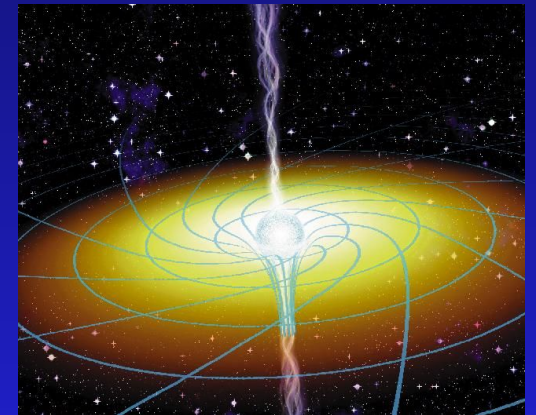


Galaxien, Quasare, Schwarze Löcher

Dr. Knud Jahnke
Astrophysikalisches Institut Potsdam



Die Augen der Astronomen



Die Augen der Astronomen



Die Augen der Astronomen



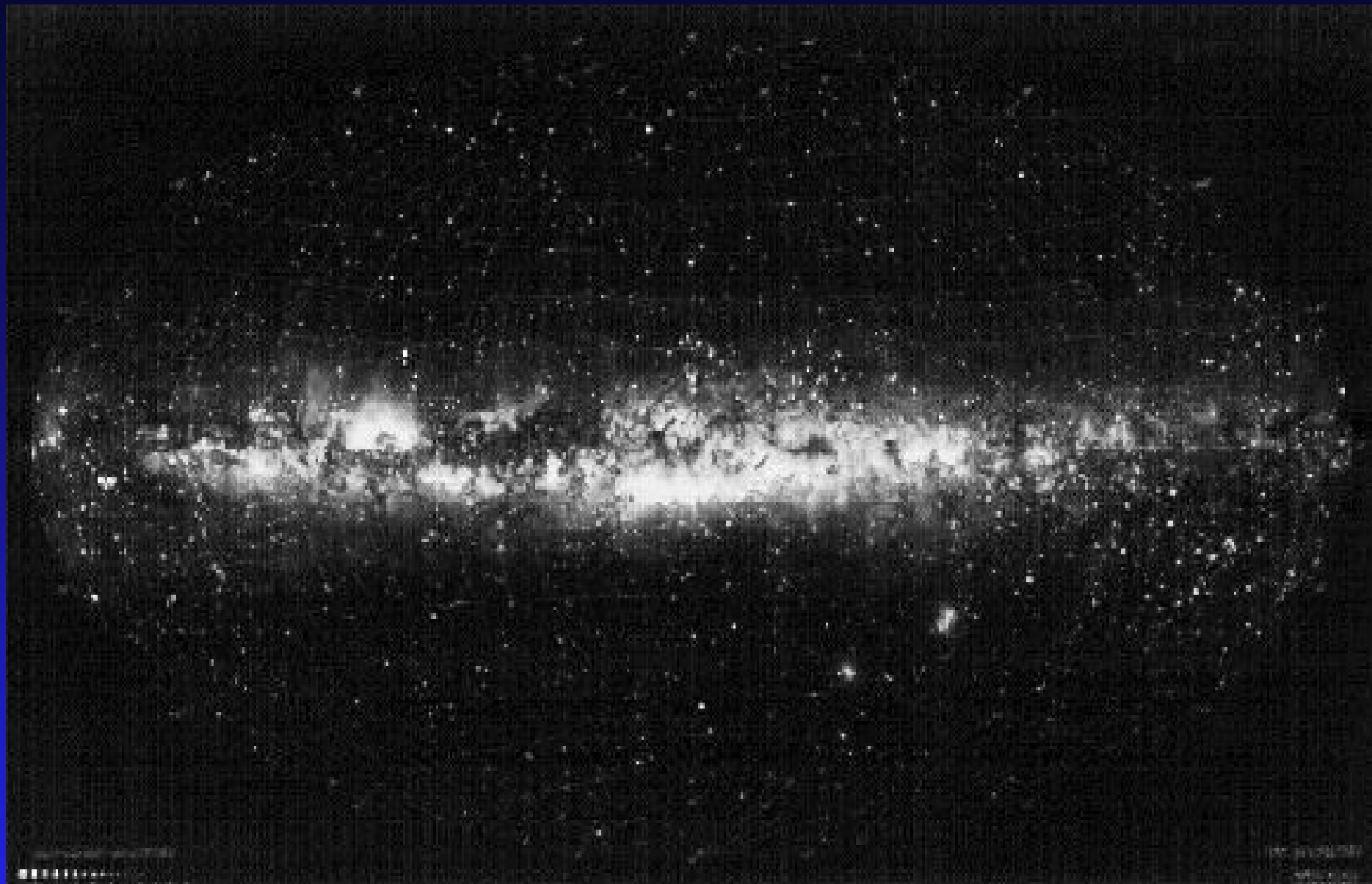
Die Augen der Astronomen



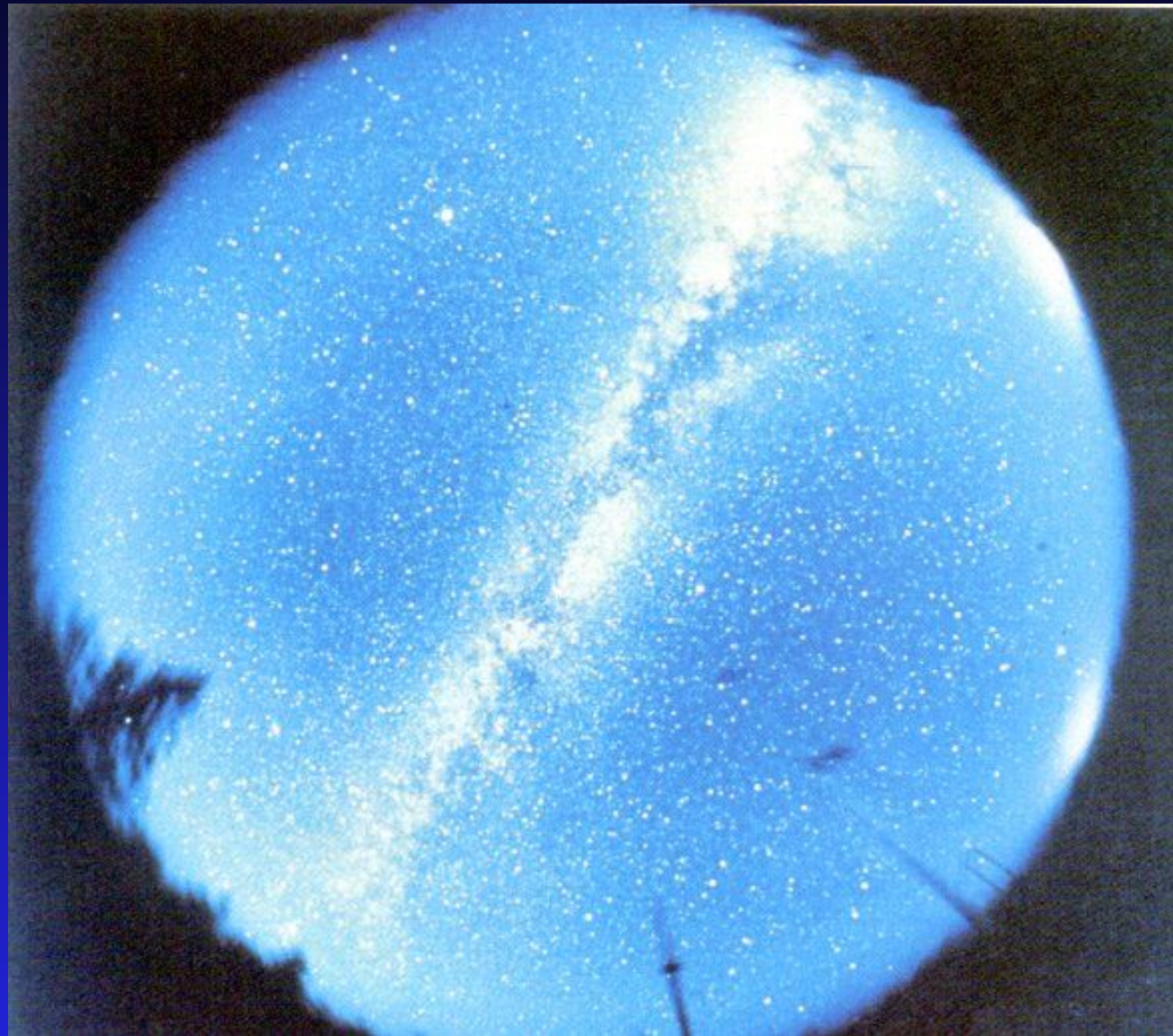
Die Augen der Astronomen



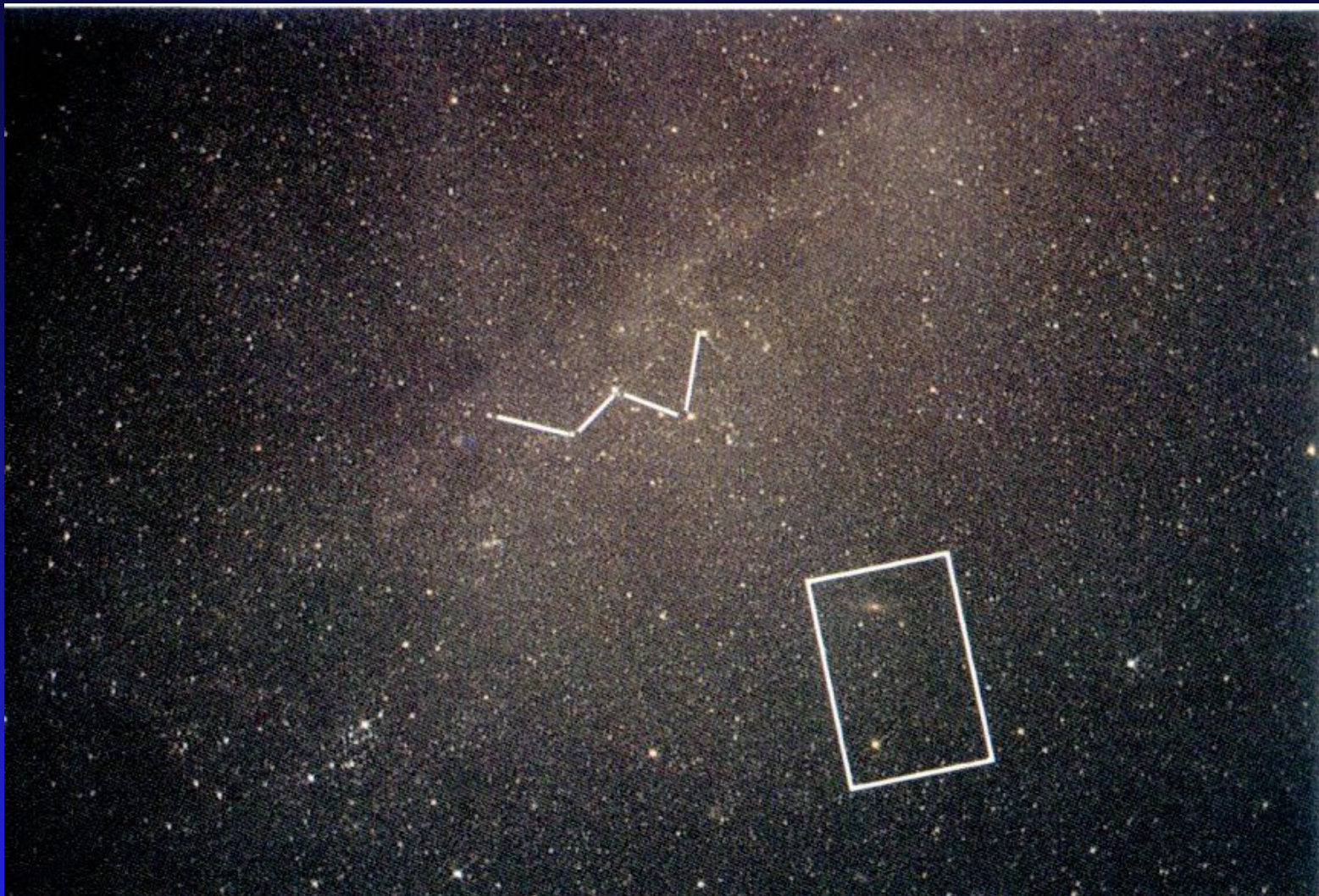
Unsere Milchstraße



Unsere Milchstraße



Nachbar im All: Der Andromedanebel



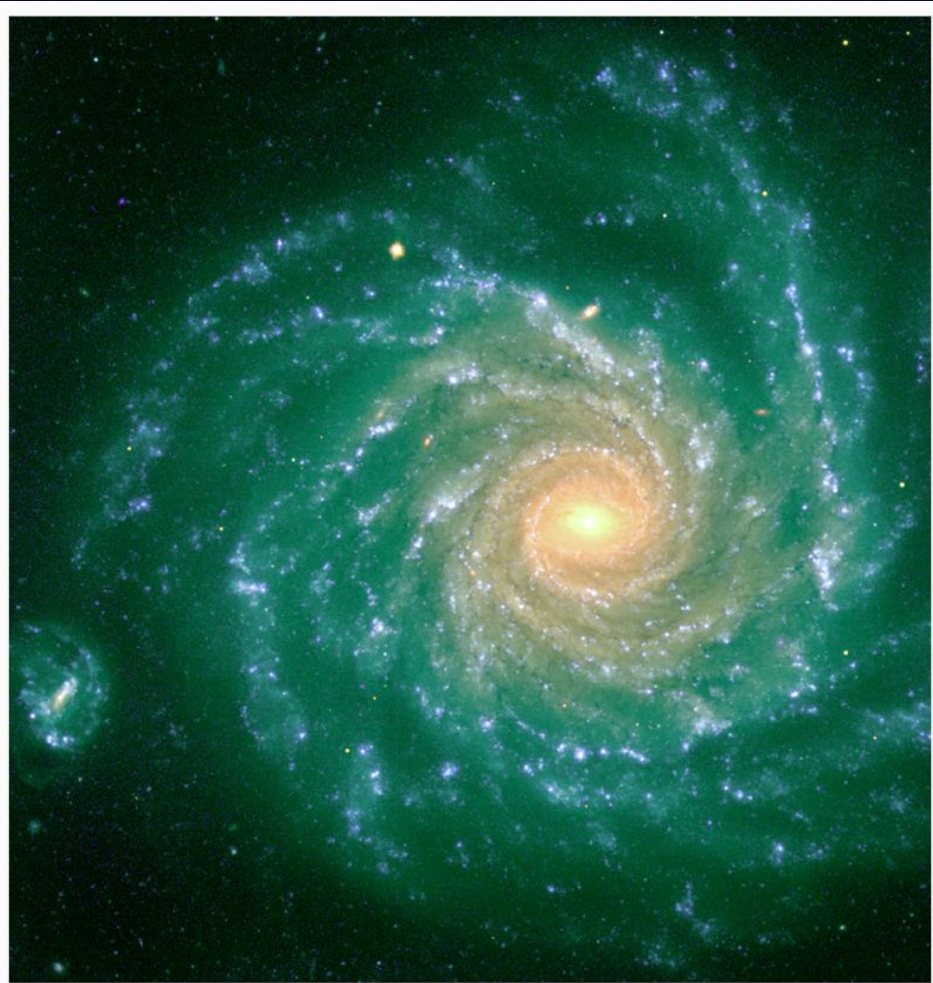
Nachbar im All: Der Andromedanebel



Nachbar im All: Der Andromedanebel



Spiralgalaxien



Spiral Galaxy NGC 1232 - VLT UT 1 + FORS1

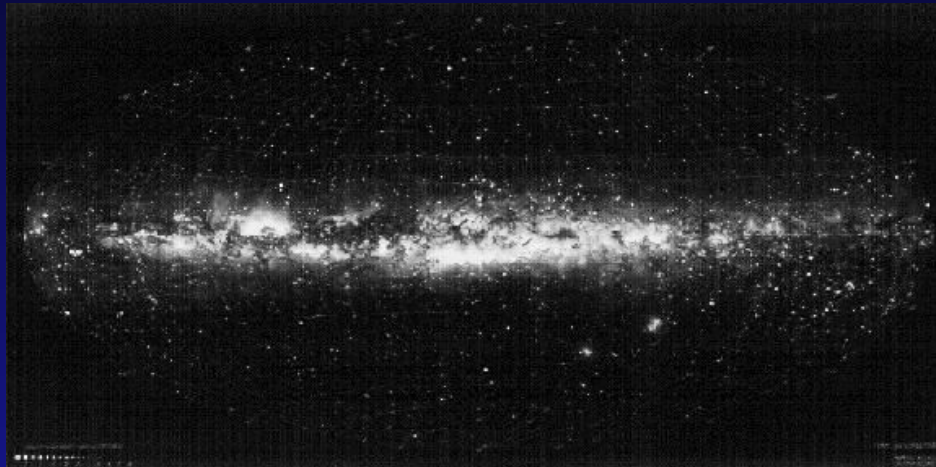
Spiralgalaxien



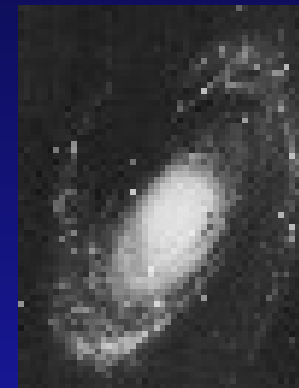
Spiral Galaxy NGC 1232 - VLT UT 1 + FORS1



Spiralgalaxien



Spiralgalaxien



Rotation von Spiralgalaxien

Stabilitätsbedingung:
Schwerkraft wird kompensiert durch Fliehkraft!

