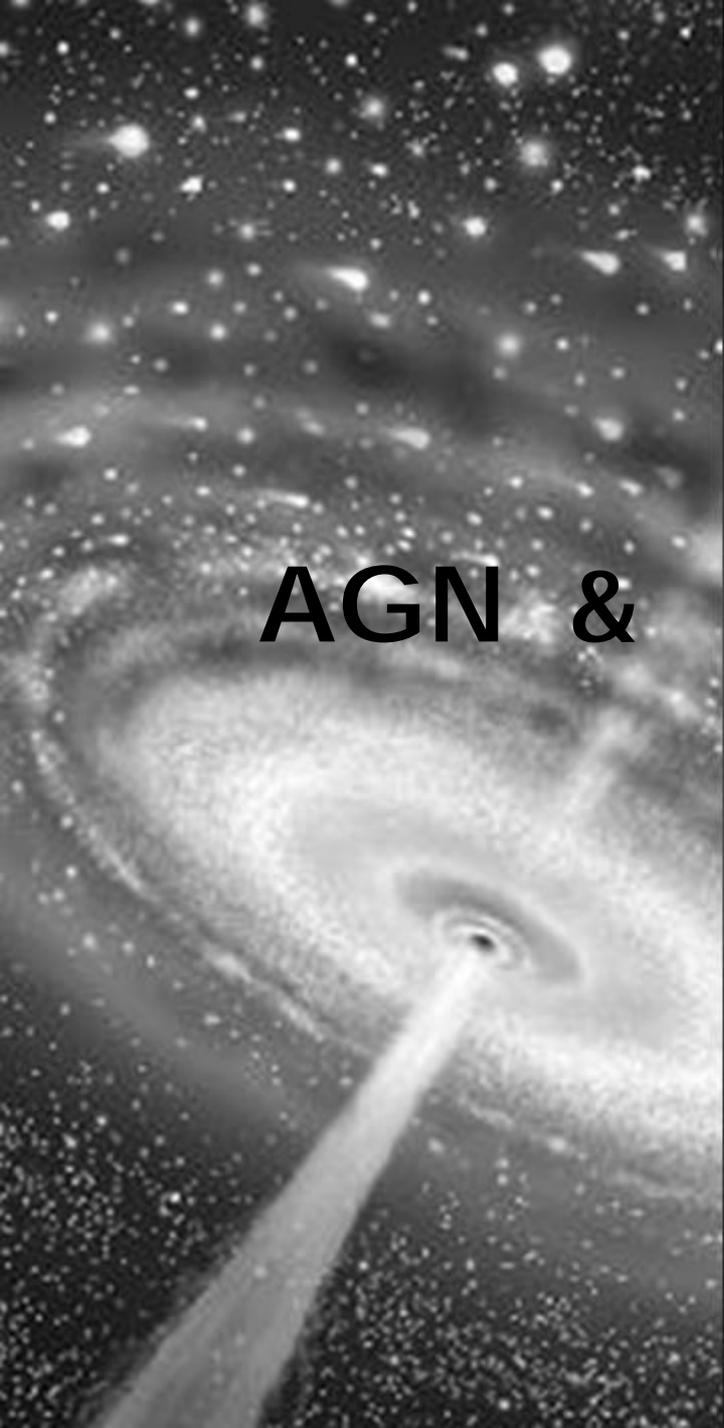




Themen & Daten

- 11.04.: Aktuelles/Übersicht
- 25.04.: Mikrowellenhintergrund (WMAP)
- 09.05.: Reionisation
- **HEUTE: AGN & Galaxienverschmelzungen**
- 06.06.: MOND – Dunkle Materie Alternative
- 20.06.: Neue Groß-Teleskope
- 04.07.: GLAST, Planck, Herschel



AGN &



Galaxien

Wechselwirkungen

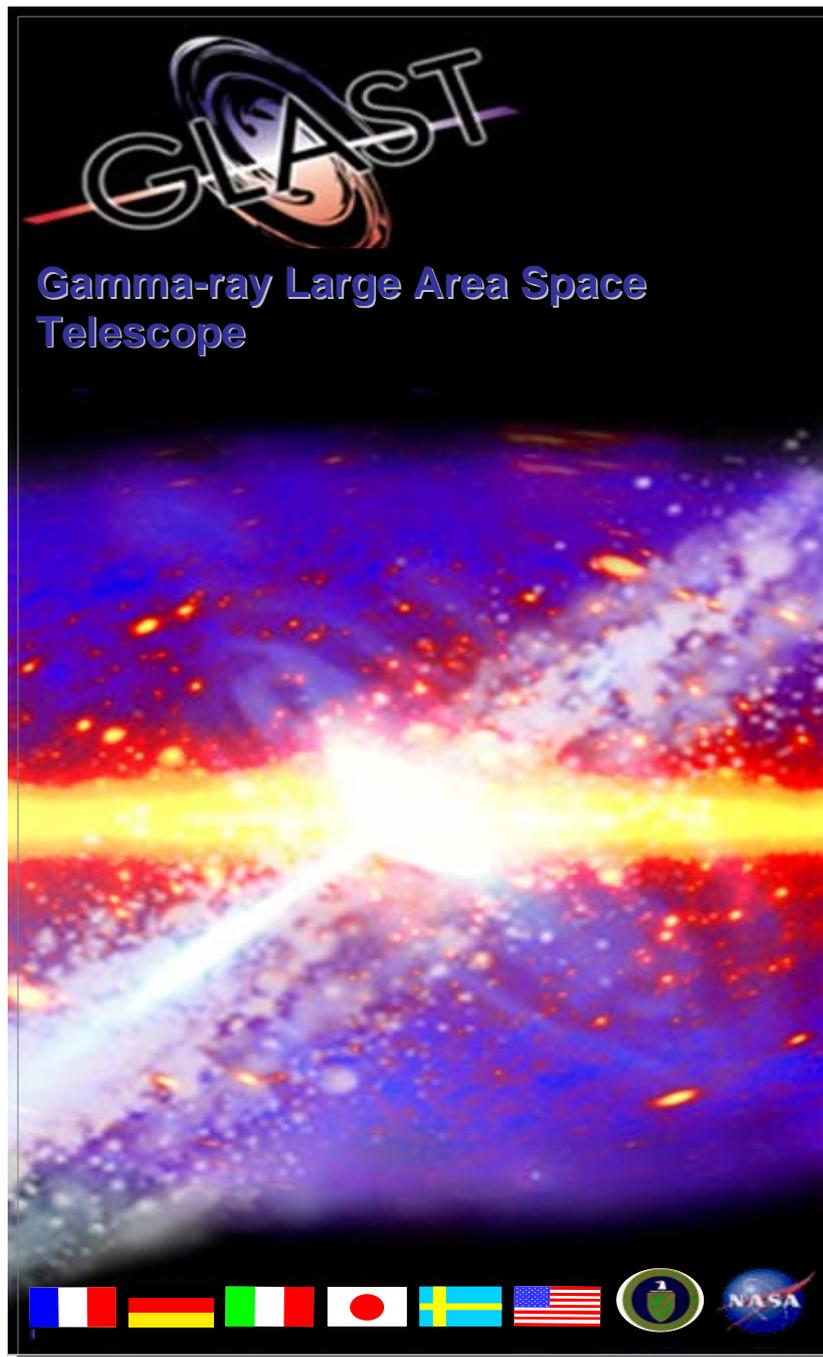
Überblick: Themen heute

- AKTUELLES
- Aktive Galaxienkerne & Galaxienverschmelzungen
- Evolutionärer Zusammenhang: Bulge / Schwarzes Loch
- ULIRGs: Ultraleuchtkräftige Infrarot-Galaxien
- Materialtransport in die nuklearen Regionen
- SWIRE
- EXIST

A collage of four astronomical images. The top-left image shows a dense field of stars. The top-right image shows a large, bright galaxy. The bottom-left image shows a bright jet of light emanating from a central point. The bottom-right image shows a nebula or star-forming region. A dark rectangular box is overlaid in the center, containing the word 'AKTUELLES' in white capital letters.

AKTUELLES

GLAST Mission



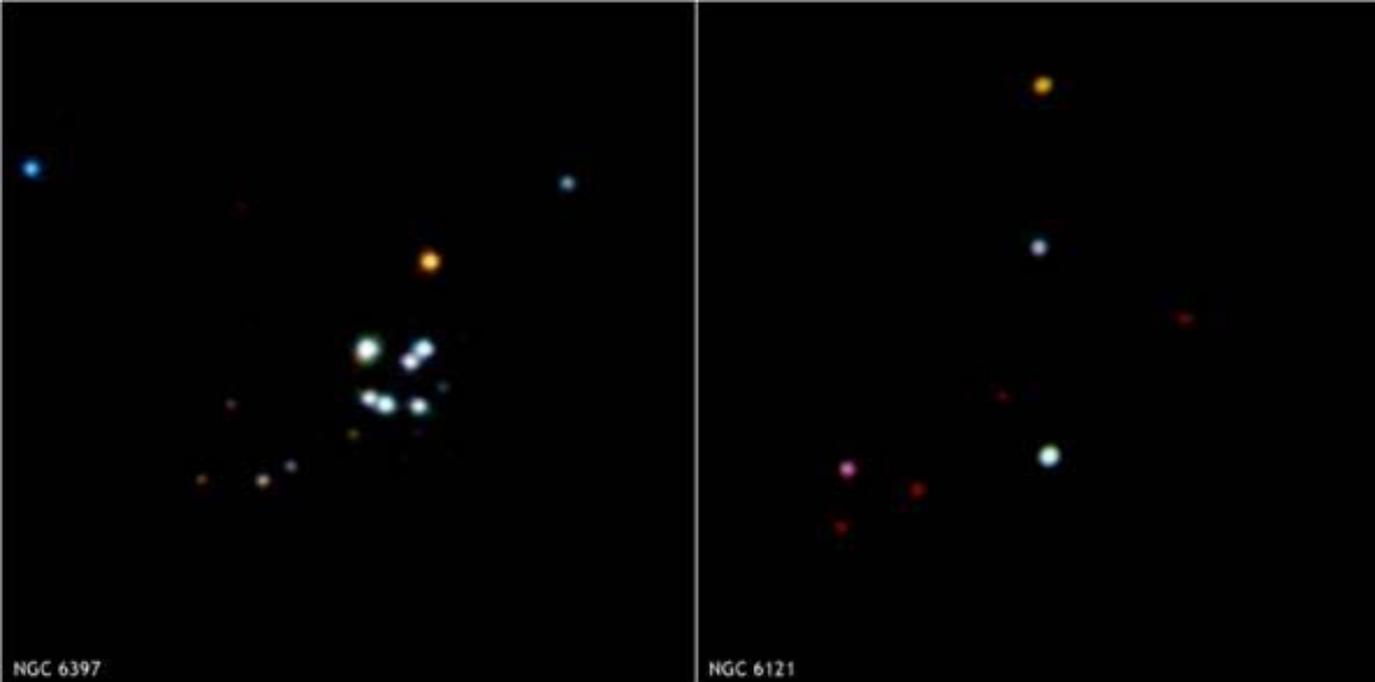
nochmal
verschoben:
vom 9. Mai auf
den
3. Juni



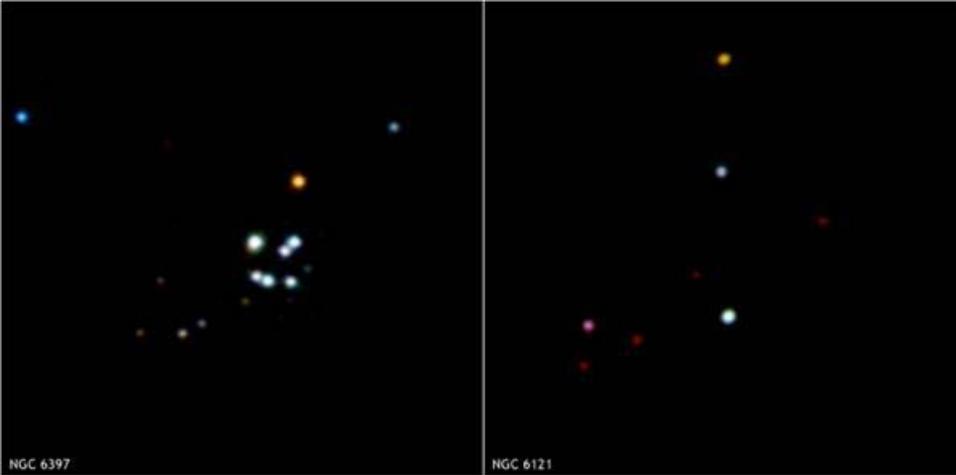
**Stellarer Gezeitenstrom um die Spiralgalaxie
NGC 5907**

- Galaktischer Kanibalismus
- **Sternenströme in den Außenbereichen zweier naher Spiralgalaxien**
- Große Spiralgalaxien sollen aus der Wechselwirkung von weniger massiven stellaren Systemen hervorgegangen sein: bestätigt durch diese Beobachtungen
- NGC 5907: Strukturen entstanden aus Zerstörung einer ihrer Zwerg-Satelliten-Galaxien; die kleine Galaxie hat den Großteil an Sternen, Sternhaufen und Dunkler Materie verloren: galaktische Reste mit Radius von 150 000 Lichtjahren
- Halos enthalten Zwerg-Galaxie-Reste
- Geister Sehr schwach₇ und schwierig zu detektieren

**CHANDRA
Beobachtungen
zweier
Kugelsternhaufen
NGC 6397 und
NGC 6121**



- Kugelsternhaufen sind vielleicht viel weniger „erwachsen“ als vermutet
- Bis zu einer Mio Sterne, in den Außengebieten der Milchstraße, gehören zu den ältesten Objekten im Universum, Alter: zw. 9 und 13 Milliarden Jahre
- Bisläng: Kugelsternhaufen gehen durch 3 Phasen:
 - Erwachsen – nach der Kugelsternbildung, Sterne im Zentrum kollabieren nach innen
 - Mittleres Alter – Phase der Wechselwirkungen von Doppelsternen und die Bildung von Röntgenquellen im Zentrum hindert den Haufen an einem weiteren Kollabieren
 - Alt – keine Doppelsterne werden mehr gebildet
- Altersstruktur: Die meisten Kugelsternhaufen, dachte man, seien mittelalt, einige wenige alt

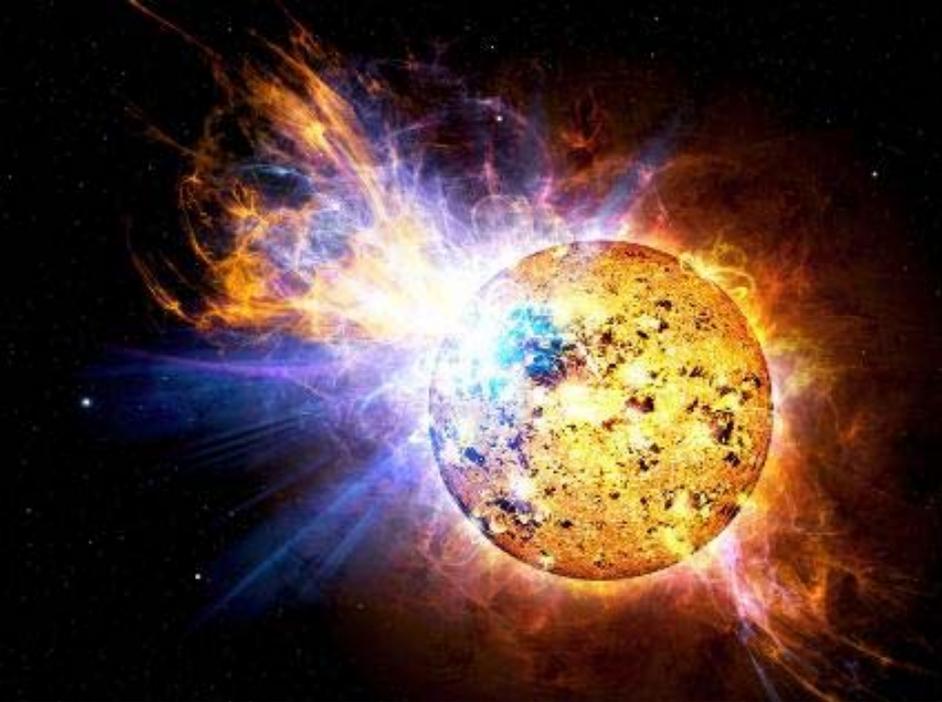


- Wechselwirken Sterne und Doppelsterne miteinander in Kugelsternhaufen, so bilden sich neue Doppelsterne, die Masse transferrieren und Röntgenstrahlung aussenden. Bilden sich in den Zentren von Kugelsternhaufen. Ist der Kugelsternhaufen deutlich älter, werden sich diese Röntgensterne nicht mehr finden lassen. Relative Anzahl der Röntgenquellen gibt somit Auskunft über das Entwicklungsstadium
- 13 Kugelsternhaufen untersucht: 3 haben ungewöhnlich große Anzahl an Röntgenquellen -> mittleres Alter, sollten eigentlich älter sein
- Vermutlich sind viele dieser ältesten Objekte nicht wirklich so weit entwickelt



- UV-Daten +Radio zeigen M83, 100 000 Lichtjahre vom Zentrum entfernt entstehen neue Sterne
- Äußere Regionen scheinen sich wegzubewegen
- Radio, neutraler Wasserstoff
- Sternentstehung folgt der Verteilung des Wasserstoffs

- Die äußeren Regionen um M83, GALEX, VLA
- **Blau** und **Pink** Hauptscheibe
- Ausgedehnte Arme
- **Rot** Radio



Roter Zwerg, M-Stern, 75% aller Sterne in unserer Galaxie sind M-Sterne

Kandidaten für erdähnliche Planeten??

- SWIFT: hellster Ausbruch, der jemals von einem normalen Stern beobachtet wurde
- EV Lacertae, roter Zwerg, „0815-Stern“
- Normalerweise: 1% der Sonnenleuchtkraft, 30% der Sonnenmasse
- SWIFT hat mit Röntgen-Teleskop beobachtet, der Versuch, auch mit dem UV/Optischen Teleskop zu beobachten misslang: Ausbruch zu hell, Instrument schaltet sich aus Sicherheitsgründen selber ab; Stunden hell im Röntgenbereich
- Junger Stern, einige 100 Mio Jahre, rotiert innerhalb von 4 Tagen (Sonne in 4 Wochen), schnelle Rotation erzeugt lokale Magnetfelder, Energie gespeichert in Magnetfeldern-> erzeugen die Ausbrüche



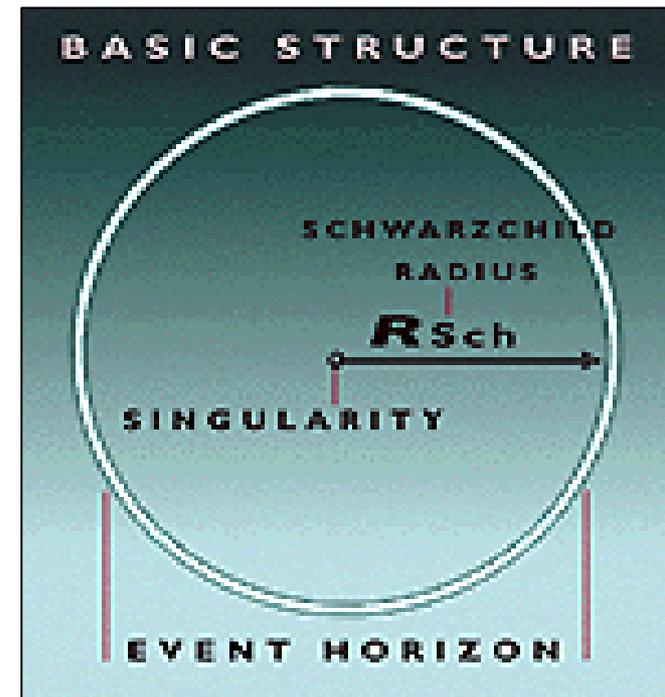
Aktive Galaktische Kerne

Struktur eines Schwarzen Lochs

Schwarzschild Radius definiert den Ereignishorizont

Innerhalb des Ereignishorizonts: die Singularität

Singularitäten stellen Punkte unendlicher Gravitation dar: unendliche Raum-Zeit-Krümmung, Raum und Zeit enden





Schwarze Löcher: Typen

- **Primordial** – können jede Größe haben. Wäre die Erde ein SL, Masse wäre 6×10^{24} kg and Radius ~ 1 cm.
- **Stellare Masse** – zumindest 3 Sonnenmassen ($\sim 10^{31}$ kg)
- **Mittlere Masse** – vermutlich Agglomerationen von stellaren Schwarzen Löchern

