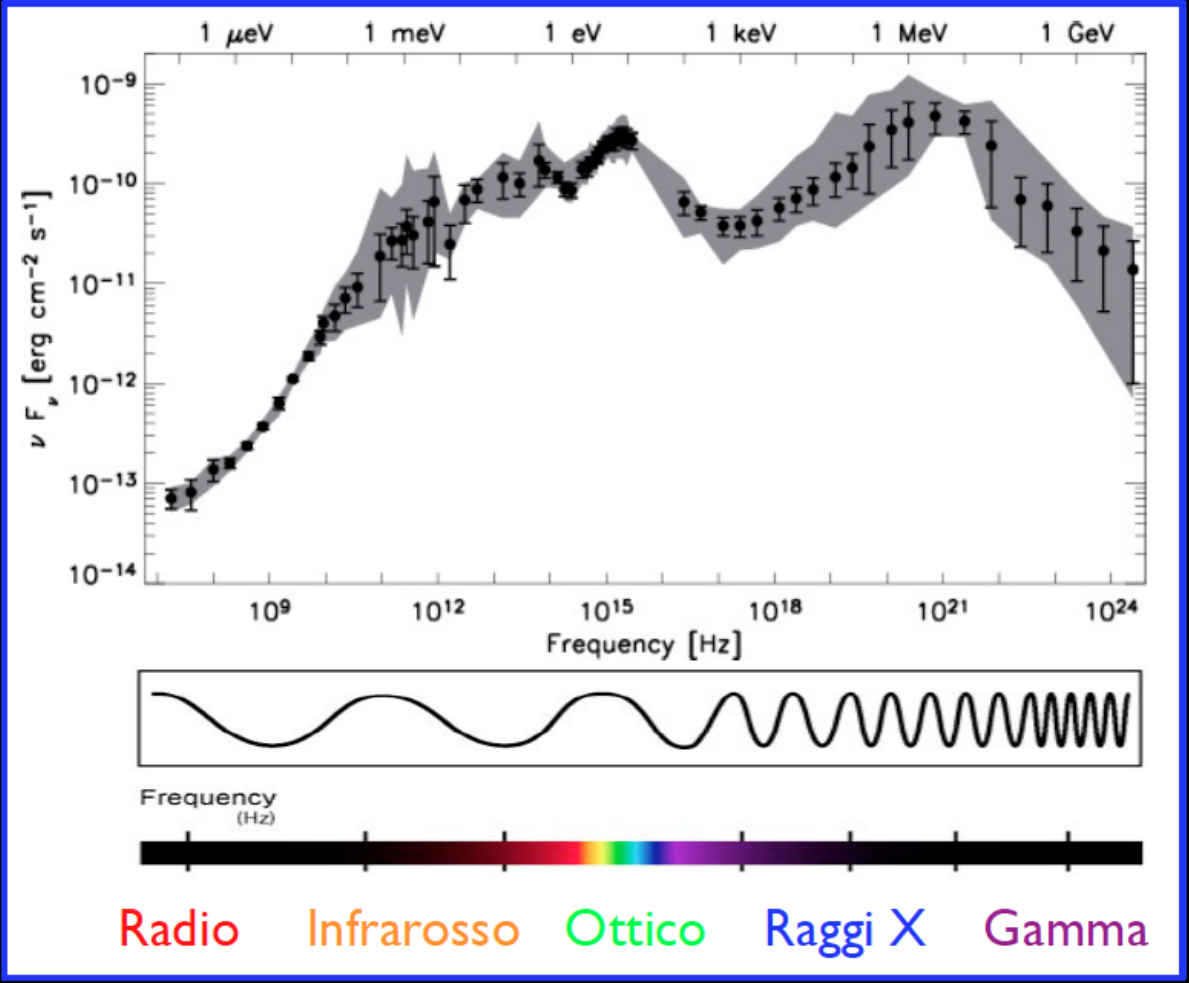
1916
Karl
Schwarzschild
soluzione delle
equazioni di
Einstein
in Relatività
Generale

Modello Unificato

Quasars compared with Stars

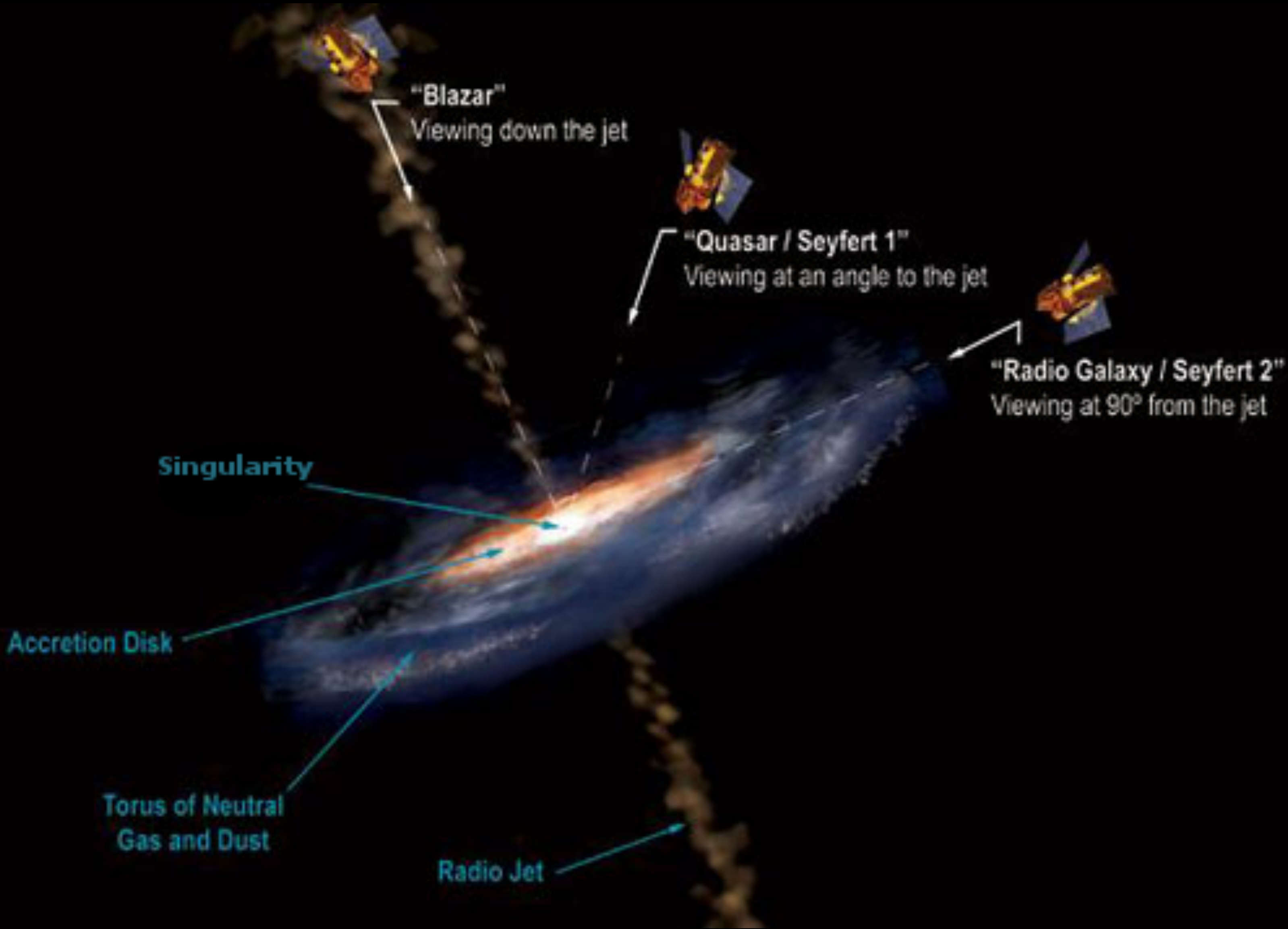
Property	Stars range value	Quasars range value
Luminosity range	10^9 10^{-4} - 10^5 $L_\odot$ (M8-O5)	$>10^7$ 10^7-10^{14} $L_\odot$
Mass range	1000 0.05 - 50 $M_\odot$	1000 10^6 - 10^9 $M_\odot$
Temperature range	10 3,000 K - 50,000 K	~10? [big blue bump]
Lifetime	10,000 1 Myr - 10 Gyr	<1000? ~10 Myr - $10^?$ yr
Spectra	~ black body	~ power-law

I Quasars emettono radiazione a tutte le lunghezze d'onda

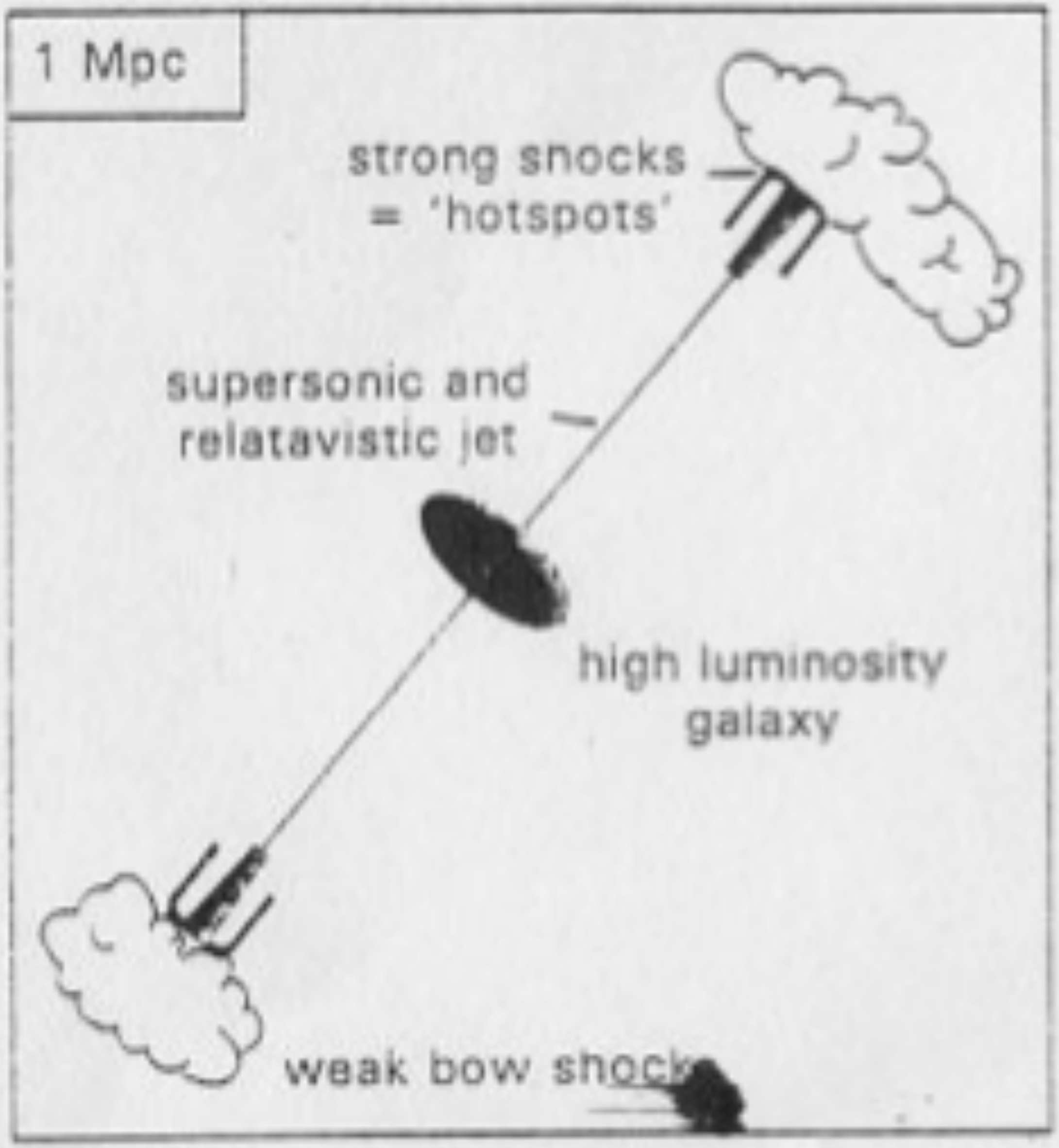


AGN senza getto ≈90%	AGN con getto ≈10%
Narrow-Line Seyfert 1 Seyfert 1 e 2 LINERS 1 e 2	Blazars (BL Lac + Quasar) Radiogalassie HE Radiogalassie LE
	
Galassia ospite: spirale Raggi gamma: no!	Galassia ospite: ellittica Raggi gamma: sì!

Anche se in fase di scoperta sono state classificati molti tipi di nuclei galattici attivi, dopo un'attenta analisi (**R. Antonucci; C.M. Urry & P. Padovani**) si è visto che molte differenze potevano essere spiegate in termini di differenti punti di vista.



Diverse scale

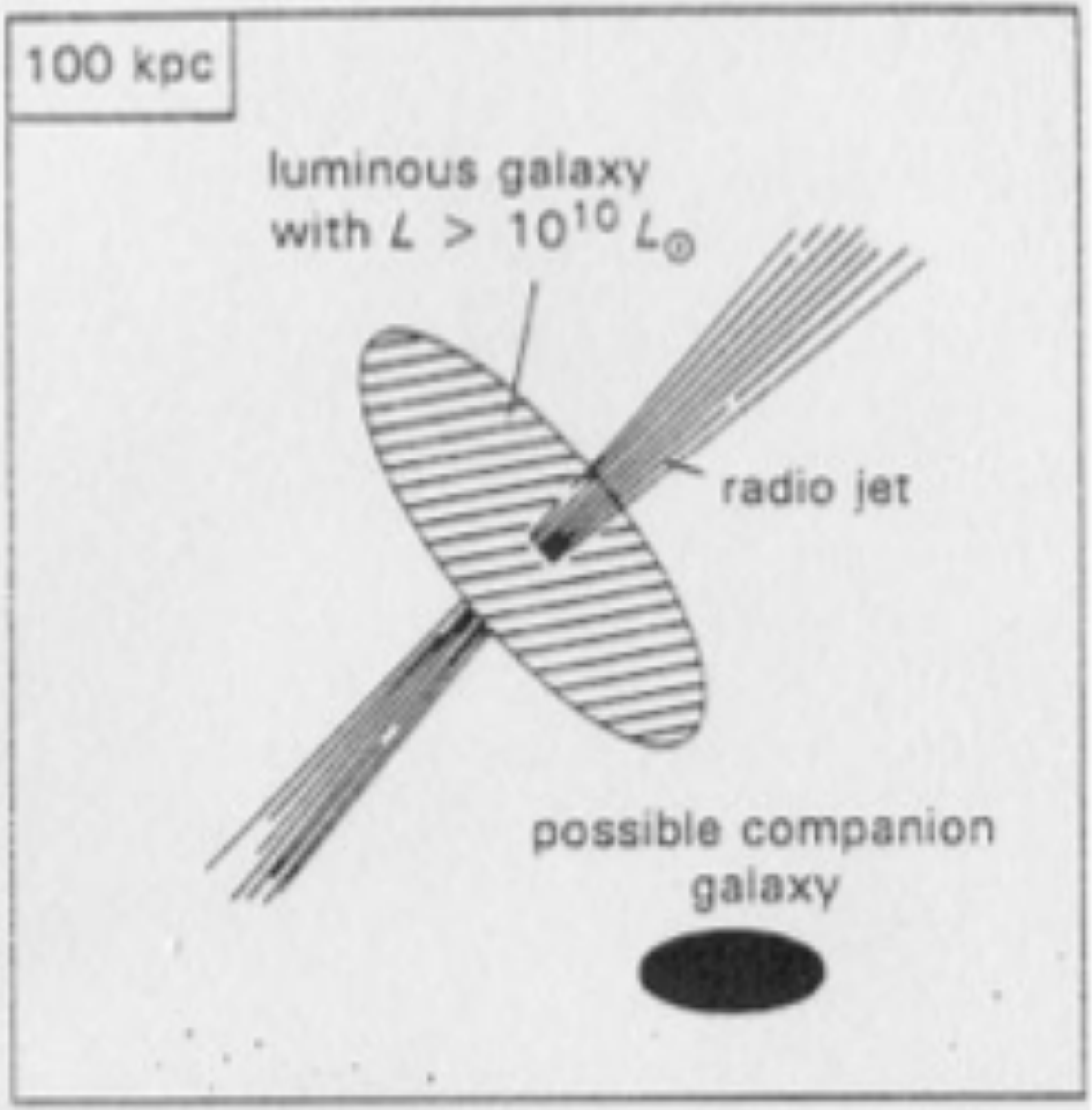


Extended radio sources — shown is an FRII source with an edge-brightened structure. The FRIs have lower jet velocities and fade-out to the ends.