Rotation von Spiralgalaxien

Stabilitätsbedingung:
Schwerkraft wird kompensiert durch Fliehkraft!

$$\frac{m v^2}{r} = G \frac{m M}{r^2}$$

Rotation von Spiralgalaxien

Stabilitätsbedingung:
Schwerkraft wird kompensiert durch Fliehkraft!

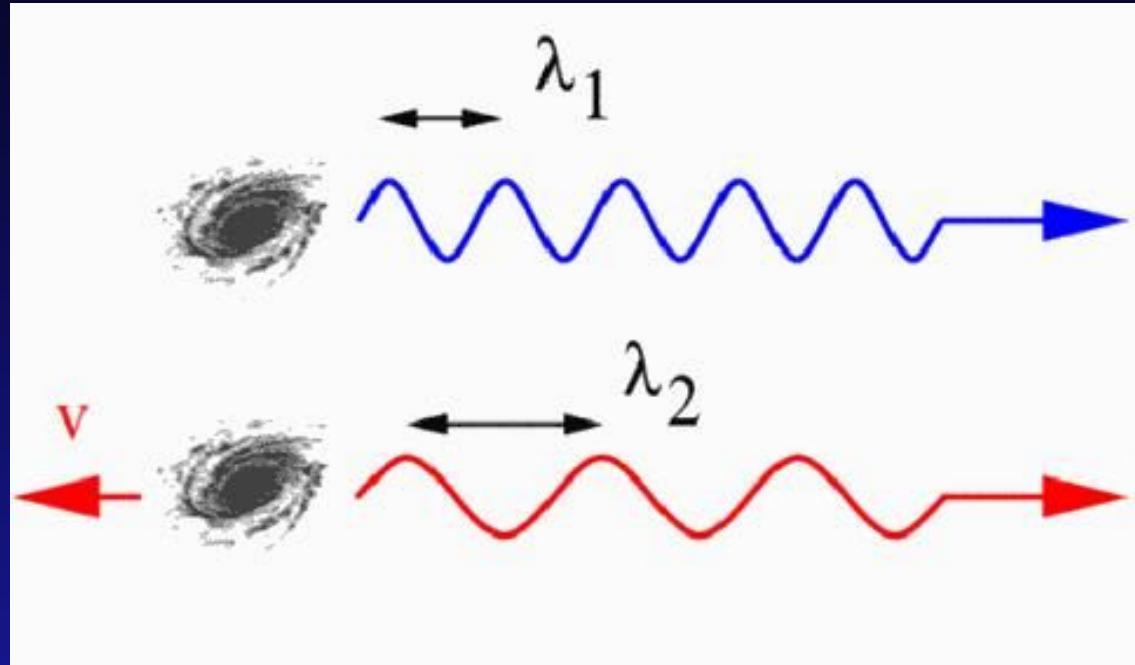
$$\frac{m v^2}{r} = G \frac{m M}{r^2}$$

→ Rotationsgeschwindigkeit ist Maß für die im Radius r eingeschlossene Masse der Galaxie:

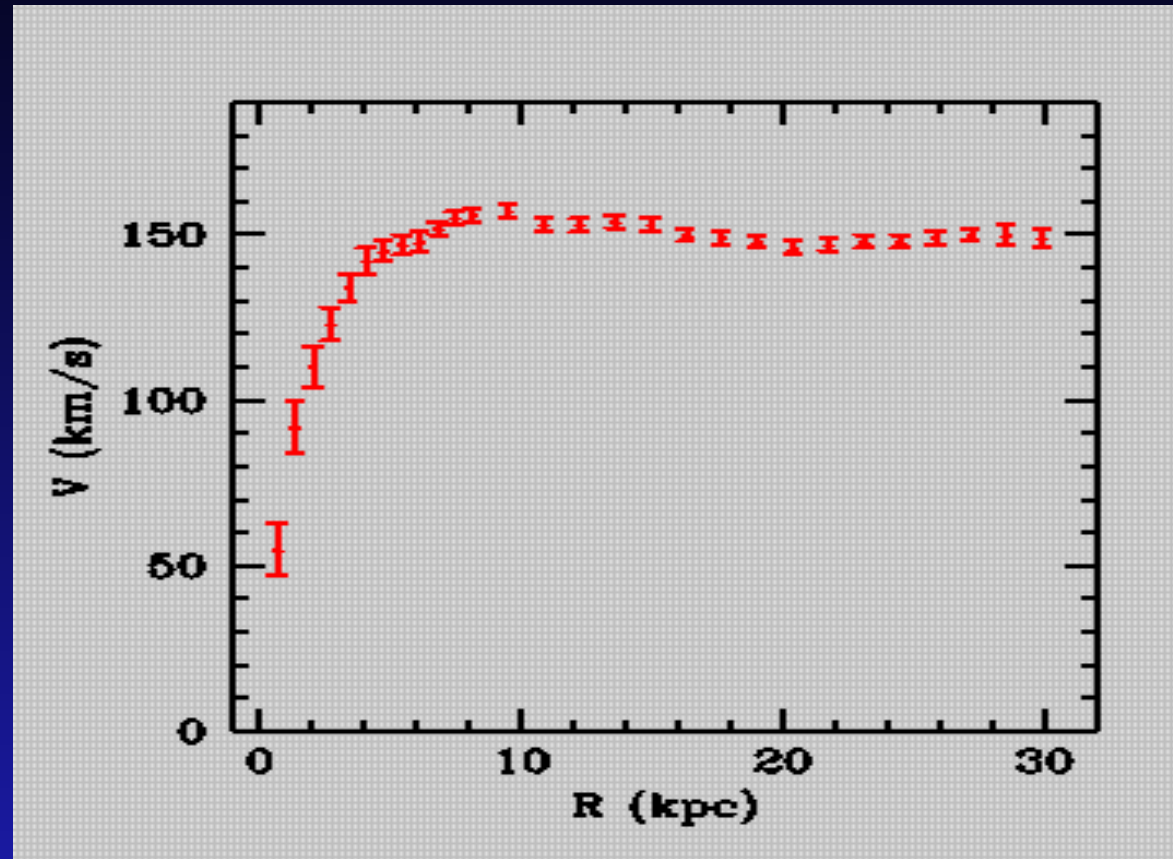
$$v^2 = \frac{G M}{r}$$

$$M = \frac{v^2 r}{G}$$

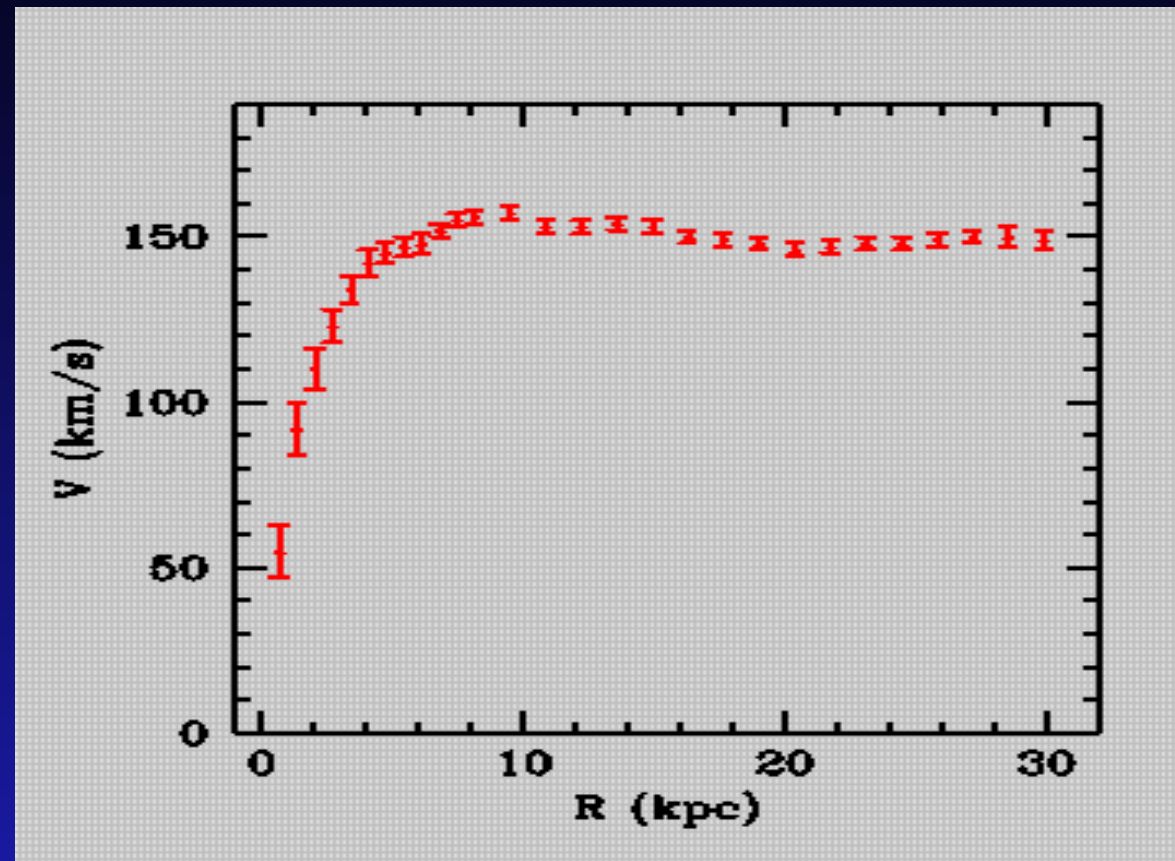
Rotation von Spiralgalaxien



Rotation von Spiralgalaxien



Rotation von Spiralgalaxien



$$v^2 = \frac{GM}{r}$$

$$M = \frac{v^2 r}{G}$$

Elliptische Galaxien



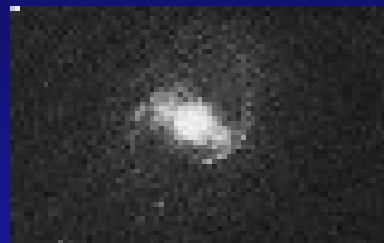
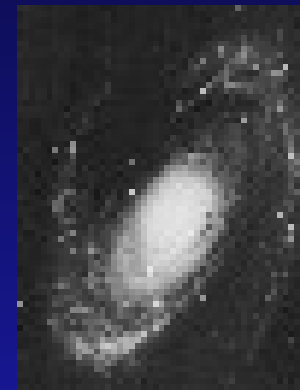
M87 © Anglo-Australian Observatory
Photo by David Malin



Scheiben und Ellipsoide



Ordnung im Galaxienzoo



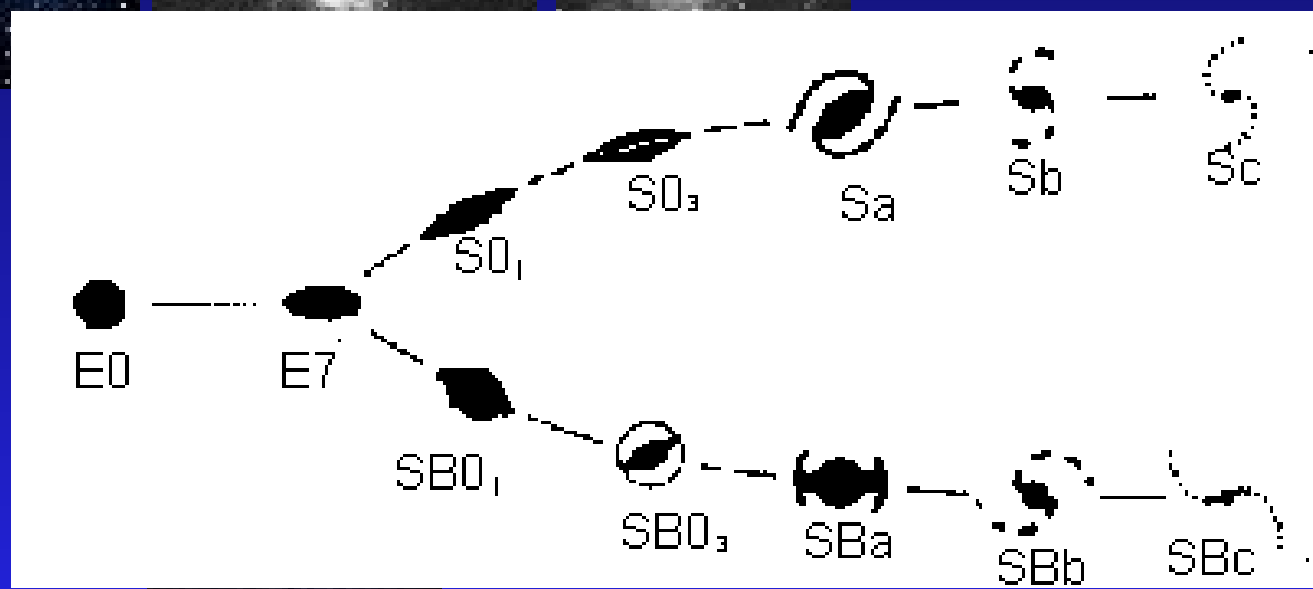
Ordnung im Galaxienzoo

Klassifikation:

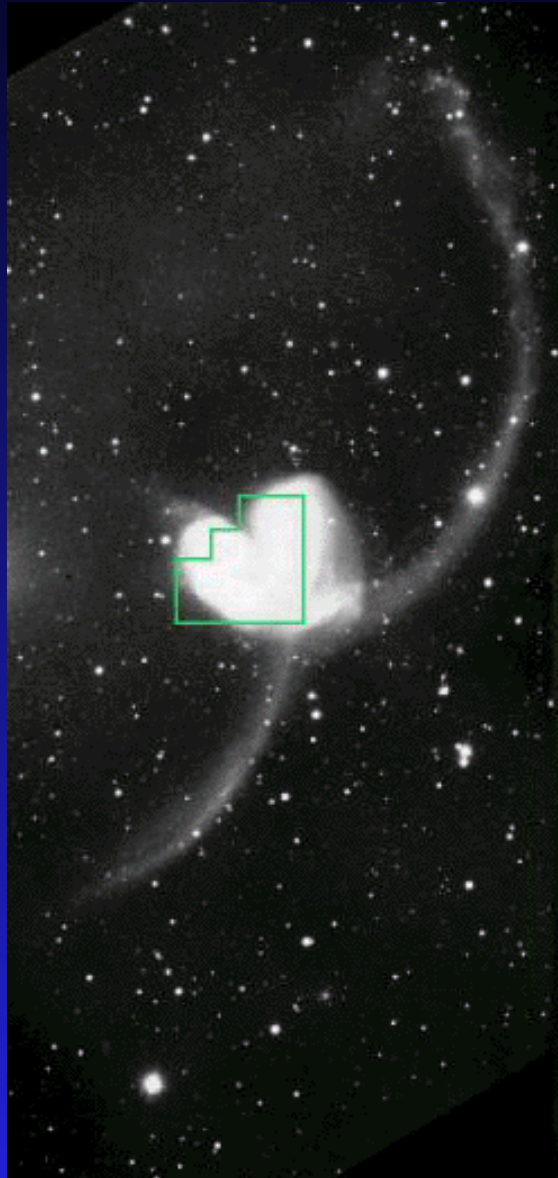
- Elliptische Galaxien: E
- Spiralgalaxien: S
- Balkenspiralen: SB