AGN Emission

Galaxy: alle
Frequenzen

Jets: Radio,
optisch, Röntgen,
Gamma

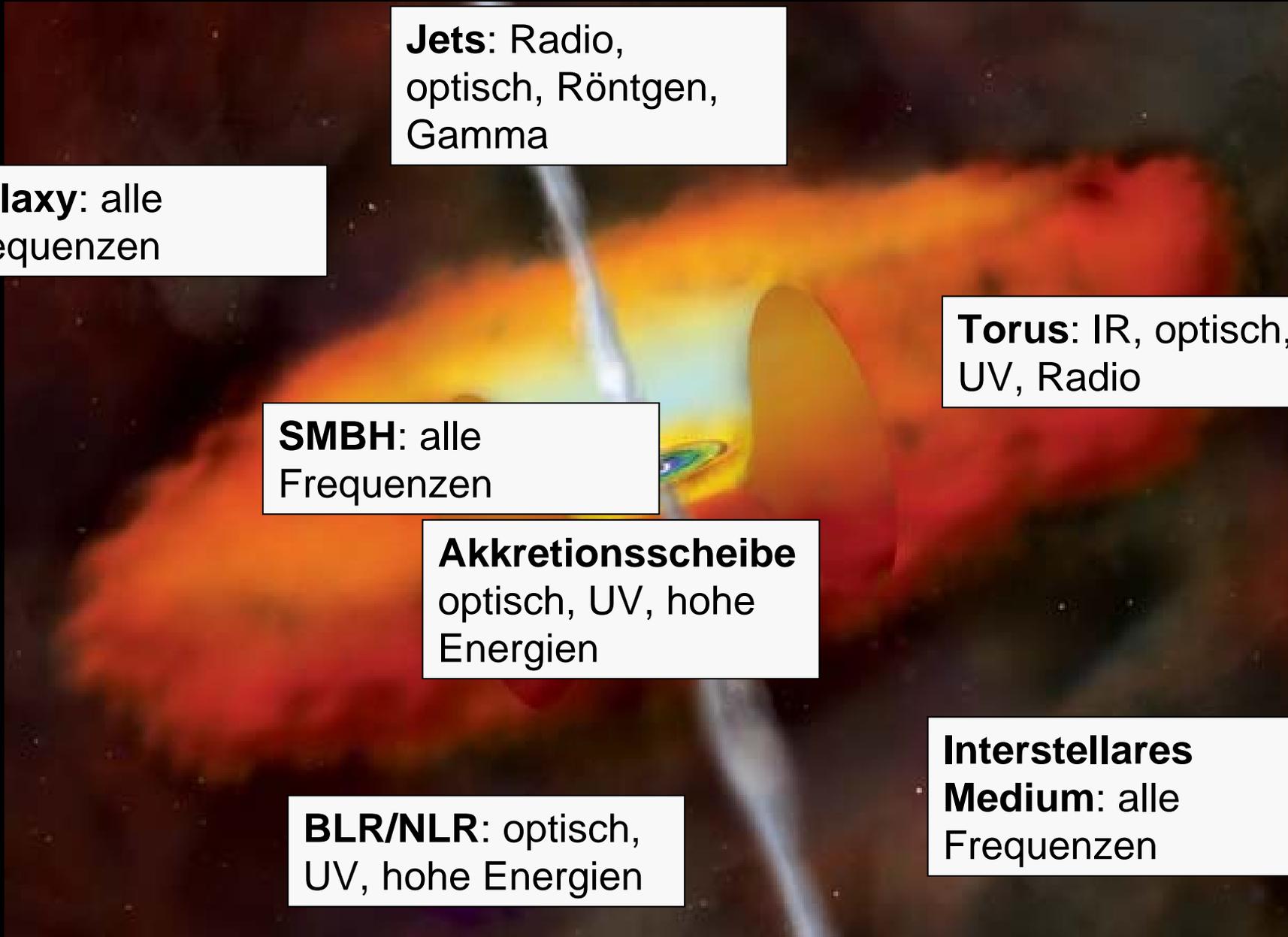
SMBH: alle
Frequenzen

Akkretionsscheibe
optisch, UV, hohe
Energien

Torus: IR, optisch,
UV, Radio

BLR/NLR: optisch,
UV, hohe Energien

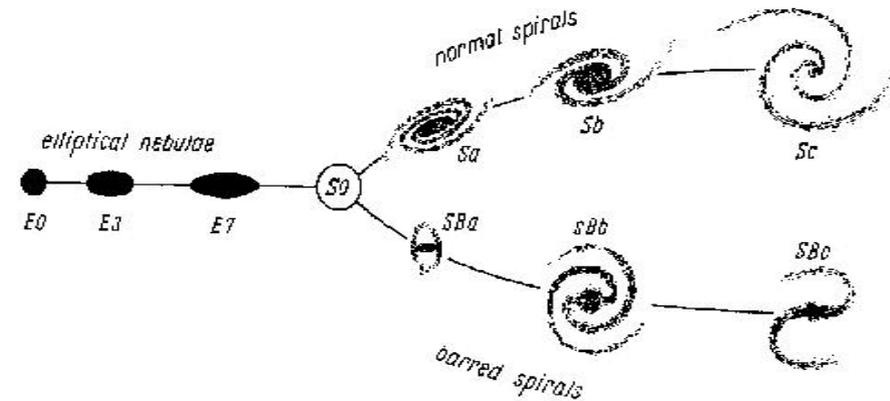
**Interstellares
Medium:** alle
Frequenzen





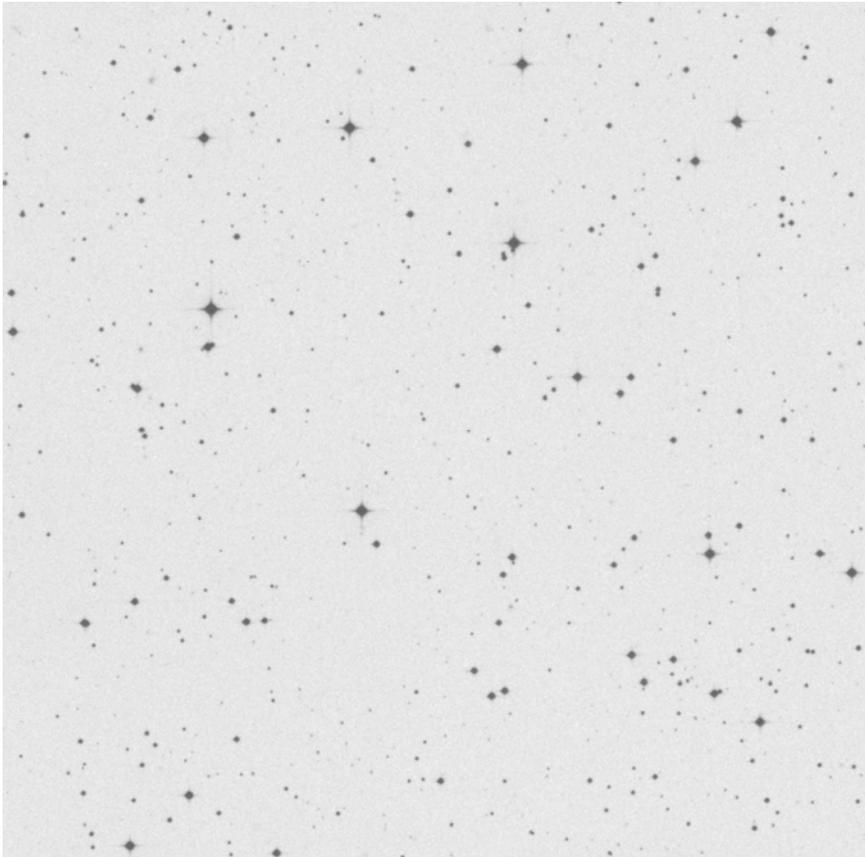
Von Galaxien-Verschmelzungen
zu Aktiven Galaxienkernen

Das Aussehen einer Galaxie hängt von der Sternentstehungs-Geschichte ab

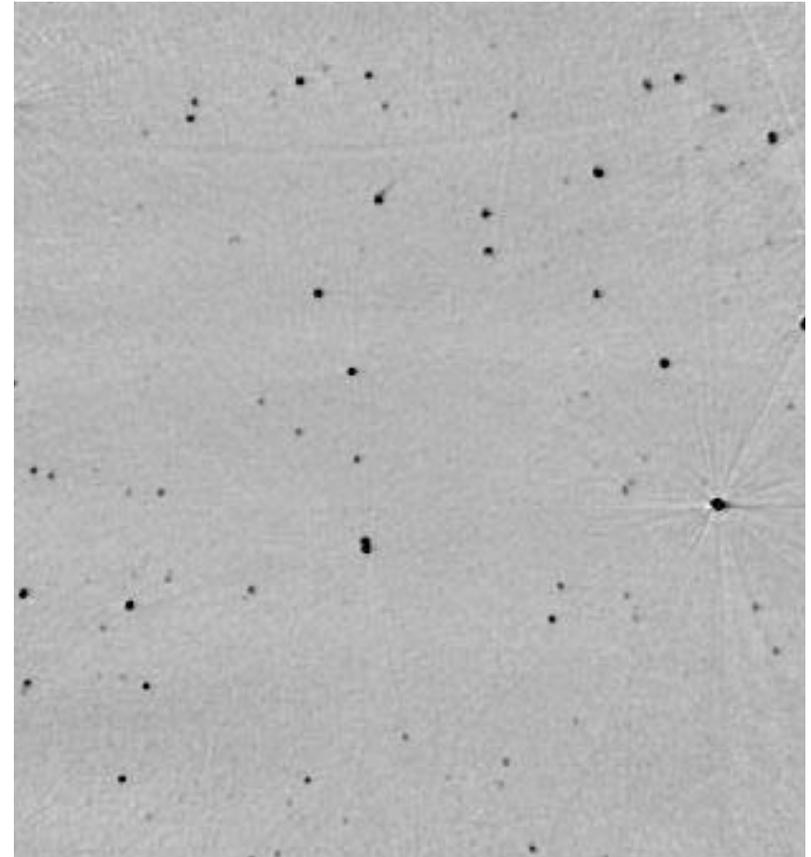


Galaxien Klassifikation
nach Hubble (1936)

Der Himmel im optischen und im Radio-Licht



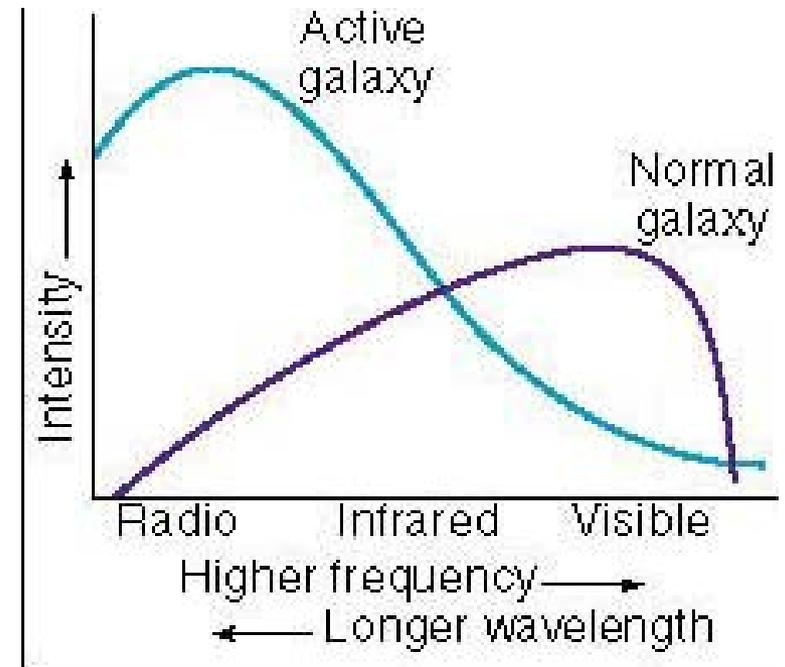
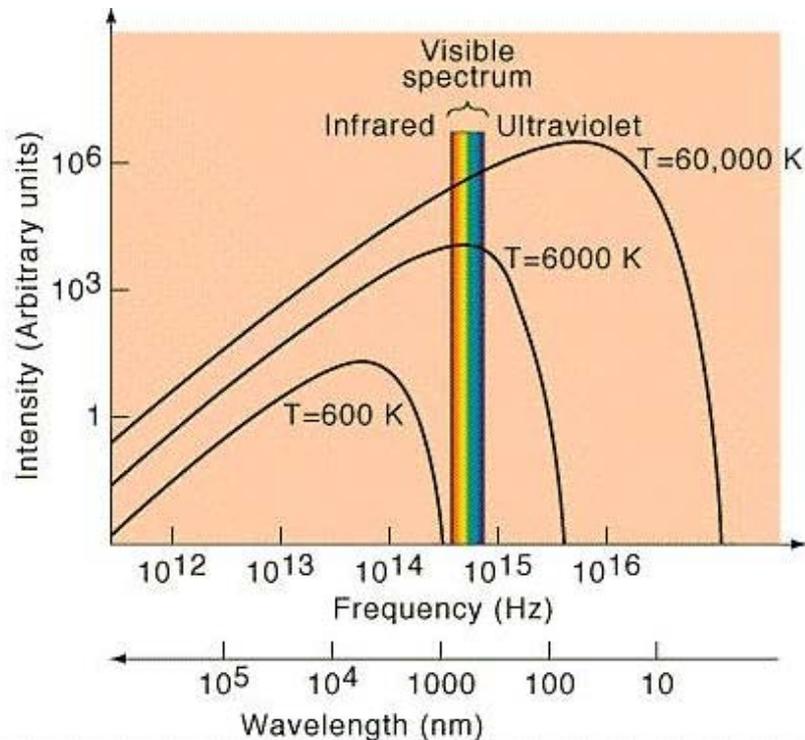
Optical DSS B: Vorwiegend nahe Galaxien (*median $z \sim 0.1$*)



Radio 843 MHz: Vorwiegend sehr weit entfernte Radio Galaxien (*median $z \sim 1$*)



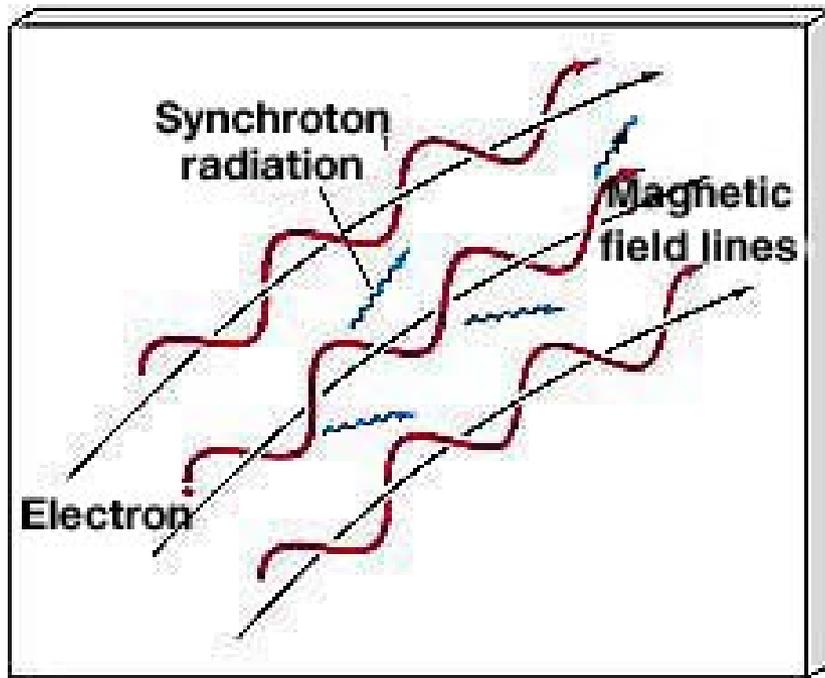
Spektrale Energie Verteilung für Galaxien (Röntgen bis Radio)



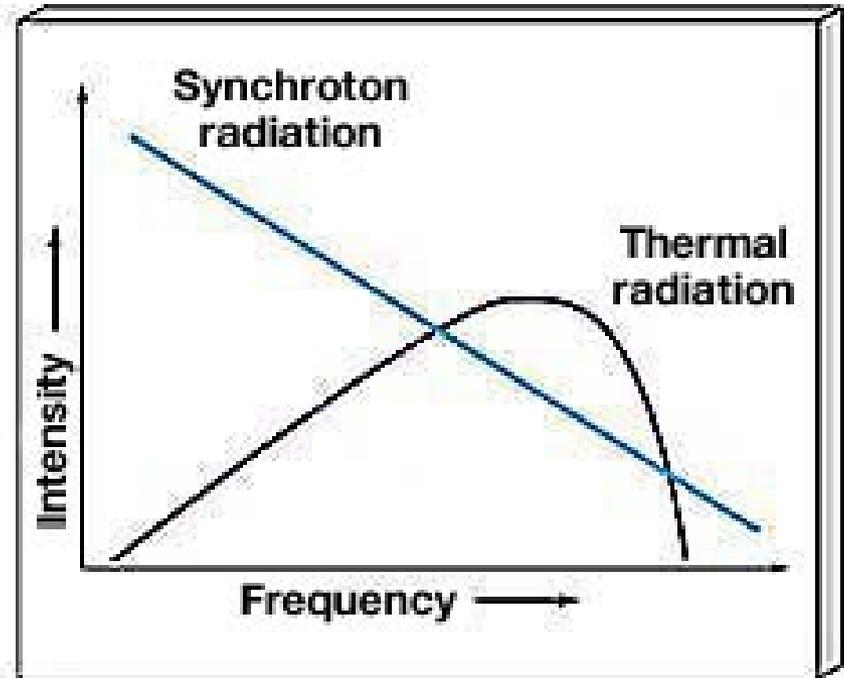
Unterschiedliche
physikalische Prozesse
dominieren in normalen
und "aktiven" Galaxien

Synchrotron Strahlung

Erzeugt durch relativistische Elektronen die in einem Magnetfeld spiralisieren – der dominante Mechanismus für Radio-Emission in aktiven Galaxien (AGN)

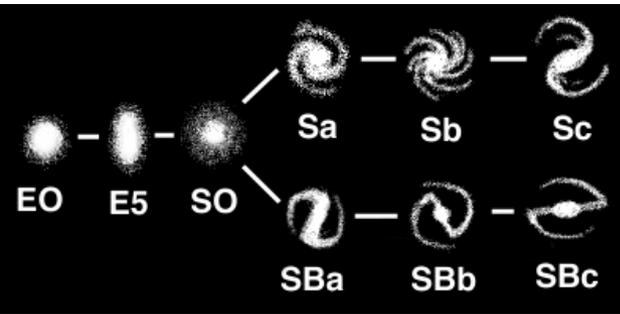


(a)



(b)

AGN as an activity phase in the life of a galaxy?



Galaxies



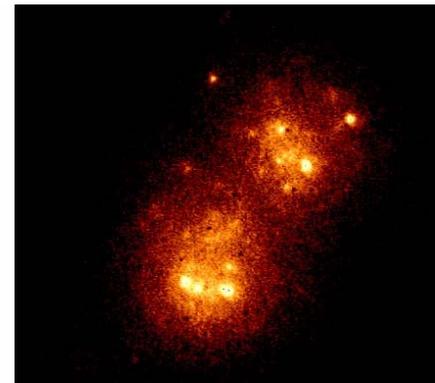
Cen A



AGN

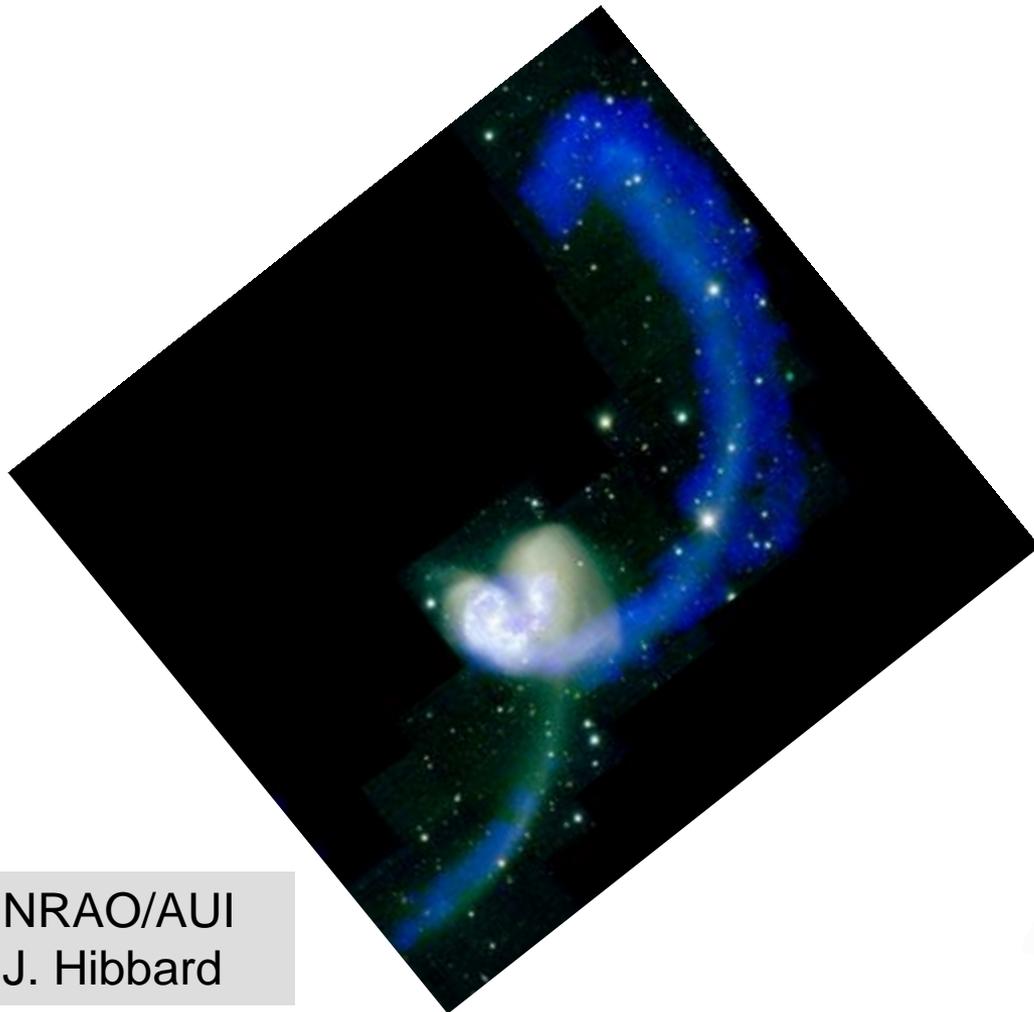
Starburst

ULIRGs
NGC 1741





The interacting galaxies: NGC 4038/4039 (Antennae galaxies)