Blandford 1990

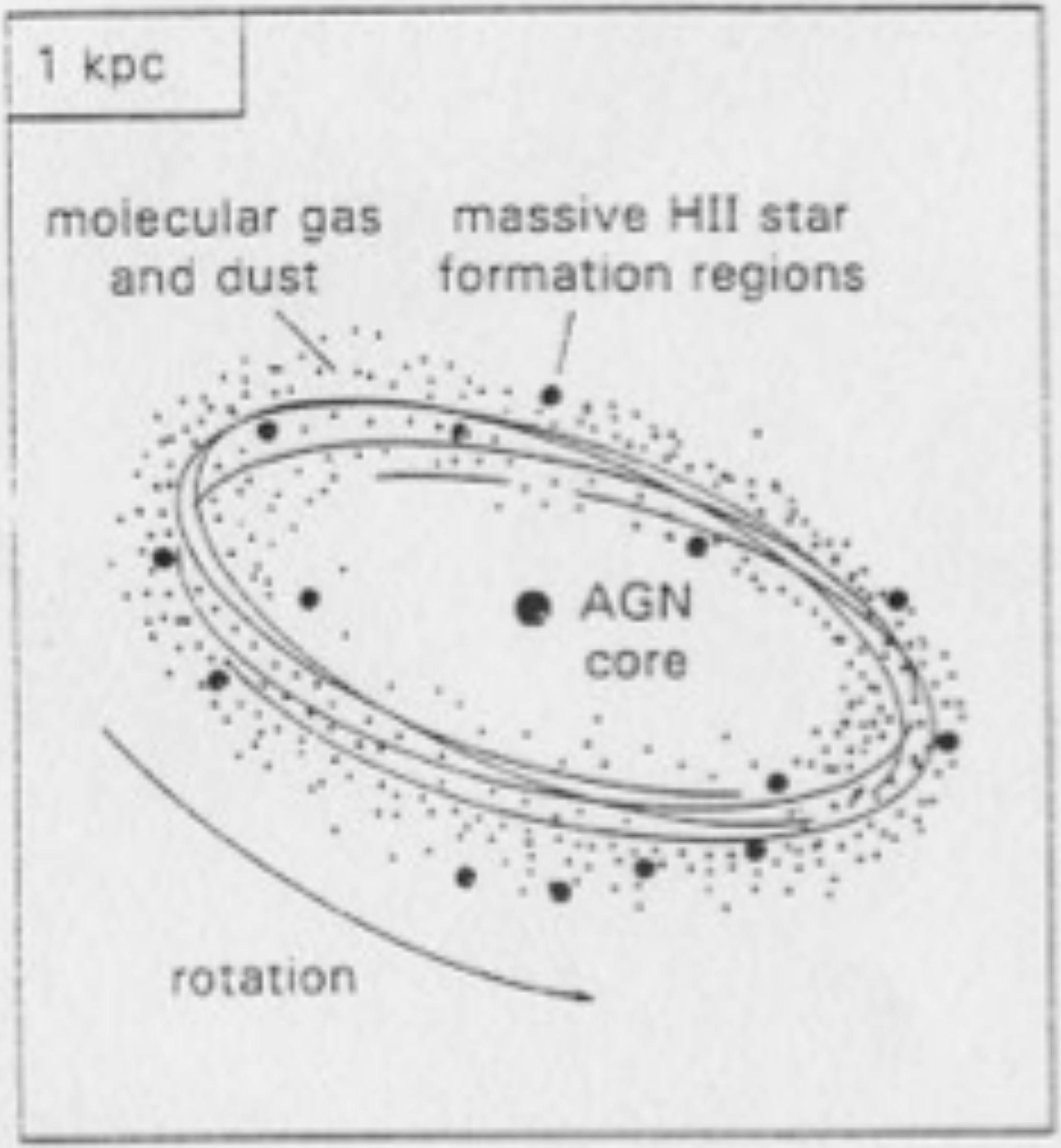
Diverse scale

Blandford 1990



The host galaxy. Although shown as an early type galaxy with a smooth profile, it could also be highly irregular with multiple nuclei as a result of merging.

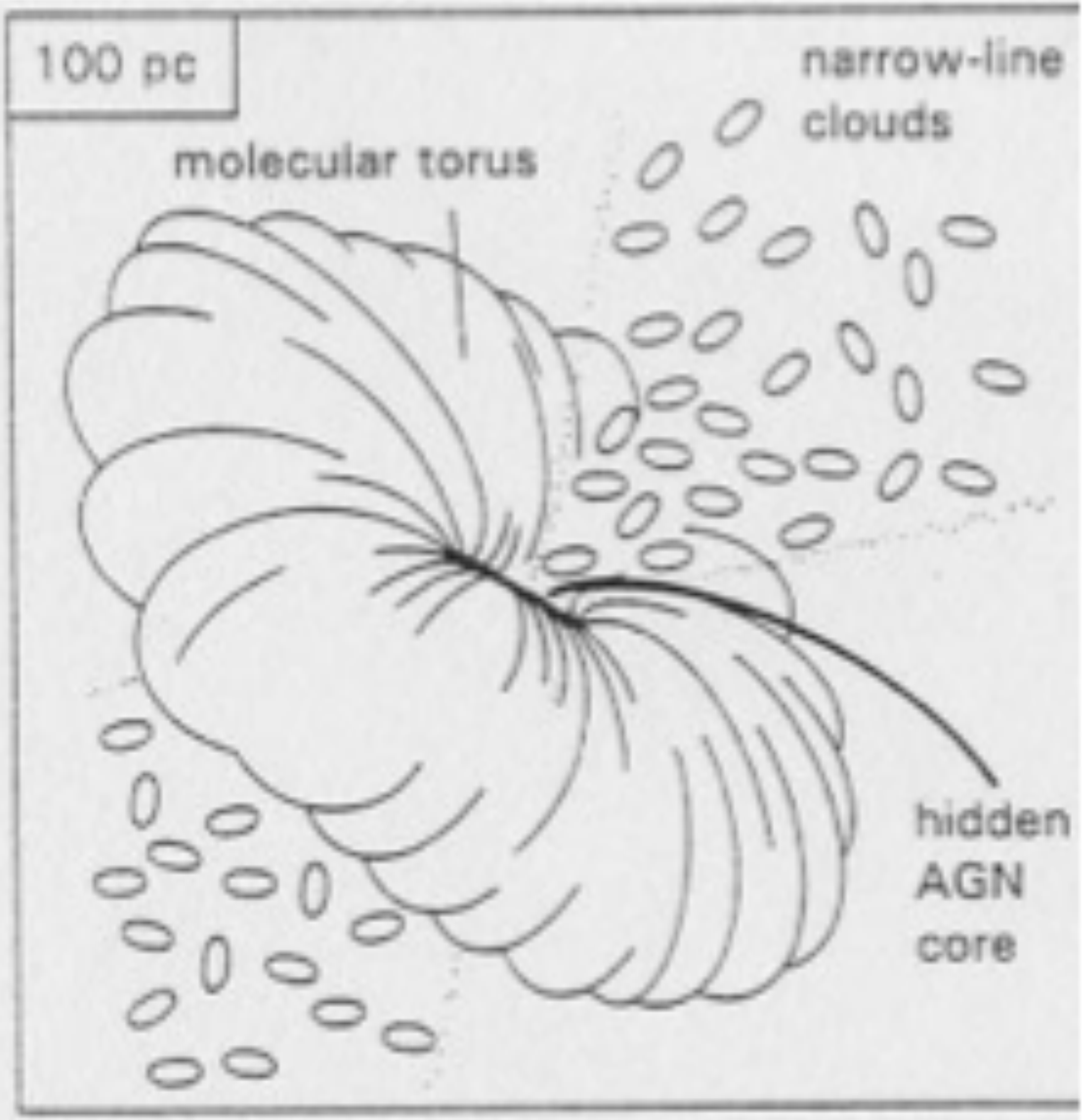
Diverse scale



The central kpc star formation disk. This strong far infrared emitting zone might be fed by a bar structure, as seems to be the case for NGC1068.

Blandford 1990

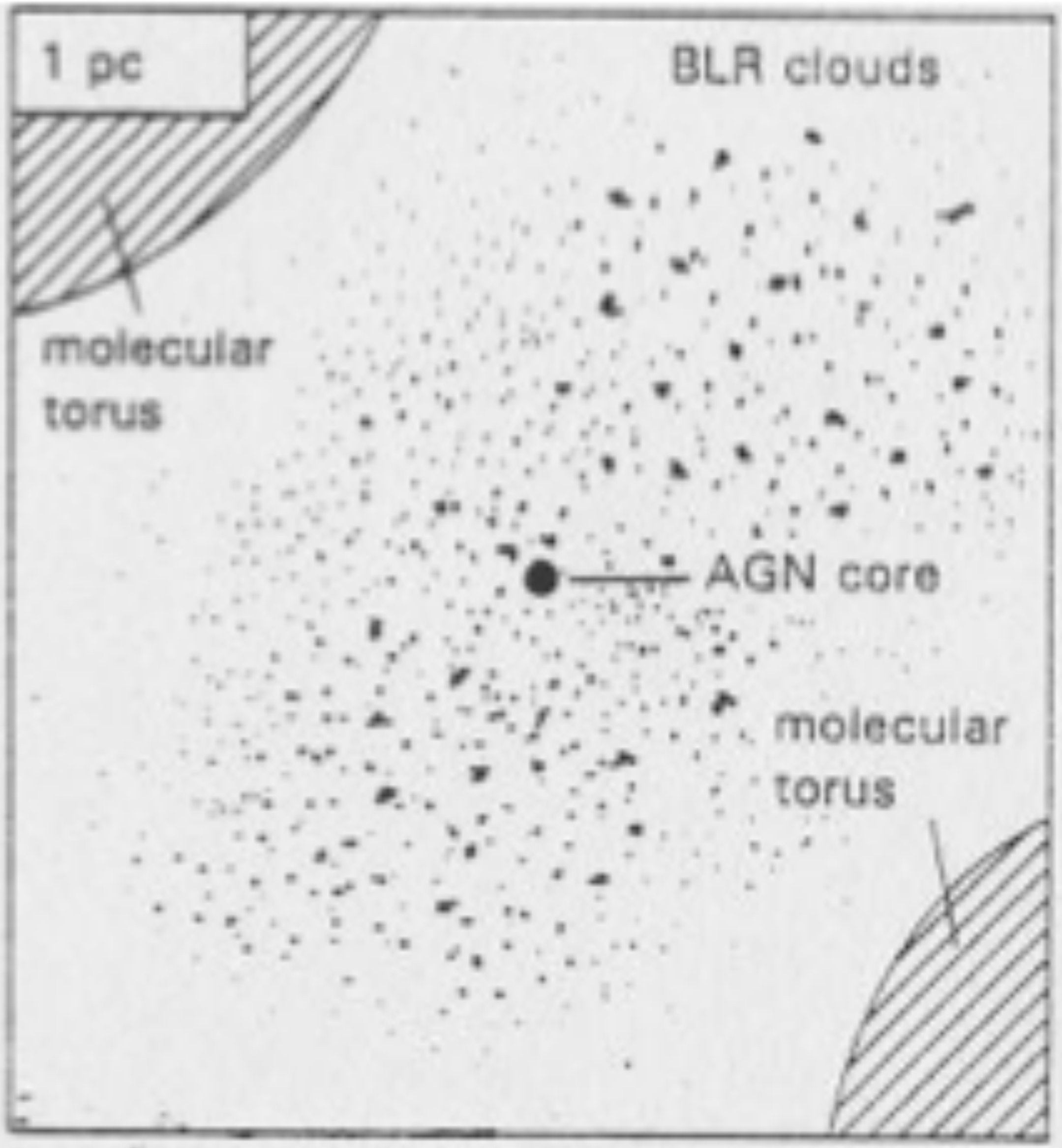
Diverse scale



The narrow-line region comprising small but numerous clouds of the interstellar medium ionized by the central AGN core.

Blandford 1990

Diverse scale

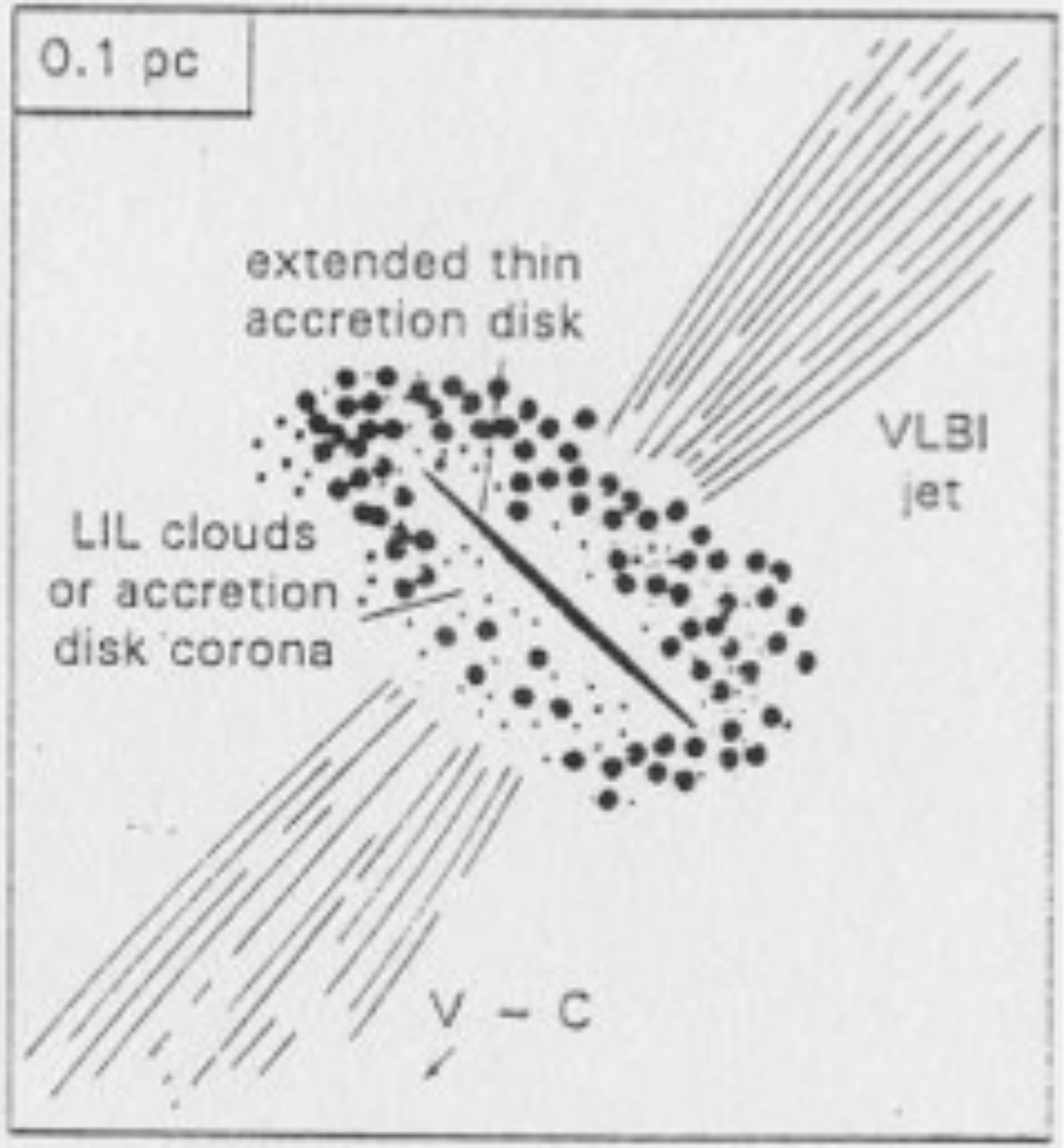


The outer extent of the broad-line region and the deep-walled molecular torus which can provide an effective shield of the central AGN, depending on the relative orientation of the observer.