Sequenz nach Drehimpuls
bzw. Verhältnis Bulge / Scheibe

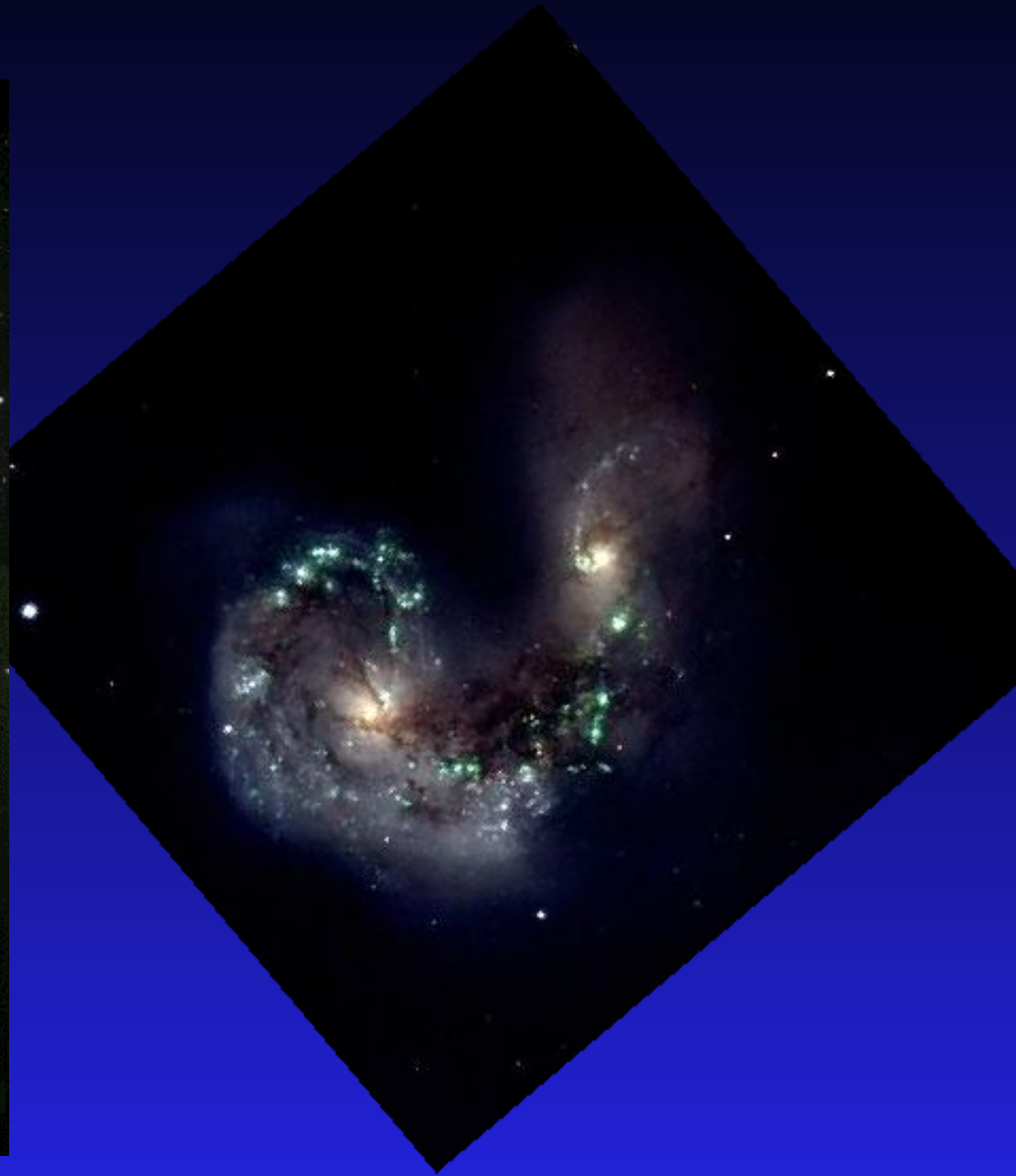
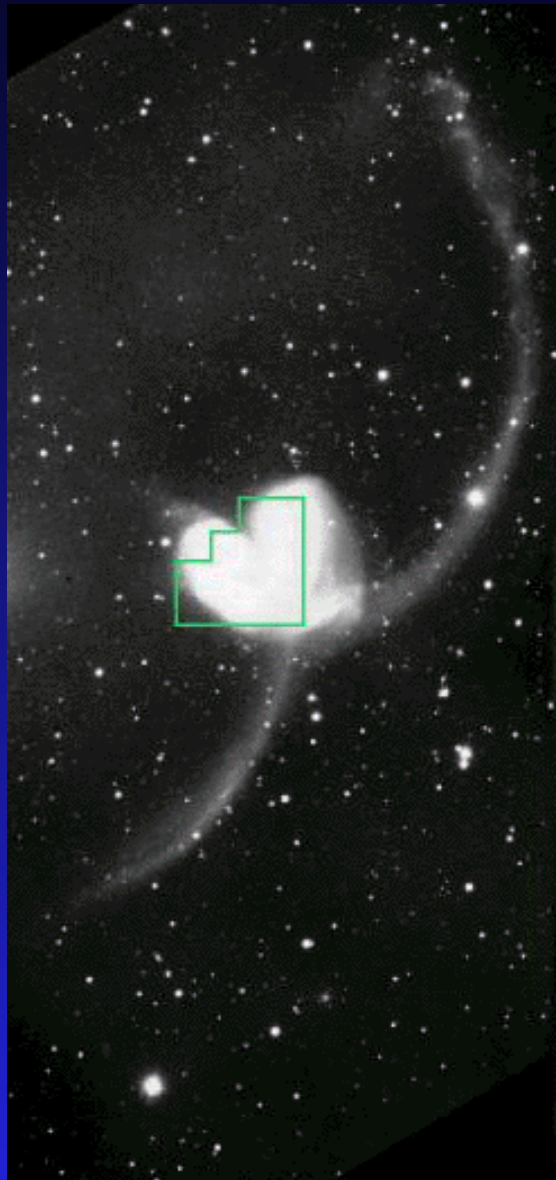
Keine Entwicklungssequenz!



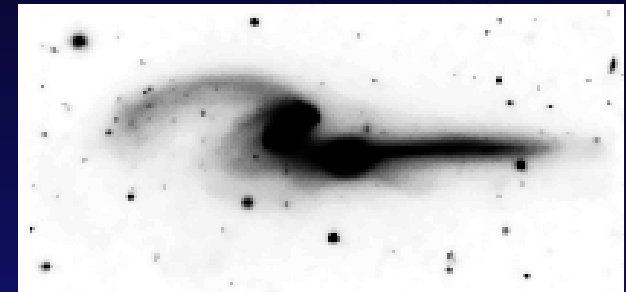
Galaxien in Kollision



Galaxien in Kollision



Galaxien in Kollision



IR/Optical Colour Composite of
Center of Merging Galaxy System ESO202-G23 (VLT UT1 + ISAAC)

ESO PR Photo 46e/98 (26 November 1998) ©European Southern Observatory



Galaxiengruppen und Haufen



'Aktive' Kerne: 1. Leuchtendes Gas



Circinus Galaxy

Hubble Space Telescope • WFPC2

NASA and A. Wilson (University of Maryland) • STScI-PRC00-37

'Aktive' Kerne:

2. Radiostrahlung von Galaxien



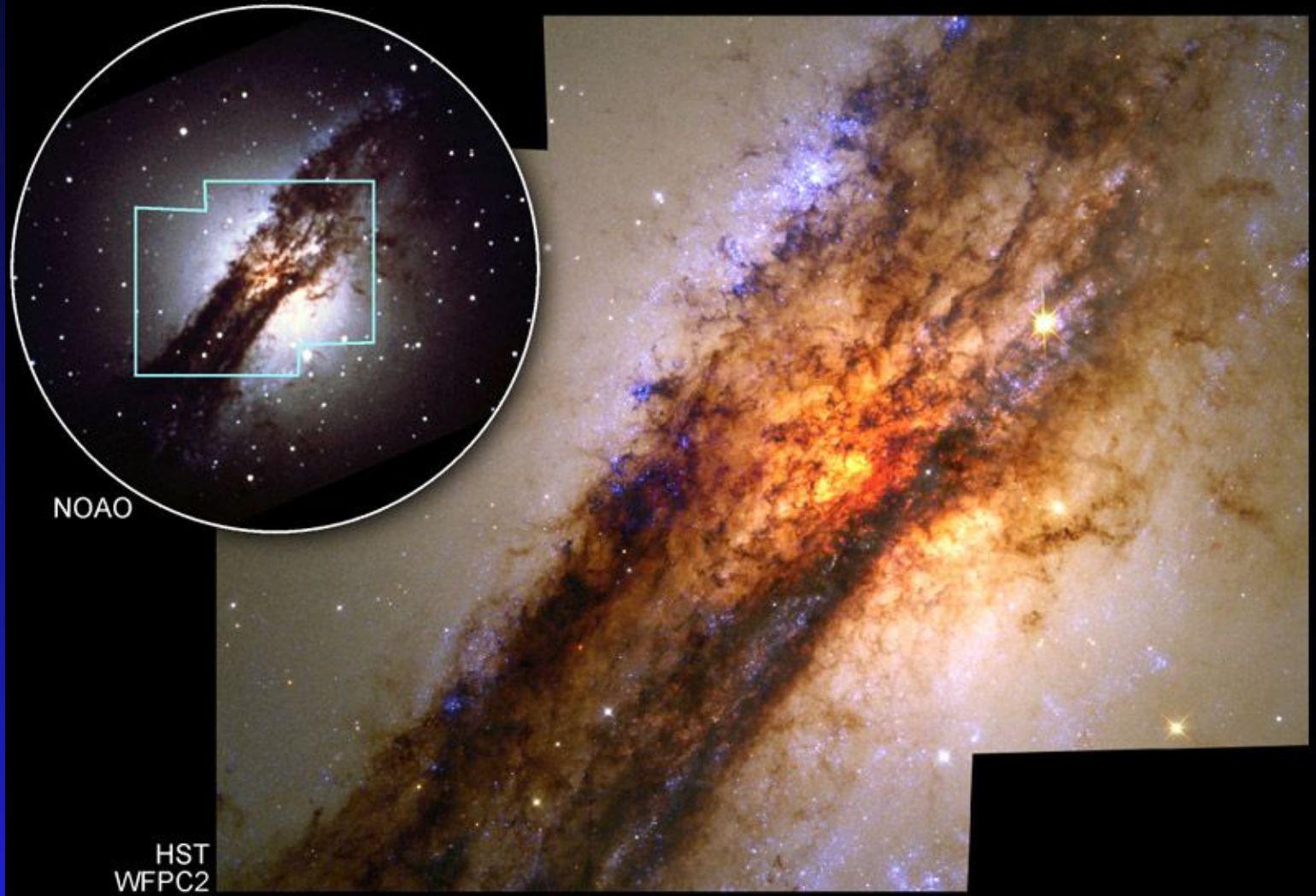
'Aktive' Kerne: 2. Radiostrahlung von Galaxien



'Aktive' Kerne:

2. Radiostrahlung von Galaxien

Active Galaxy Centaurus A

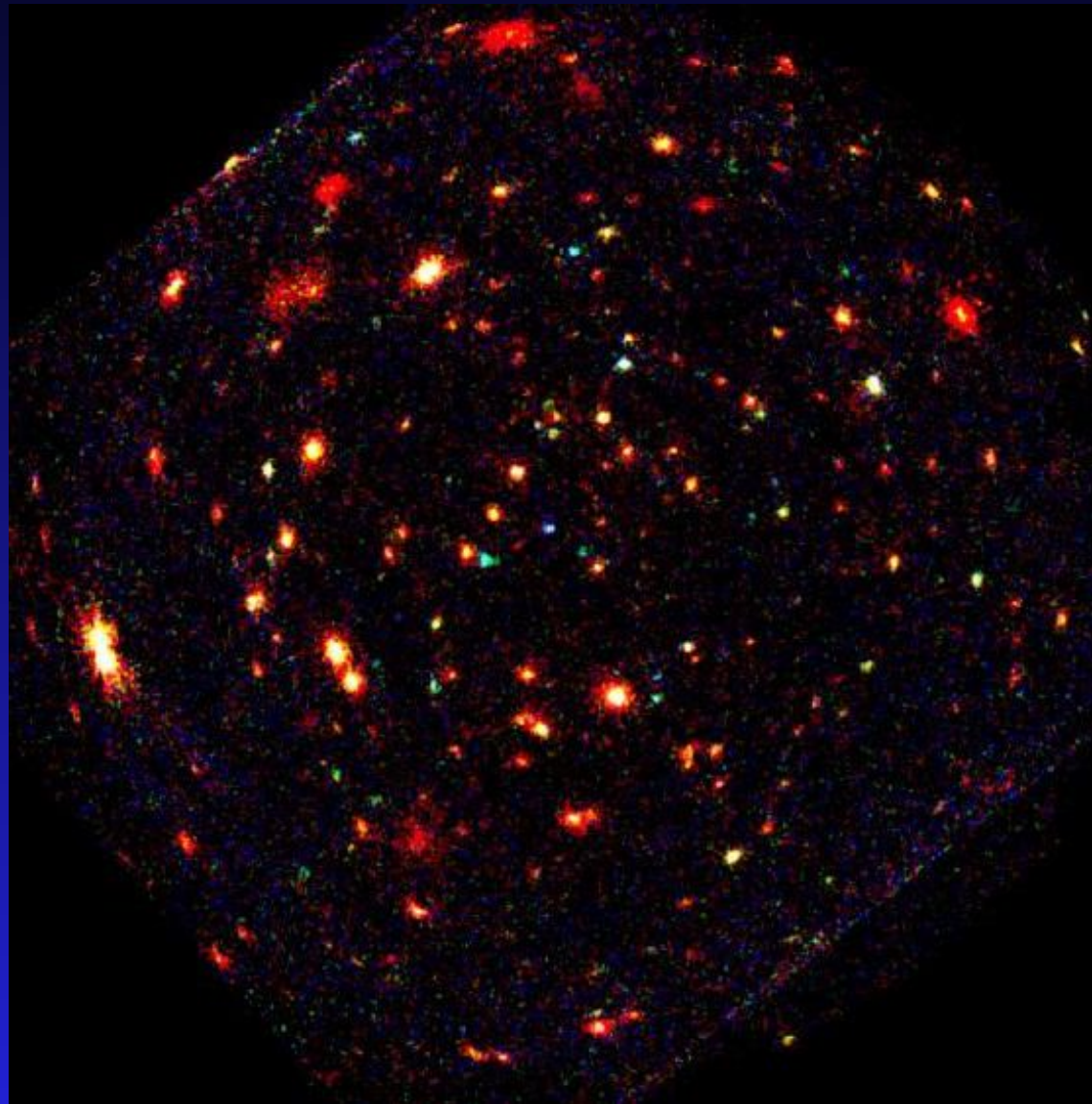


NOAO

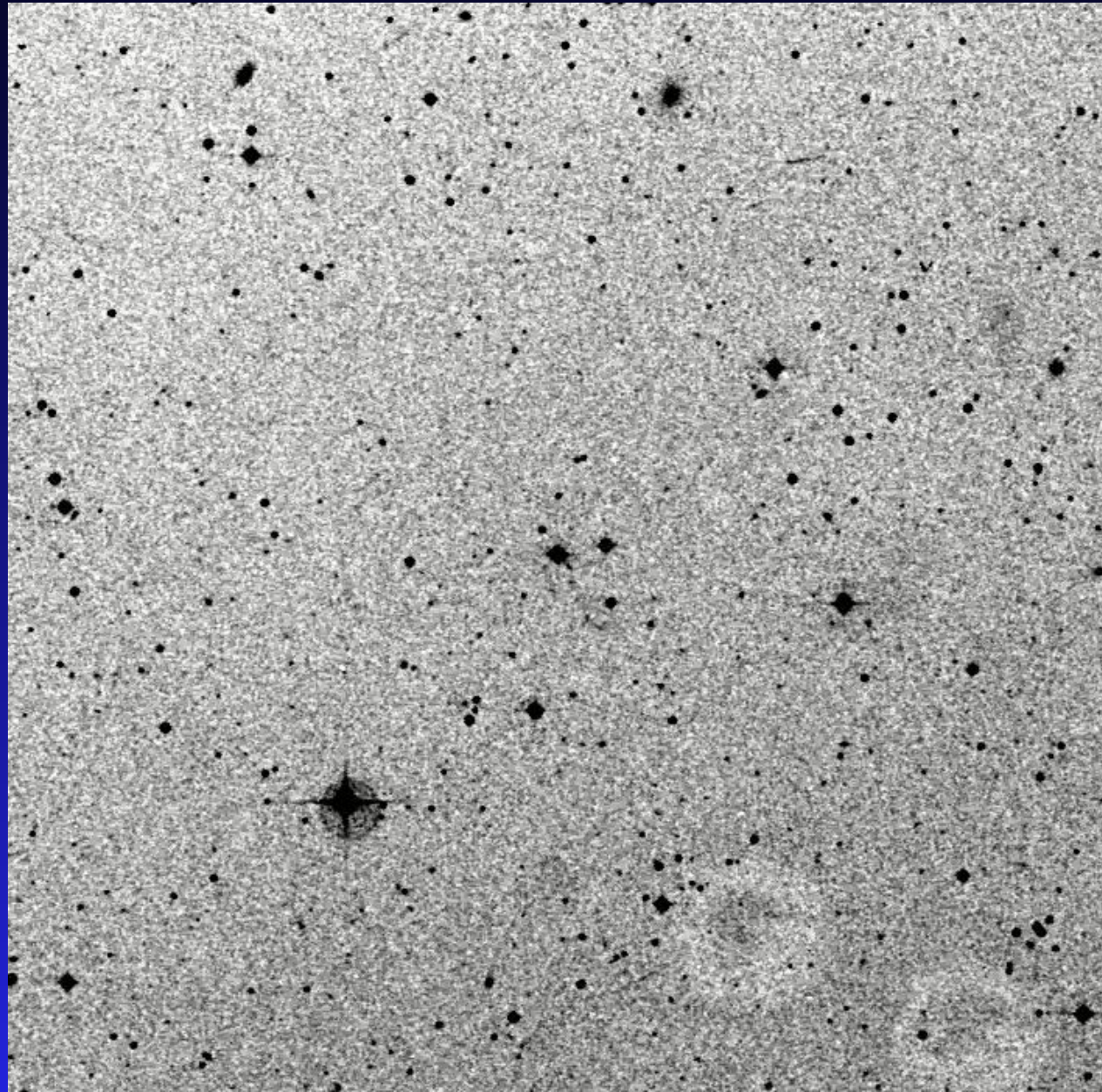
HST
WFPC2

'Aktive' Kerne:

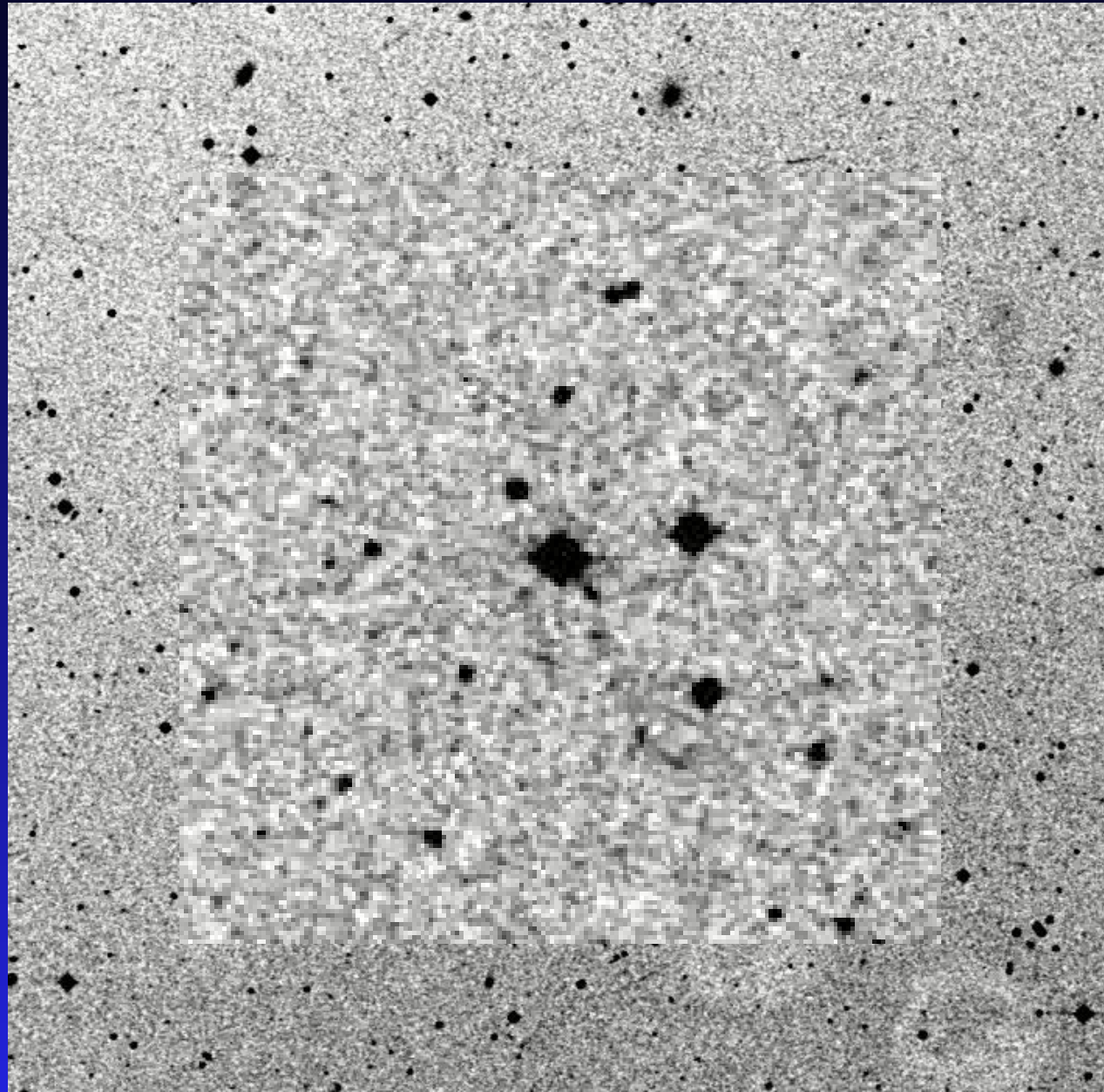
3. Röntgenstrahlung von Galaxien



'Aktive' Kerne: 4. Die Entdeckung der Quasare

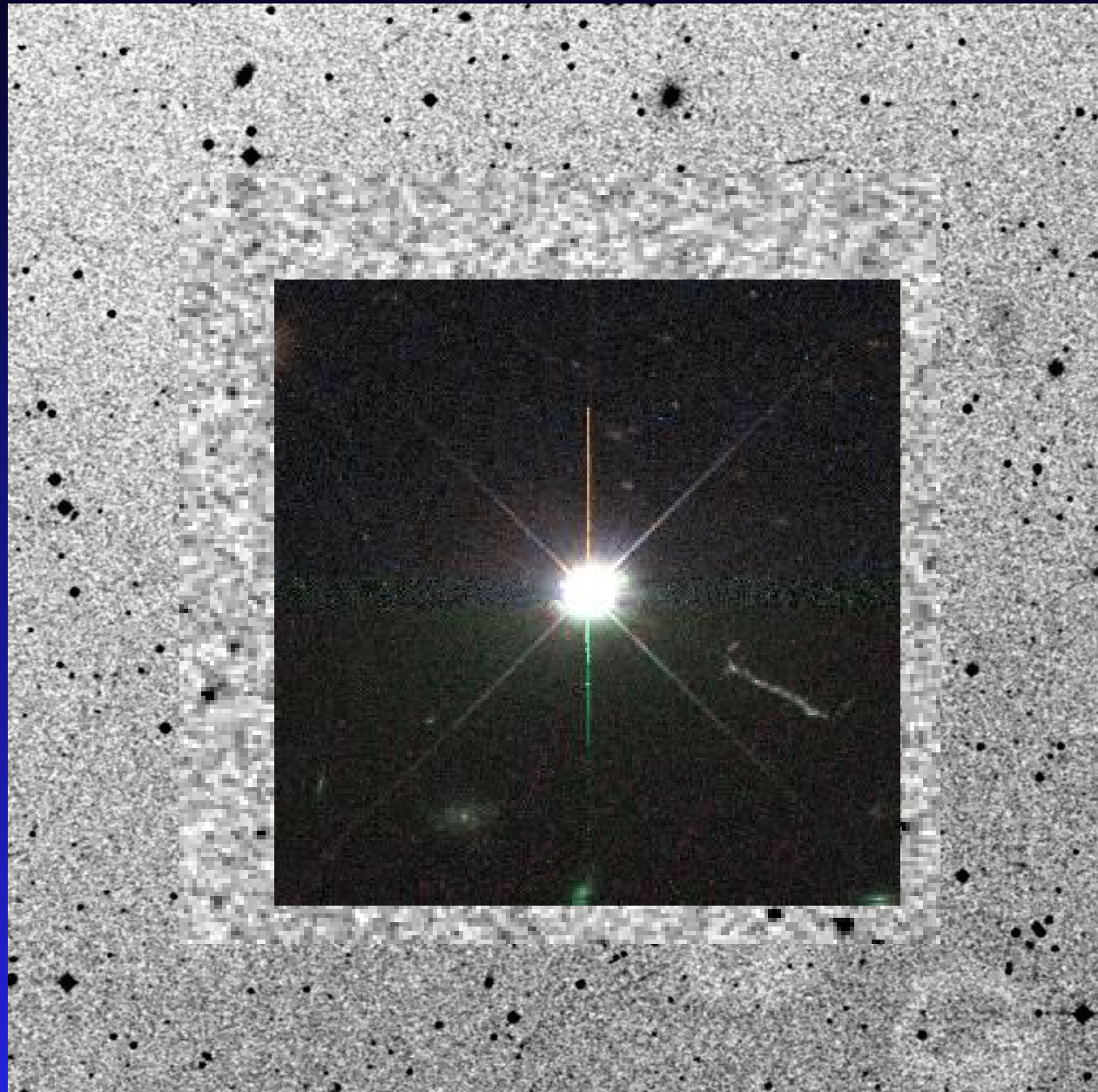


'Aktive' Kerne: 4. Die Entdeckung der Quasare



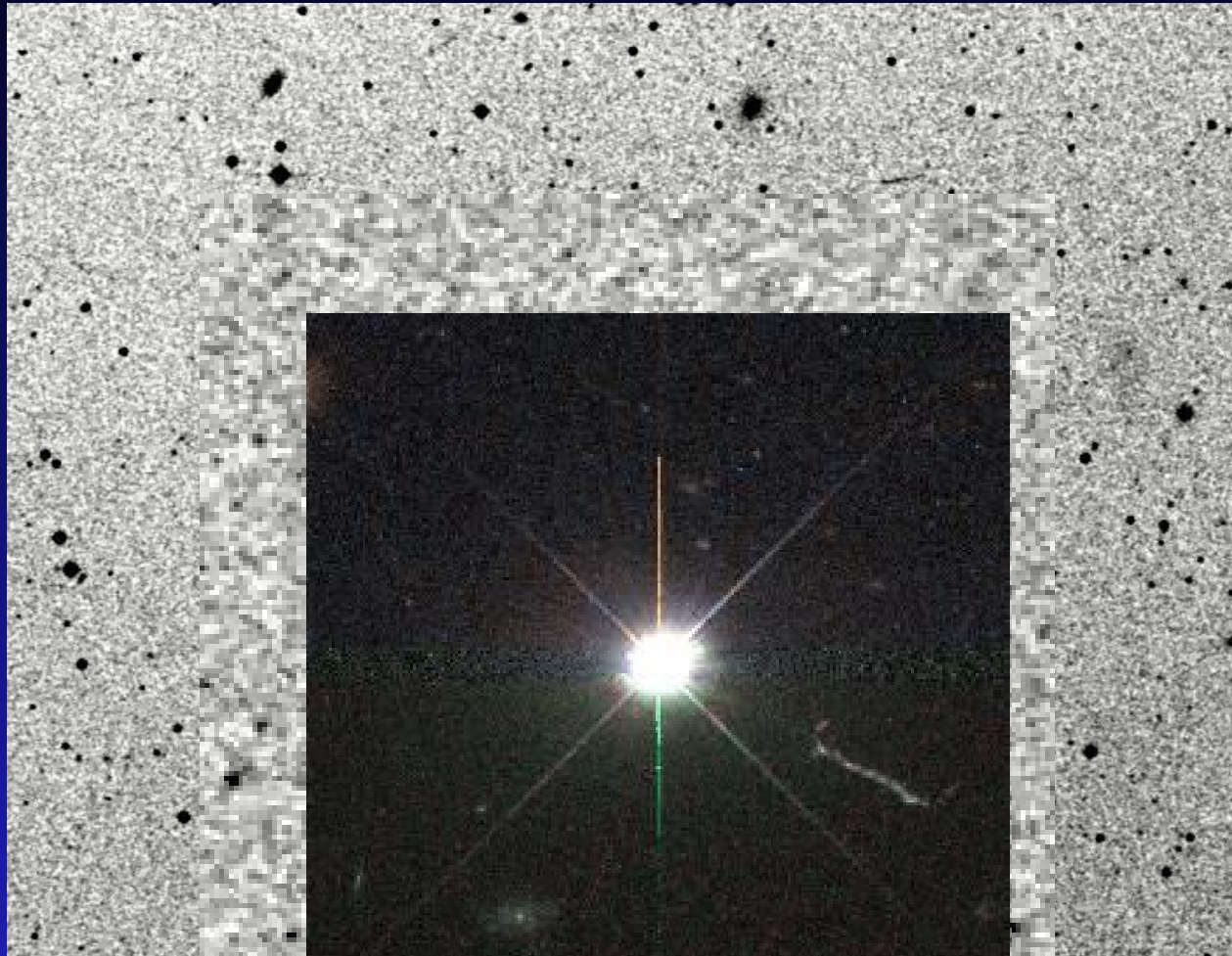
'Aktive' Kerne:

4. Die Entdeckung der Quasare



'Aktive' Kerne:

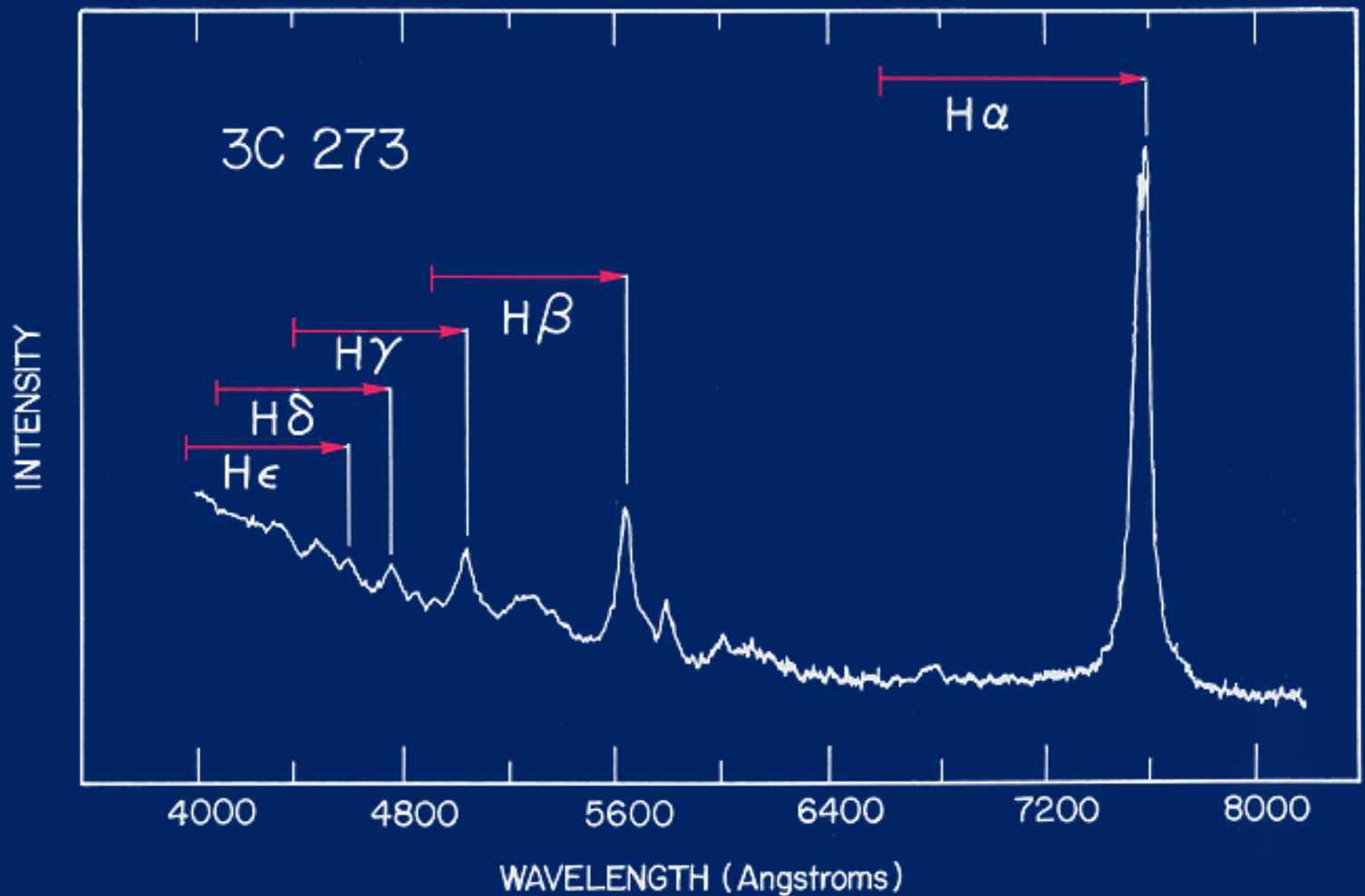
4. Die Entdeckung der Quasare



Quasar = Quasi-Stellar Radiosource

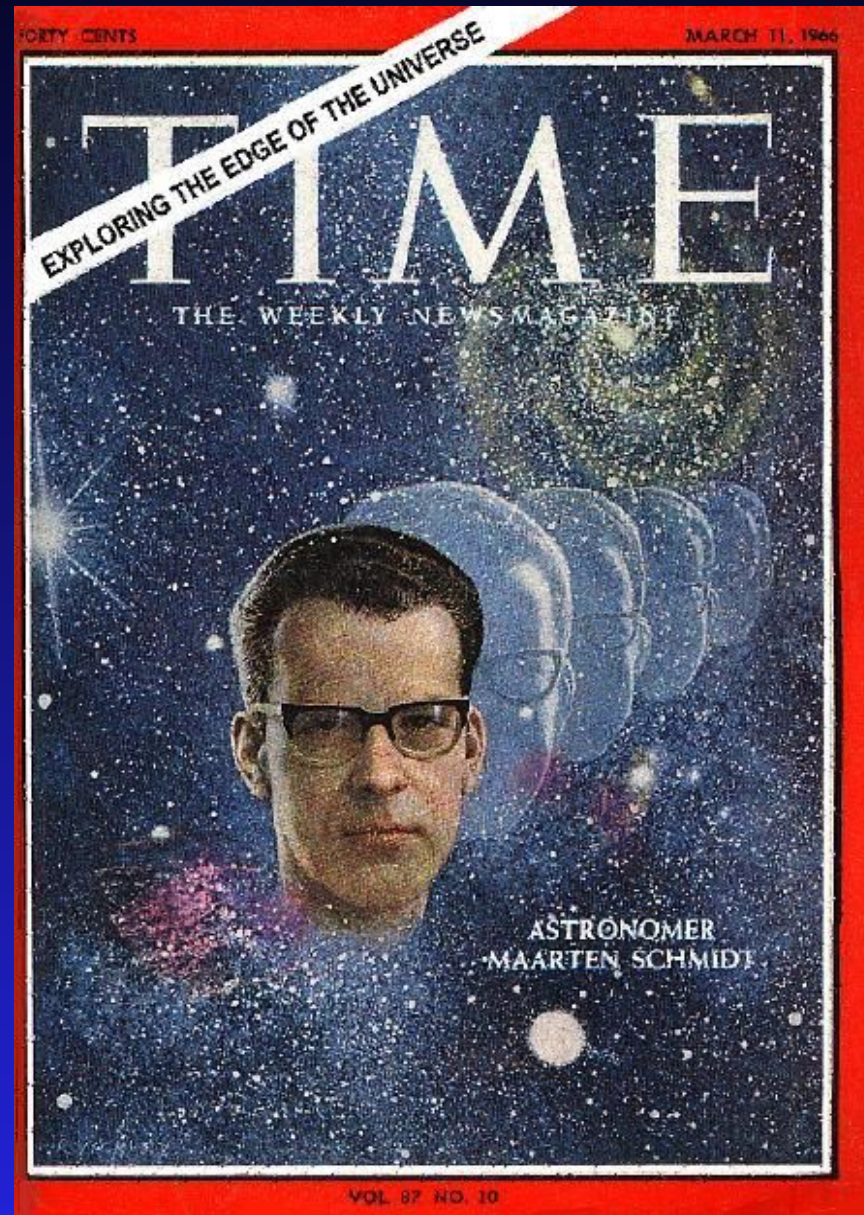
'Aktive' Kerne:

4. Die Entdeckung der Quasare



'Aktive' Kerne:

4. Die Entdeckung der Quasare



Was sind Quasare?