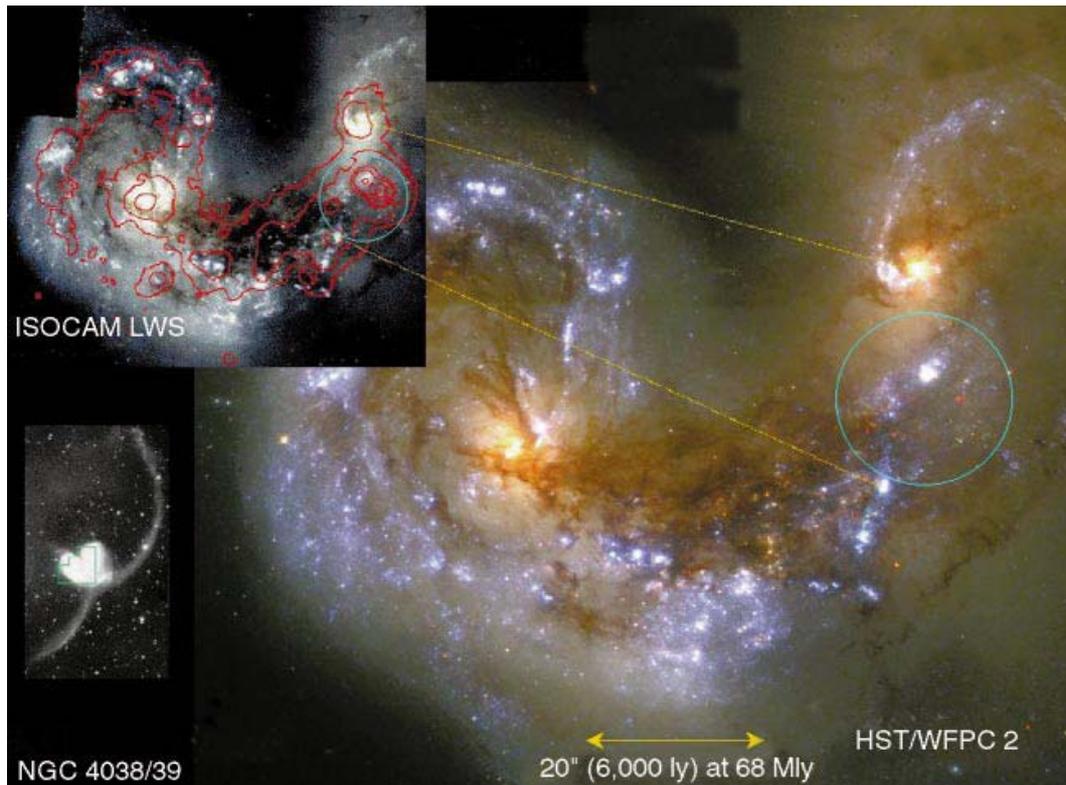
NRAO/AUI
J. Hibbard



Toomres' model
of the galaxy pair



The interacting galaxies: NGC 4038/4039 (Antennae galaxies)



Genzel, Lutz & Tacconi, 1998



- Sind näher als gedacht: 45 Mio Lichtjahre statt 65 Mio Lichtjahre (Werte bis zu 100 Mio Jahre)
- WW vor einigen 100 Mio Jahren begonnen
- Untersuchungen individueller Sterne, Rote Riesen, ruhige Region weiter außen, Tip of the red giant branch (TRGB), erreichen Standard-Helligkeit
- Durch geringere Distanz ist die Quelle nicht mehr eine Ultraleuchtkräftige Infrarot-Galaxie, jetzt „Standard“, Sternhaufen haben jetzt auch „normale Größe“, statt 1.5fach zu groß zu sein

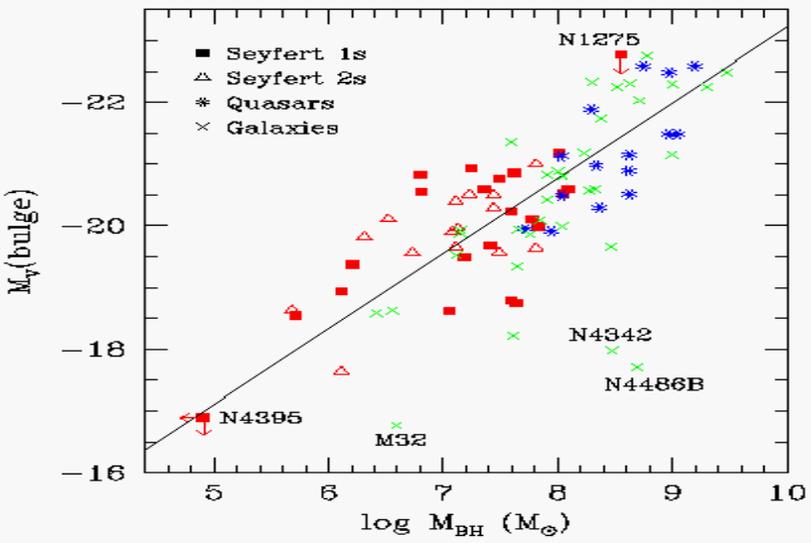
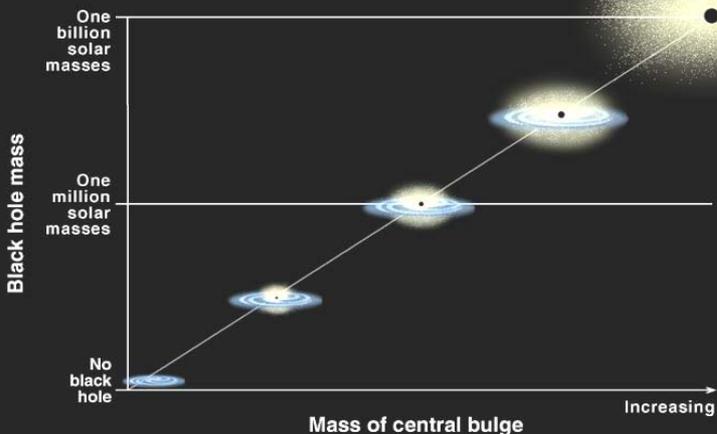


Evolutionärer
Zusammenhang:
Bulge / Schwarzes Loch



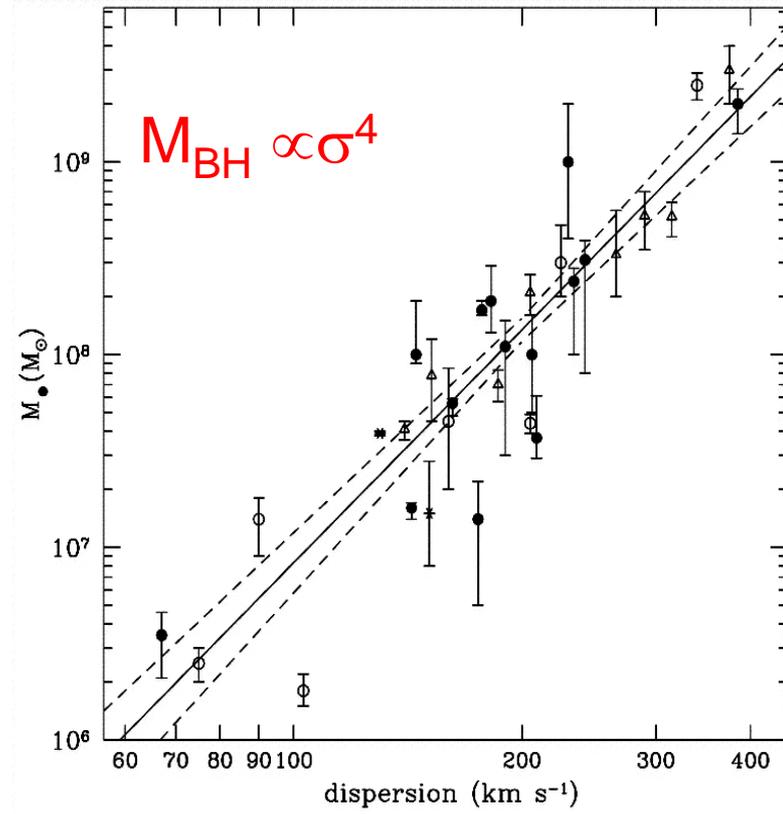
Cosmology: Black Hole - Bulge / Black Hole – velocity dispersion

Correlation Between Black Hole Mass and Bulge Mass



$$M_{\text{BH}} \propto M_{\text{bulge}}^{1.74}$$

Magorrian et al. 1998

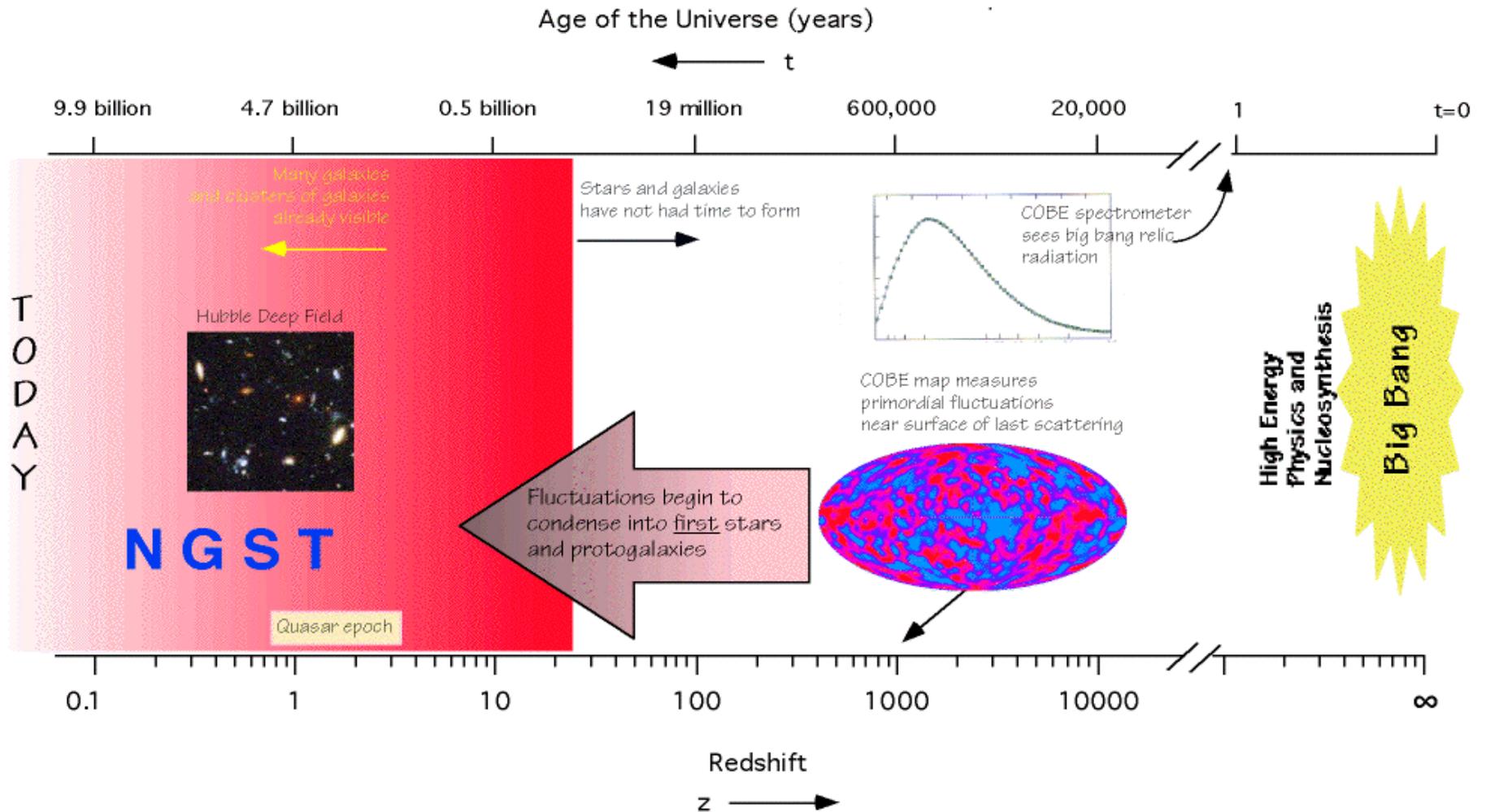


M - σ relation

Gebhardt et al. 2000;
Merritt & Ferrarese 2000;
Tremaine et al. 2002

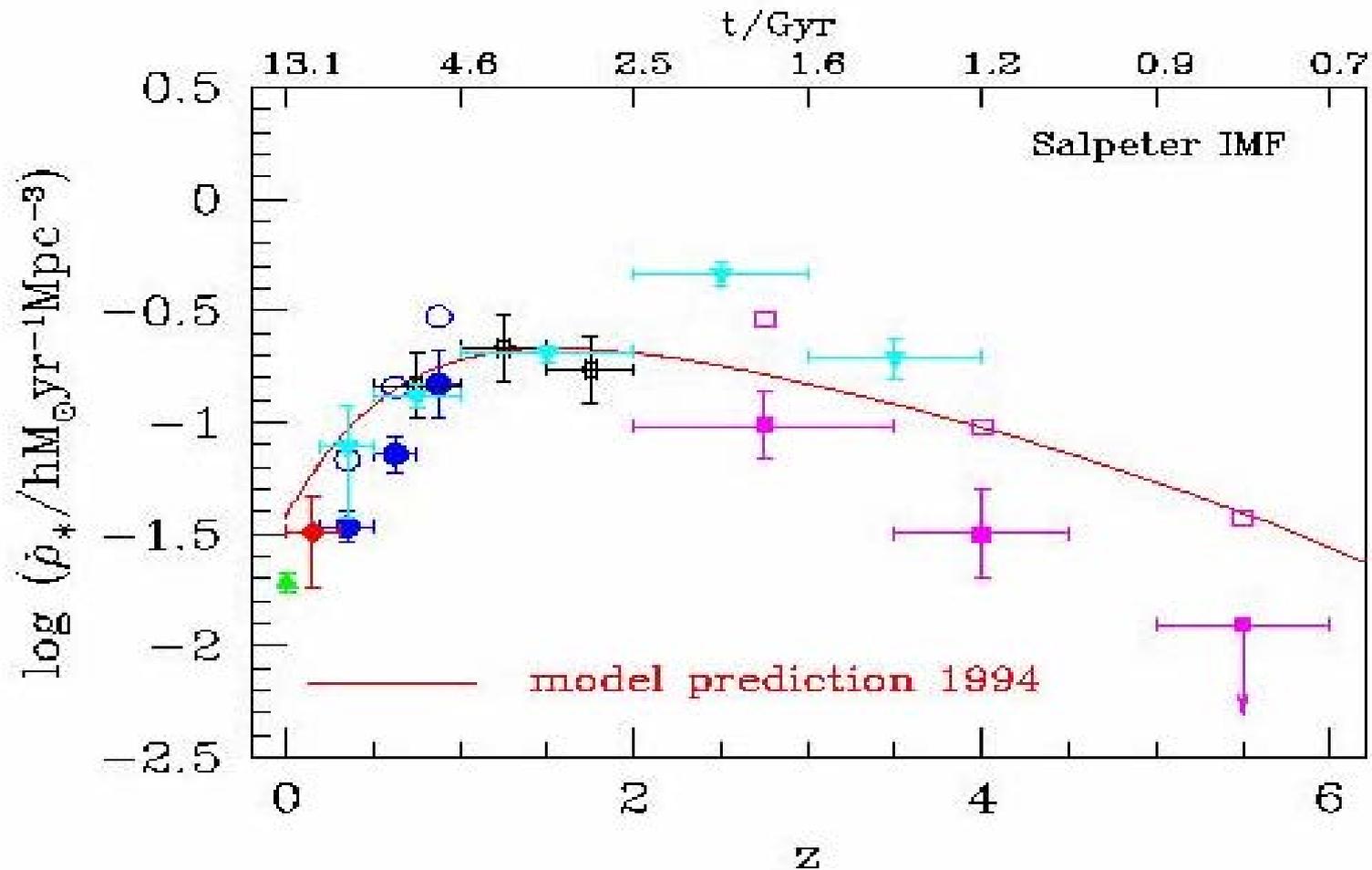


Wann ist die SL/bulge Verbindung entstanden?



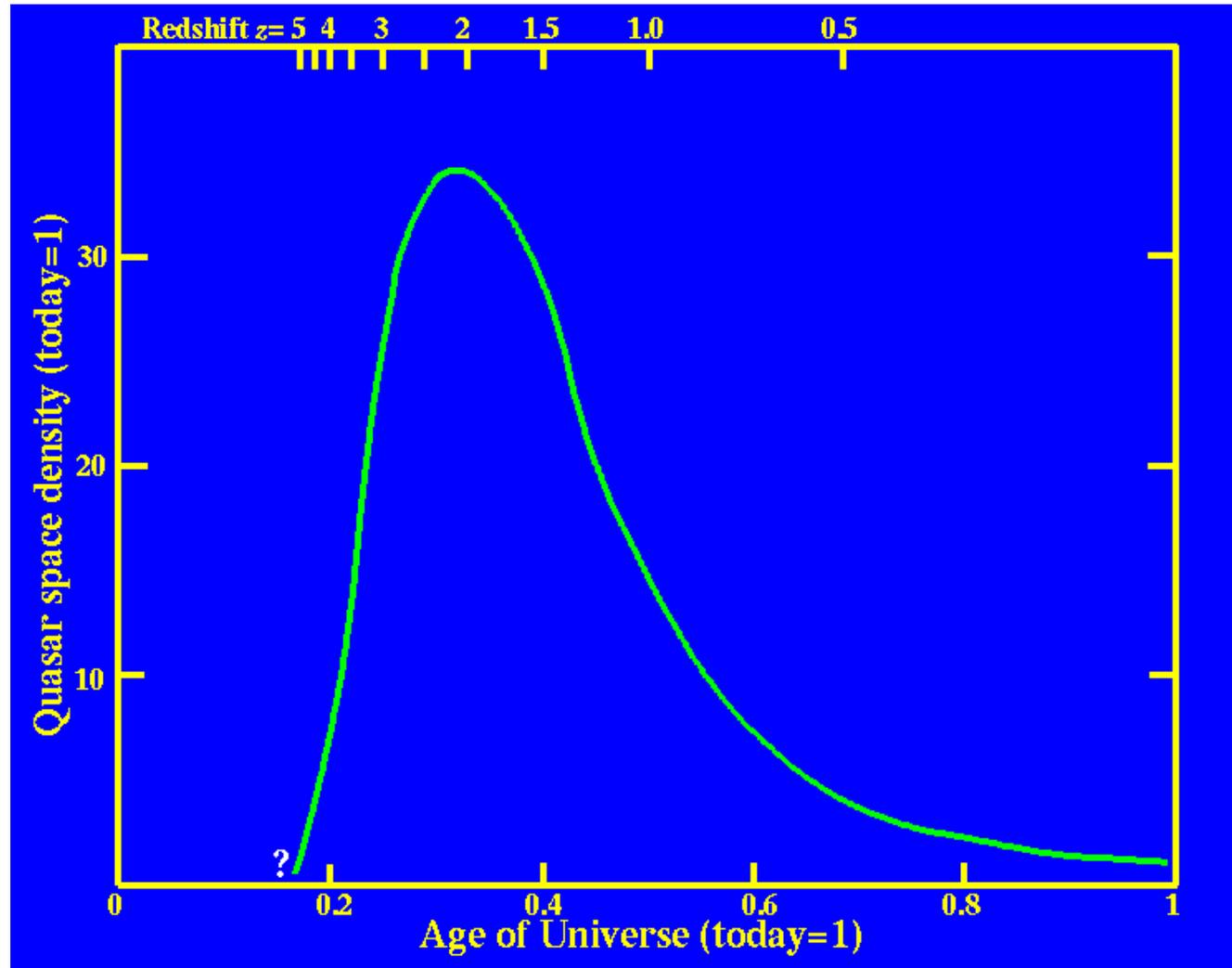


Sternentstehung im Universum



(Baugh et al. 1998)

Aufstieg und Fall der Quasare



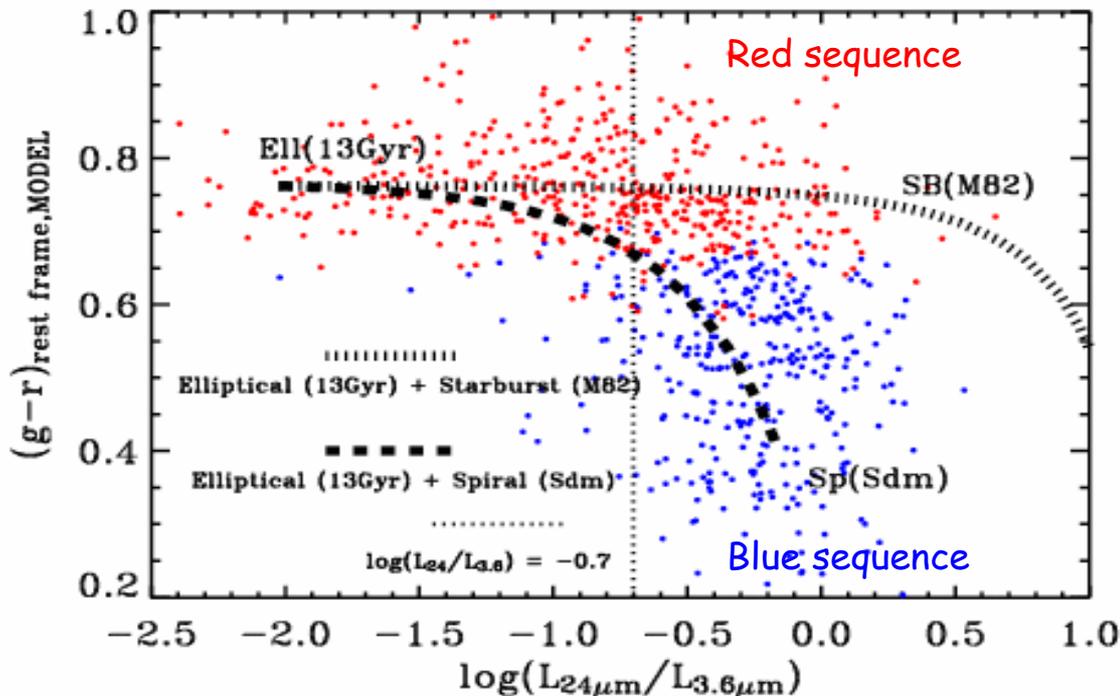


NGC5806, nahe Spiralgalaxie
mit aktivem Kern

- Gas, während der Quasar-Phase ausgestoßen, beendet die Sternentstehung und die Host Galaxie muß sich passiv weiterentwickeln
- Starker Zusammenhang zwischen Galaxienentwicklung und der Bildung supermassiver Schwarzer Löcher
- Ist die Umgebung zu stark bevölkert mit Galaxien dann ist die Wahrscheinlichkeit, daß sich ein Quasar bildet herabgesetzt
- Stellen Galaxien, die einen AGN beinhalten eine „erwachsene“ oder „Übergangs“ Phase in der Galaxienentwicklung dar?