Blandford 1990

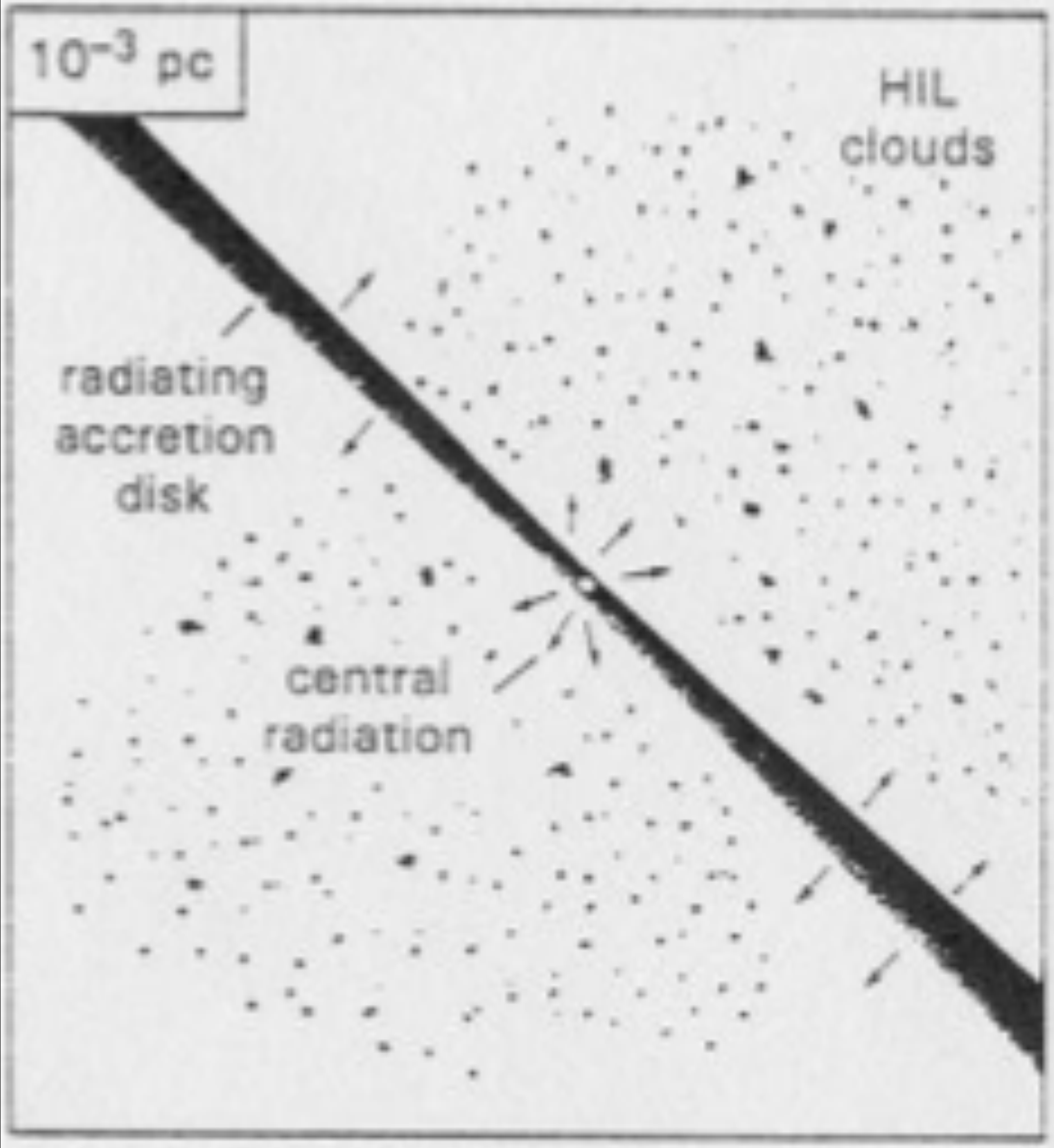
Diverse scale

Blandford 1990



Inside the molecular torus — the VLBI jet becomes self-absorbed closer in, and the low ionization lines of the BLR, which might be the corona of the accretion disk.

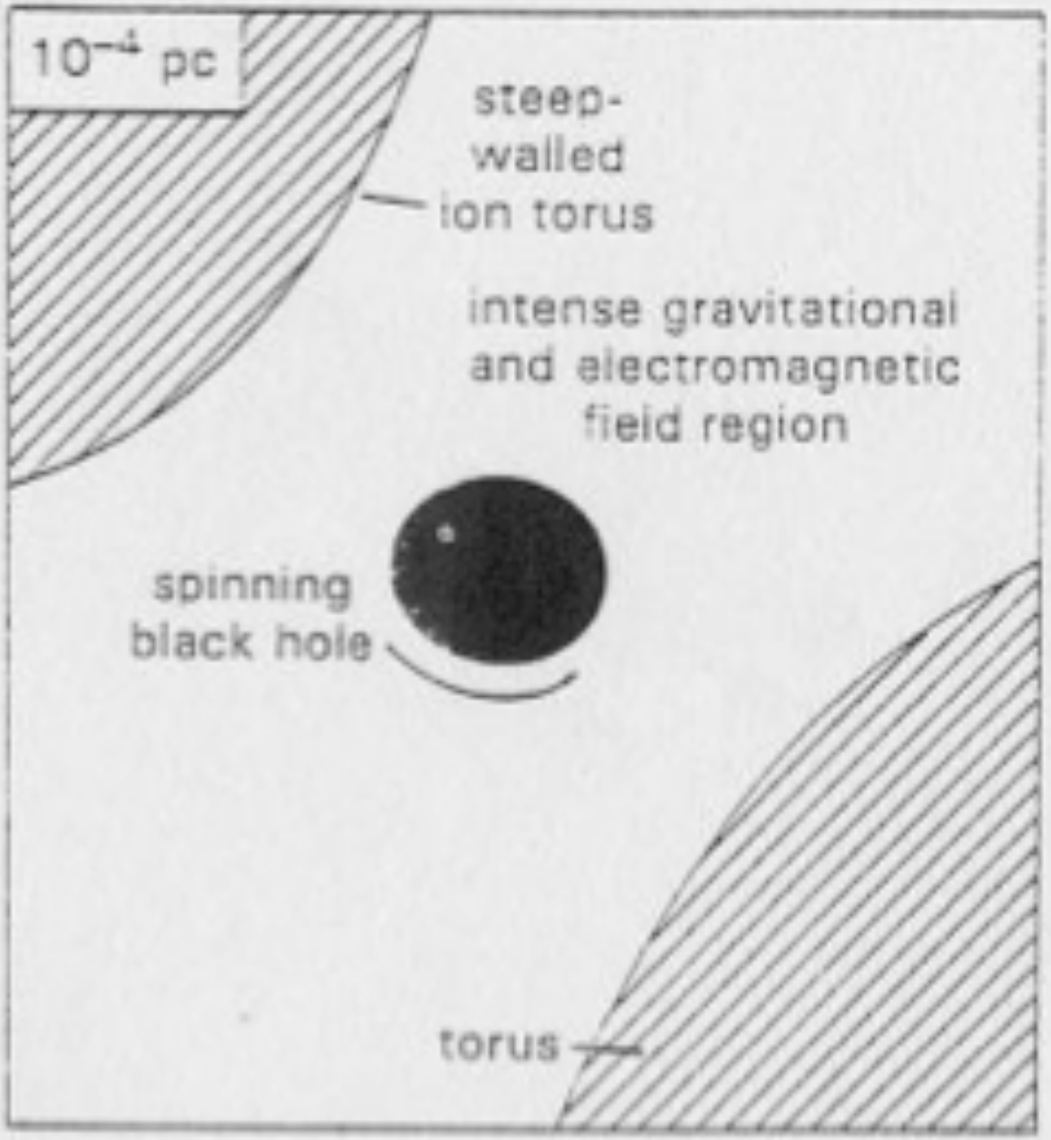
Diverse scale



The accretion disk which radiates strongly at UV and optical wavelengths. The high ionization clouds of the BLR are excited by the central continuum radiation field.

Blandford 1990

Diverse scale



The black hole. The Schwarzschild radius for a $10^8\ M_\odot$ black hole is 2 AU (10^{-5} pc). The spin will introduce twisted magnetic field lines and particle acceleration.

Blandford 1990

Broad-Line Region (BLR)

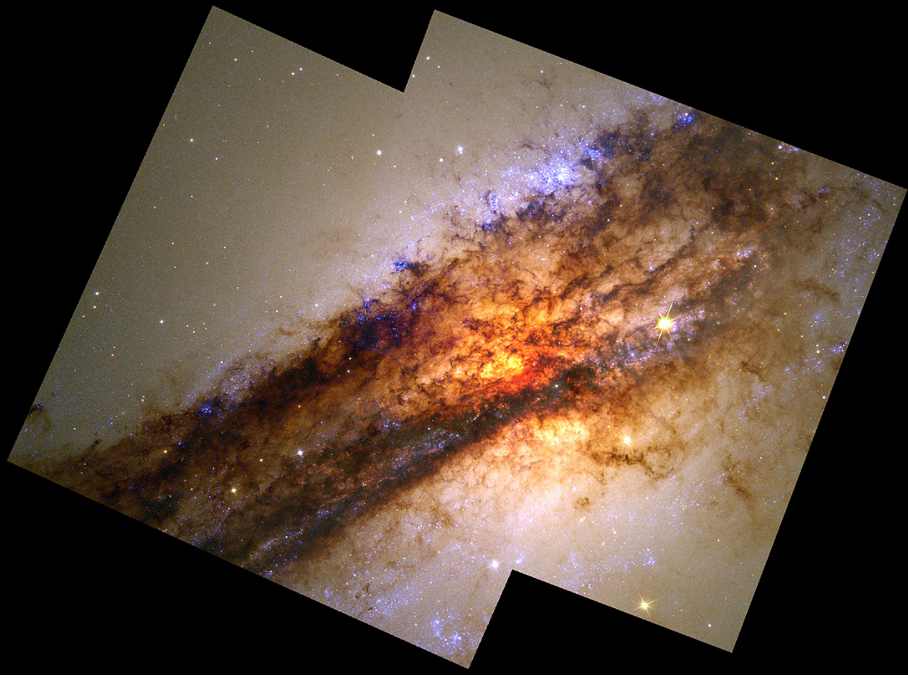
Il gas interstellare che si trova oltre il disco, interagisce con la radiazione emessa da quest'ultimo generando delle linee di emissione.
La vicinanza alla singolarità richiede che la velocità orbitale sia elevata (1000-10000 km/s) e si determina un allargamento (broadening) del profilo delle linee.

Narrow-Line Region (NLR)

Più lontano dal disco, ma ancora in grado di interagire con la radiazione emessa da quest'ultimo, c'è un'altra regione che emette delle linee. Questa volta, essendo più lontana dalla singolarità, la velocità orbitale è inferiore (< 1000 km/s) e quindi anche l'allargamento. Le righe sono più strette (narrow).

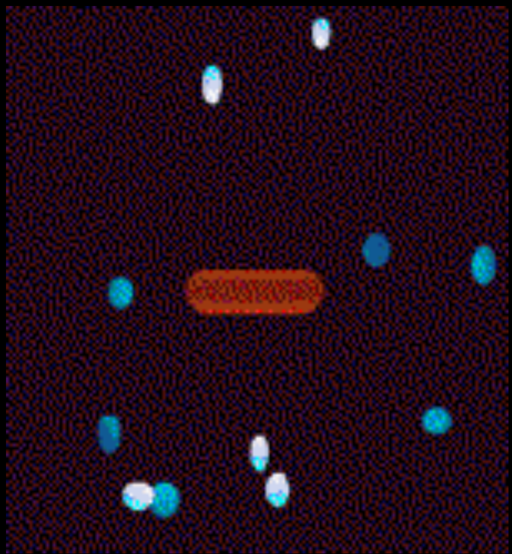
Toro molecolare

Tra le due regioni (BLR e NLR) c'è una ciambella di materiale freddo che oscura la vista diretta del nucleo o della BLR.