Quasare sind die leuchtkräftigsten
Objekte im Universum: bis zu 1000mal
heller als eine große Galaxie!

Was sind Quasare?

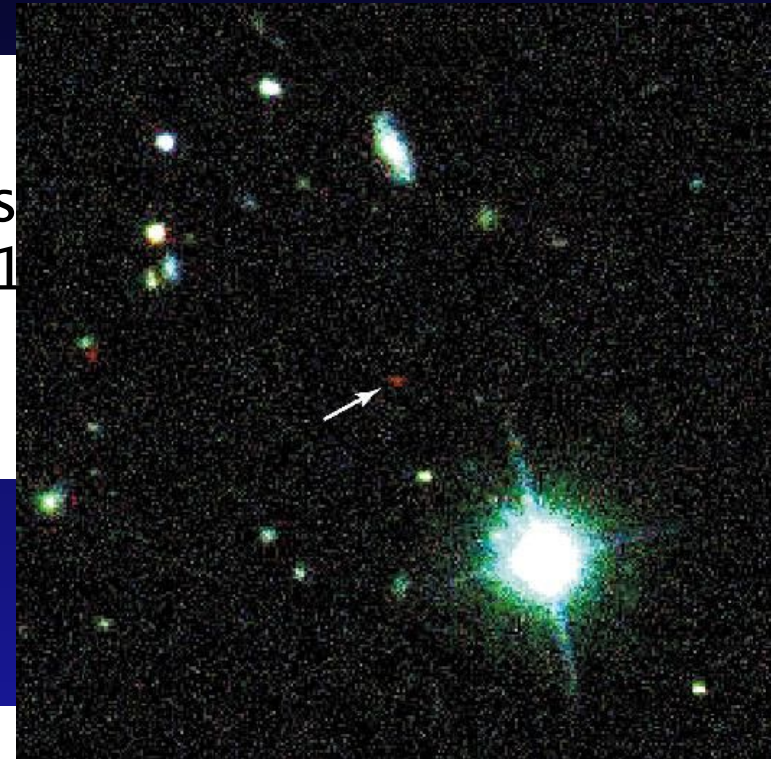
Quasare sind die leuchtkräftigsten Objekte im Universum: bis zu 1000mal heller als eine große Galaxie!

Sichtbar bis in extrem große Distanzen: Die weitesten bekannten Quasare sind 12–13 Mrd Lichtjahre von uns entfernt.

Was sind Quasare?

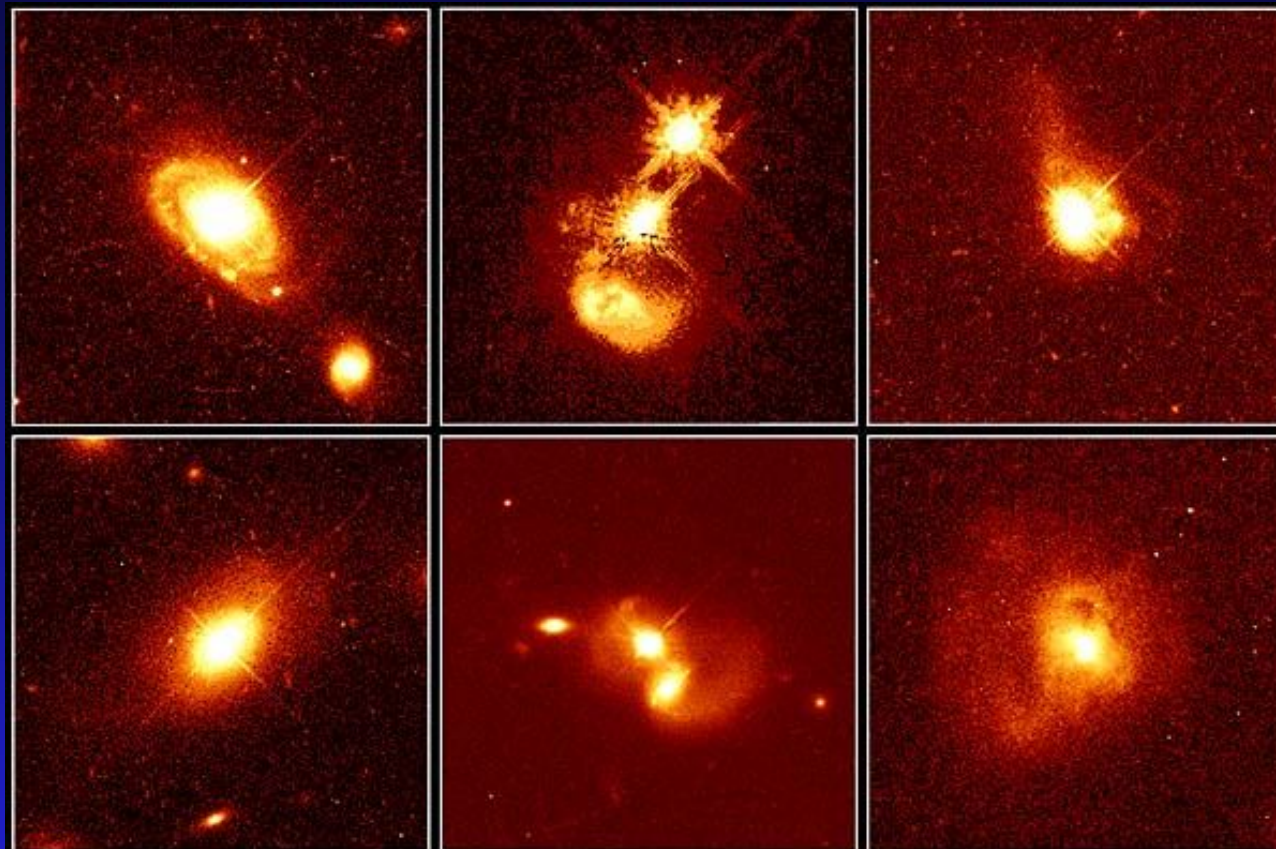
Quasare sind die leuchtkräftigsten Objekte im Universum: bis zu 10¹⁰ mal heller als eine große Galaxie!

Sichtbar bis in extrem große Distanzen: Die weitesten bekannten Quasare sind 12–13 Mrd Lichtjahre von uns entfernt.



Was sind Quasare?

Quasare befinden sich in den Zentren von Galaxien!



Quasar Host Galaxies

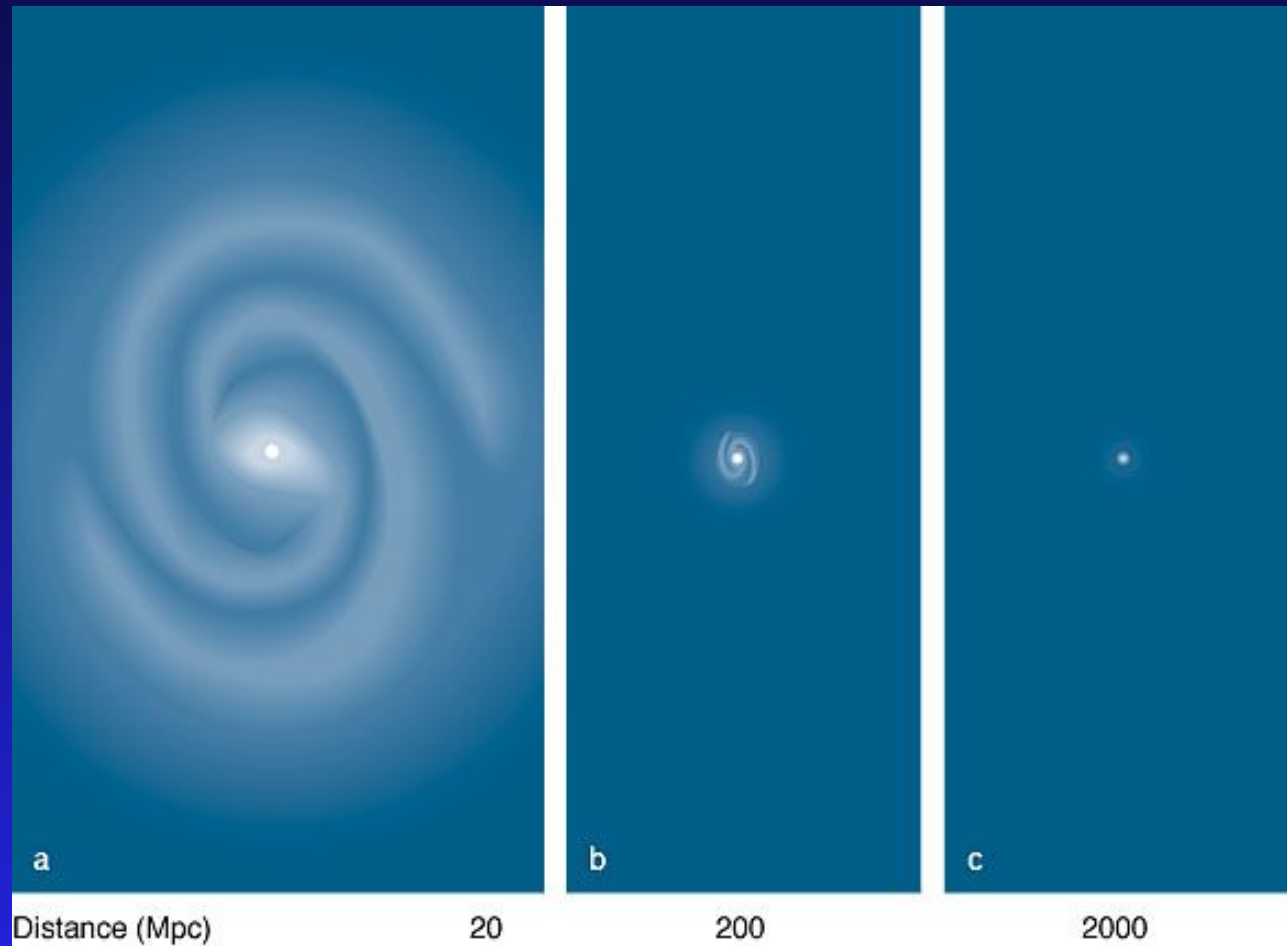
HST • WFPC2

PRC96-35a • ST ScI OPO • November 19, 1996

J. Bahcall (Institute for Advanced Study), M. Disney (University of Wales) and NASA

Was sind Quasare?

Quasare sind eine extreme Ausprägung des Phänomens der 'Aktiven Galaxienkerne'

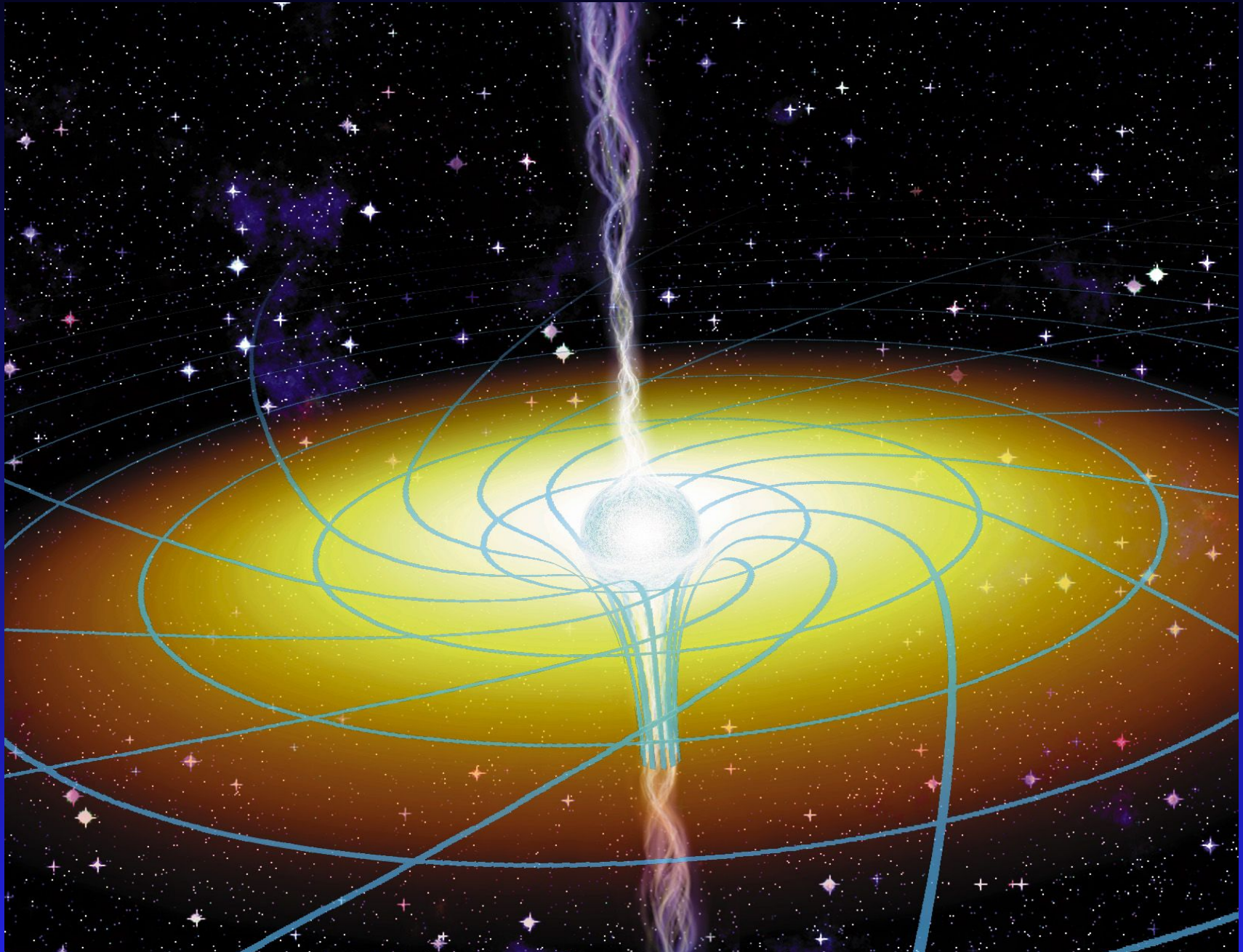


Woher kommt die Energie?

Das Problem:

- Leuchtkraft = Milliardenfaches der Sonne
- Durchmesser = Lichtstunden
- Unmöglich: Kompakter Sternhaufen
- Theorie: Materie stürzt in riesiges schwarzes Loch im Zentrum der Muttergalaxie

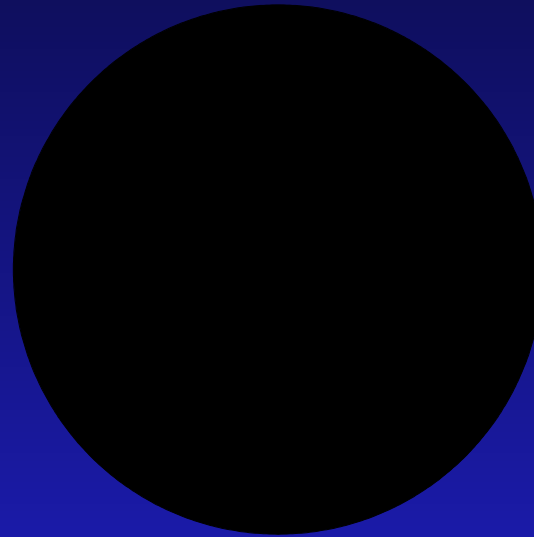
Woher kommt die Energie?



Schwarze Löcher

Was ist größtmögliche physikalisch sinnvolle
Massenkonzentration?

Antwort: Wenn Umlaufgeschwindigkeit = Lichtgeschwindigkeit.

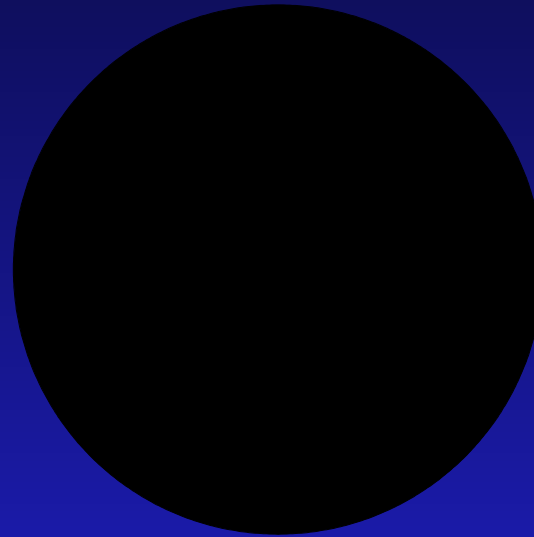


Schwarze Löcher

Was ist größtmögliche physikalisch sinnvolle
Massenkonzentration?