- Galaxien können in zwei Gruppen unterteilt werden:
 - Blaue Sequenz, jung, Sternentstehung
 - Rote Sequenz: massiv, kalt, entwickeln sich passiv
- Stellen die Galaxien mit AGN einen Zwischenschritt zwischen diesen beiden Galaxienformen dar?

IR properties of blue and red optical sequence galaxies
(Davoodi et al., in prep.)



- NEIN! Galaxien mit AGN finden sich in **Roter Sequenz**
- Bedeutung: Sternentstehungsphase hat in Galaxien mit AGN einen deutlichen Endpunkt, in der Nach-Quasar-Phase werden keine Sterne mehr erzeugt
- Wird bestätigt durch: Mehrheit der lokalen AGN sind verbunden mit „klassischen“ bulges die sich während Verschmelzungen gebildet haben. Entwicklung des supermassiven Schwarzen Lochs, welches den AGN antreibt, ist eindeutig mit der Entwicklung des bulges statt mit der Galaxie als ganzer verknüpft.

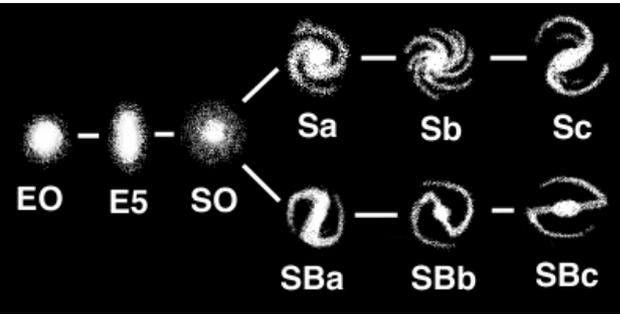
Neue Klasse von Galaxien detektiert: Komposit-Galaxien

Aktive Population von jungen Sternen &

Aktives akkretierendes Schwarzes Loch

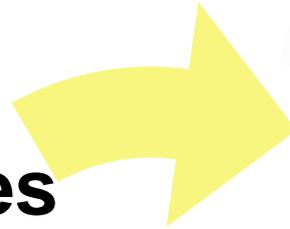
= Übergangs Population

AGN as an activity phase in the life of a galaxy?

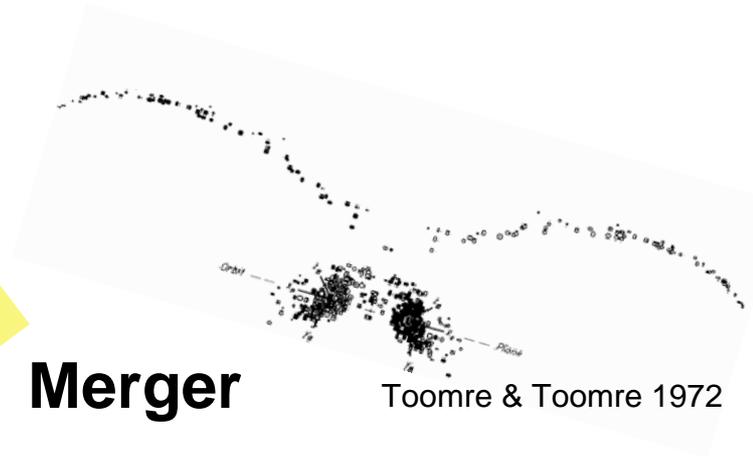


Hubble 1926

Galaxies



Merger



Toomre & Toomre 1972



AGN



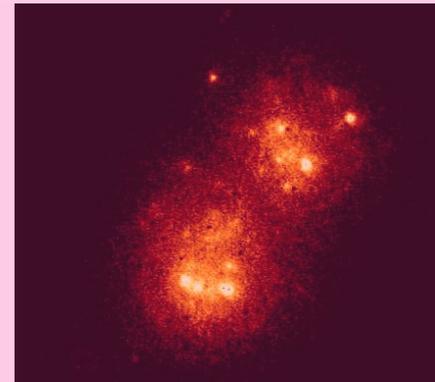
Starburst

ULIRGs
NGC 1741

Cen A



NASA/Chandra/CXO/M. Karovska et al.

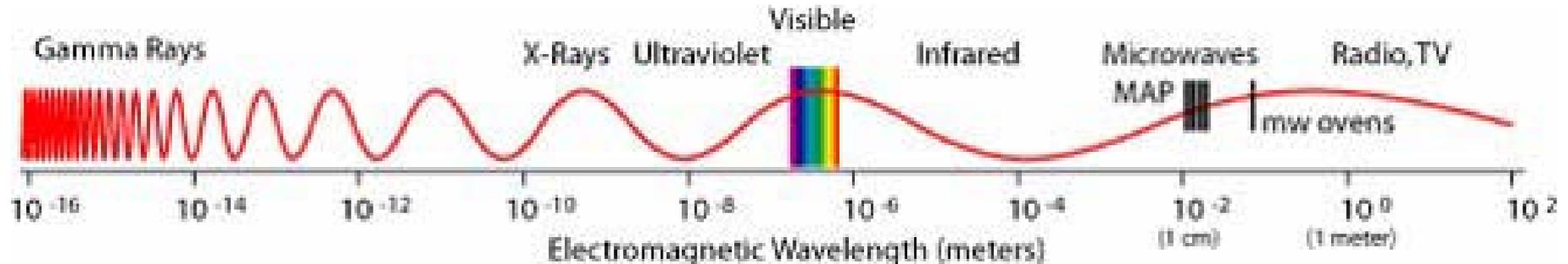




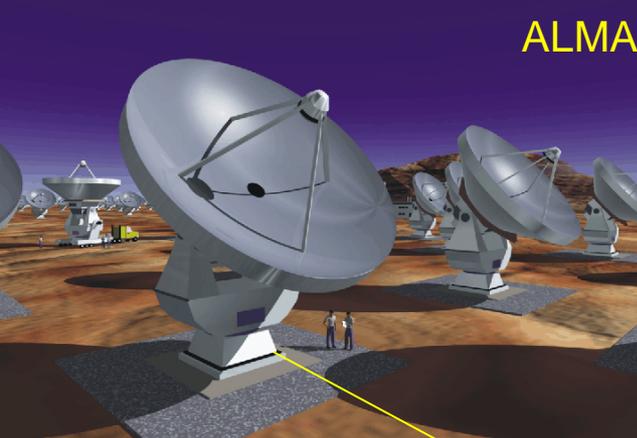
ULIRGs:
Ultraleuchtkräftige Infrarot-Galaxien



ULIRGs



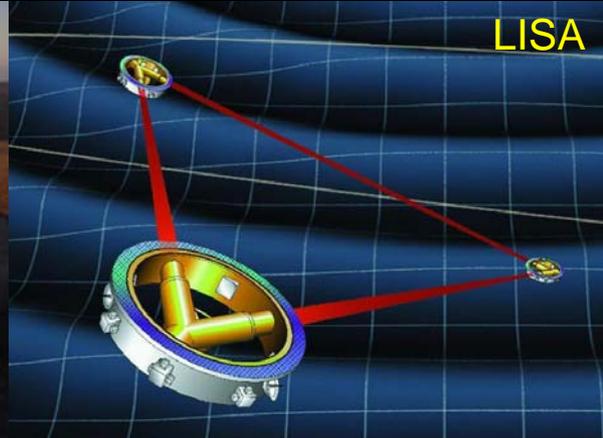
- Was sind ULIRGs?
- ULIRGs bei geringen Rotverschiebungen
- Von ULIRGs zu Quasaren
- Hoch-rotverschobene ULIRGs und SMGs



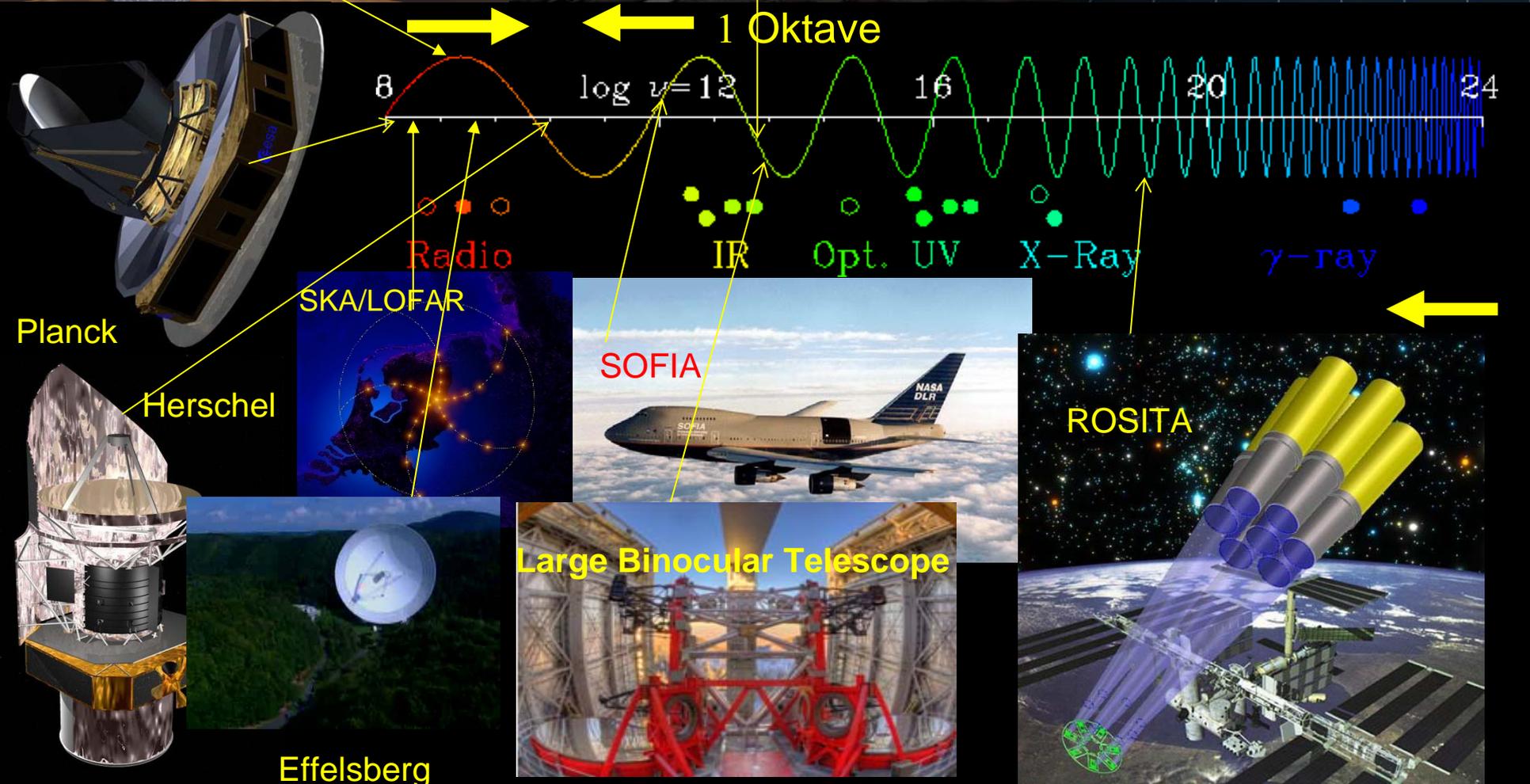
ALMA



VLTI



LISA



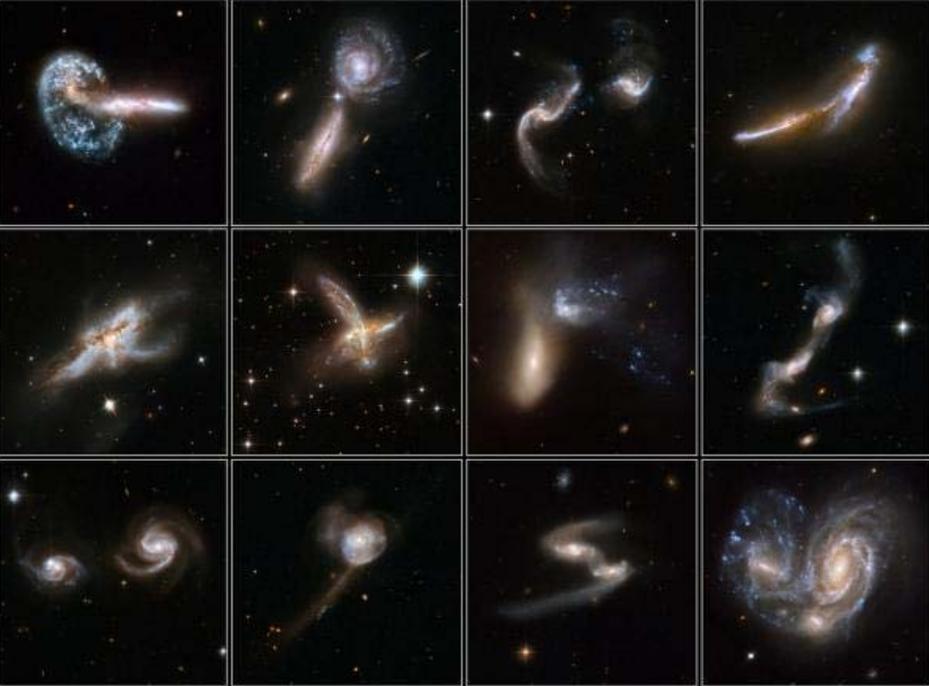
Ultraleuchtkräftige Infrarot Galaxien

Arp 220? IRAS 19297-0406

Multiple mergers (30%)
HST observations of **ULIRGs**:
ultra-luminous infrared galaxies

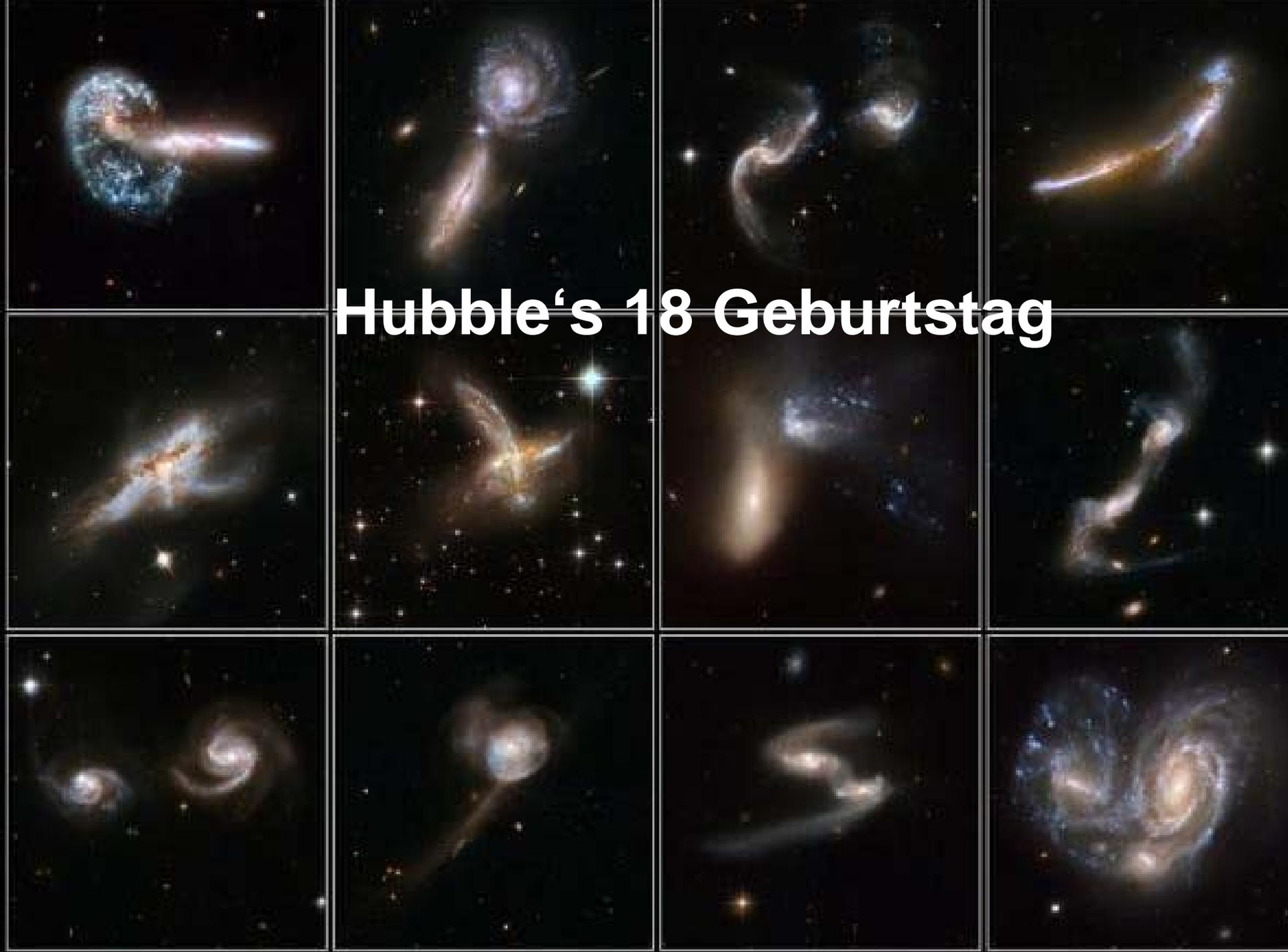


- Discovered by IRAS in mid 80's
- $L_{\text{FIR}} > 10^{12} L_{\odot} \gg L_{\text{optical}}$ (dusty)
- Disturbed Morphologies: Mergers
- Powered by nuclear starbursts &/or obscured AGN (much debated)



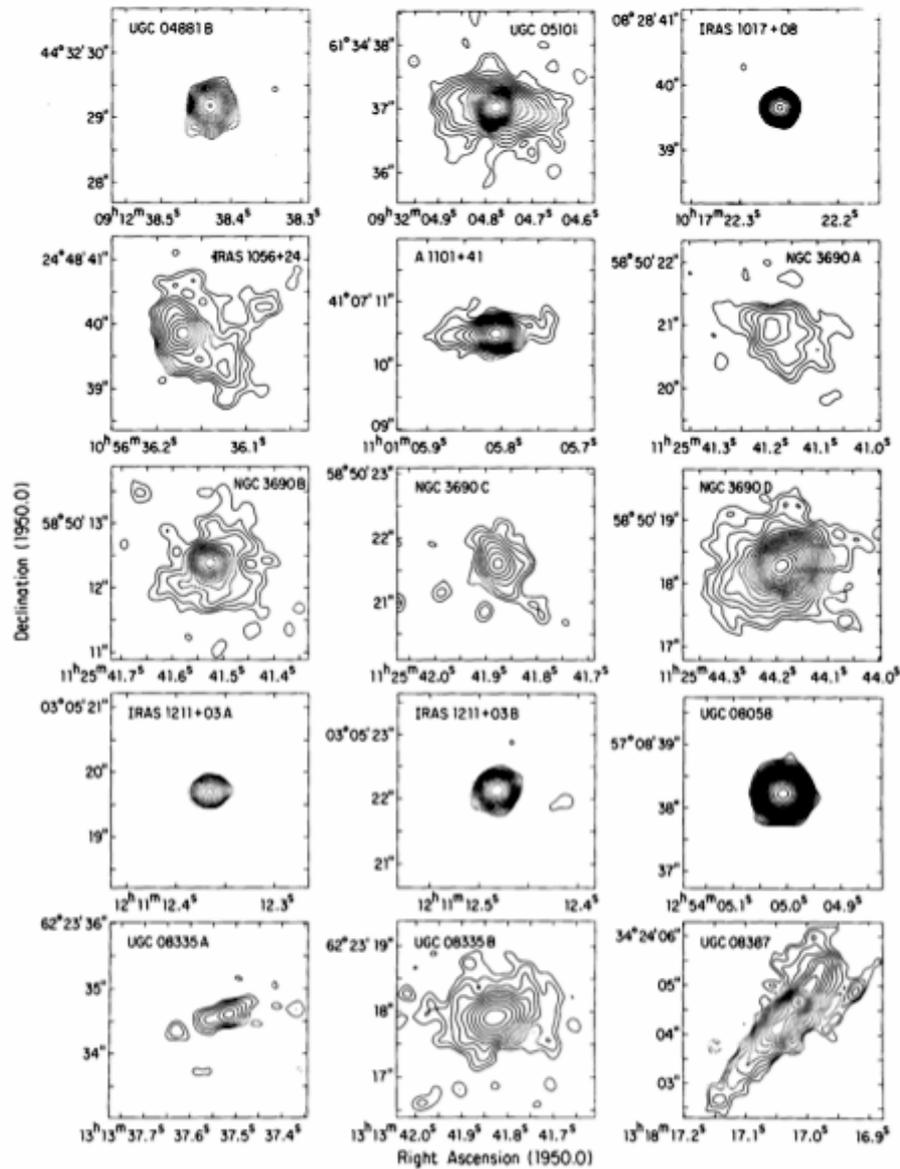
- 59 neue Bilder kollidierender Galaxien veröffentlicht
- Extrem wichtig für die Galaxienentwicklung im Universum, das Anschalten von Quasaren, das Antreiben von Sternentstehung und explosiver Sternendphasen
- Die meisten der 59 neuen Hubble-Bilder sind Teil einer Untersuchung der leuchtkräftigen und ultraleuchtkräftigen Infrarot-Galaxien: GOALS-Projekt (Great Observatories All-sky LIRG Survey): HST, Spitzer, Chandra, GALEX