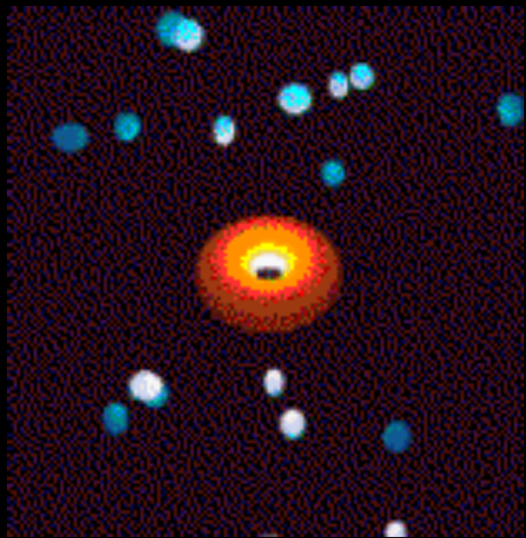
Modello Unificato

BH + Disco + Toro



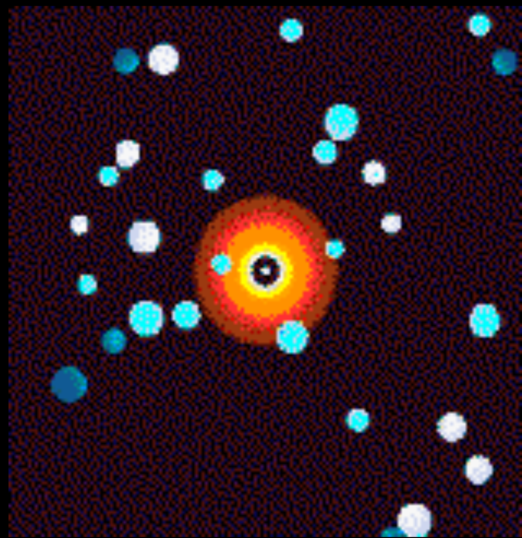
SY2

di fianco



SY1

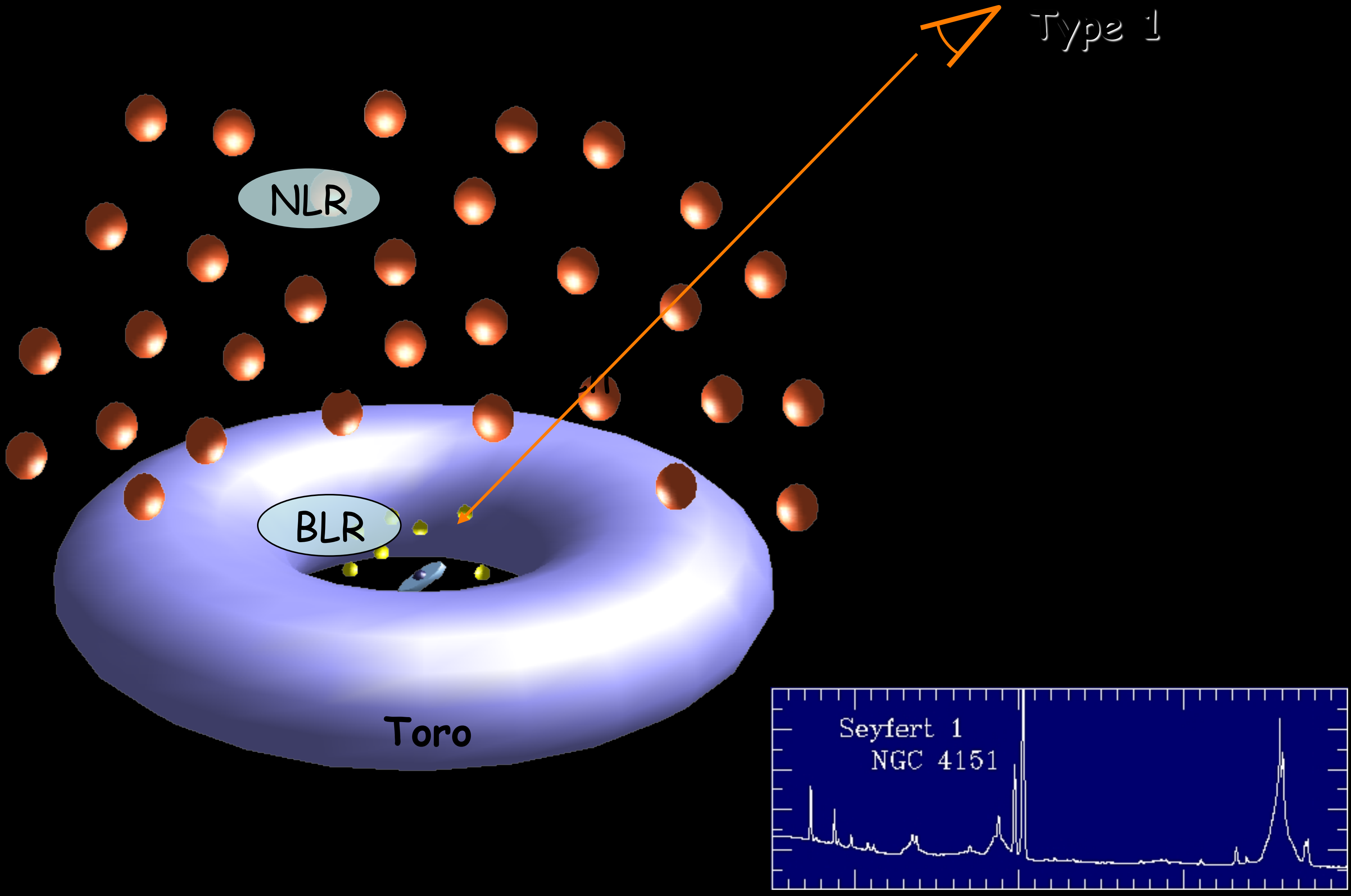
inclinato



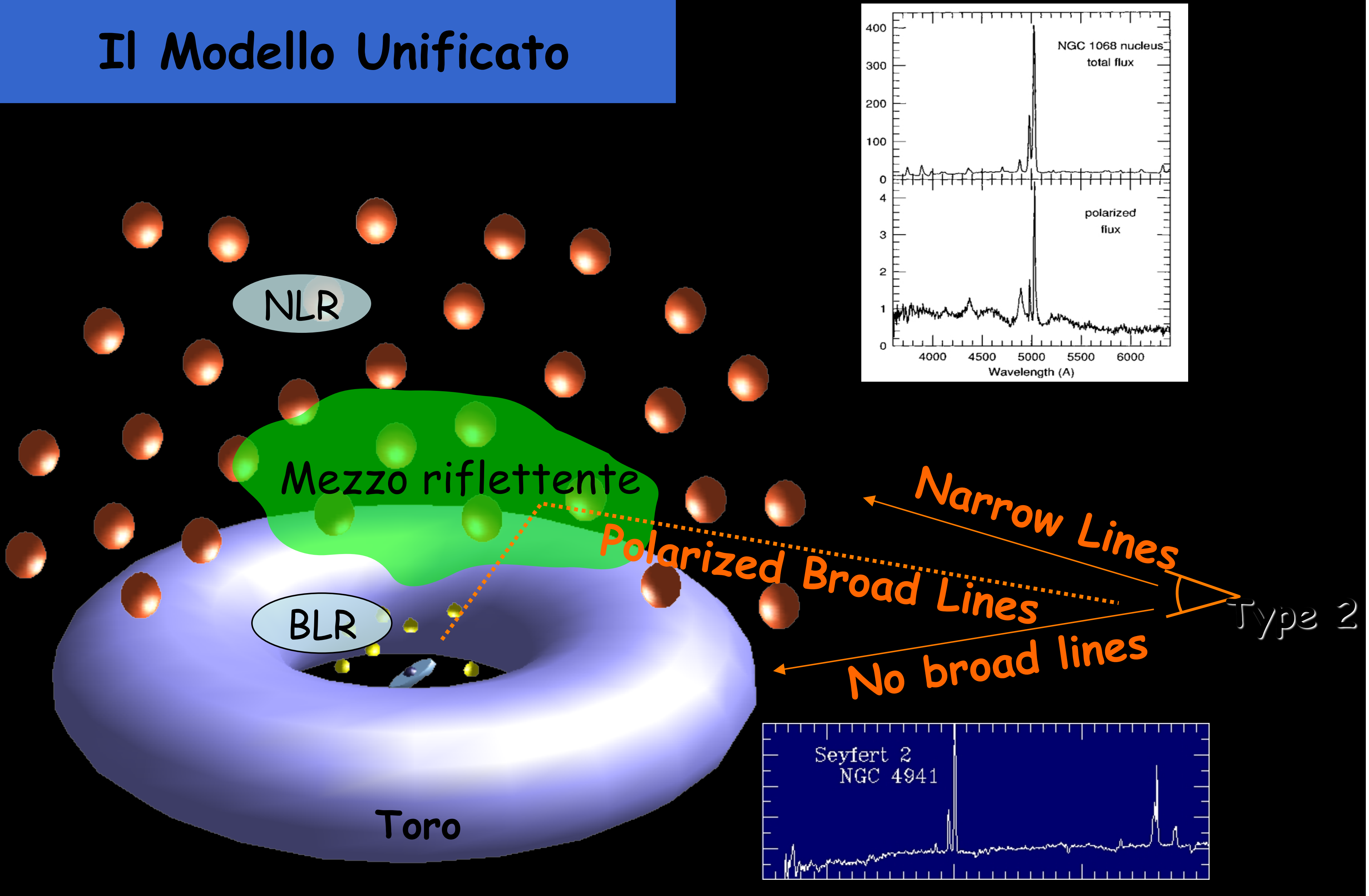
BL Lac

dritto nello scarico!