Antwort: Wenn Umlaufgeschwindigkeit = Lichtgeschwindigkeit.

$$v^2 = \frac{GM}{r}$$

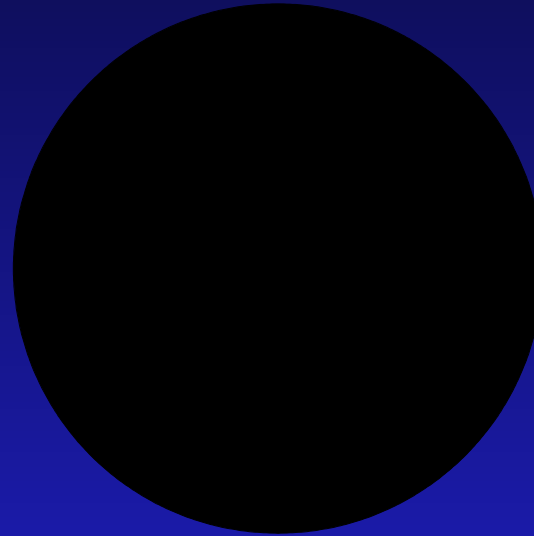


Schwarze Löcher

Was ist größtmögliche physikalisch sinnvolle
Massenkonzentration?

Antwort: Wenn Umlaufgeschwindigkeit = Lichtgeschwindigkeit.

$$v^2 = \frac{GM}{r}$$



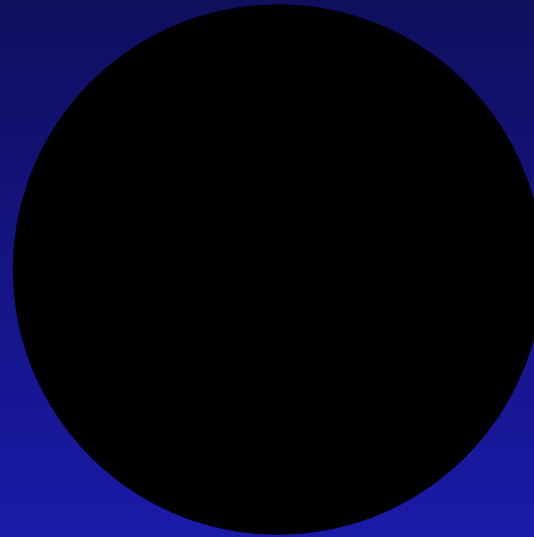
$$r_s = \frac{GM}{c^2}$$

Schwarze Löcher

Was ist größtmögliche physikalisch sinnvolle
Massenkonzentration?

Antwort: Wenn Umlaufgeschwindigkeit = Lichtgeschwindigkeit.

$$v^2 = \frac{GM}{r}$$



$$r_s = \frac{GM}{c^2}$$

Von innerhalb des Schwarzschildradius kann auch Licht
nicht mehr entkommen: Einbahnstraße für alle Materie!

Akkretion als Energiequelle

Nutzbares Reservoir: Potentielle Energie der Materie in 'Muttergalaxie'.

Akkretion als Energiequelle

Nutzbares Reservoir: Potentielle Energie der Materie in 'Muttergalaxie'.

$$E_{\text{pot}} = G \frac{m M}{r}$$

$$E_{\text{pot}} = m c^2 \frac{r_s}{r}$$

Akkretion als Energiequelle

Nutzbares Reservoir: Potentielle Energie der Materie in 'Muttergalaxie'.

$$E_{\text{pot}} = G \frac{m M}{r}$$

$$E_{\text{pot}} = m c^2 \frac{r_s}{r}$$

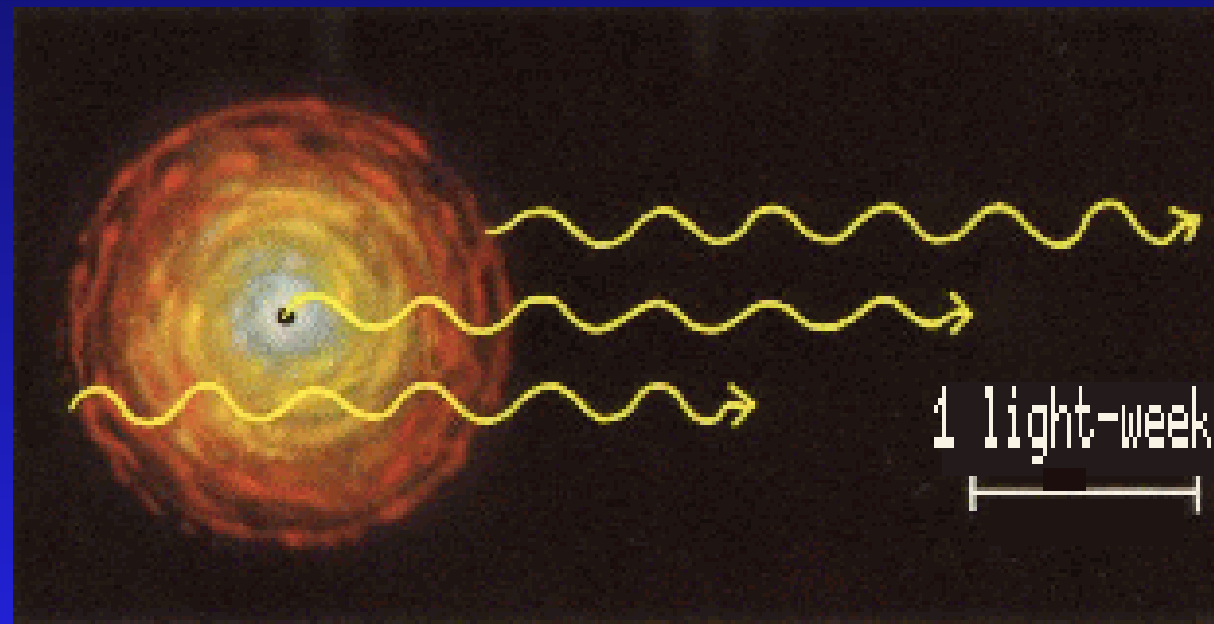
Effizienz der Energiegewinnung gemäß $E = mc^2$:
0.1 % bei Kernspaltung;
0.7 % bei Kernfusion;
bis zu 30 % bei Akkretion auf schwarzes Loch.

Kann Energieproblem in Quasaren vollständig lösen!
Benötigt: Akkretion von ca. 1 Sonnenmasse pro Jahr.

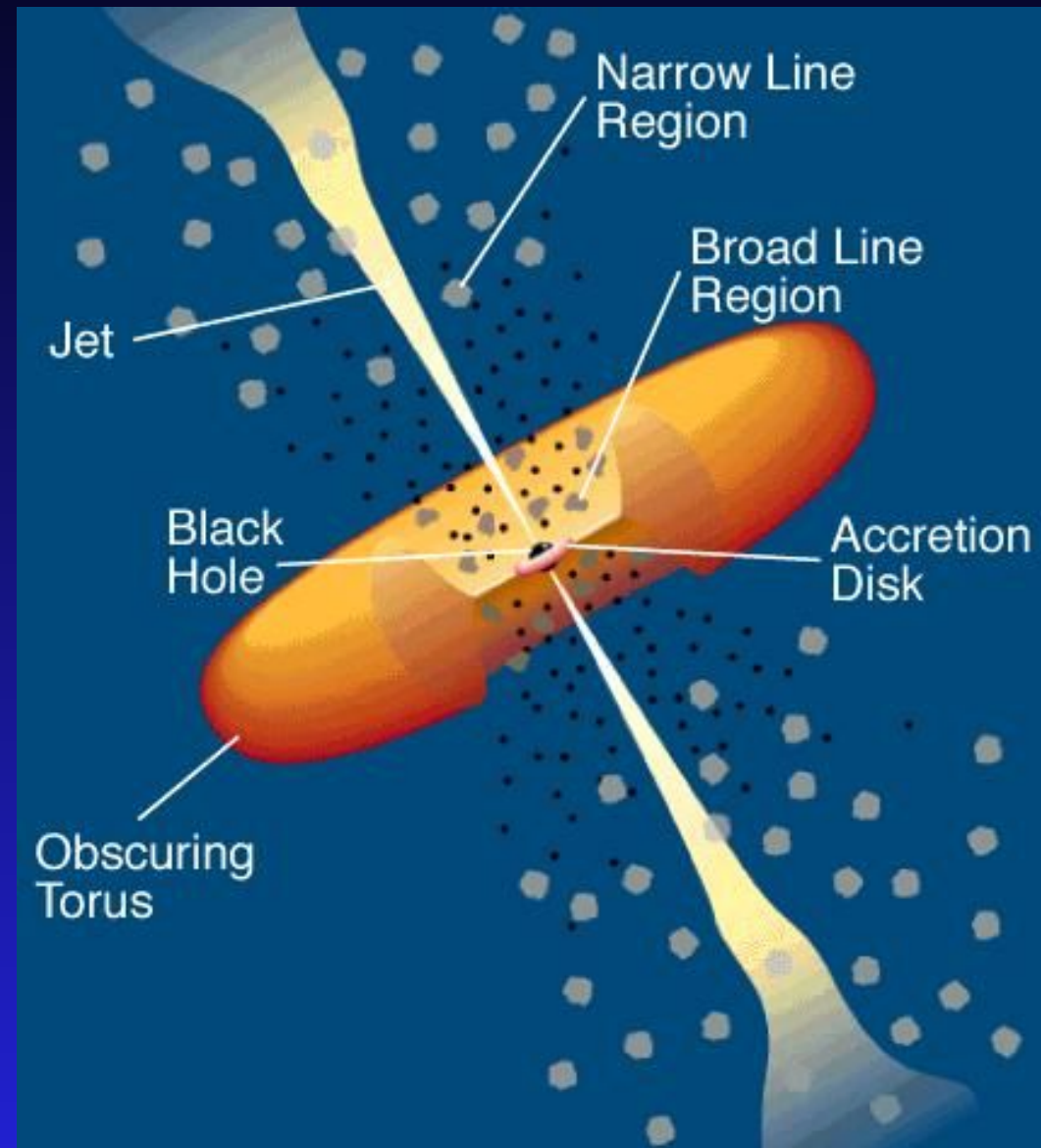
Struktur der aktiven Galaxienkerne

Schwarzschildradius für schwarzes Loch mit 100 Millionen Sonnenmassen: 10 Lichtminuten

Nicht direkt beobachtbar! Indirekte Methode über Zeitmessungen bei Helligkeitsvariationen.

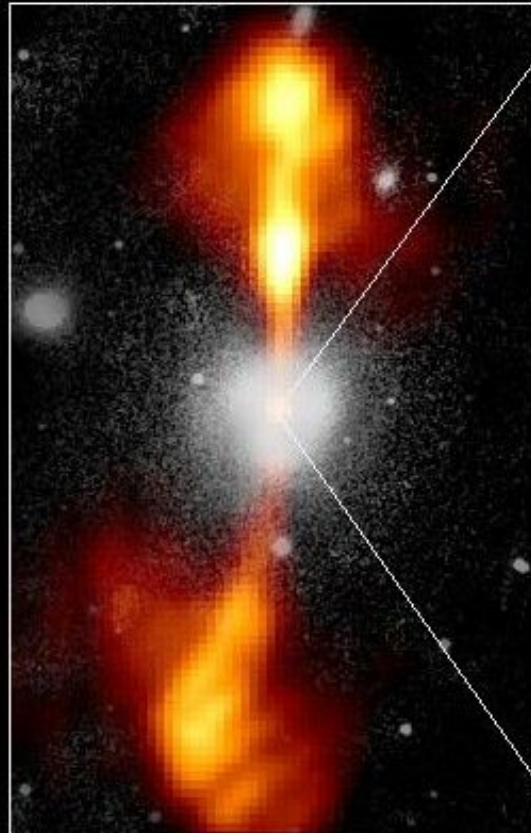


Struktur der aktiven Galaxienkerne



Struktur der aktiven Galaxienkerne

Ground-Based Optical/Radio Image



380 Arc Seconds
88,000 LIGHTYEARS

HST Image of a Gas and Dust Disk



17 Arc Seconds
400 LIGHTYEARS

Quasare: Exotische Galaxien?

Auf 100 Galaxien kommt ca. ein aktiver Kern.

→ Haben die anderen keine schwarzen Löcher in ihren Zentren?

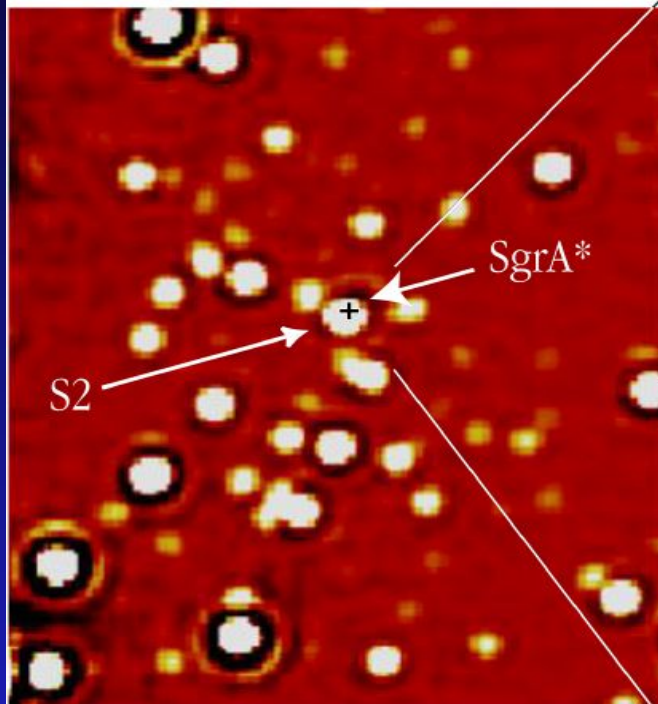
Beobachtungsprogramm: Suche nach 'dunklen' schwarzen Löchern in Galaxienzentren!

Ein schwarzes Loch im Zentrum unserer Milchstrasse!

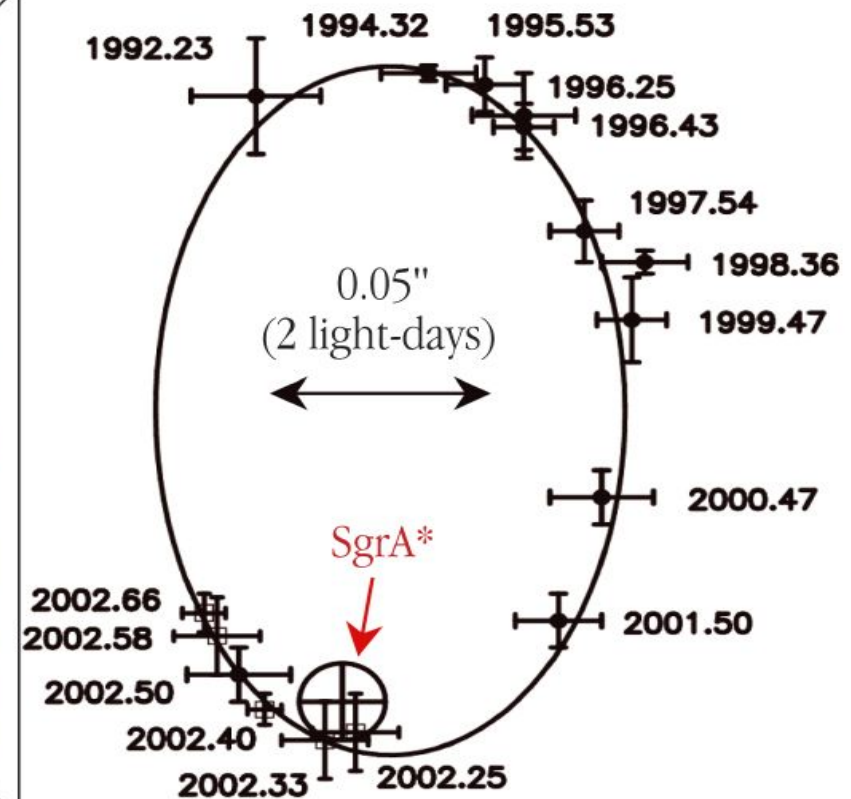


Ein schwarzes Loch im Zentrum unserer Milchstrasse!