Hubble's 18 Geburtstag



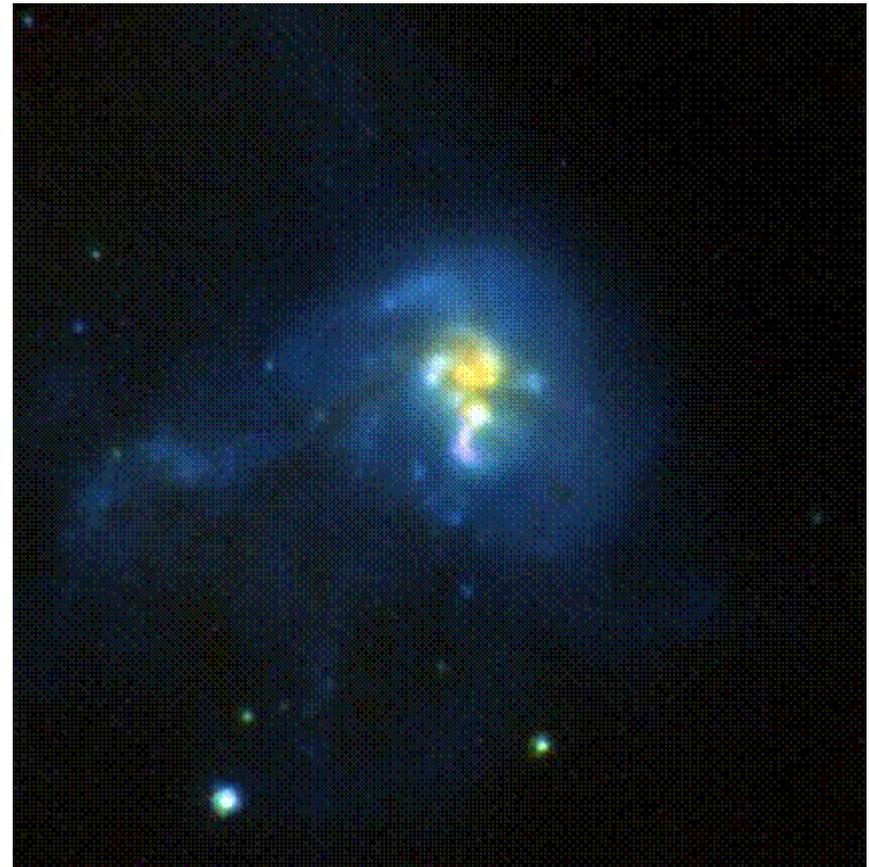
Radio Sizes of ULIRGs ~ 100s pc

CONDON, HUANG, YIN, & THUAN



Ultraluminous Infrared Galaxies

- Auch genannt: ULIRGs
- Entdeckt durch IRAS in den 80iger
- Infrarot Leuchtkraft über $10^{12} L_{\text{sonne}}$
 - Vergleichbar Quasaren
 - Starke Infrarot Leuchtkraft impliziert viel Staub in diesen Objekten
- Hyperleuchtkräftige Infrarot Galaxien:
 $L_{\text{IR}} > 10^{13} L_{\text{sun}}$



IRAS 19297-0406

Credit: NASA, the NICMOS Group (STScI, ESA), and the NICMOS Science Team (University of Arizona)



ULIRGs Beobachtungen

- ULIRGs beobachtbar bei geringen und hohen Rotverschiebungen
- Waren häufiger in der Vergangenheit (d.h. bei hohen Rotverschiebungen)
 - Die Anzahl steigt an von $(1 + z)^4$ zu $(1 + z)^7$
- ULIRGs können *warm* oder *kalt* sein:
 - kalt ($f_{25\text{mm}} / f_{60\text{mm}} < 0.2$)
 - warm ($f_{25\text{mm}} / f_{60\text{mm}} > 0.2$)



Die lokalen ULIRGs

- Sind genauso häufig wie Quasare
- Über 50% beinhalten AGN
 - nur 5% sind moderat leuchtkräftige Infrarot Galaxien
 - Fast alle verschmelzen gerade
 - Von 118 detektierten ULIRGs wechselwirkt nur eine einzige NICHT
- Molekulares Gas in den Zentren
- Winde (bis zu 300-400 km/s)
- Fern Infrarot Leuchtkraft aus den Zentren



Galaxien-Wechselwirkungen und ULIRGs

Sanders et al. vermuten, daß ULIRGs eine Phase in der Quasar-Evolution darstellen:

- Zwei Galaxien verschmelzen

- Sie erzeugen eine starke Sternentstehungsregion und das galaktische Zentrum wird durch Staub verdeckt

- Ein AGN wird “angeschaltet” aber verbleibt verdeckt.
Der beobachtete Staub erscheint wärmer.

- Ein Quasar verbleibt

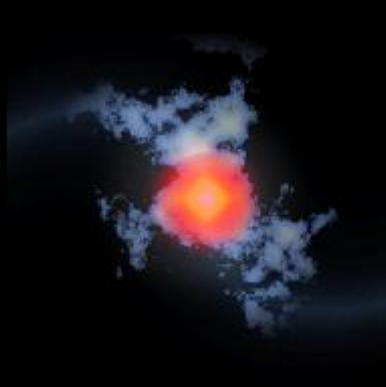
Unterstützt durch hydrodynamische Simulationen



Ausgangs-
Galaxien



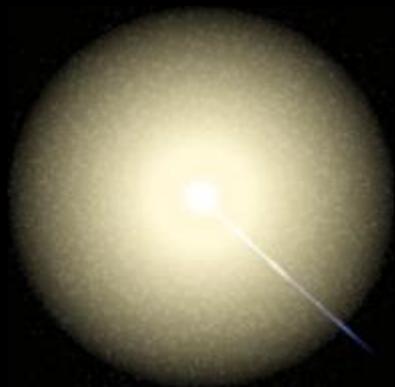
Verschmelzung
und
Sternentstehung



Kalte
ULIRG

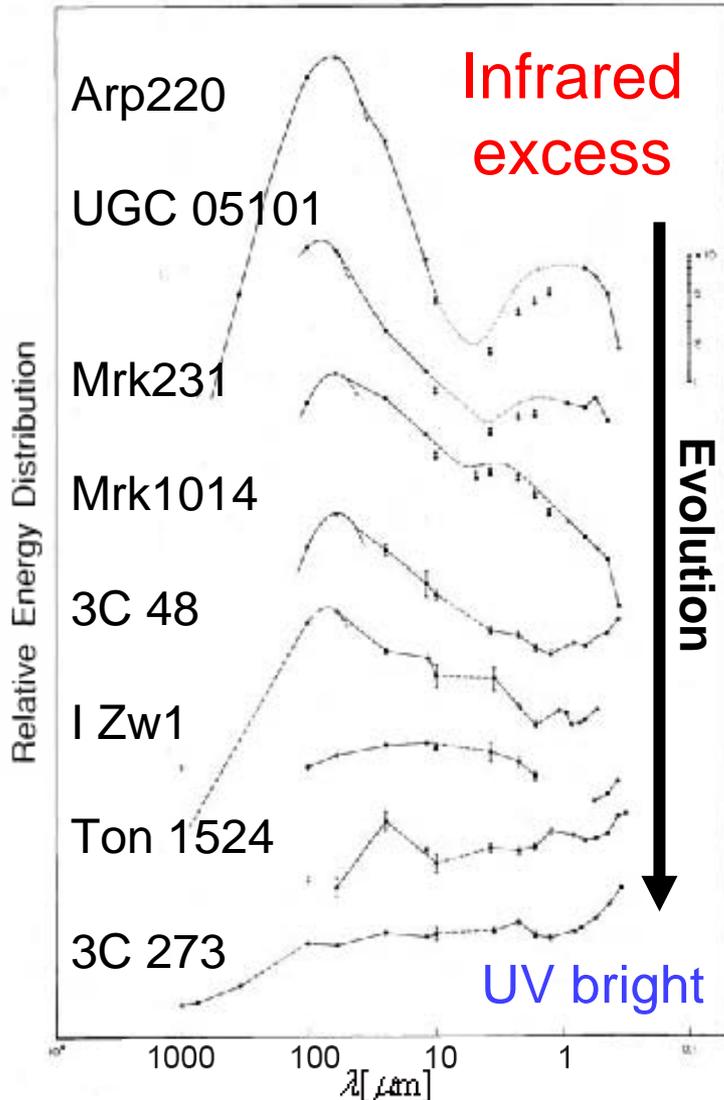


Warme
ULIRG



Elliptisch
mit Quasar

Evolution: From ULIRGs to QSOs



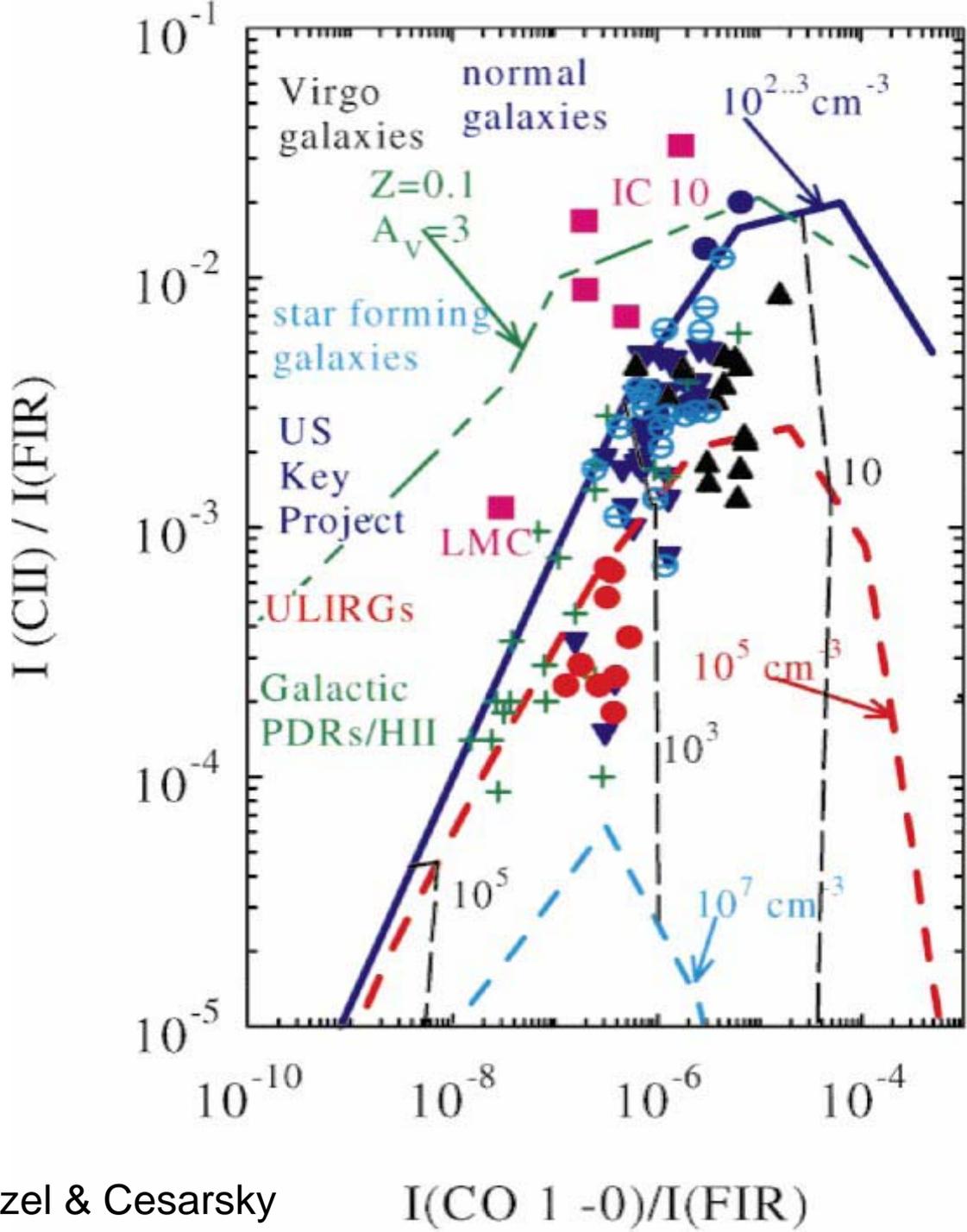
Arp220
best studied &
nearest ULIRG
72 Mpc ($z = 0.018$)



- Brightest object in the local Universe
- 2 colliding spiral galaxies, advanced major merger
- LFIR $\sim 10^{12} L_{\odot}$
- Double Nuclei ~ 350 pc apart
- 2 ~ 100 pc scale disks
- with $\sim 10^9 M_{\odot}$ gas (+ circumbinary disk)

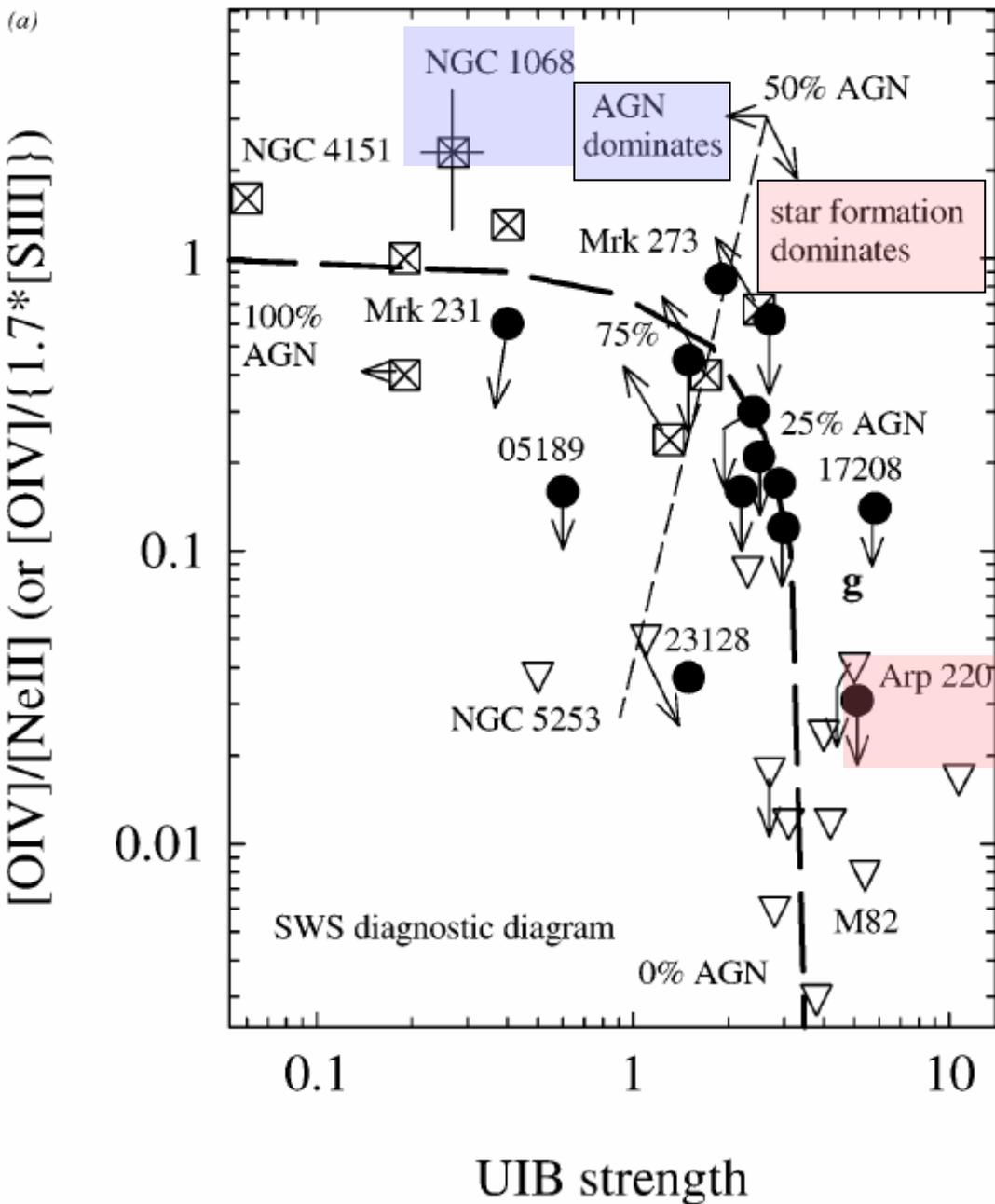
Y-Achse:
 Flußverhältnis von
 Hochangeregten zu
 Niederangeregten mid-IR
 Emissionslinien

X-Achse:
 UIB-Stärke $7.7\mu\text{m}$
 Linien – zu Kontinuum
 Verhältnis



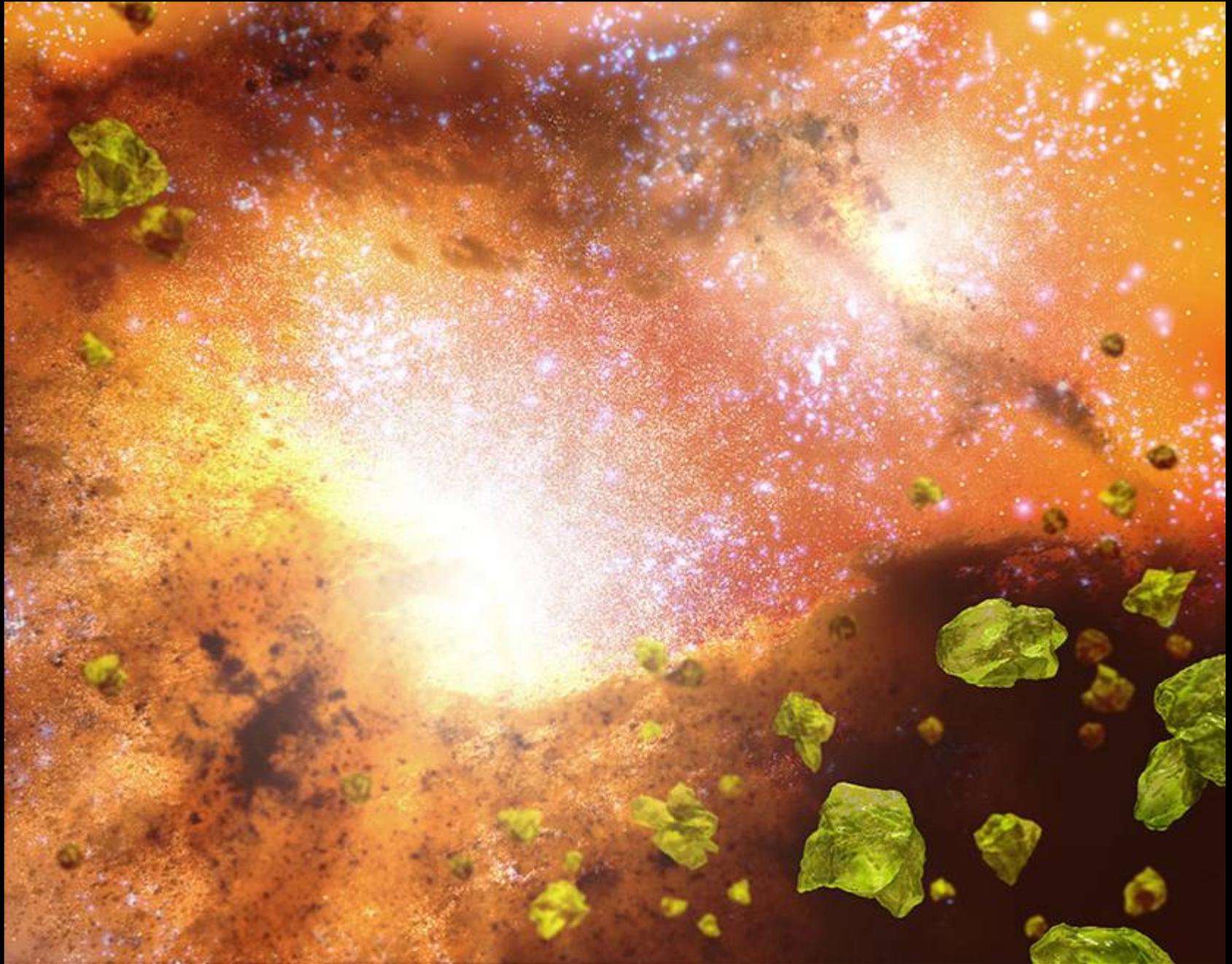
Genzel & Cesarsky

$I(\text{CO } 1-0) / I(\text{FIR})$



- ULIRGs are composite objects, star formation dominates in most objects
 - < 30% AGN
 - $\geq 70\%$ star formation

Credit: NASA/JPL-Caltech/T. Pyle (SSC)





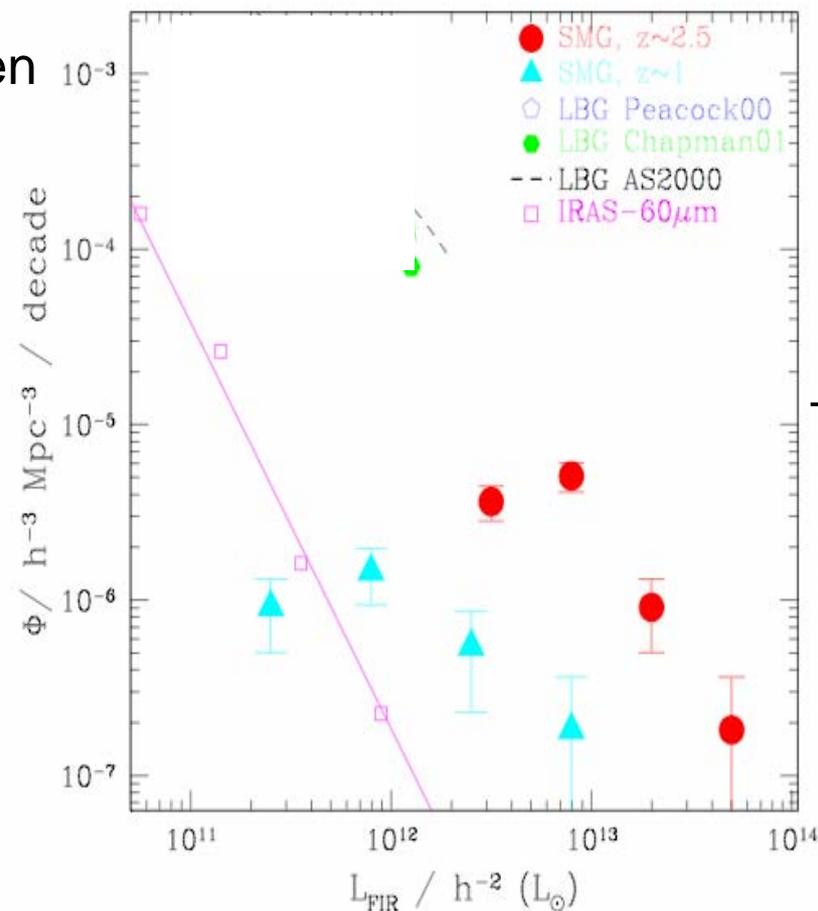
Ultraluminous Infrared Galaxies

Hochrotverschobenes Analogon vergleichbar
In der Häufigkeit in submm Durchmusterungen
(SCUBA/MAMBO)

Stark absorbierte Objekte stellen
signifikanten
Anteil an der Sternentstehung
bei einigen z dar

Schlüsselphase für das Wachstum der
Elliptischen Galaxien und massiven
Schwarzen Löcher?