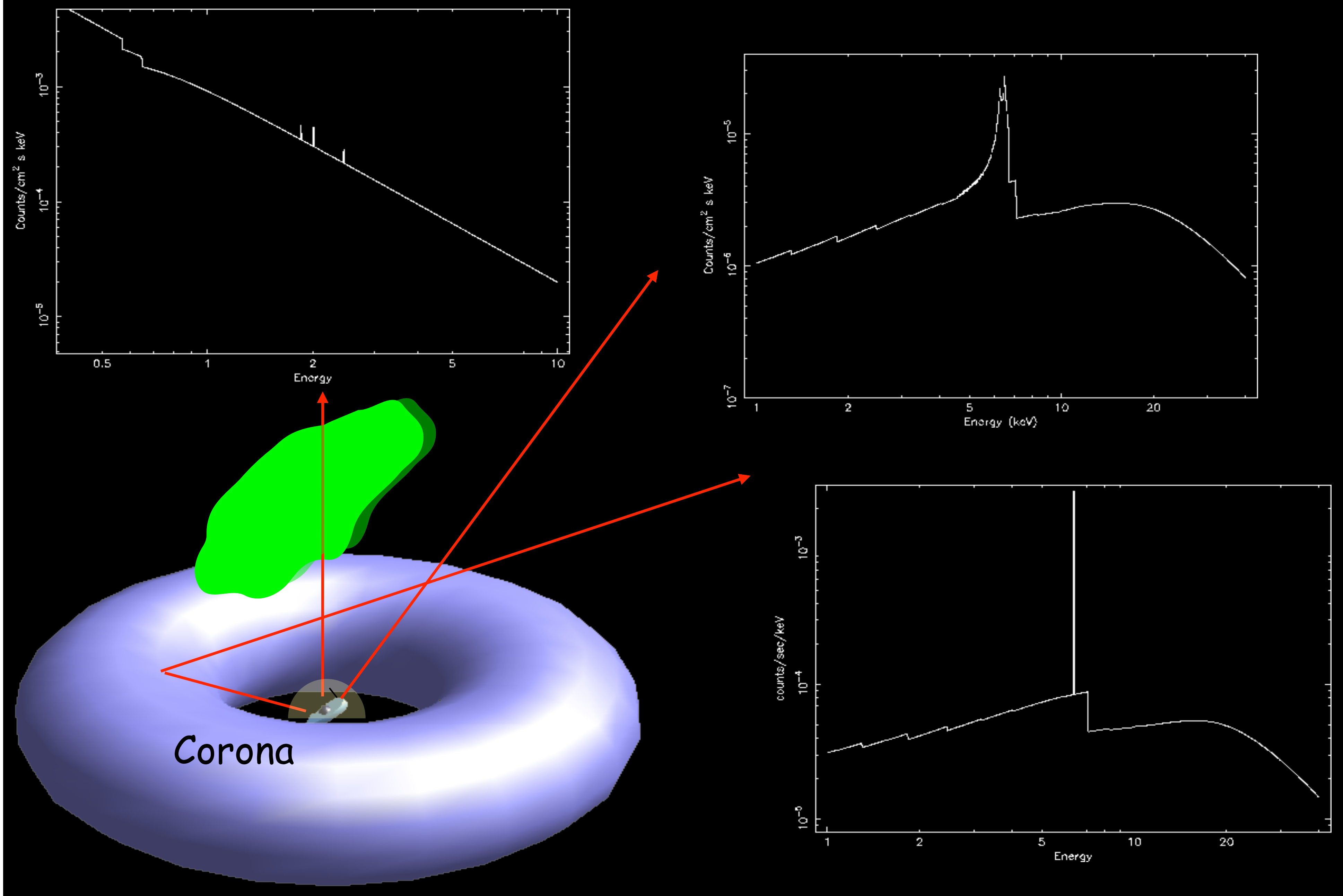
Il Modello Unificato

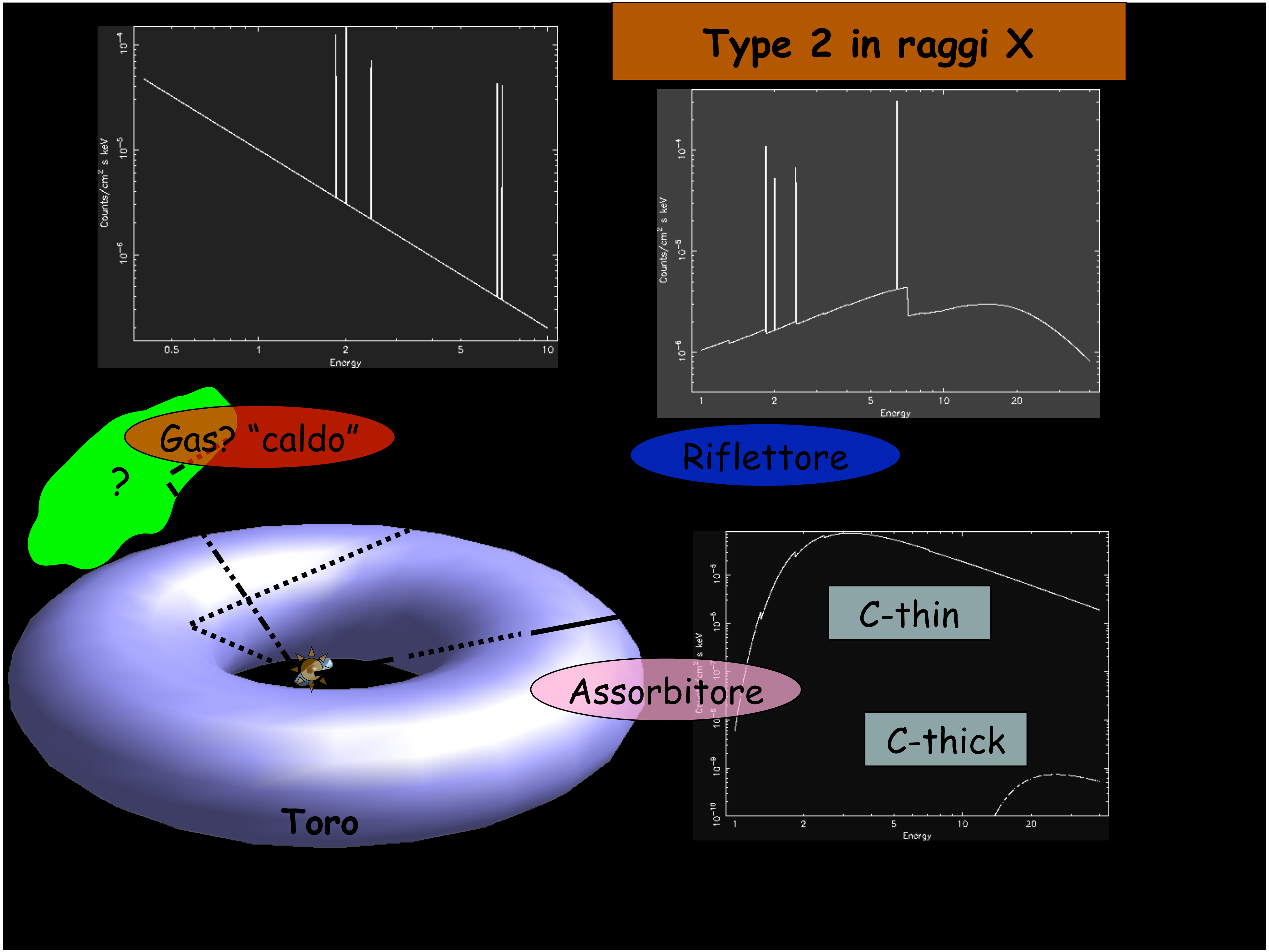


Il Modello Unificato

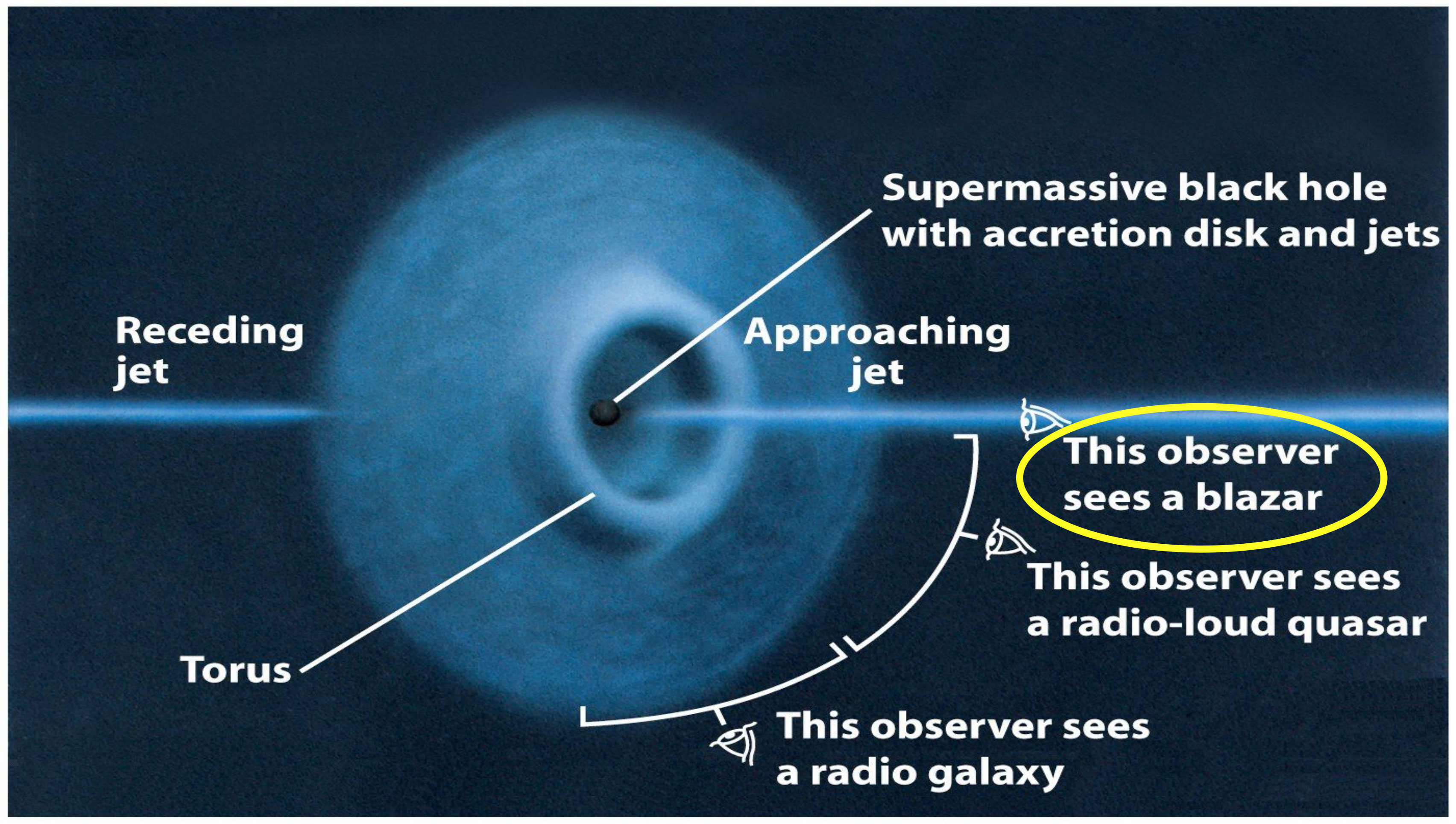


Type 1 in raggi X




Type 2 in raggi X
Gas? "caldo"
?
Riflettore
Toro
Assorbitore
C-thin
C-thick
Counts/cm^2 s keV
Energy

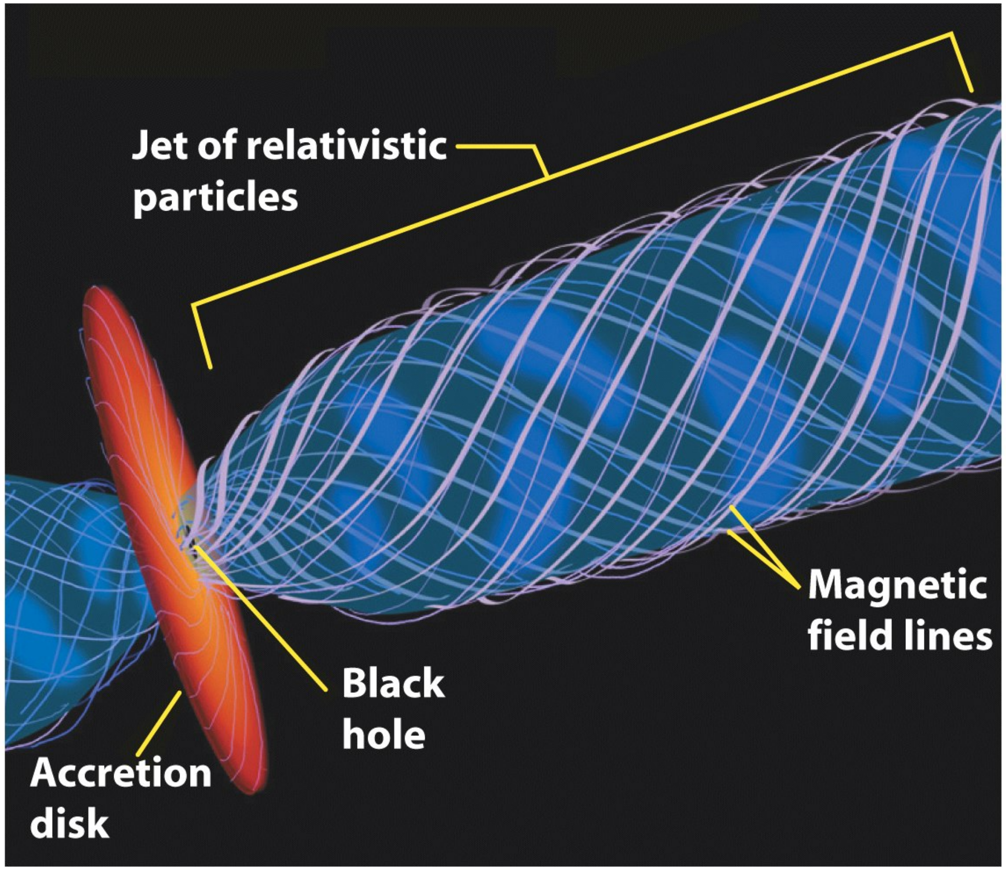
Getti extragalattici:

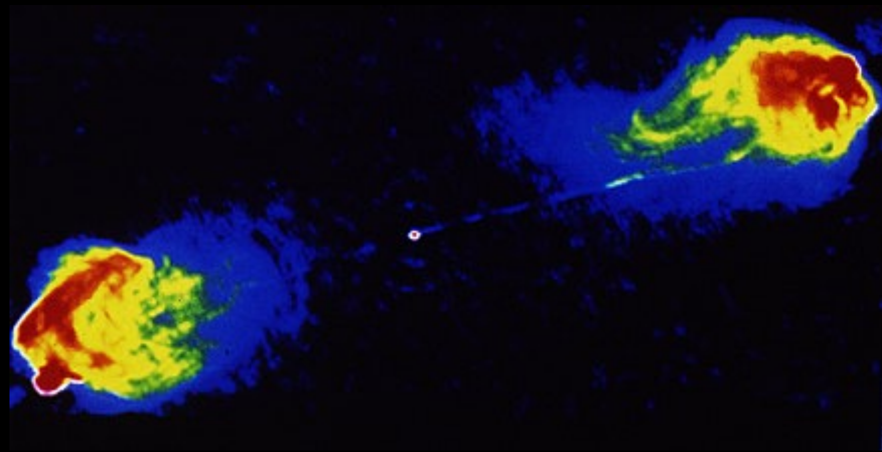


Courtesy: Ski Antonucci

La magia dei getti relativistici

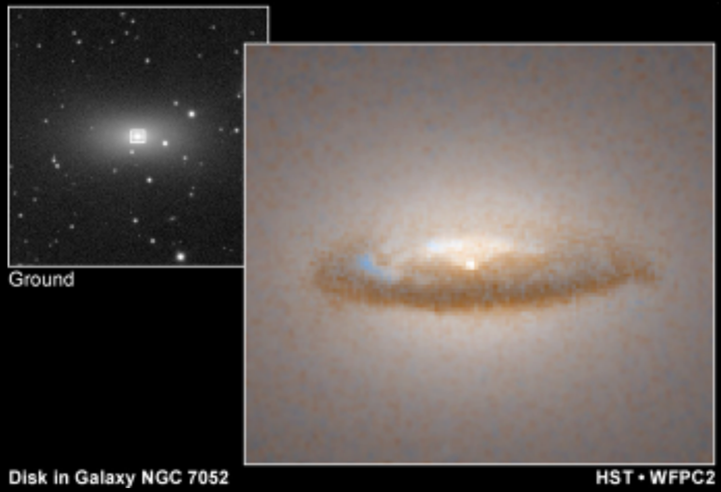
L’energia cinetica dei getti può essere anche maggiore di quella emessa dal nucleo attivo sotto forma di radiazione

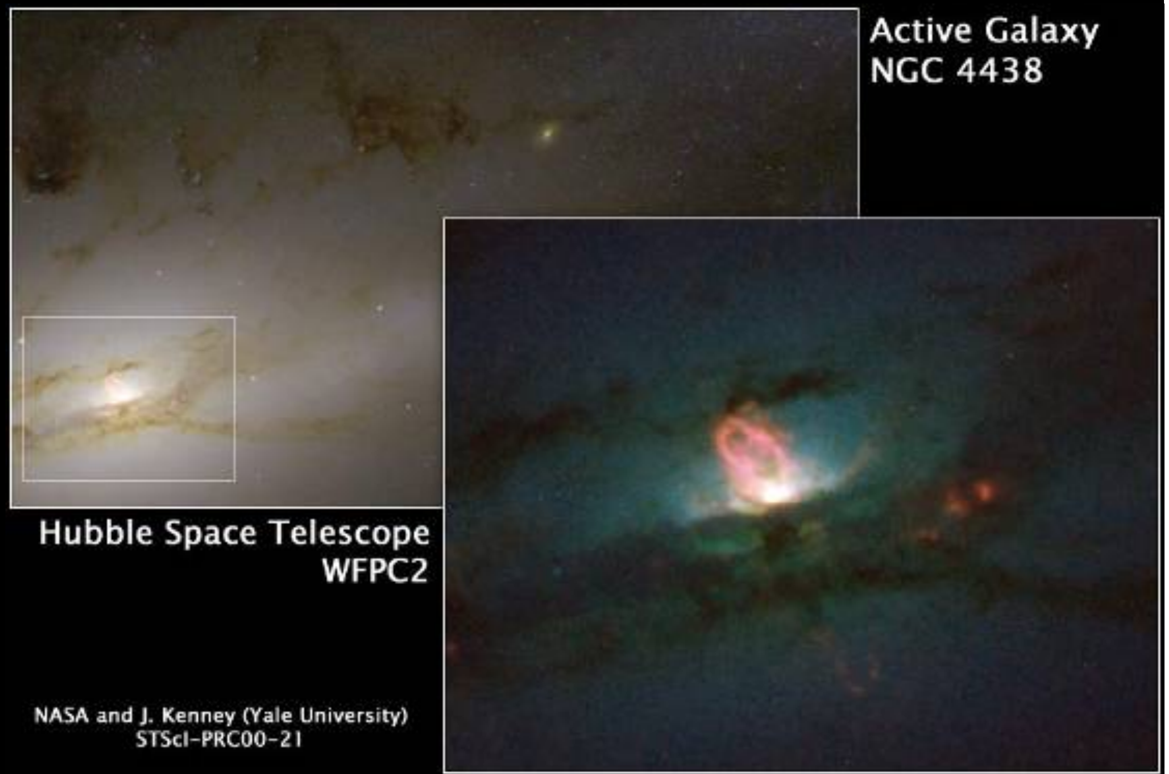




L’energia nei lobi di Cygno A equivale all’annichilazione ($E=mc^2$!) di 1000000000000000000000000000000 kg…
1 kg equivale a una bomba H di 100 Megaton