NACO May 2002

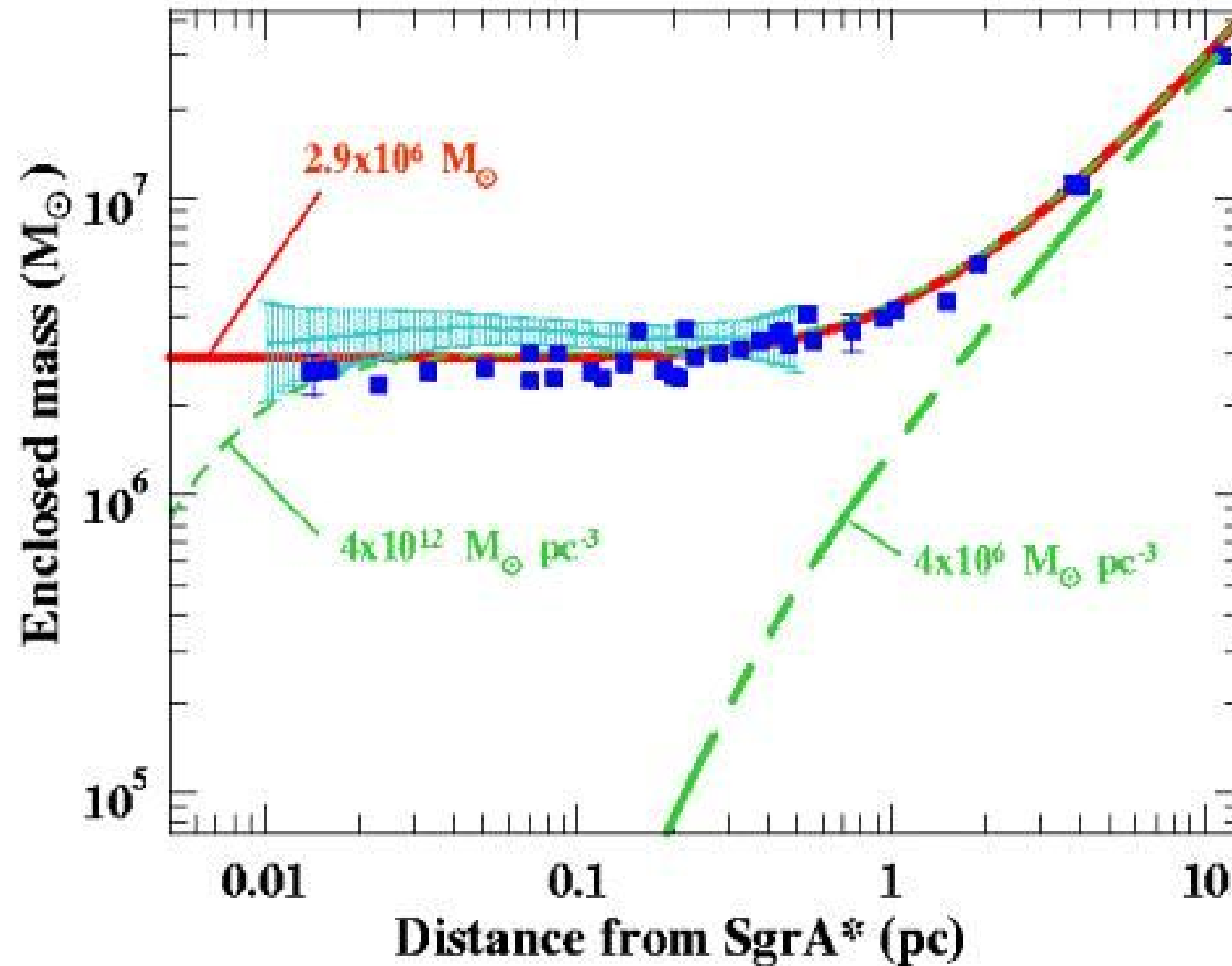


S2 Orbit around SgrA*



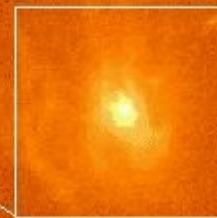
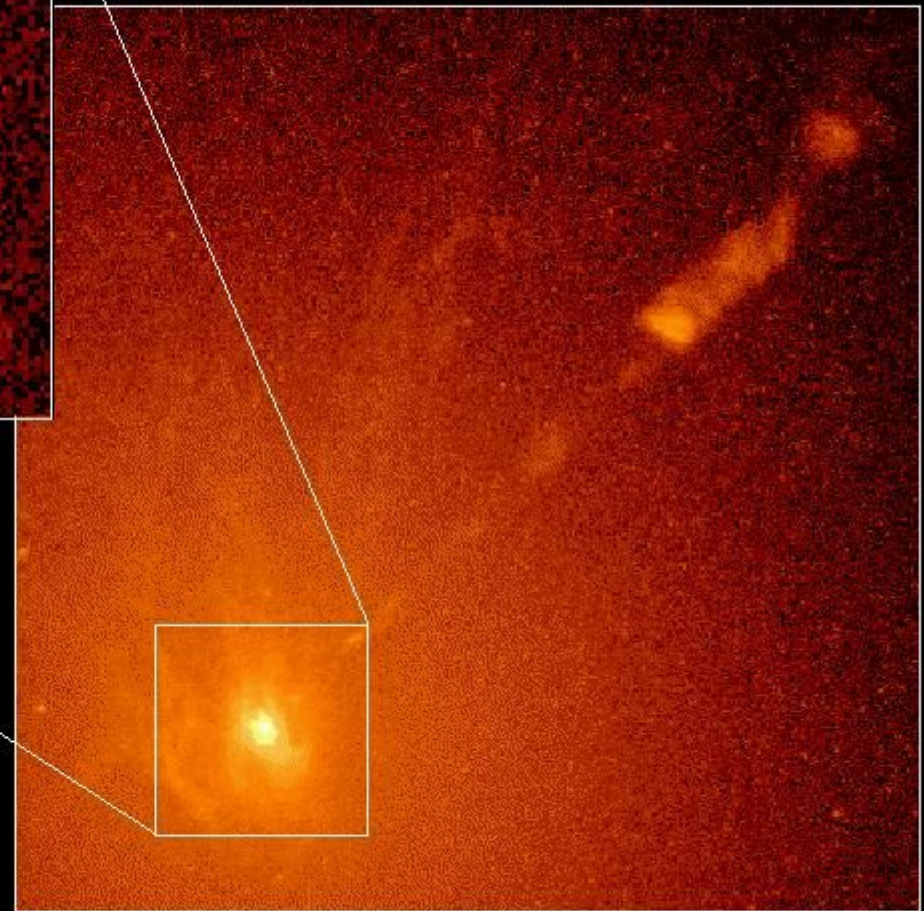
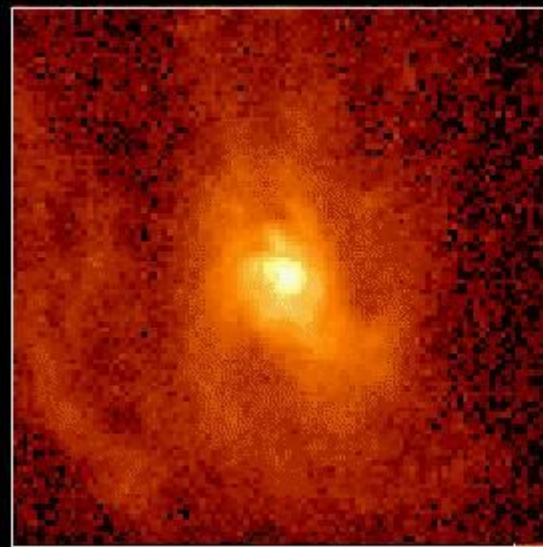
The Motion of a Star around the Central Black Hole in the Milky Way

Ein schwarzes Loch im Zentrum unserer Milchstrasse!



Mehr schwarze Löcher!

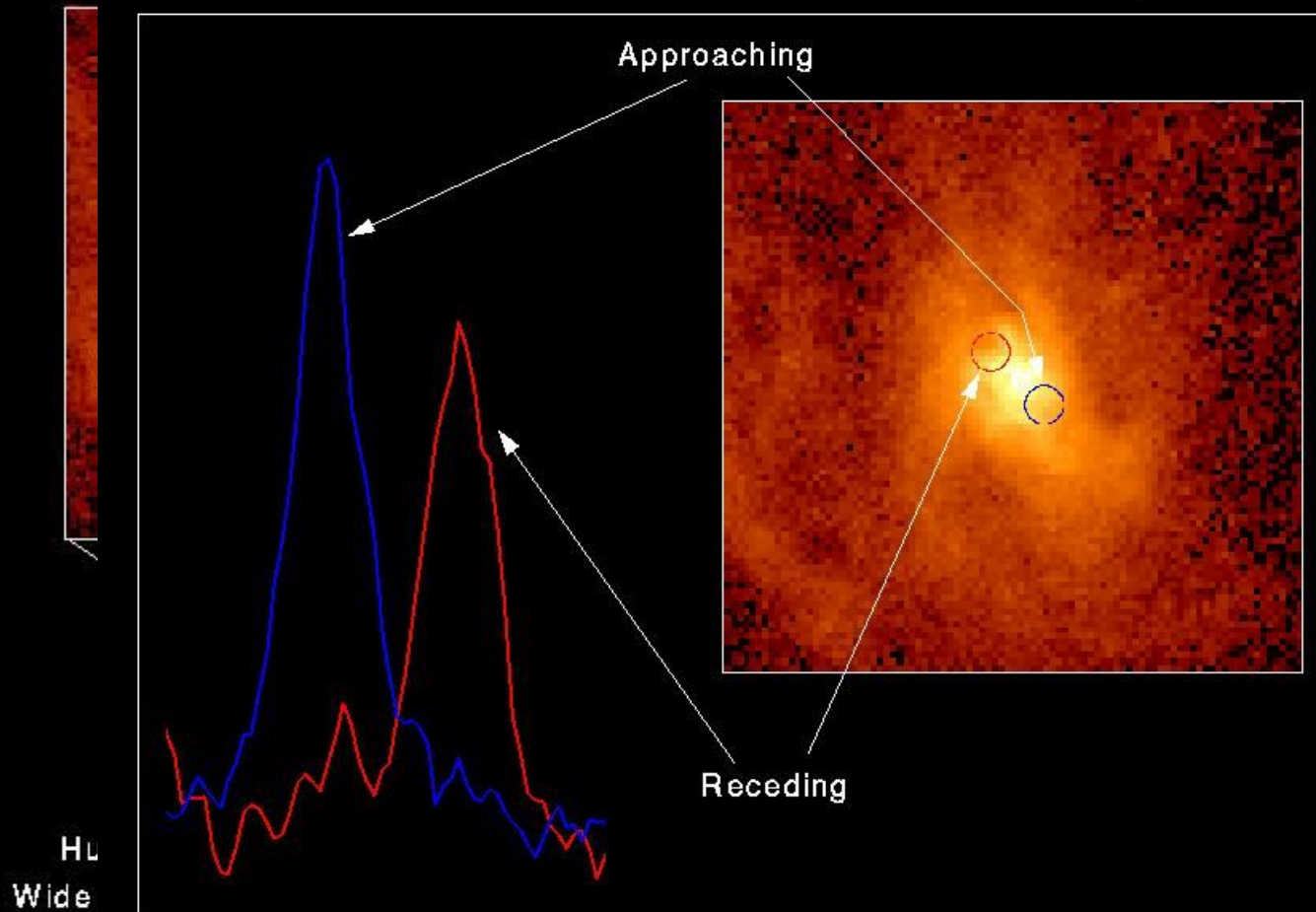
Gas Disk in Nucleus of
Active Galaxy M87



Hubble Space Telescope
Wide Field Planetary Camera 2

Mehr schwarze Löcher!

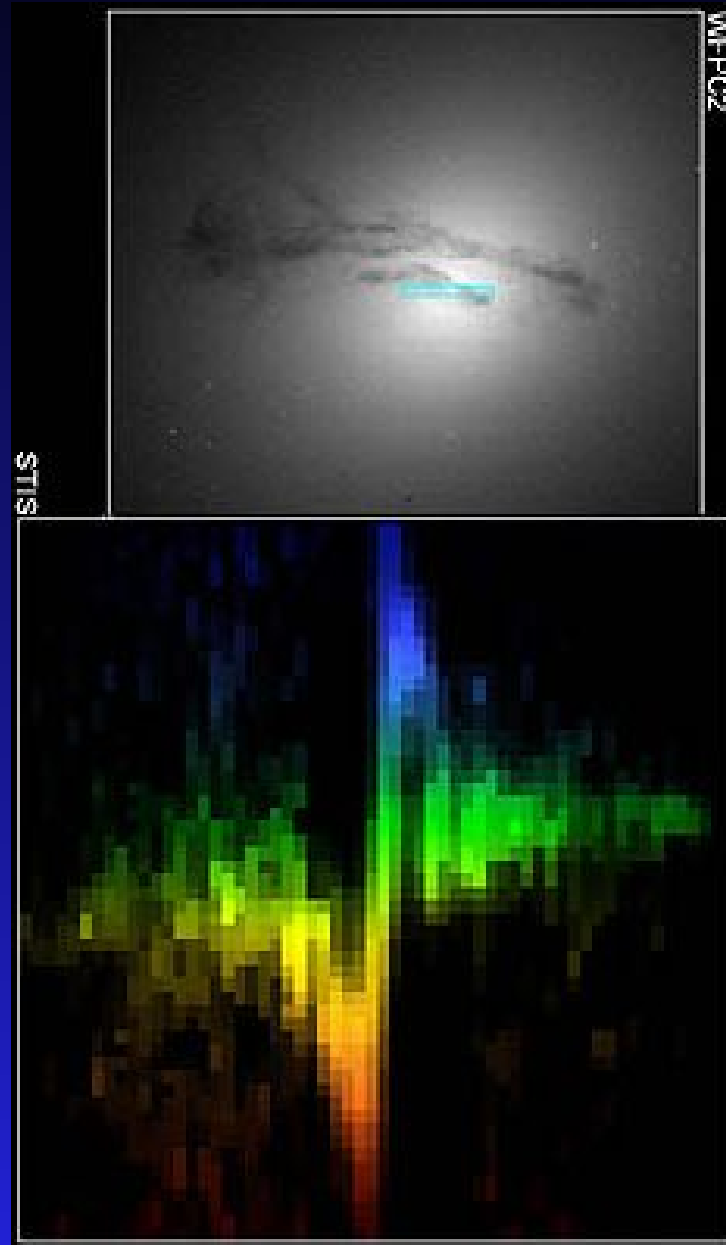
Spectrum of Gas Disk in Active Galaxy M87



Hubble Space Telescope • Faint Object Spectrograph



Mehr schwarze Löcher!



Zusammenhänge

Alle großen Galaxien haben massereiche schwarze Löcher in ihren Zentren.

Nur wenige dieser Galaxien haben 'aktive Kerne'.

Grund vermutlich: Mangel an 'Futter' für die Akkretionsscheibe.

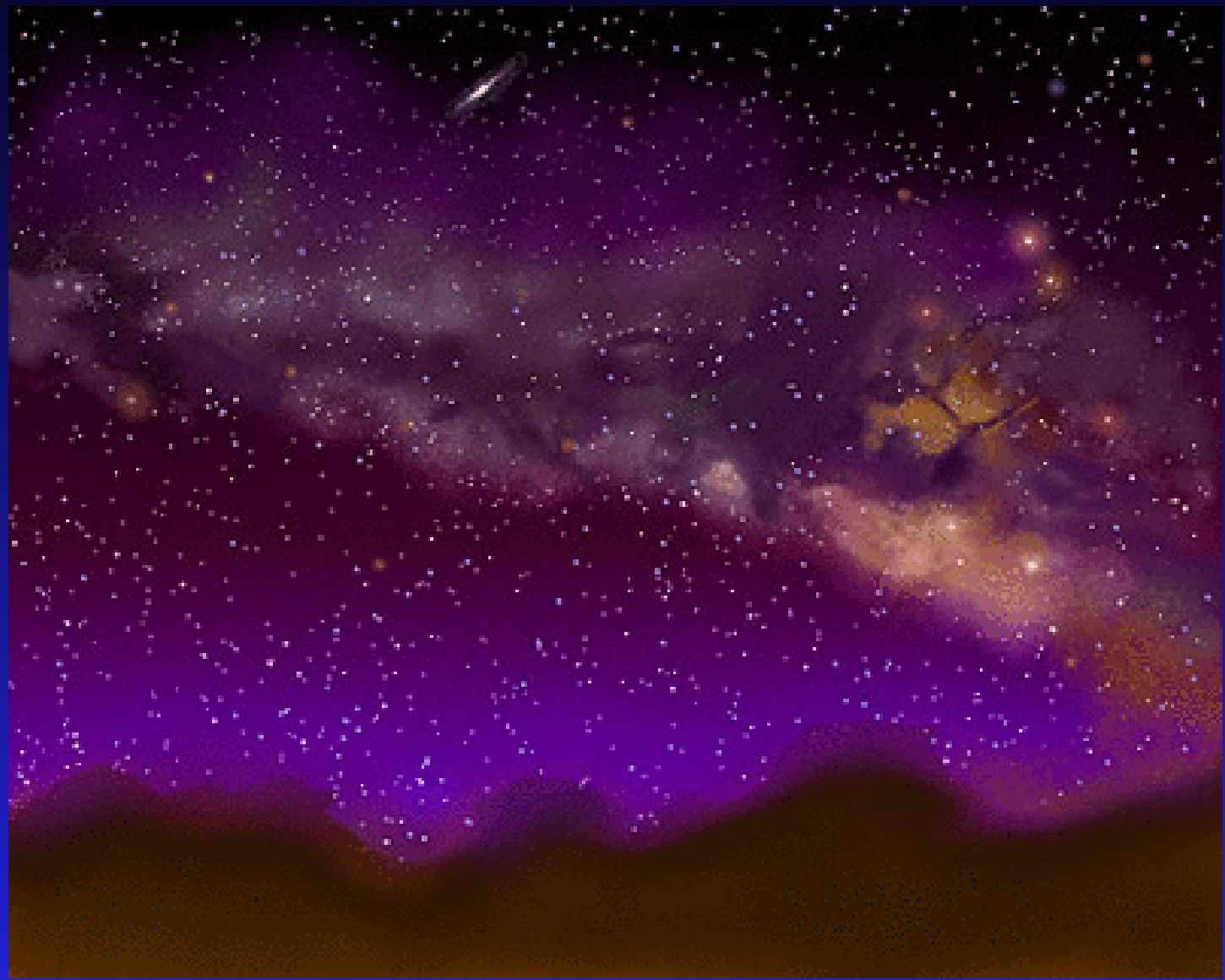
Irgendwann enthielt vielleicht jede Galaxie schon einmal einen Quasar ...

... und jede Galaxie kann ein Quasar werden.

Ein Quasar im Zentrum der Milchstrasse?

In ca. 5 Mrd Jahren wird die Andromeda-Galaxie mit unserer Milchstrasse kollidieren...