(e.g., Sanders et al. 1988;
Kormendy & Sanders 1992)



Chapman et al. 2004



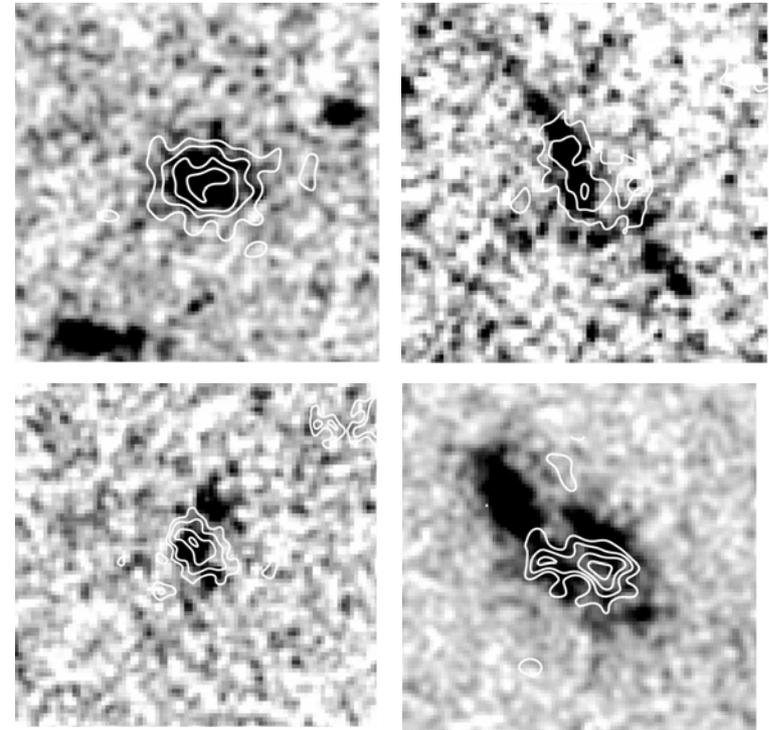
Submillimeter Galaxien (SMGs)

- Finden sich bei hohen Rotverschiebungen ($z > 2$)
 - In ihrem Bezugssystem wäre der Hauptteil der Leuchtkraft im Infrarot-Bereich
 - Die meisten dieser Quellen sind hochrotverschobene ULIRGs
- Sind verantwortlich für den kosmischen Infrarot-Hintergrund
- $L_{\text{bol}} > 10^{12} L_{\text{sonne}}$



Submillimeter Galaxien beobachten

- Kaum Auflösung im fernen Infrarot
- Radio Emission nutzen um das ferne Infrarot zu finden



Four submillimeter galaxies. Background is UV, foreground contours are radio.

Credit: S. C. Chapman et al., “Evidence for Extended, Obscured Starbursts in Submillimeter Galaxies”



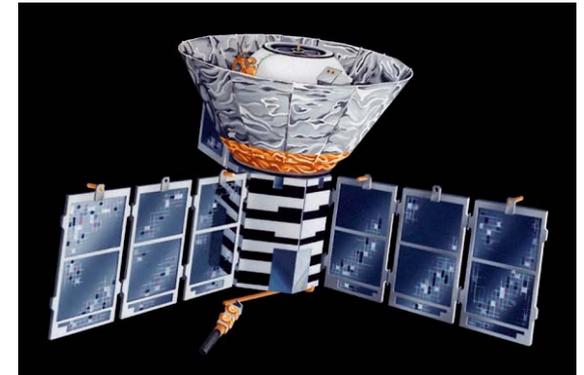
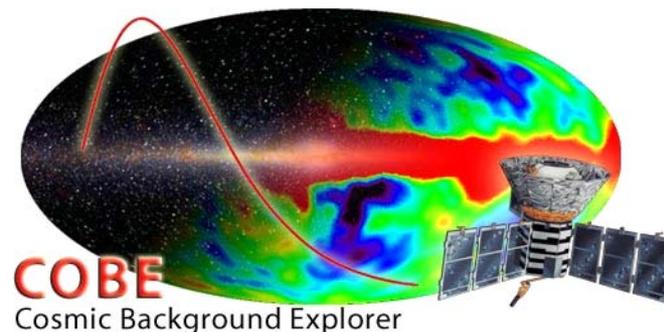
Sternentstehung in SMGs

SMGs sind offensichtlich Irreguläre Galaxien

Die meisten sind in heftiger Sternentstehung begriffen

- Sehr ausgedehnte Fern-Infrarot Emission
 - $1000 M_{\text{sun}} / \text{Jahr}$
 - Sternentstehung dehnt sich über kpc vom Kern aus
- Einige ($\sim 1/3?$) weisen auf das Zentrum konzentrierte Fern-Infrarot Emission auf,
entweder von nuklearen Sternentstehungsregionen oder von AGN

Der Großteil der Sternentstehung bei hohen Rotverschiebungen passiert in SMGs





Zusammenfassung: ULIRGs

ULIRGs gehören zu den hellsten Objekten im Universum

Die allermeisten sind gerade in WW begriffen

ULIRGs werden normalerweise durch starke Sternentstehung angetrieben, mit einer AGN-Komponente

Entfernte ULIRGs haben große Sternentstehungs-Regionen

ULIRGs könnten die Phase der Entstehung von elliptischen Galaxien und AGN darstellen



ULIRGs

- Das mittlere Spektrum der ULIRGs ist starburst-artig
- AGN-Fraktion scheint mit der Leuchtkraft anzusteigen
- Kein offensichtlicher Trend für die AGN zu dominieren mit abnehmendem Abstand der beiden Kerne
- Harte Röntgenstrahlung: kein Hinweis darauf, daß AGN durch die Infrarot-Beobachtungen übersehen wurden
- Keine Korrelation zwischen Gas-Inhalt/Masse des ULIRG und der Merger-Entwicklungsphase
- Vermutlich mehrere Sternentstehungsphasen in der Merger-Evolution
- Die stärksten Sternentstehungsphasen vermutlich wenn die Kerne verschmelzen und das Gas am stärksten komprimiert wird
- ULIRGs werden erst in den letzten 20% einer Merger-Geschichte angeschaltet
- ULIRGs durchlaufen KEINE offensichtliche Metamorphose von einem Sternentstehungs-dominierten Objekt wechselwirkender Galaxien zu einem „nackten“ Quasar am Ende der merger-Phase

ULIRGs: wichtige, noch ungeklärte, Fragen

- Wie sehen die Verteilung, Kinematik und die physikalischen Bedingungen im dichten molekularen Gas in ULIRGs aus?
- Wie sieht die Verteilung des Staubs in den ULIRGs aus?
- Ändern sich die Gas-Eigenschaften wenn der Wechselwirkungsprozess voranschreitet? Wie?
- Sind die Eigenschaften des dichten Gases in lokalen ULIRGs vergleichbar denen in hochrotverschobenen submm Galaxien?

- etc.

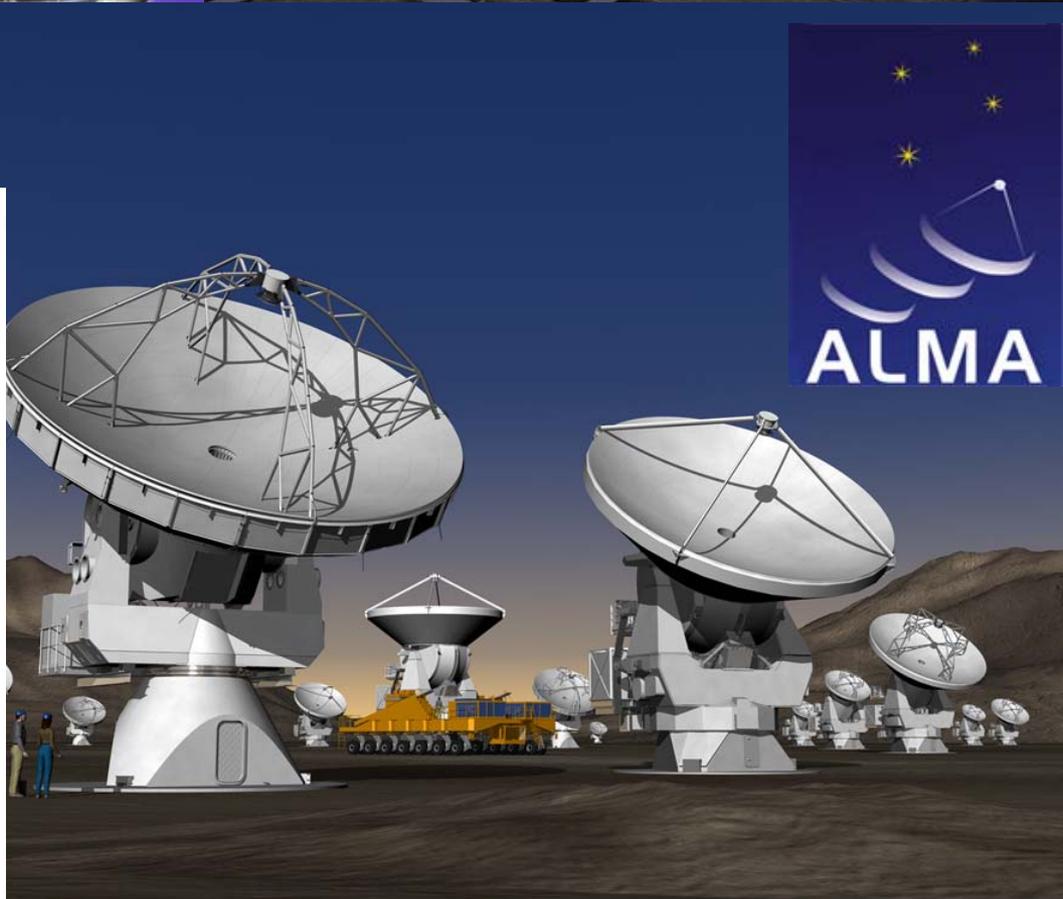
LBT



VLT/VLTI



JWST

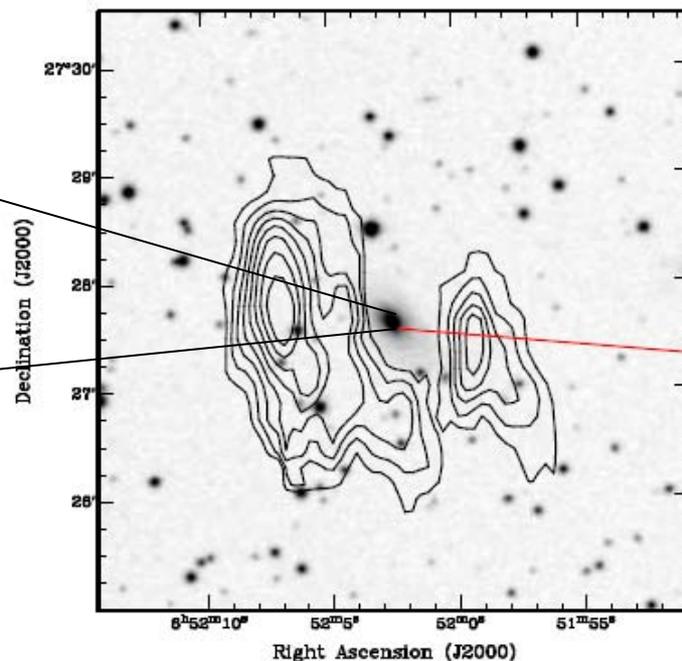
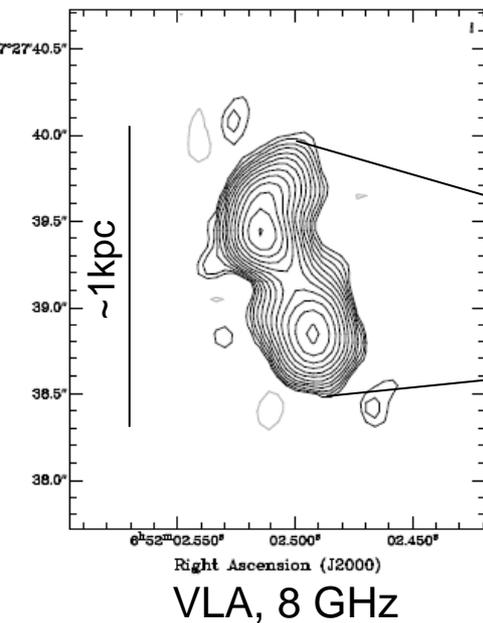




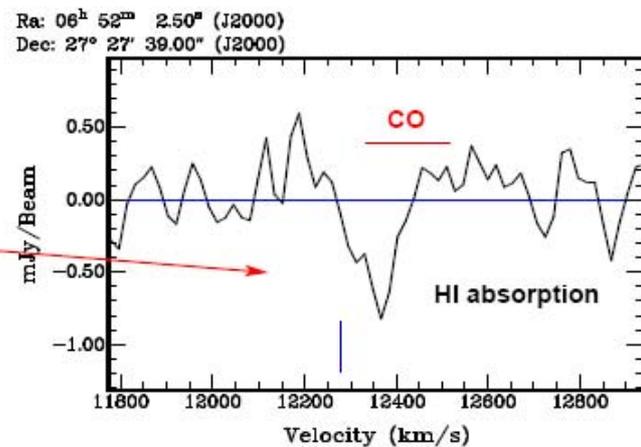
Material-Transport in die
inneren Regionen:
Wie werden AGN gefüttert?



B2 0648+27: Radio galaxy in major merger



Total HI intensity + SDSS



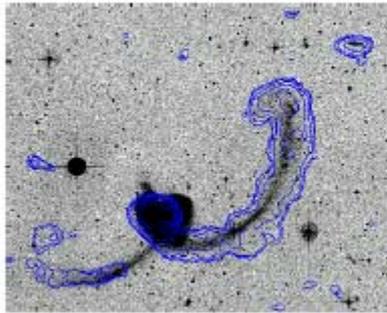
Morganti et al. 02

- $z = 0.0409$; luminous elliptical galaxy, young stellar population
- Atomic neutral gas phase:
 - HI in very extended disk or ring-like structure (160kpc); $M_{\text{HI}} = 1.1 \times 10^{10} M_{\odot}$
 - CO closer to nucleus compared to HI: difference in location
- Major merger event 10^9 yr ago
- Strong radio source

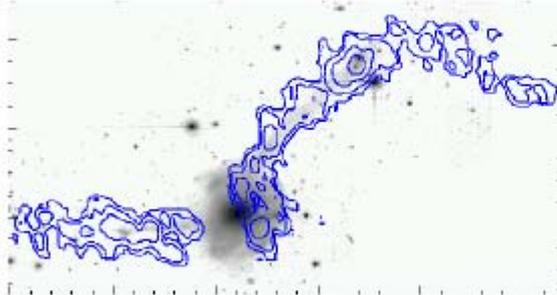


From interaction to activity?

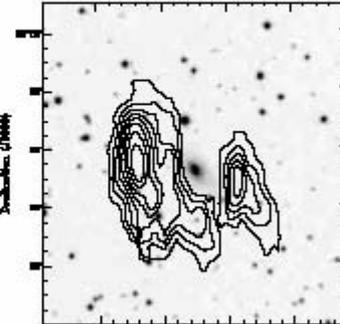
An evolutionary sequence?



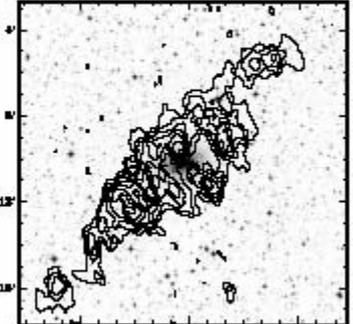
Antennae



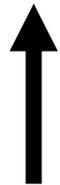
NGC 7252



B2 0648+27



NGC 5266



Interacting Galaxy
still two galaxies
starburst, HI in long tidal arms

Later phase: central source
already elliptical, HI in tidal arms a
large distances, gas in centre main
star formation, strong infrared

Early type Galaxy,
HI falls back, Galaxy
forms disk- or ring-like
structure, star formation
reduced, no AGN
detected

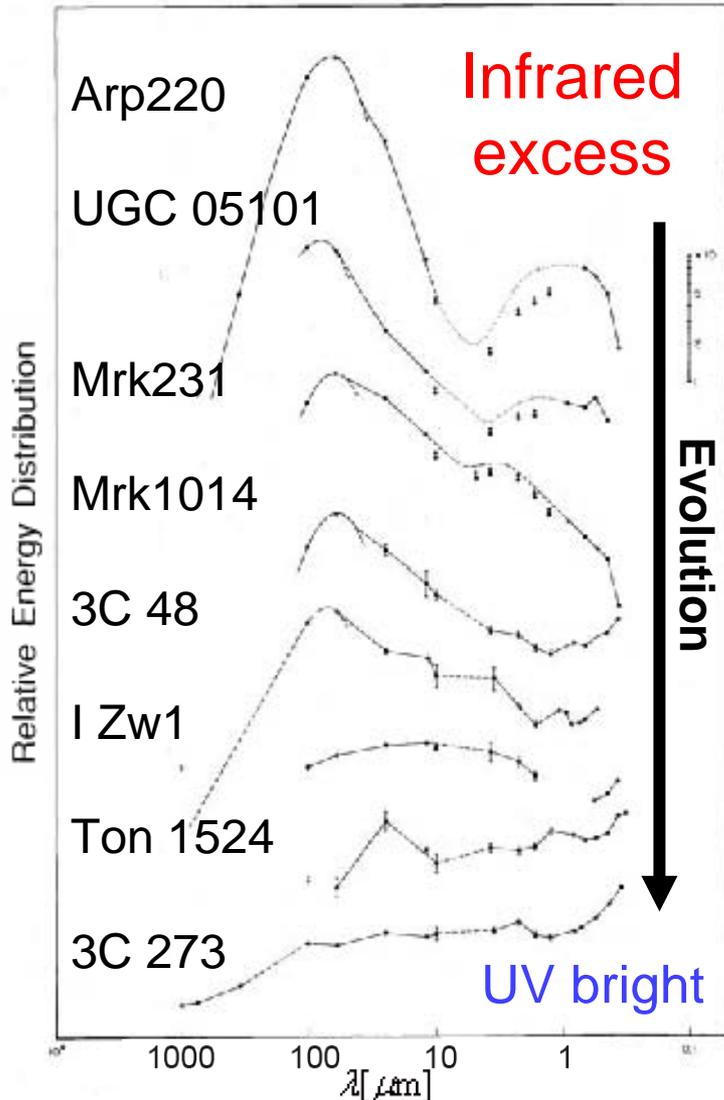
Intermediate phase
AGN-Activity



Problems with „feeding“ the AGN

- **Problem of angular momentum removal:** AGN fuelled with material away from gravitaitonal field of Black Hole
- **Weak correlation between 1kpc-scale perturbations and activity** in „Local Universe“ AGN
- Critical scale for AGN „feeding“ <100 pc. AGN duty cycle is short!
- Important: to search for a correlation with „secondary instabilities“ from 1kpc to <100 pc:
 - Nuclear bars?
 - Spiral gas waves?
 - Nuclear warps?
 - etc.
- Different mechanisms for fuelling Active Galactic Nuclei
- CO is the best tracer of the distribution and kinematics of molecular gas in the circumnuclear region =>
 - deep interferometric CO surveys required (e.g. NUGA)
 - Multiwavelength approach (radio, optical, infrared, continuum, lines)

Evolution: From ULIRGs to QSOs

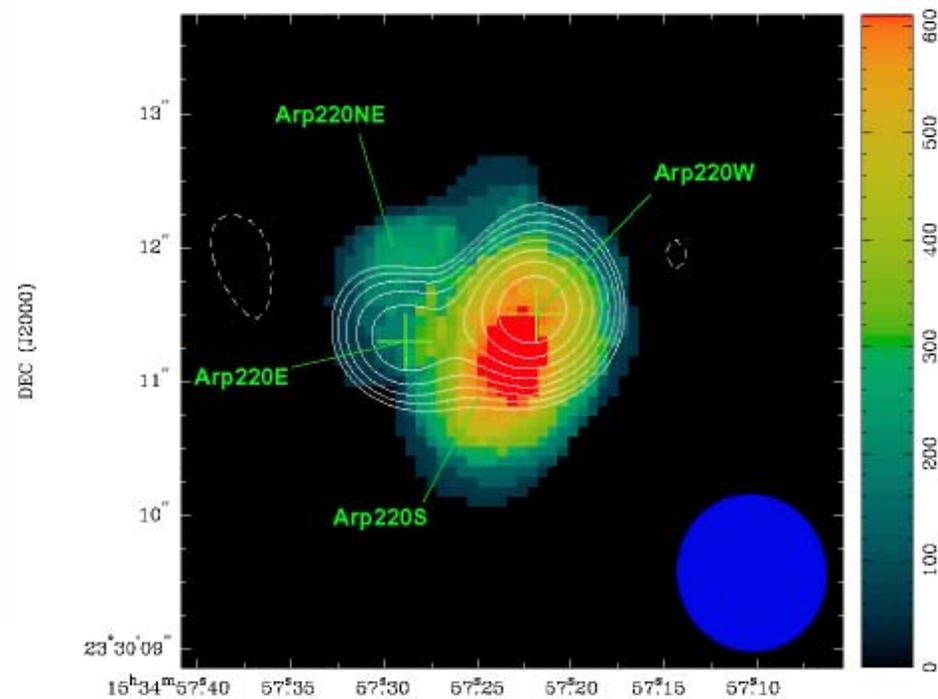
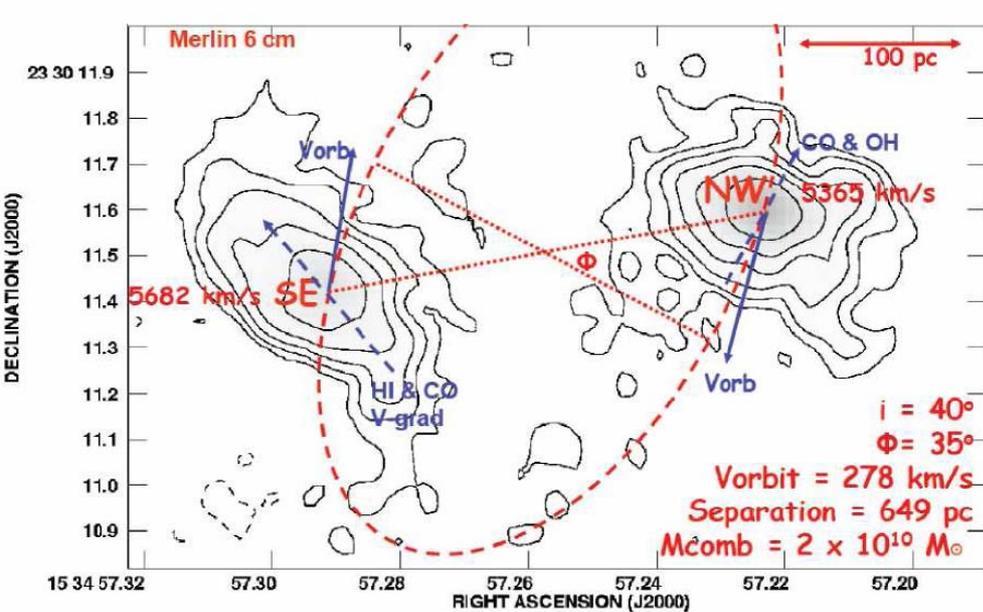