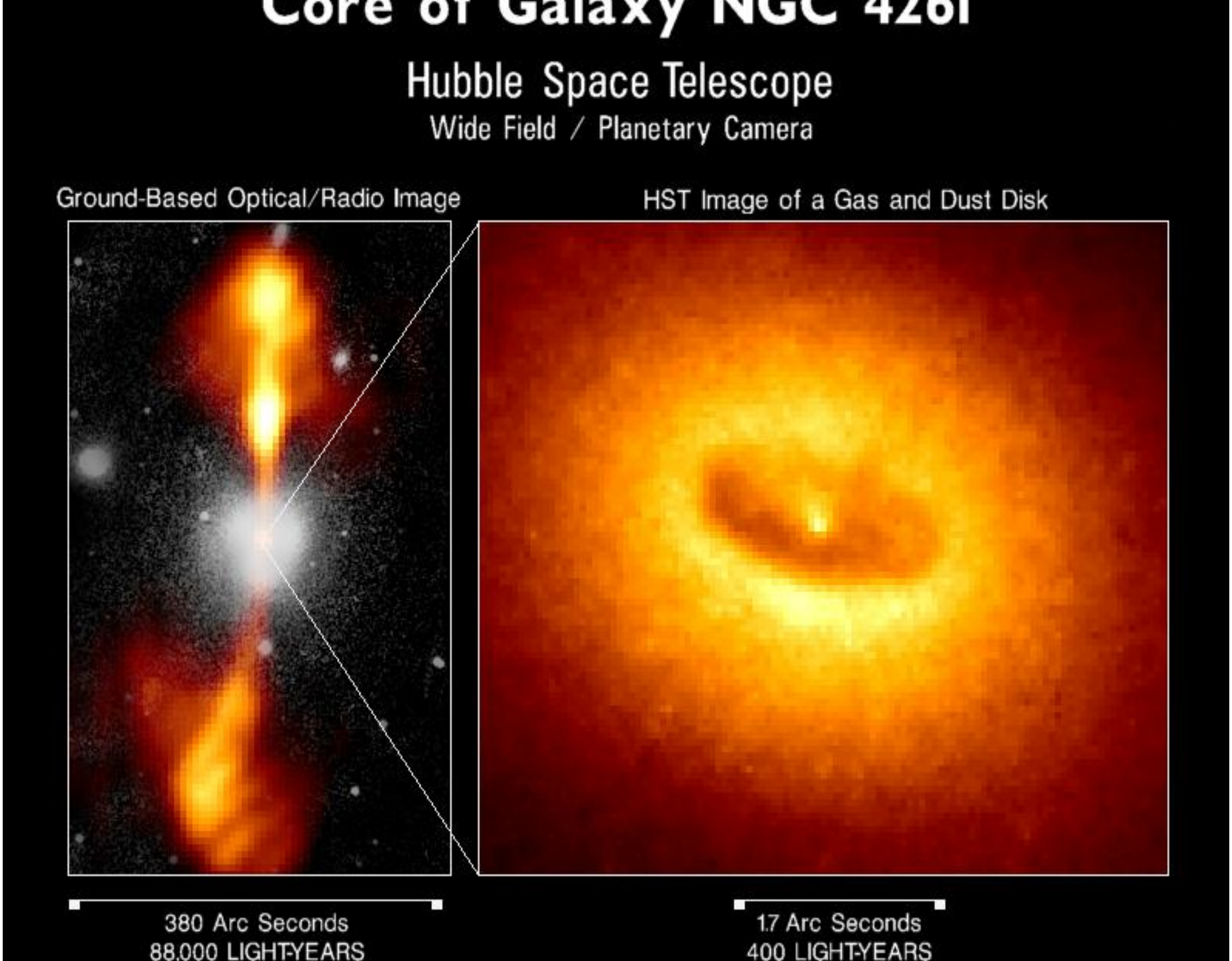
Al centro di una grande galassia



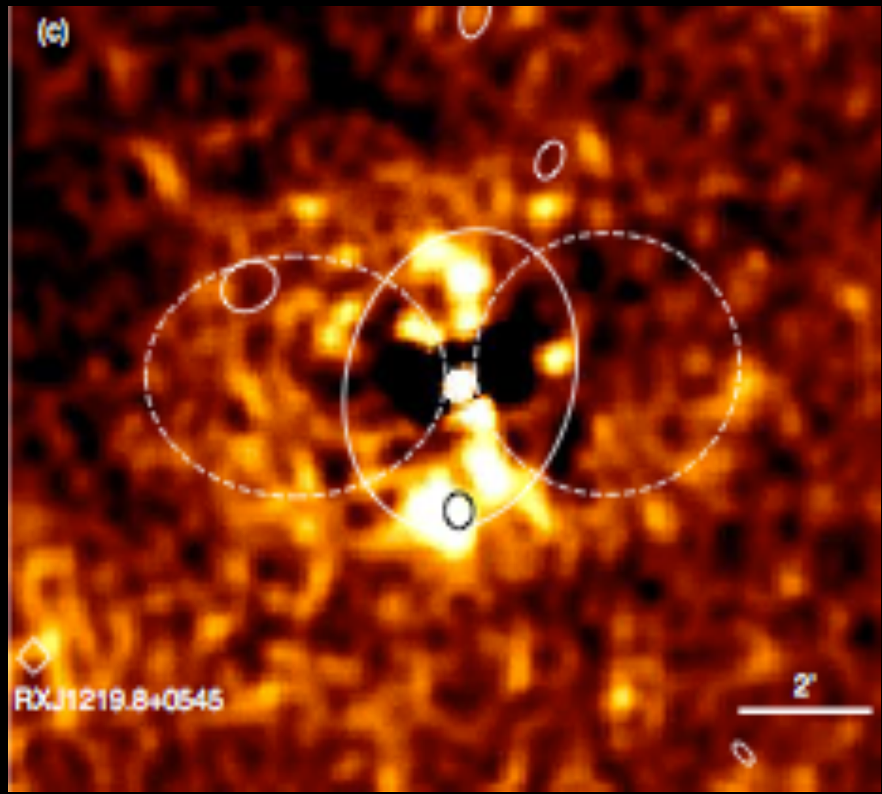


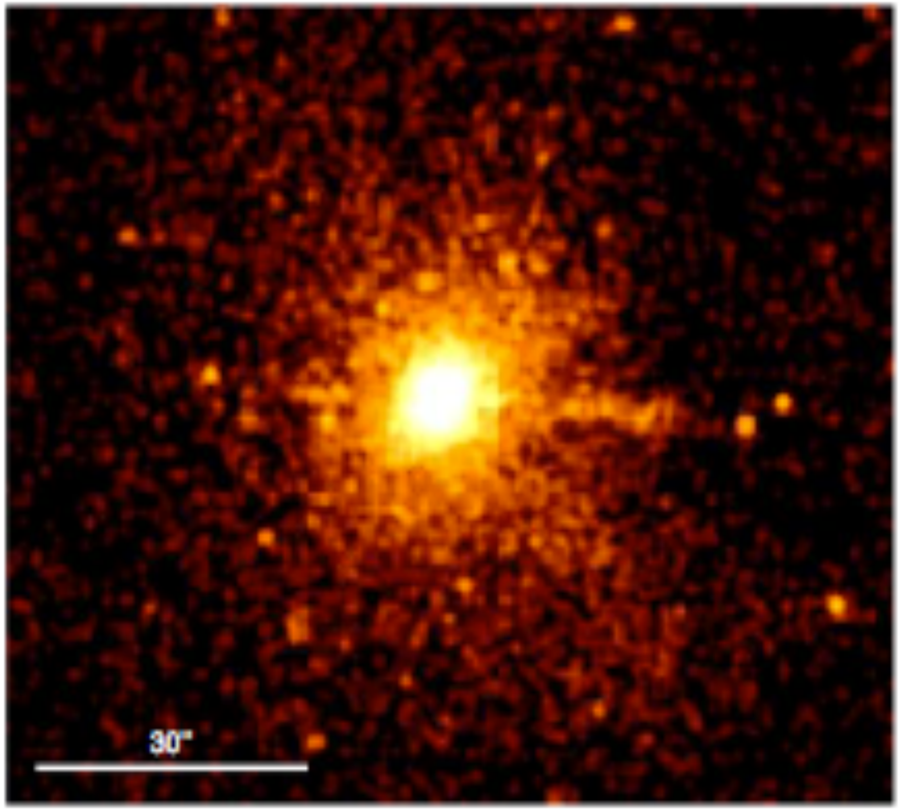
http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/exotic/black-hole/1998/22/results/20/ and

http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/exotic/black%20hole/2000/21/image/a/format/web_print/results/20/


Core of Galaxy NGC 4261
Hubble Space Telescope
Wide Field / Planetary Camera
Ground-Based Optical/Radio Image
HST Image of a Gas and Dust Disk
380 Arc Seconds
88,000 LIGHT-YEARS
1.7 Arc Seconds
400 LIGHT-YEARS