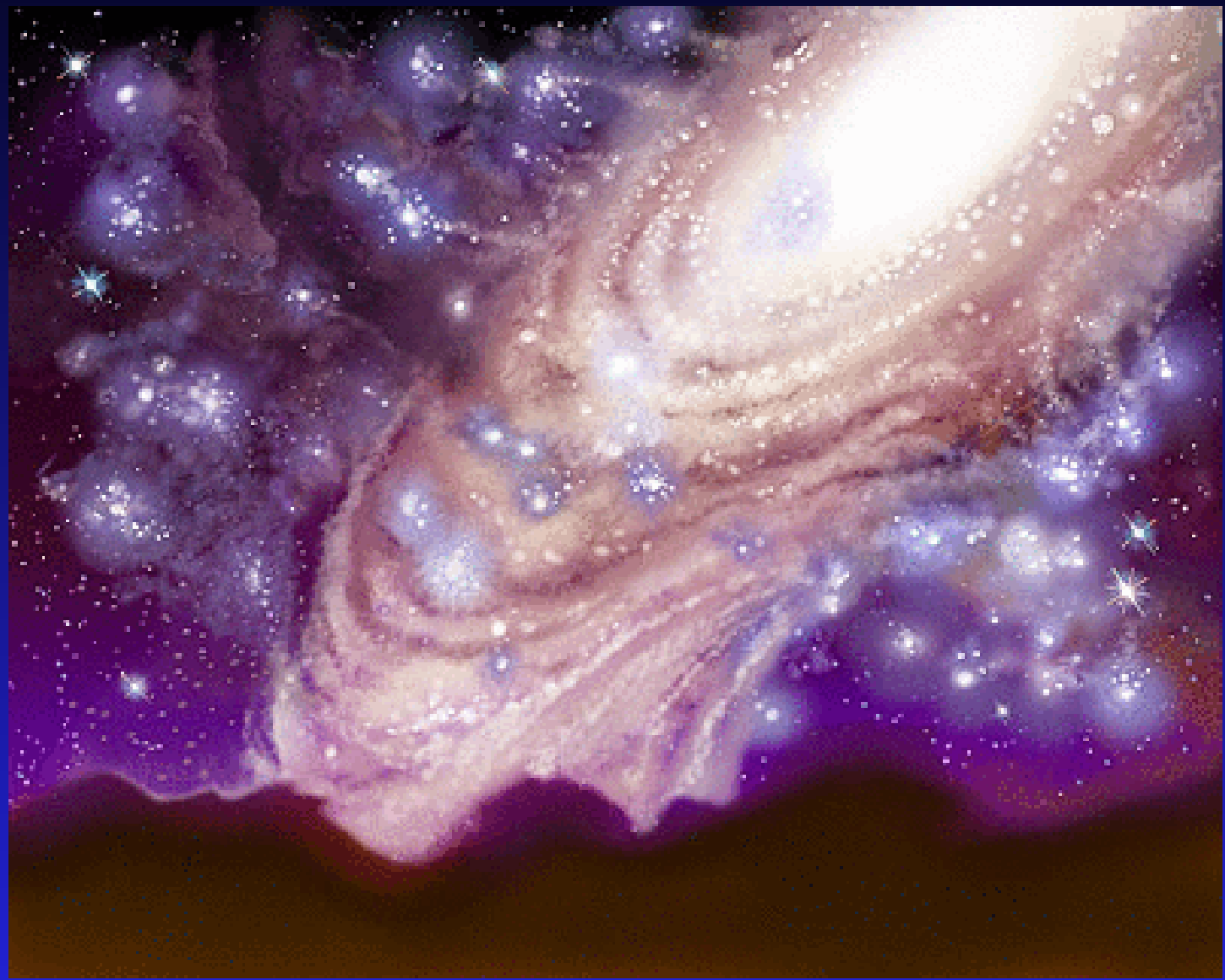
Ein Quasar im Zentrum der Milchstrasse?



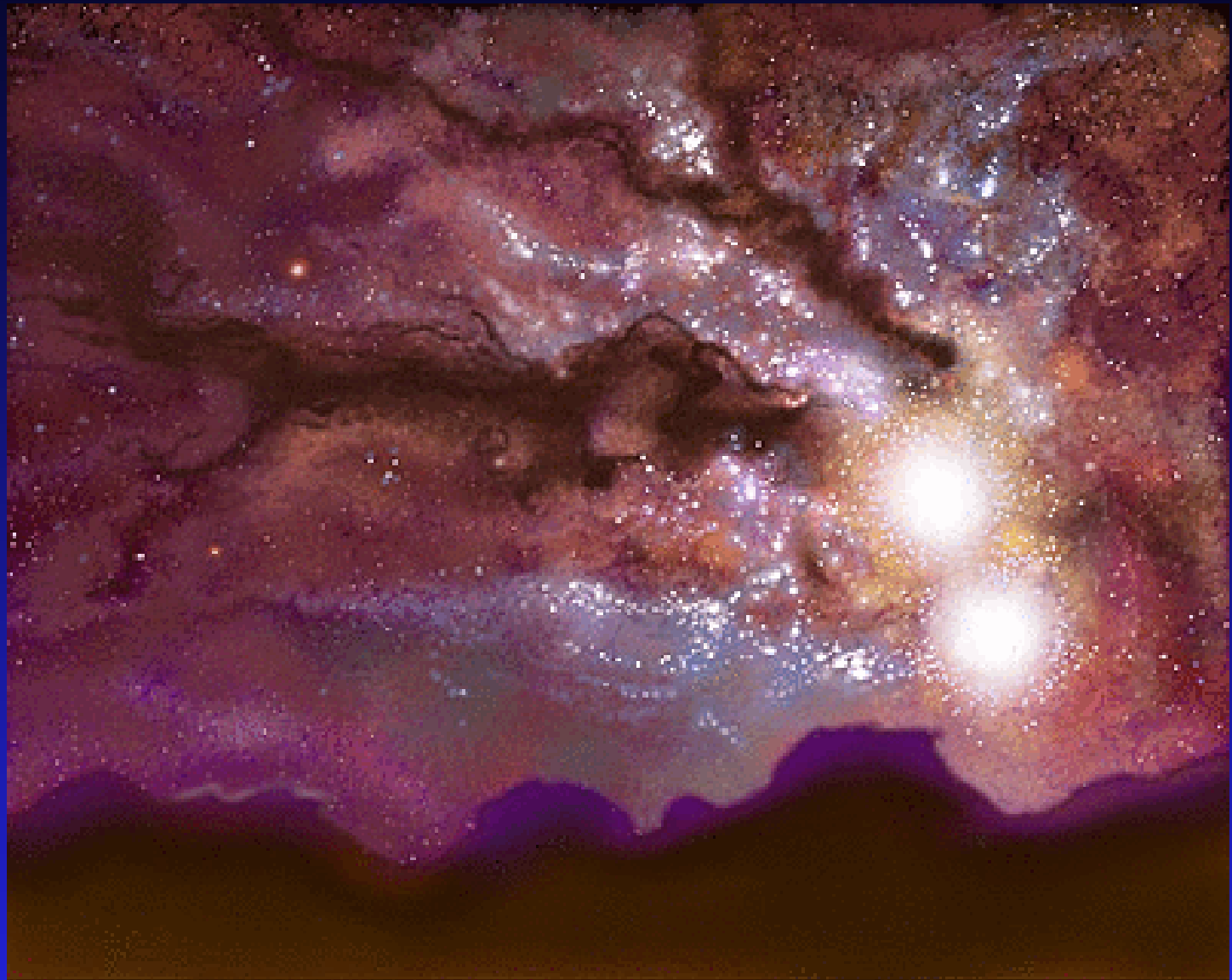
Ein Quasar im Zentrum der Milchstrasse?



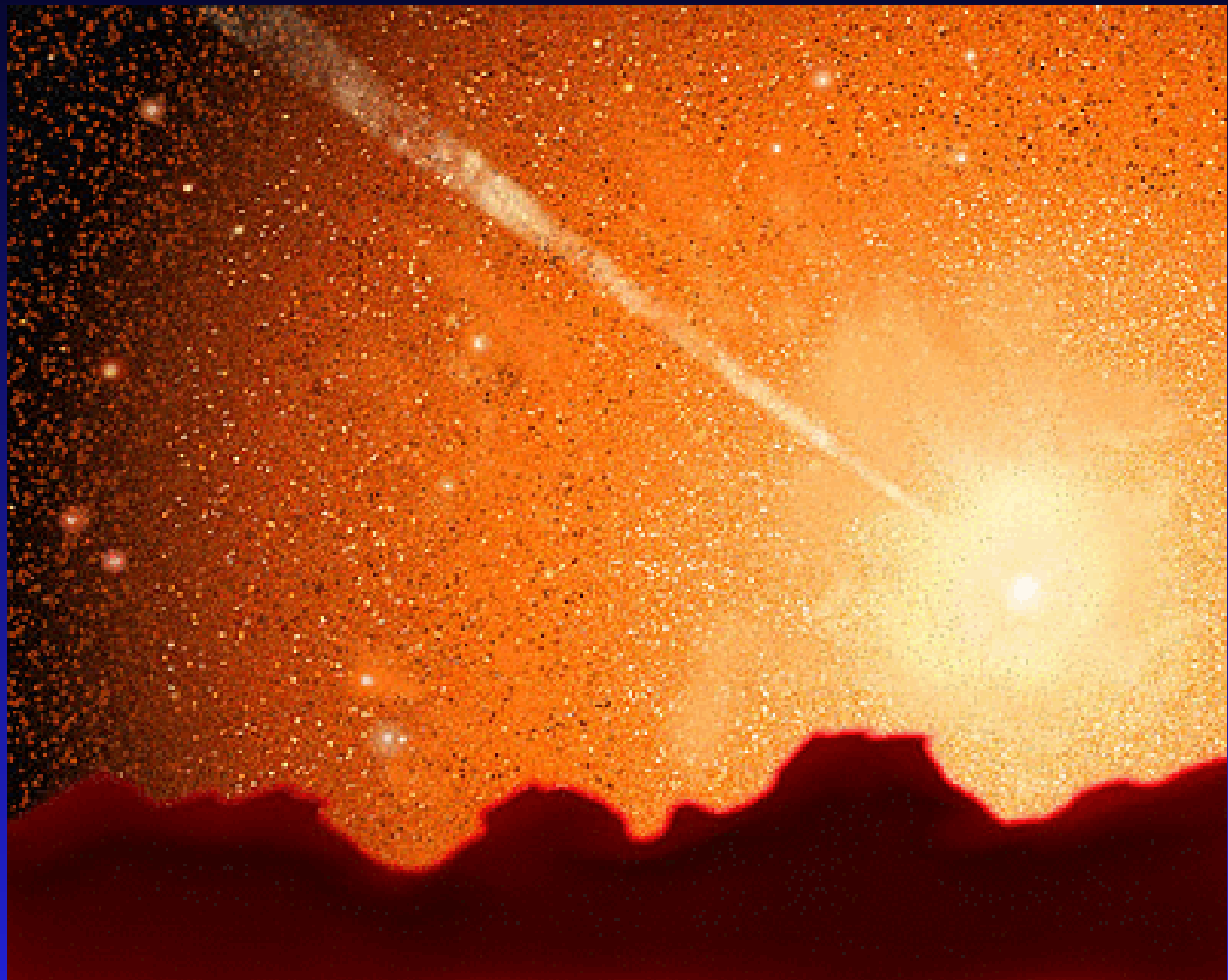
Ein Quasar im Zentrum der Milchstrasse?



Ein Quasar im Zentrum der Milchstrasse?



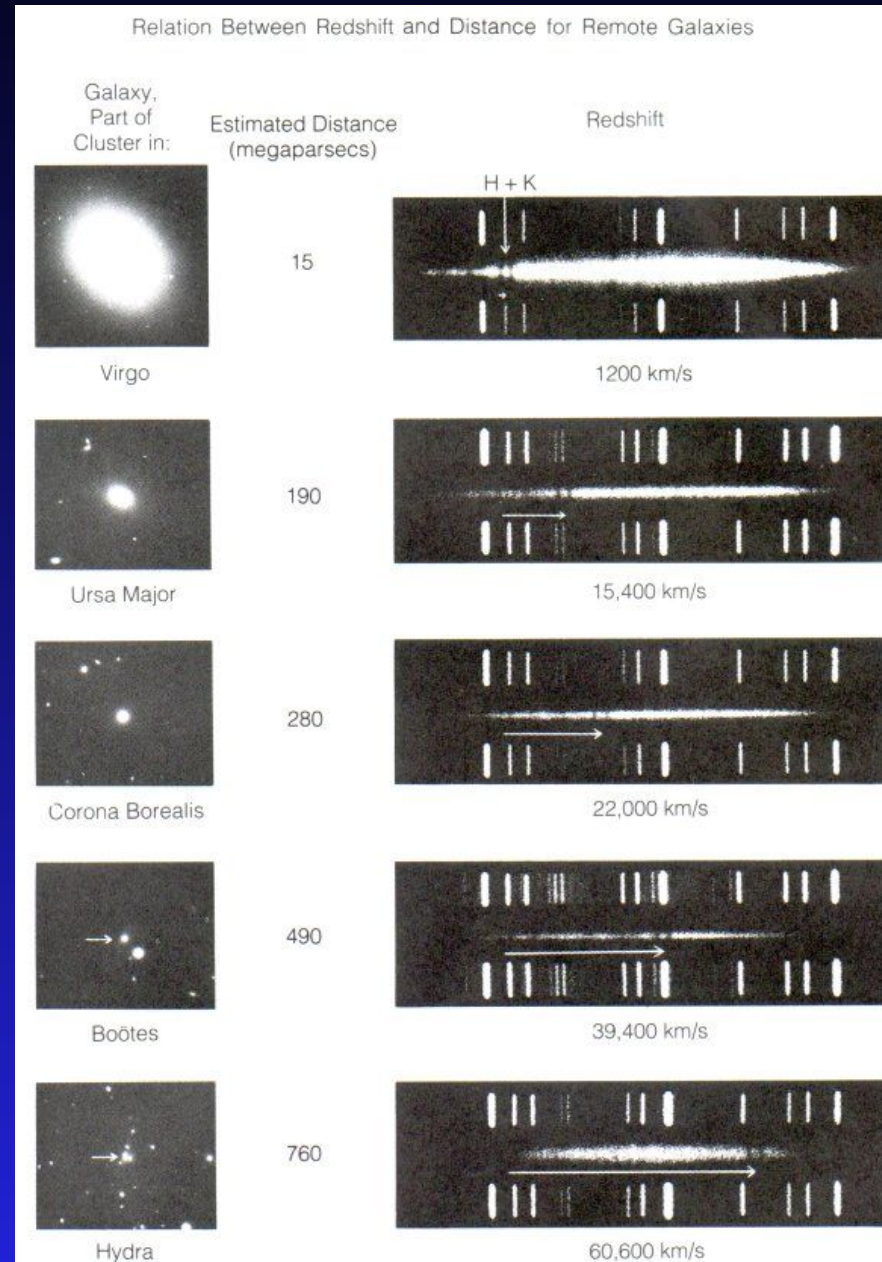
Ein Quasar im Zentrum der Milchstrasse?



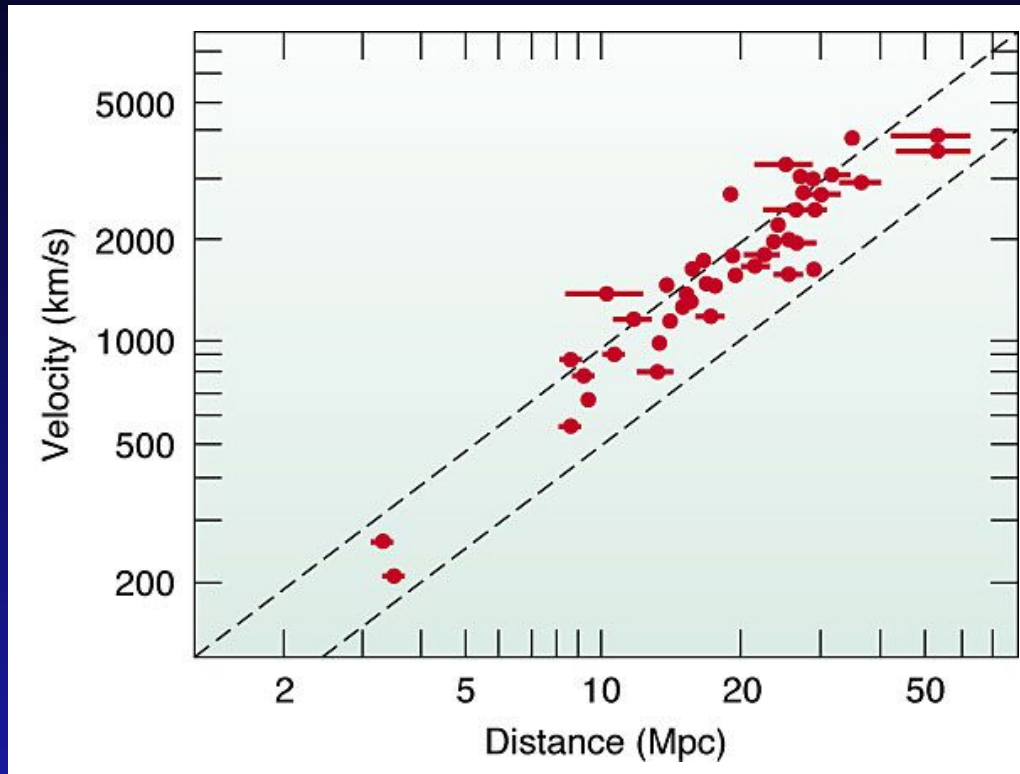
Distanzen und Rotverschiebung

Galaxy, Part of Cluster in:	Estimated Distance (megaparsecs)
 Virgo	15
 Ursa Major	190
 Corona Borealis	280
 Boötes	490
 Hydra	760

Distanzen und Rotverschiebung



Die Expansion des Universums



$$V = H \cdot D$$

$$D = V / H$$