Arp220

best studied &
nearest ULIRG
72 Mpc ($z = 0.018$)



- Brightest object in the local Universe
- 2 colliding spiral galaxies, advanced major merger
- LFIR $\sim 10^{12} L_{\odot}$
- Double Nuclei ~ 350 pc apart
- 2 ~ 100 pc scale disks
- with $\sim 10^9 M_{\odot}$ gas (+ circumbinary disk)



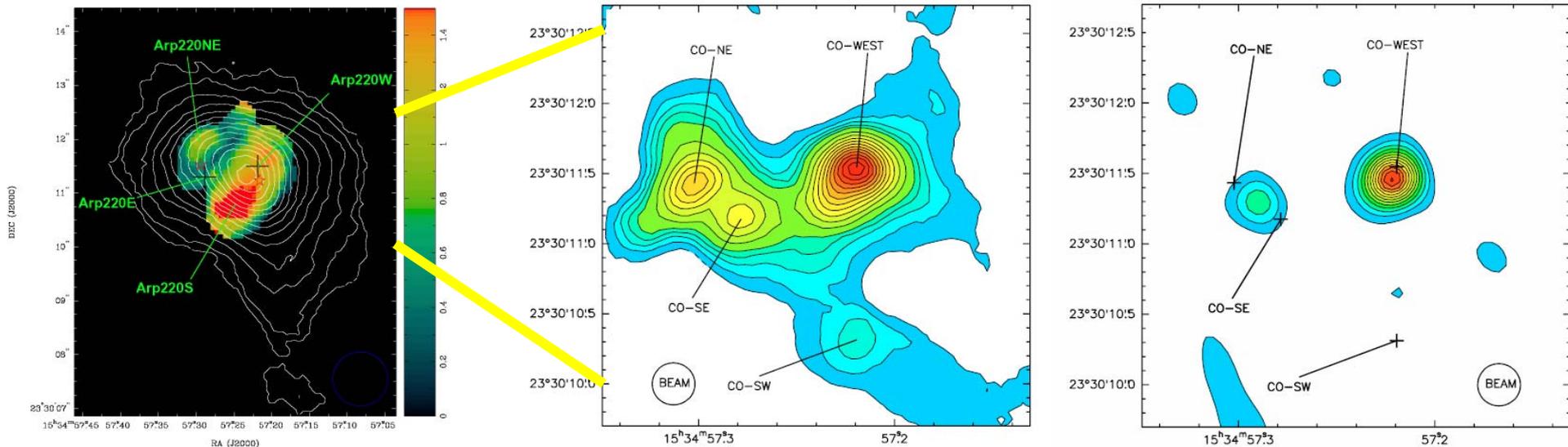
CO (J=6-5) line emission
and continuum emission (contours)
SMA Zhao & An 08

Merlin 6cm, Baan 07

- 2 radio-continuum and 2 IR sources, separated by ~ 1 arcsec (e.g., Scoville et al. 1997, Downes et al. 1998, Soifer et al. 1999, Wiedner et al. 2002).
- Radio sources are extended and nonthermal (e.g., Sopp & Alexander 1991; Condon et al. 1991; Baan & Haschick 1995), and likely produced by supernovae in the most active starforming regions.
- CO line, cm, mm-, and sub-mm continuum (e.g., Downes & Solomon 1998) as well as recent HCN line observations (e.g., Gao & Solomon 2004a,b) are all consistent with these two sources being sites of **extreme star formation and having very high molecular densities.**



Arp 220: Black Hole in West nucleus



Intensity ratio map of ^{12}CO J=6-5/J=3-2 lines overlapped with ^{12}CO J=3-2 velocity integrated intensity (contours)

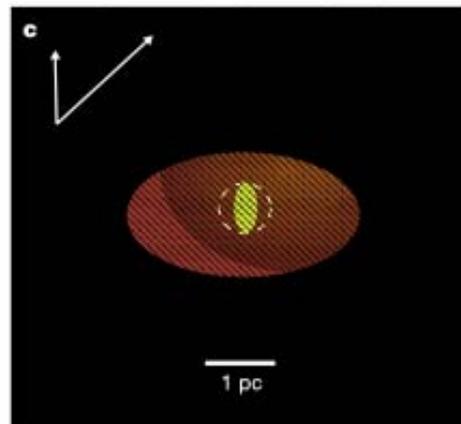
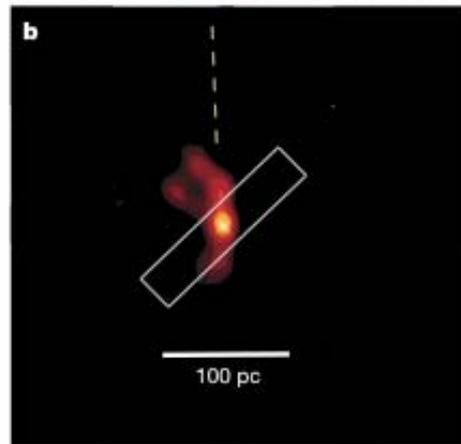
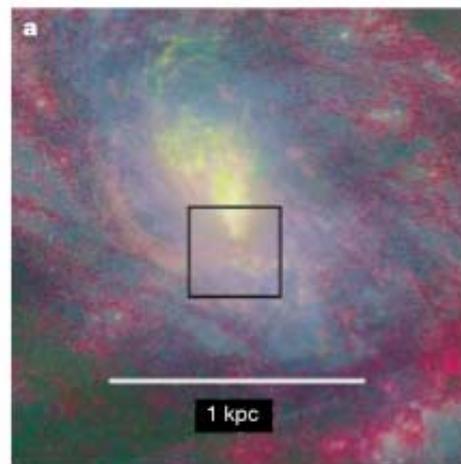
CO(2-1)

Continuum at 1.3 mm

Downes & Eckart 07

Zhao & An 08

- Continuum, mainly dust emission at 1.3 mm, does not trace the same matter as the CO(2-1) !!
- CO in larger ring or disk around the compact dust core
- Strong temperature gradient from hot dust ring to cooler molecular disk: **heating should come from AGN accretion disk** (completely invisible in optical), Downes & Eckart 07



NGC 1068

~ 300-800 K Staub

Ist aufgelöst mit dem VLT Interferometer auf
Skalen einiger pc

Jaffe et al. 2004

NGC 1068 (Seyfert 2)

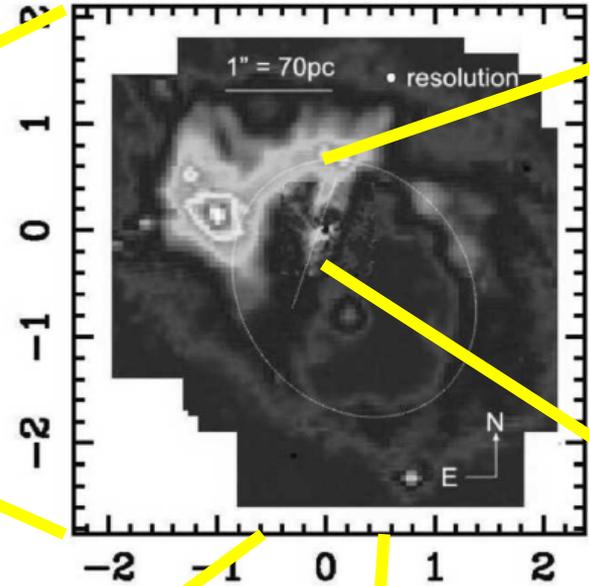
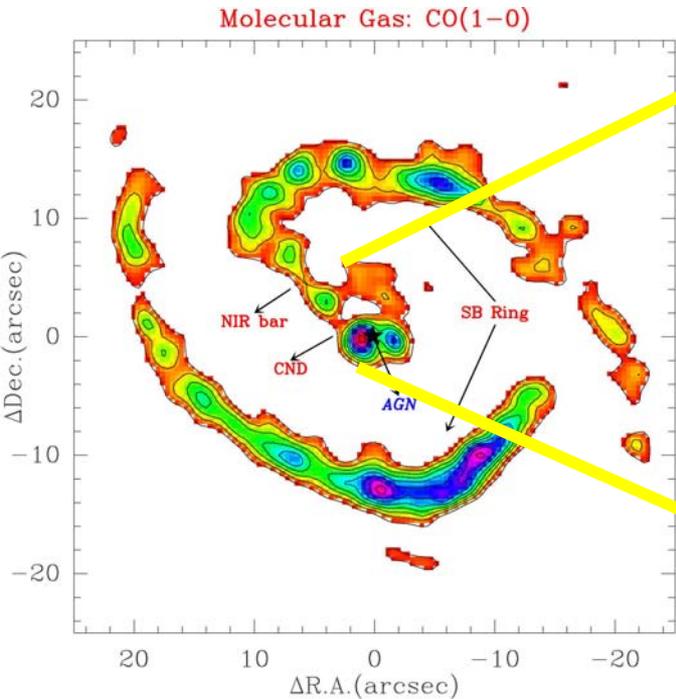
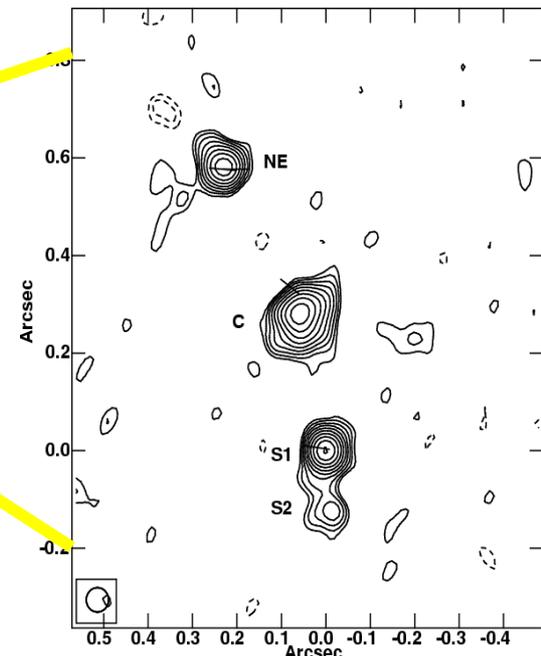


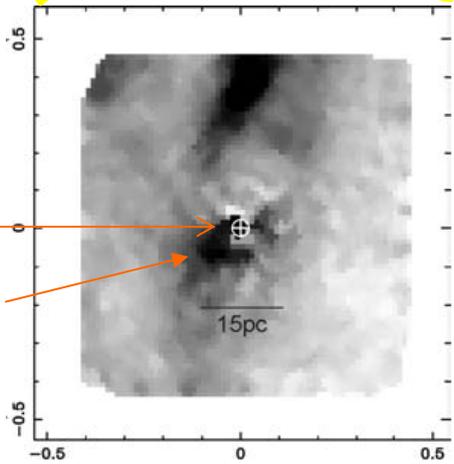
Fig. 2. SINFONI H₂ 10S(1) flux map of the central 4" × 4" of NGC 1068.
Genzel et al. 2008



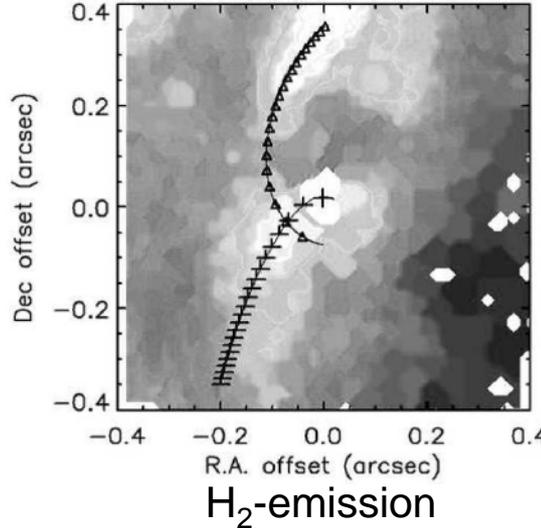
VLA at 43 GHz;
Cotton et al. 2008

PdBI; Schinnerer et al. 00

Near-infrared nonstellar continuum: AGN
First direct image of the torus!?



Davies et al. 07



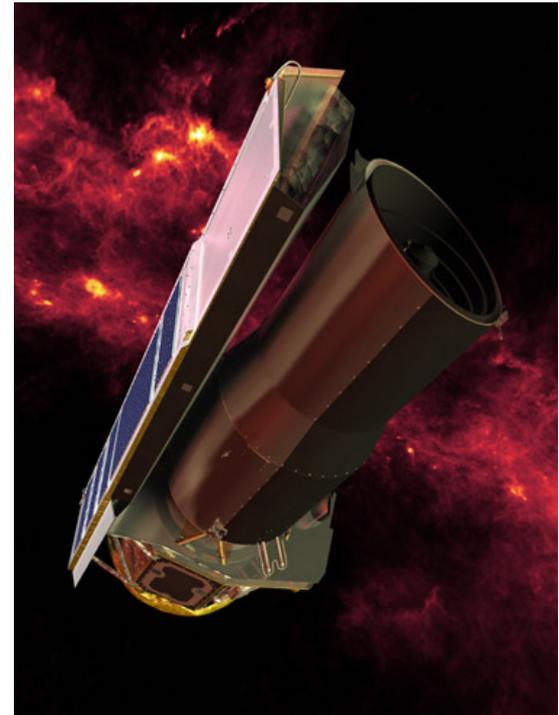
Müller-Sánchez et al. 08

SWIRE

Spitzer Wide-area InfraRed Extragalactic survey



The Spitzer SWIRE Legacy Program Spitzer Wide-Area Infrared Extragalactic Survey



SWIRE

The Infrared Local Universe



ELAIS N1 & N2

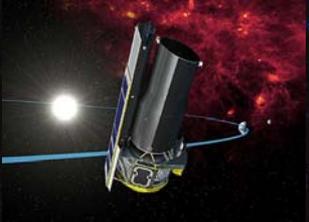
Lockman Hole



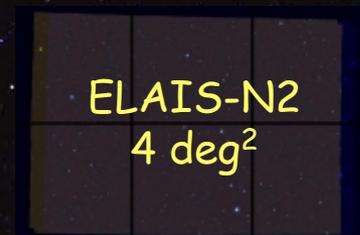
XMM

ELAIS S1

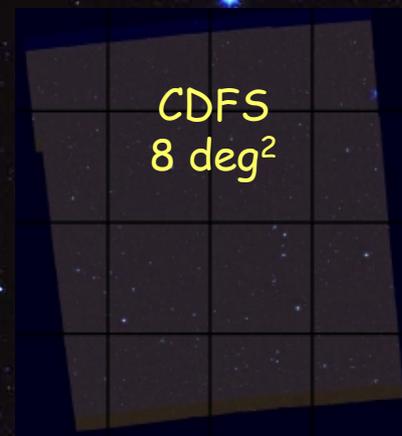
Chandra-S



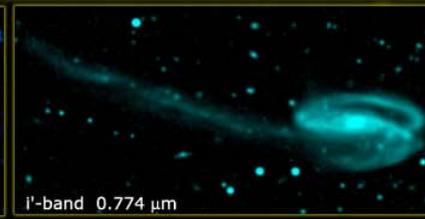
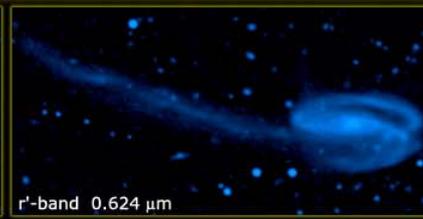
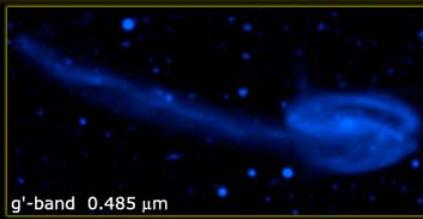
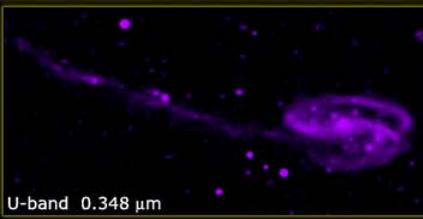
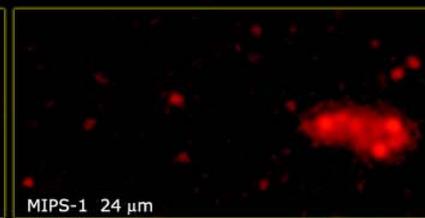
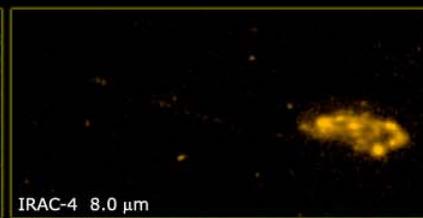
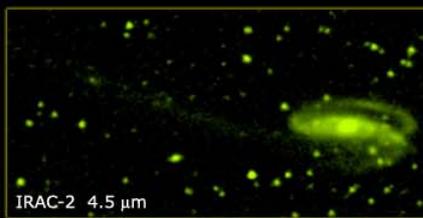
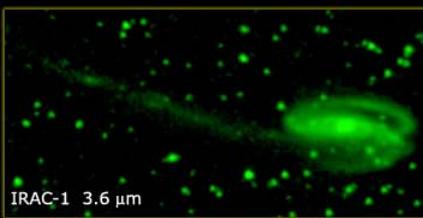
Exploring the Wide Universe ... how wide?