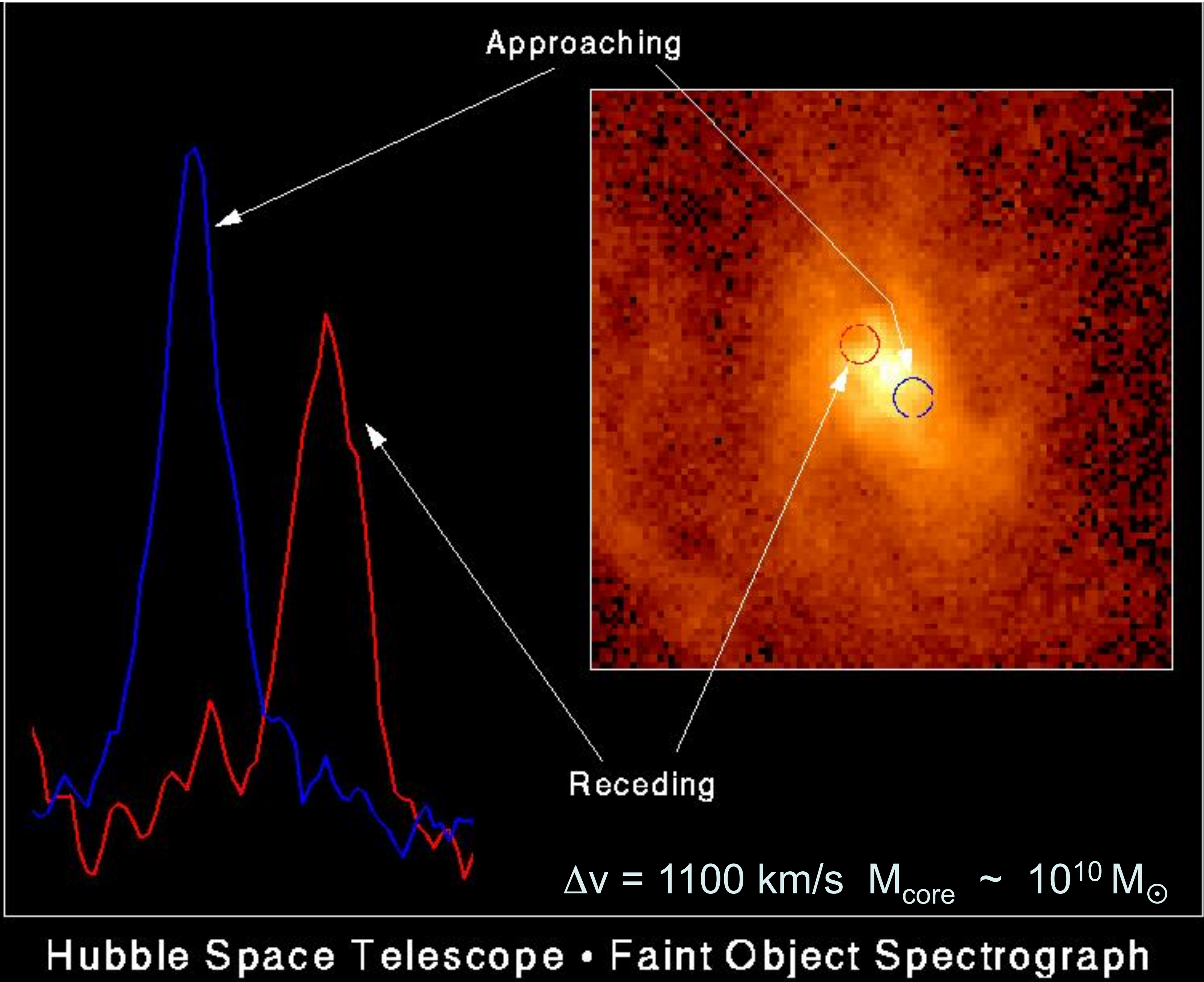
NGC 4261





- Immagini Chandra O'Sullivan et al

Spettro del disco di gas nella galassia attiva M87



$\Delta v = 1100$ km/s $M_{core} \sim 10^{10} M_{\odot}$

Vento bi-conico in accelerazione

BALs

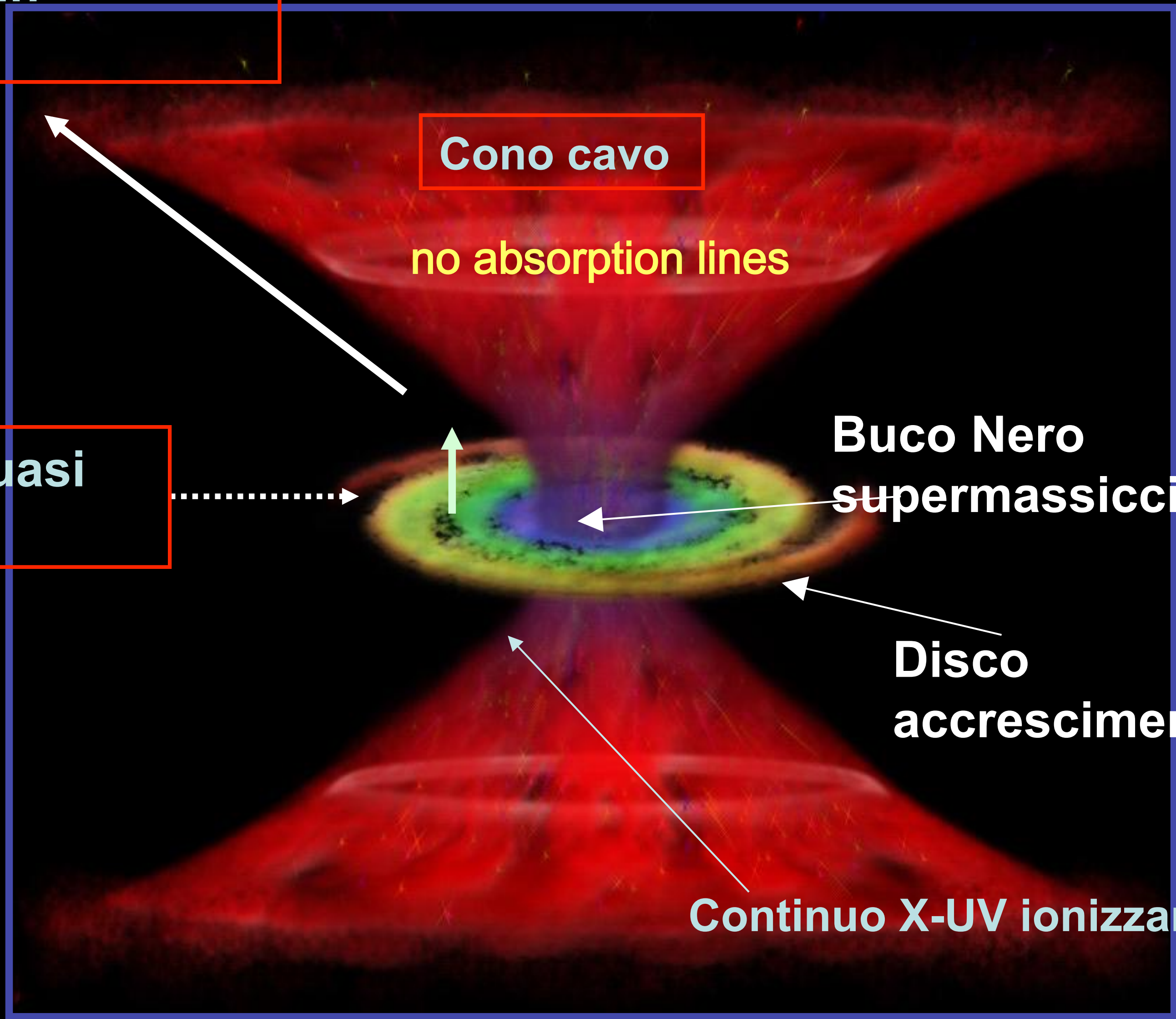
Polarization

Vento “sottile” quasi verticale

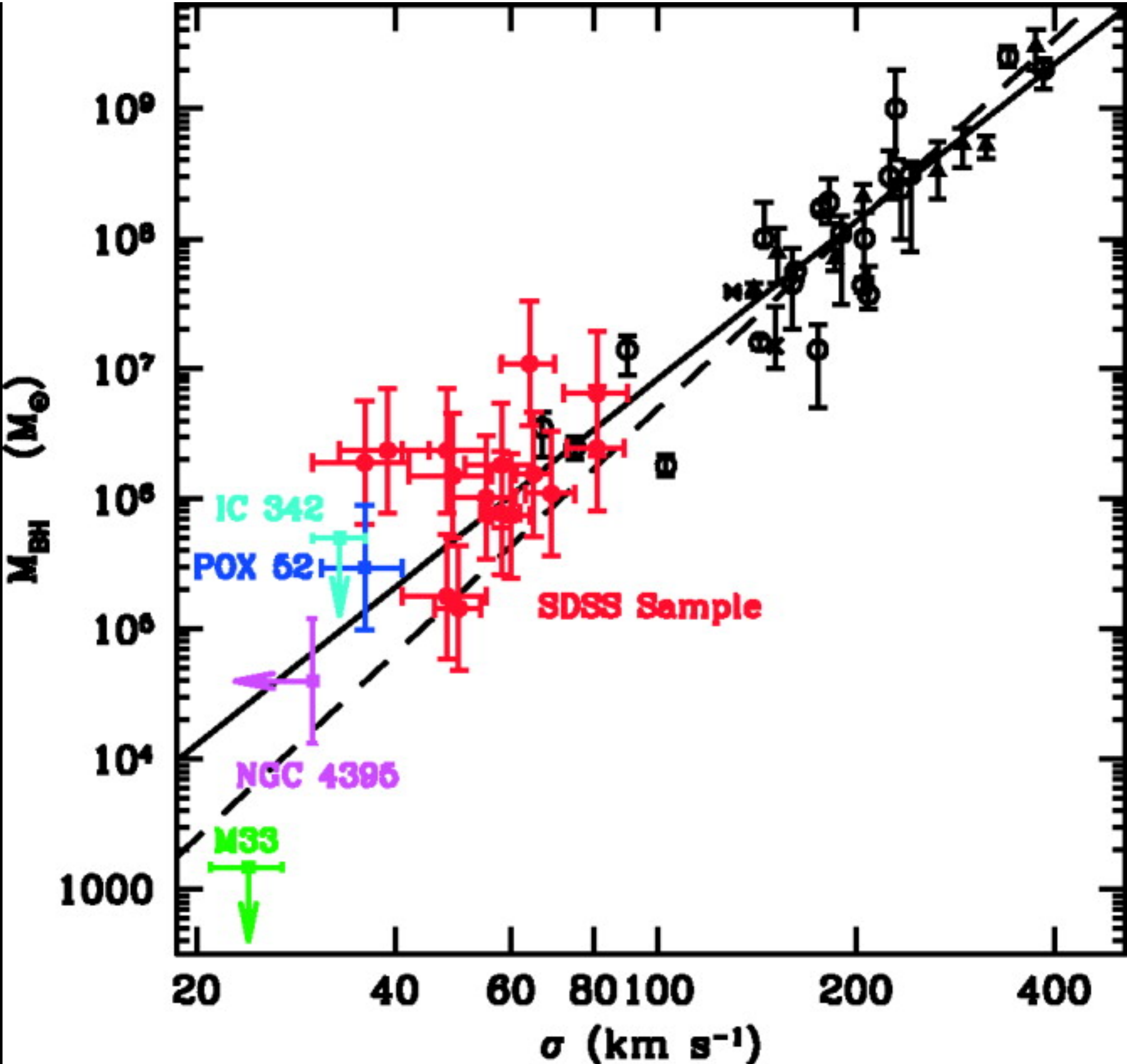
WAs

NALs

BELs



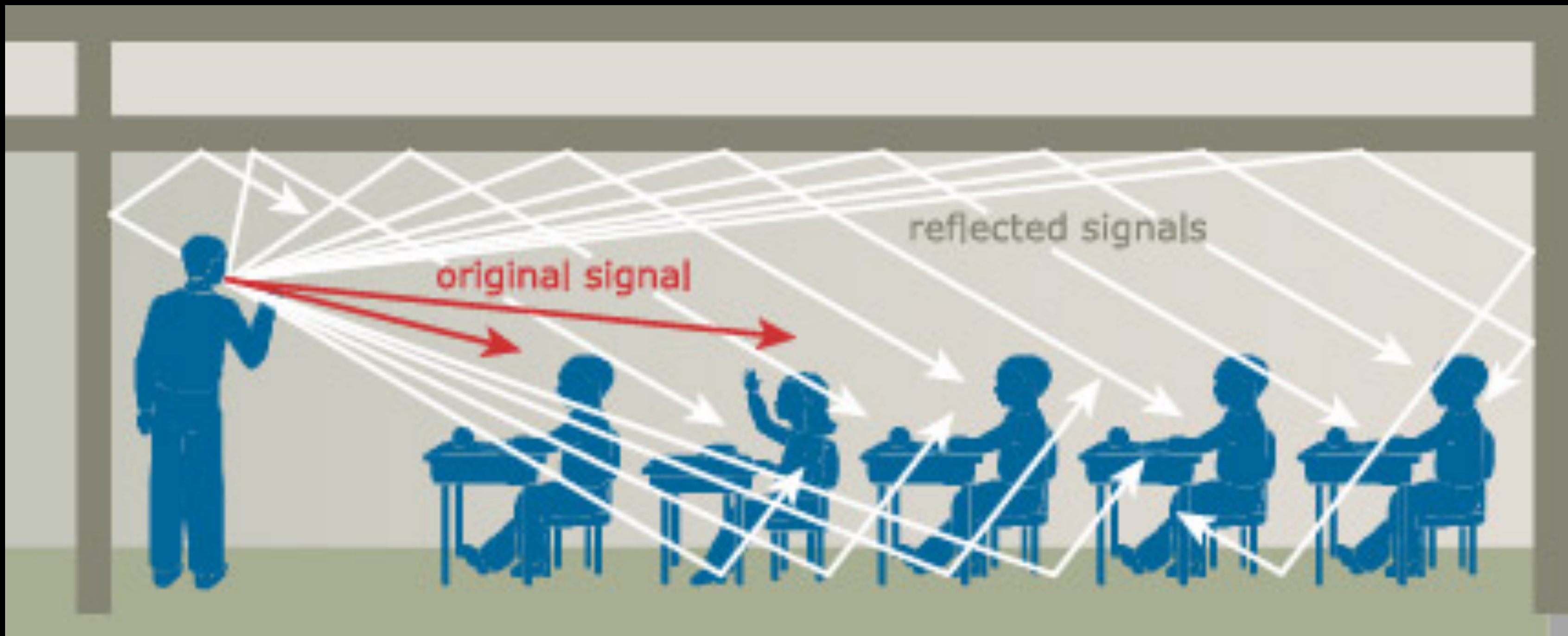
Elvis M., 2000, ApJ, 545, 63



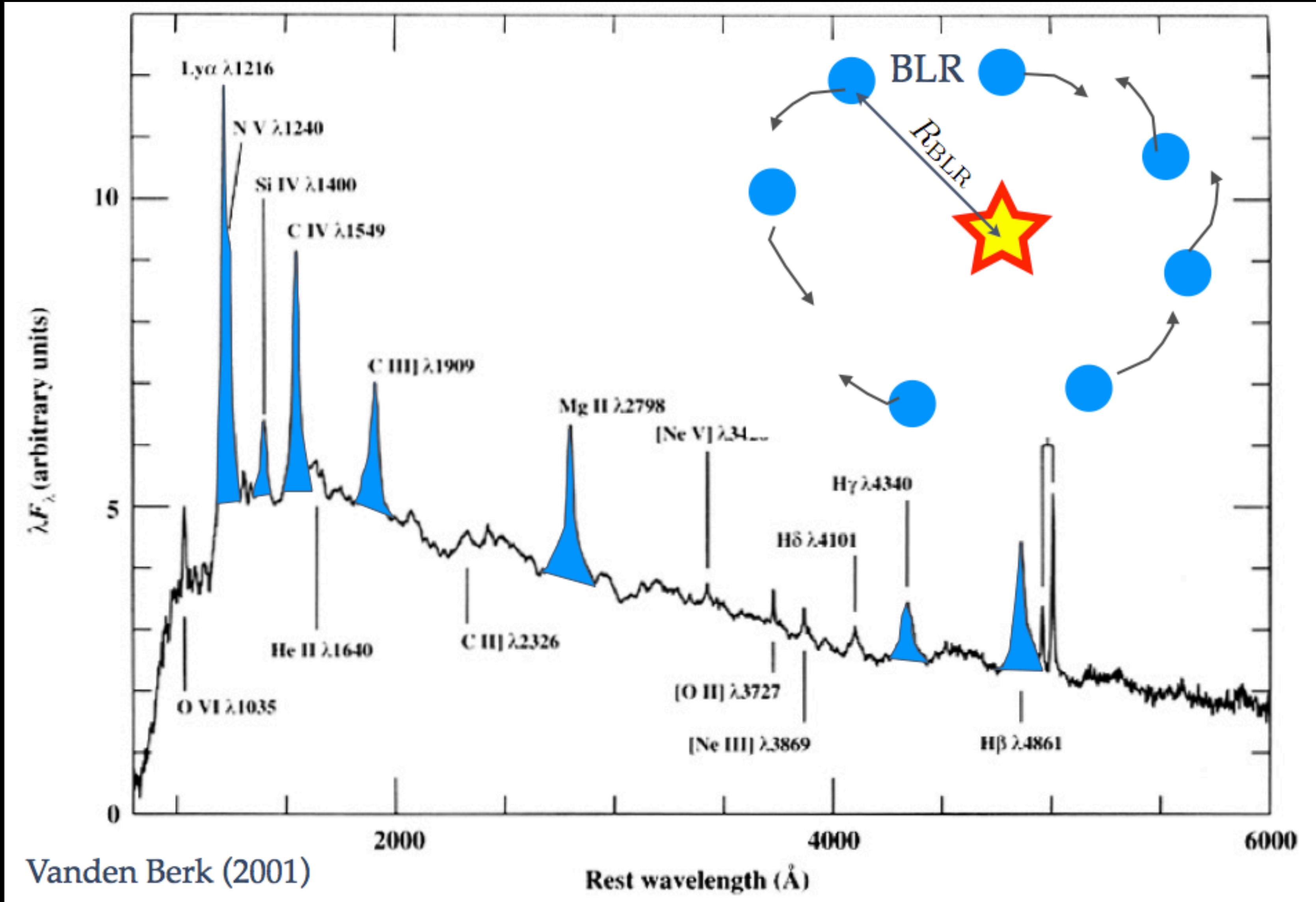
10^9
10^8
10^7
10^6
10^5
10^4
1000
M_{BH} $(M_\odot)$
IC 342
POX 52
SDSS Sample
NGC 4395
M33
20
40
60
80
100
200
400
σ (km s^{-1})

Reverberation Mapping

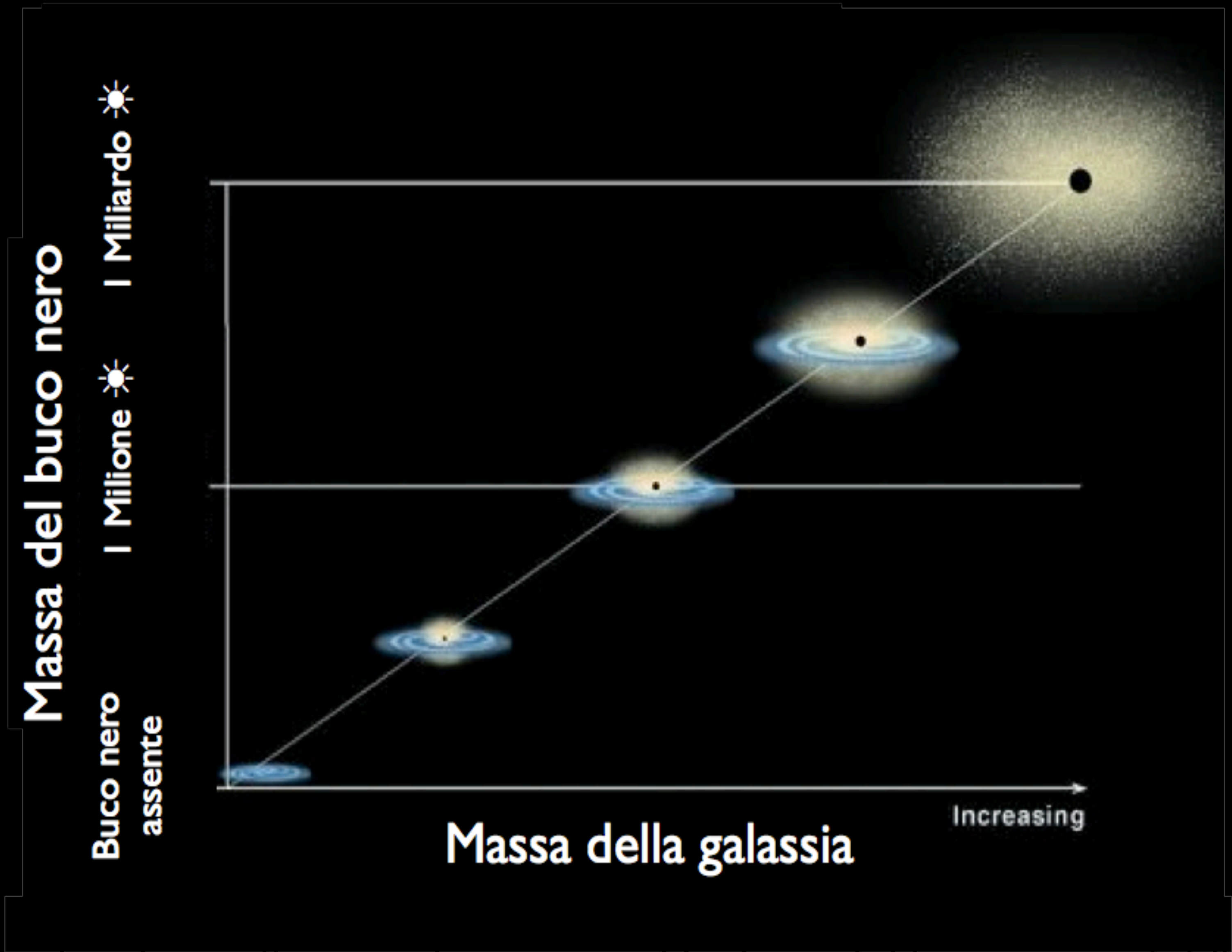
- Studiando il ritardo tra il segnale originale e i segnali riflessi si può misurare la dimensione della stanza.



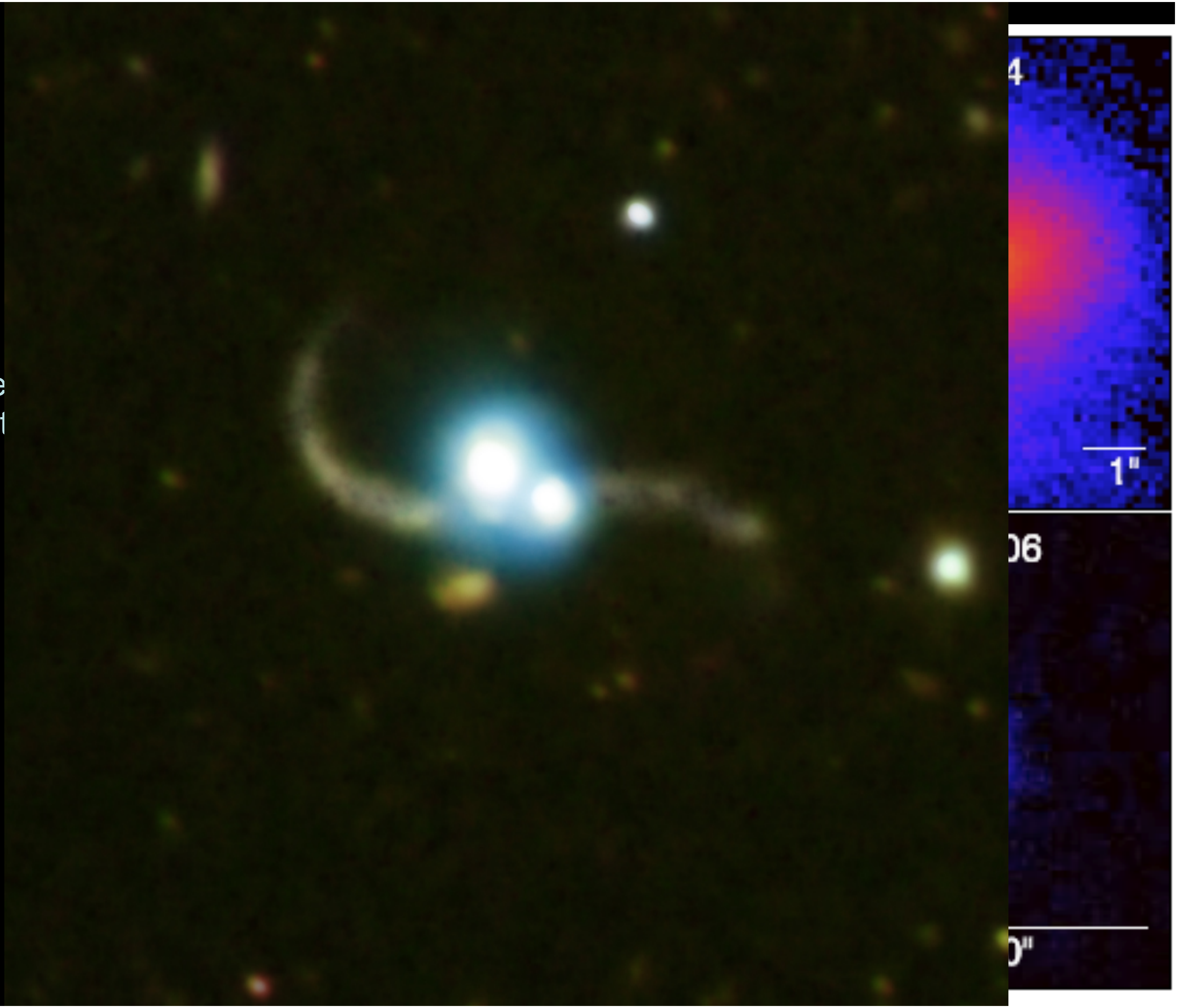
Per le nubi dei quasar..



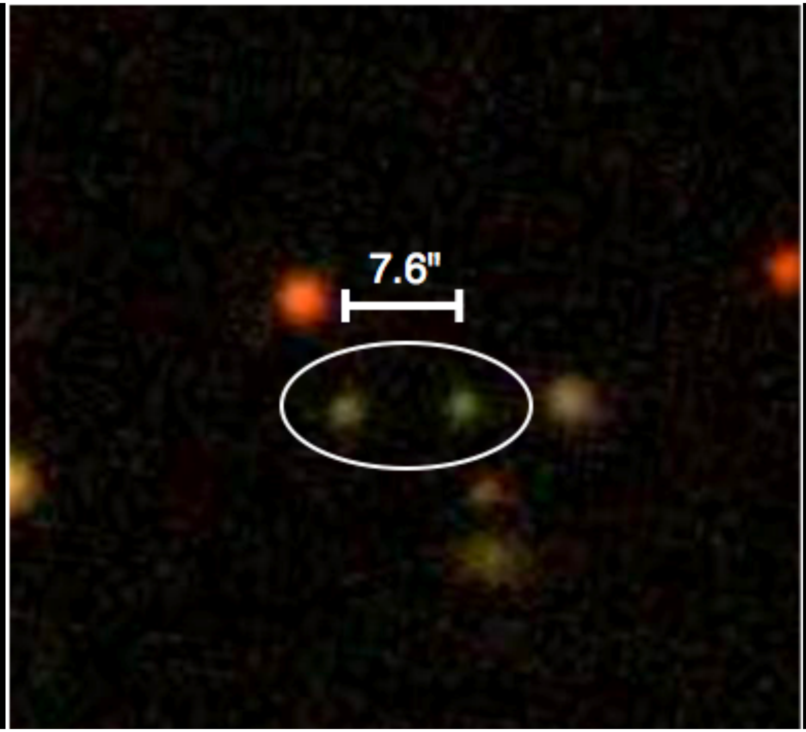
Vanden Berk (2001)

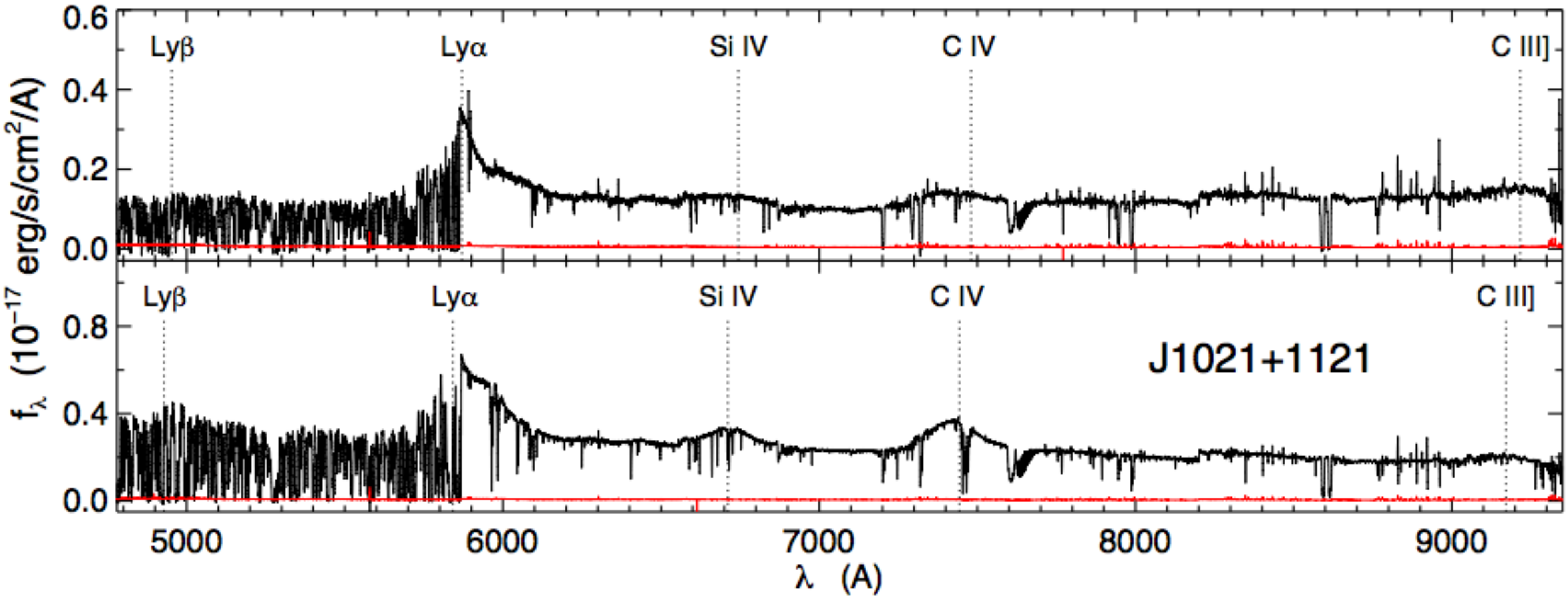

Massa del buco nero
1 Miliardo
1 Milione
Buco nero assente
Increasing
Massa della galassia

4
galassie
di Sefert
con
Doppio
Nucleo
in IR

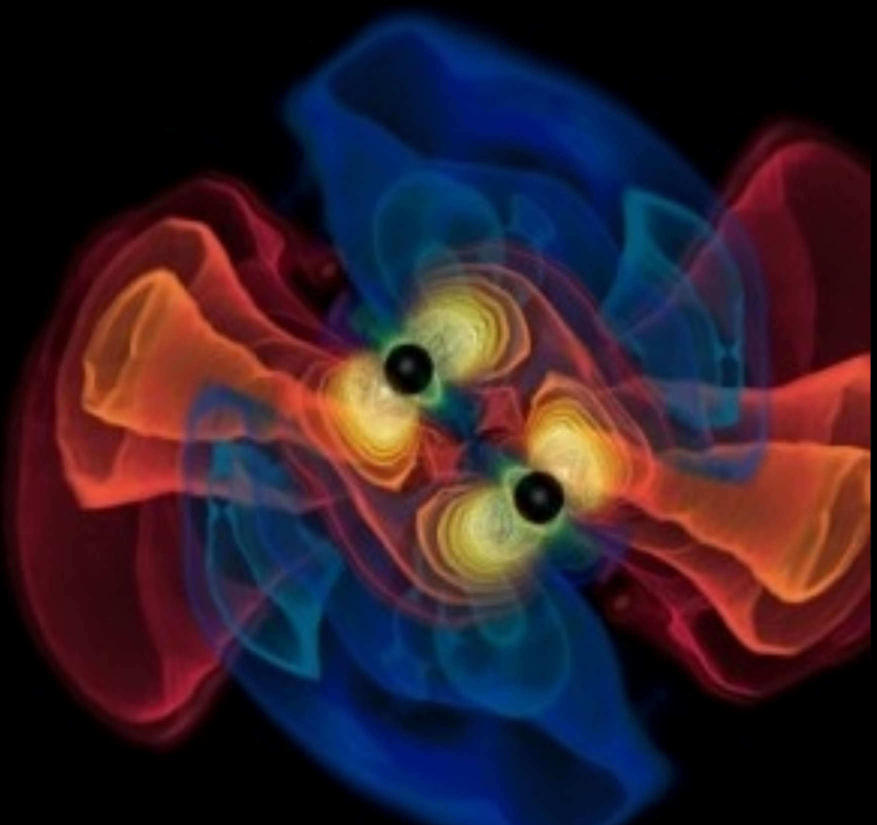


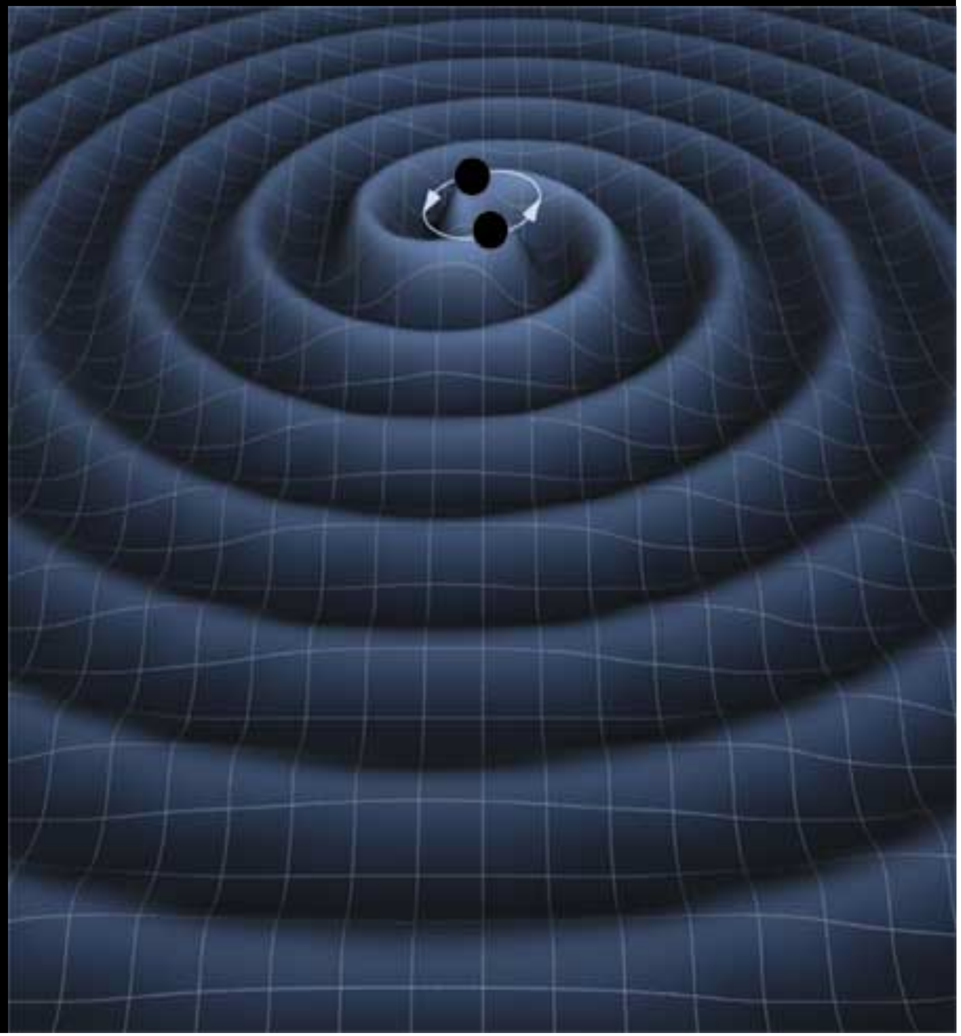
Coppia di quasar a z=3.8,
40 kpc
27 coppie a z > 2.9





Onde Gravitazionali





Ma cosa sono infine gli AGN?

Sono galassie ad alto/altissimo z

Hanno distanze cosmologiche (>10^9 LYs) che fanno sembrare questi oggetti, che hanno brillanze intrinseche enormi, delle deboli stelle

Dai dati X tale potenza (~10^{47} erg/sec) e' confermata, risultando circa 10 trilioni maggiore di quella emessa dal Sole per un oggetto di diametro pari a quello del Sistema Solare.

Si nutrono del materiale circostante, da 1 Sole alla settimana a 1 Sole all'anno

Una piccola frazione presenta getti ed emissione radio collimata

Abbiamo visto che:

• Le galassie sono sede di fenomeni “violenti”
• La causa è la caduta di materia per gravità verso la regione centrale

Resta da capire:

• Come si estrae l’energia dal buco nero per trasmetterla ai getti?
• Se ogni galassia attiva ha un buco nero centrale, perché solo alcune hanno getti radio?
•Perché non ce ne sono vicini a noi?

•...

Cosmologia →

Cosmologia

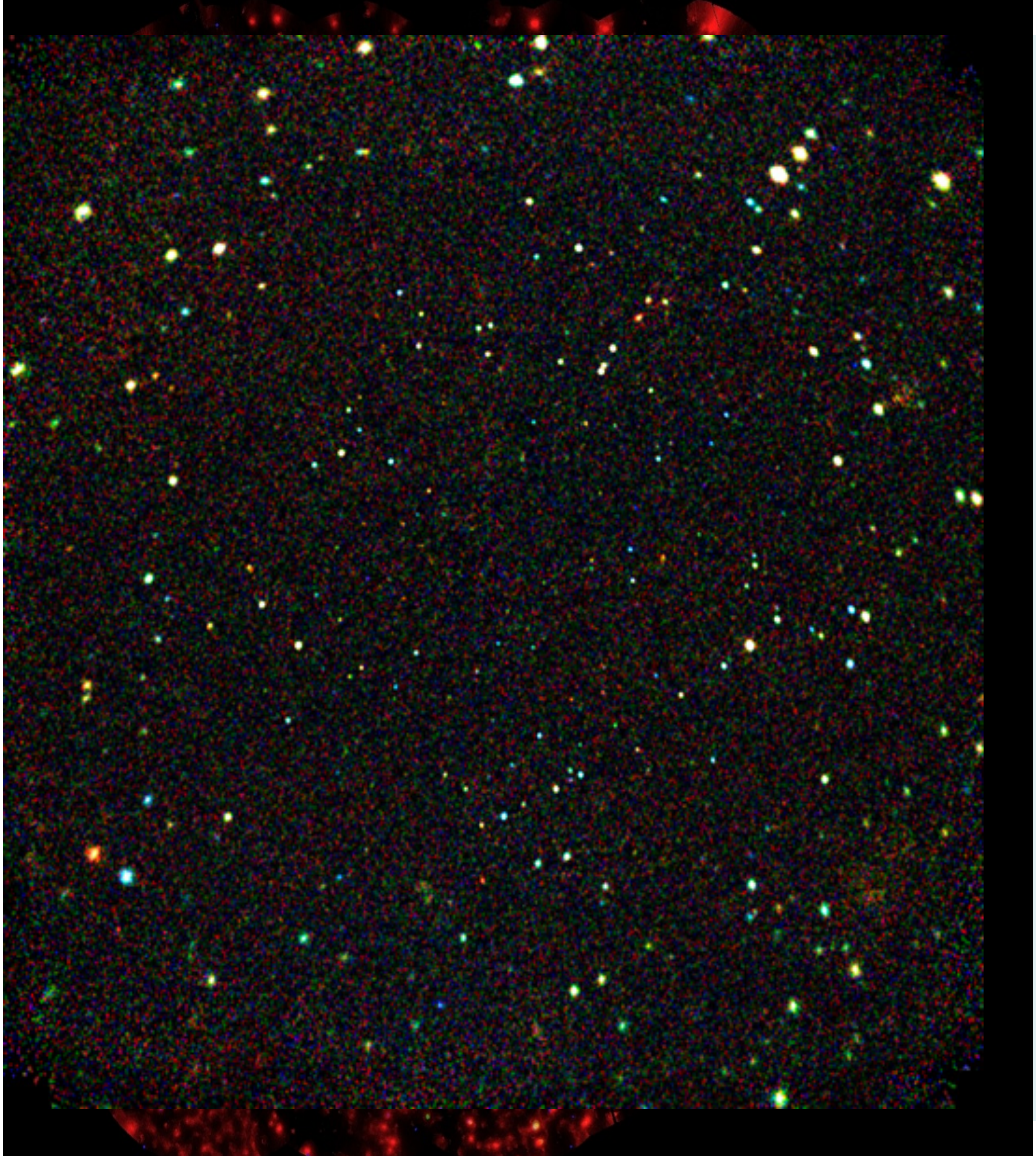
I Quasars: sonde cosmologiche

L'elevata luminosità ed apparenza puntiforme offrono la possibilità di usare i quasars come strumenti per sondare l'universo lontano.

I Quasars sono tra gli oggetti più distanti che riusciamo a vedere.

z≅6

Età dell'universo ≅ 1 miliardo di anni



Le profondita' del cosmo con XMM-Newton e Chandra

La maggioranza di queste sorgenti sono quasar (AGN) l'80% circa del "fondo cosmico" in raggi X

Viaggio nell’Universo noto

...on the other hand, when experiments are in hopeless conflict – or when the observations do not make sense according to conventional ideas, or when none of the new models seems to work,
in short when the situation is an unholy mess- that is when one is really making hidden progress
and a breakthrough is just around the corner!

R. Feynman, 1973 Hawaii Summer Institute, cited by D. Perkins at the 1995 EPS Conference, Brussels).