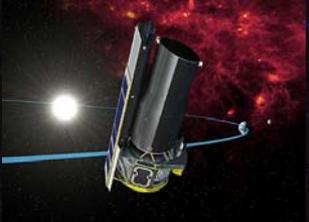


49 deg²



⇒ 2 Million Galaxies up to $z=3$ & hundreds of 100 Mpc scale cells





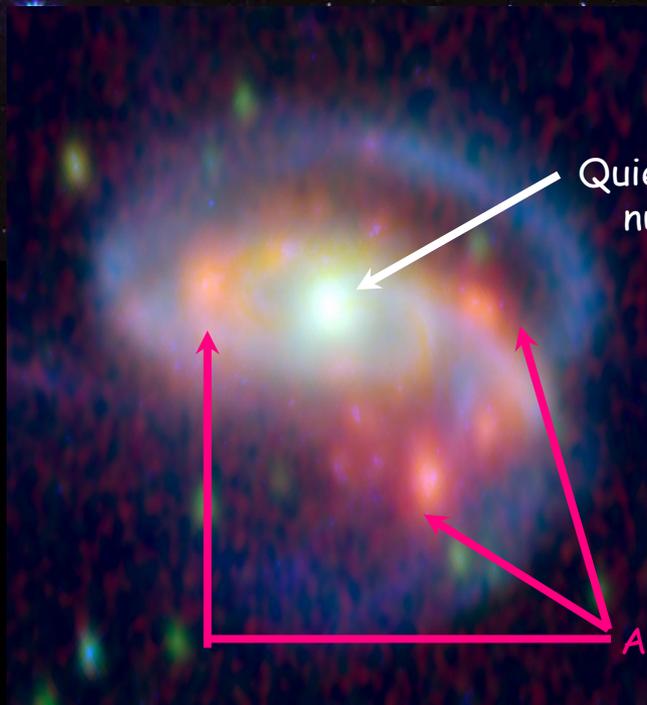
SWIRE investigates star-formation activity in nearby galaxies



Disk and off-nuclear Starburst activity in the Tadpole Galaxy (Jarrett et al., 2006, AJ, 131, 261)

Images: U g r i 3.6 4.5 8.0 24 μm

Disk+
Nucleus
HST g IRAC
3.6 μm MIPS
24 μm



Quiescent nucleus

Active Star-forming regions

EXIST

Energetic X-ray Imaging Survey Telescope



- Röntgenmission im harten Röntgenbereich
- Den gesamten Himmel in einer tiefen Durchmusterung untersuchen
- Ein Kandidat für die „Black Hole Finder Probe“ des „Beyond Einstein“ Programms der NASA
- Könnte 2015 gestartet werden
- Schwache, hoch-energetische Röntgenquellen im Bereich 3-600 keV, wichtig für die Suche nach Schwarzen Löchern (auf allen Massenskalen)

EXIST

Energetic X-ray Imaging Survey Telescope



Wieviele Schwarze Löcher -
- auf allen Größen-Skalen
- in allen Leuchtkraft-Klassen

Um universellen Eindruck der
-Anzahl Schwarzer Löcher und
-der total abgestrahlten Energie
zu ermitteln

EXIST

Energetic X-ray Imaging Survey Telescope



Black holes are best revealed by their accretion of matter, which often obscures them except at “hard” X-rays (>10 keV)

Hard X-ray (HX) band is still poorly explored, but the promise of rich source counts and physics has been revealed by pathfinder coded aperture imaging missions **INTEGRAL** and **Swift**

BHs are inherently time-variable; and some classes (luminous obscured quasars) are rare: need All-Sky, All-time Surveys with >10 - $20X$ previous sensitivity (for sample) and $<10''$ positions

EXIST (Energetic X-ray Imaging Survey Telescope), recommended by AANM Decadal Survey, provides science and mission best matched to BHFP and highly complementary to future missions:

- BH survey for detailed spectroscopy with **Con-X**
- Tidal disruption of stars onto massive BHs: trigger for **LISA**
- Essential HX spectra to measure IR background with **GLAST**
- Trigger deep mid-IR spectroscopy of $z >7$ -10 GRBs with **JWST**

***EXIST* Science objectives**

(from the earliest stellar BHs to supermassive BHs in Galaxies)

Obscured SMBHs and origin of the Cosmic X-ray Bkgd

Dormant SMBHs (tidal disruption of stars & **LISA** triggers)

SMBH masses & spins from timing & spectra

Blazar spectra from **EXIST** vs. **GLAST**: Cosmic IR Bkgd

GRBs from $z \geq 7-10$: birth of 1st BHs & probes of universe

Nature/number of BHs (vs. NSs, WDs) in Galaxy

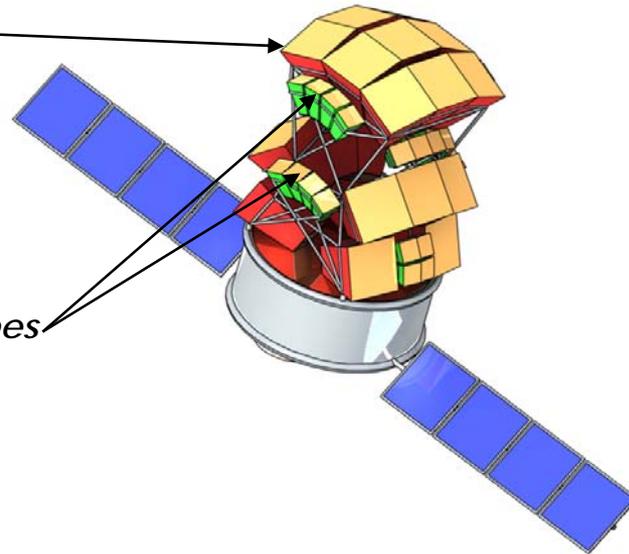
Overview of *BHFP-EXIST* Science and Design

Hard X-ray (~3-600 keV) all-sky imaging *each orbit* to measure:

- GRBs out to $z \sim 20$ and *first stellar Black Holes* (~5-20X *Swift* sensitivity)
- Obscured AGN and accretion (BHs) vs. nuclear (stars) luminosity of universe
- Stellar Black Holes in Galaxy & IMBHs in Local Group & BHs

High Energy Telescopes
HET (10-600keV)
(Array of 19 coded aperture telescopes;
154° x 65° FoV)

Low Energy Telescopes
LET (3-30 keV)
(Array of 32 coded aperture telescopes;
160° x 64° FoV)



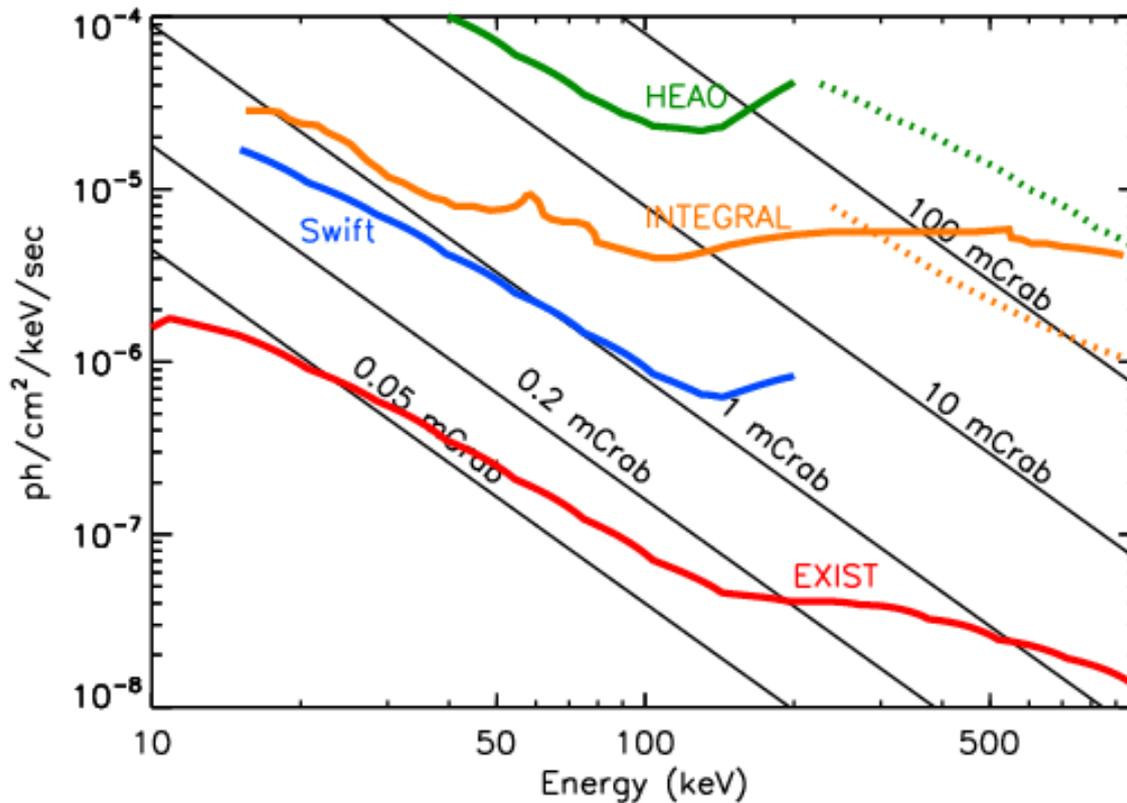
EXIST measures Cen-A every orbit:
characteristic time variability (QPOs)
constrain BH mass and spin

Mission Design parameters:

- Extend ROSAT sens. ($\sim 5 \times 10^{-13}$ cgs) to 3-150 keV with 0.9-5' resolution & $\sim 10''$ positions
- Two wide-field coded aperture telescopes: 10-600 keV ($6m^2$ CZT) & 3-30 keV ($1.3m^2$ Si)

EXIST Survey Sensitivities vs. previous missions

(5σ survey threshold, 1 year survey, full-sky)



5σ in 1 yr (calendar) sensitivities over band $E_{\text{low}} \rightarrow 2E_{\text{low}}$ with 20% duty cycle:

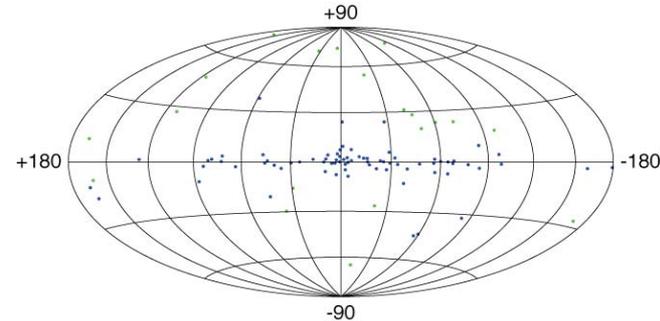
- 0.05mCrab = 5×10^{-13} cgs, ($\sim 20X$ *Swift/BAT*) for LET 3-30 keV & HET 10-100 keV
- ~ 0.5 mCrab = 5×10^{-12} cgs ($\sim 20-100X$ *INTEGRAL*) for HET 100-600 keV
- *unique* $\sim 20-40\%$ duty cycle coverage on any source, *full-sky ea. 95min*⁷⁸

Hard X-ray Sky

- Hard X-ray (10-600 keV) sky not yet surveyed to ROSAT sensitivity. *EXIST* would be ~20X more sensitive than *Swift* or *INTEGRAL* and cover full sky
- *EXIST* will detect $\geq 3 \times 10^4$ sources, $\leq 10''$ positions, 3-600 keV spectra
- *EXIST* would provide unique temporal survey: *full sky imaging each orbit*

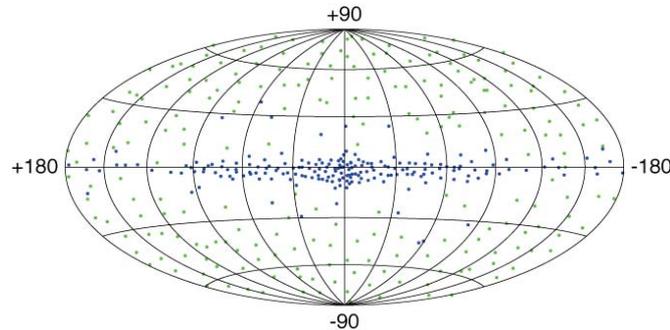
Previous Hard X-ray Sky

HEAO-1, BeppoSAX



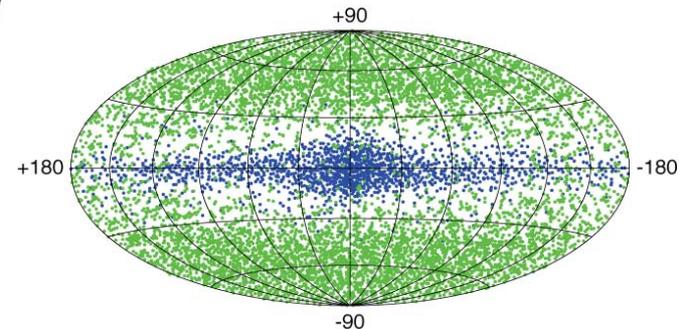
≤ 2010 Hard X-ray Sky

Swift & INTEGRAL



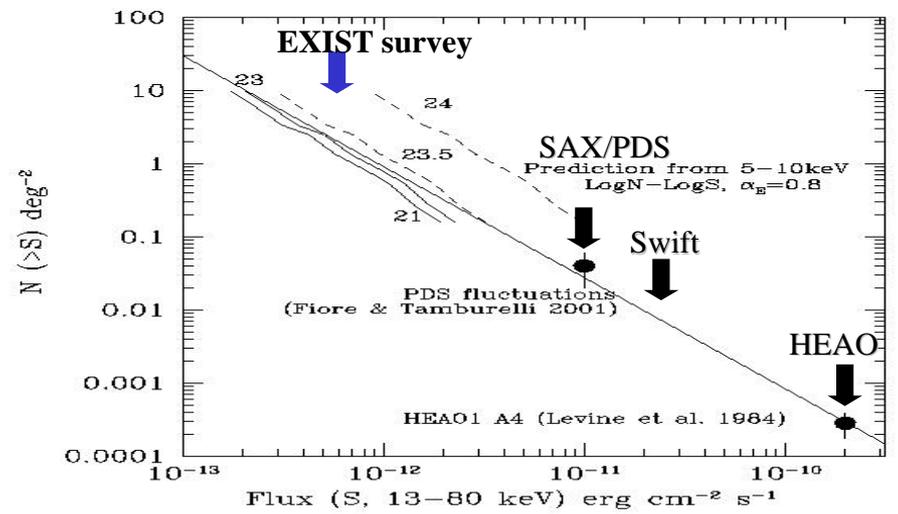
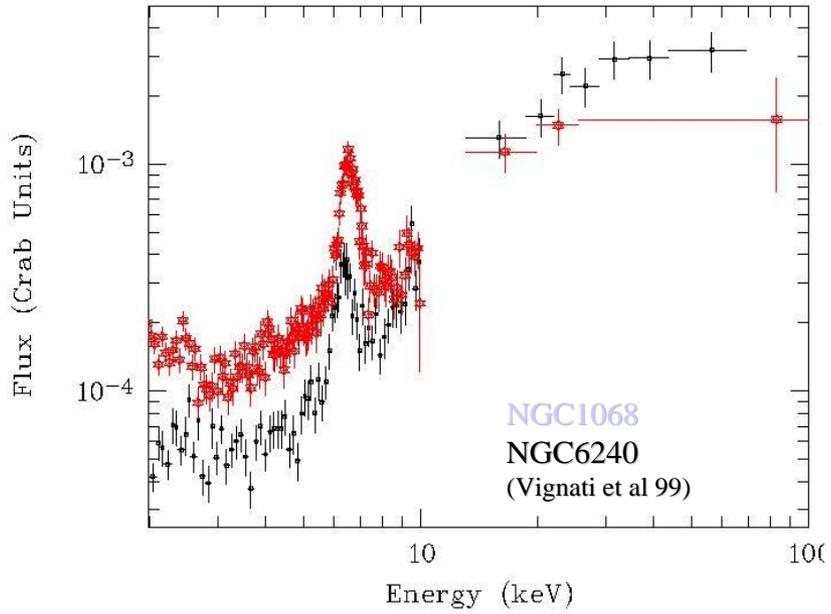
2015(?) Hard X-ray Sky

EXIST



Obscured AGN and origin of the Cosmic X-ray Background

(the cumulative glow of BHs in active galactic nuclei measured by *EXIST*)



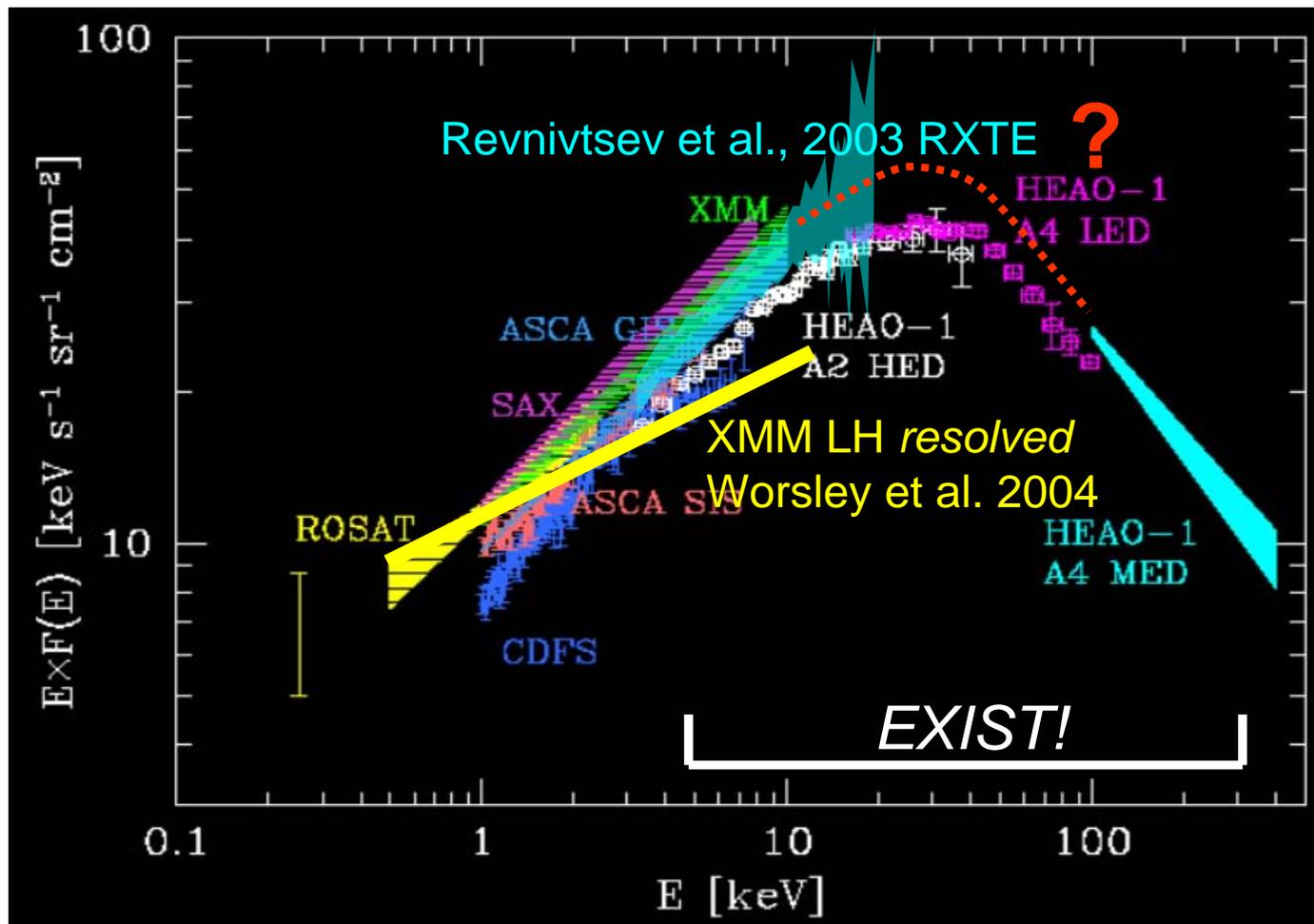
Chandra & XMM surveys find >40% unresolved CXB from obscured AGN but at peak of CXB, $E \sim 20-30$ keV, only ~10% of CXB is resolved!

➡ *EXIST* will find >1-10 obscured AGN/square degree and obtain first *all-sky* measure of Seyfert 2 ➡ QSO 2 luminosity function and constrain obscuration vs. z for supermassive BHs.

All-sky survey needed for rare objects (e.g. Type 2 QSOs) and NH vs. z and L_x

EXIST measures Cosmic X-ray Background from *all* BHs

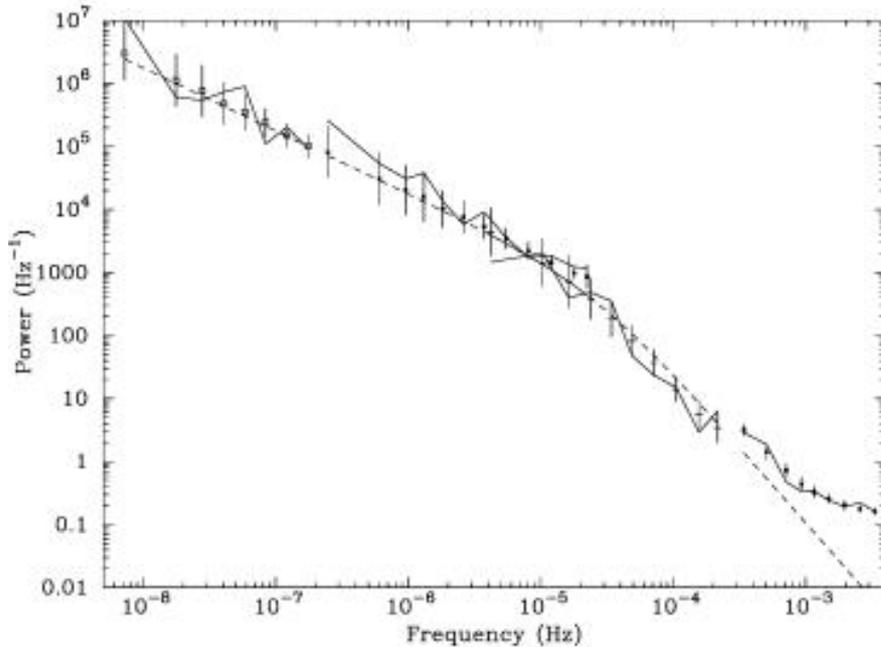
(*EXIST* detector backgrounds *dominated* by CXB from faint AGN)



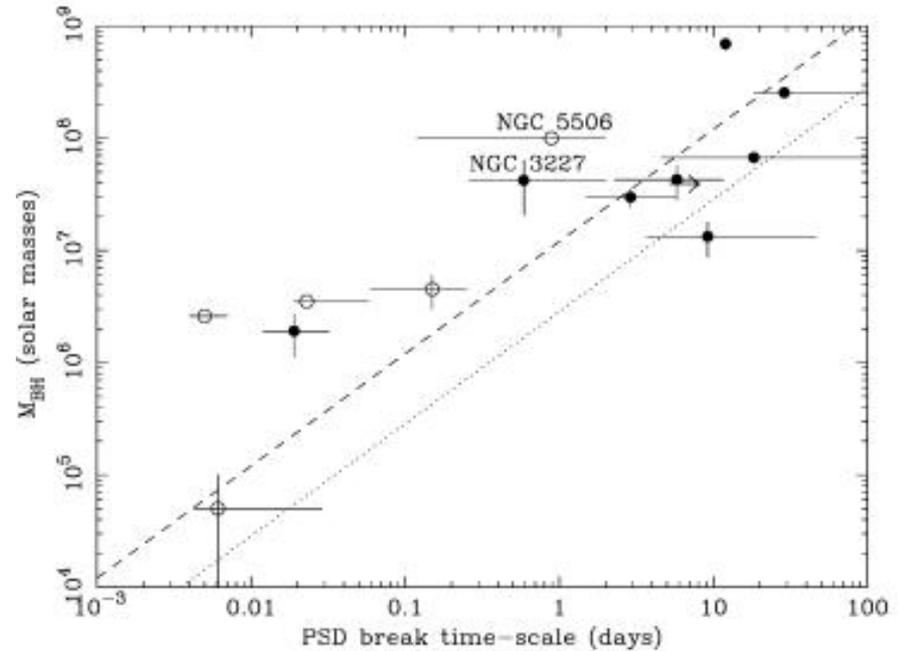
EXIST optimally matched in Energy band to measure still uncertain CXB spectrum, isotropy, and spatial fluctuations with HET (5arcmin) vs. LET (1arcmin). High CXB count rate and HET vs. LET collimator FoVs and continuous scanning allow low-systematics measurements.

AGN variability constrains SMBH masses

(Variability frequencies correlate with BH mass – Uttley & McHardy 2005)



Power spectral density (PSD) for NGC 3227 derived from RXTE (PCA) data.



PSD break vs. BH mass measured from optical reverberation mapping (filled circles).

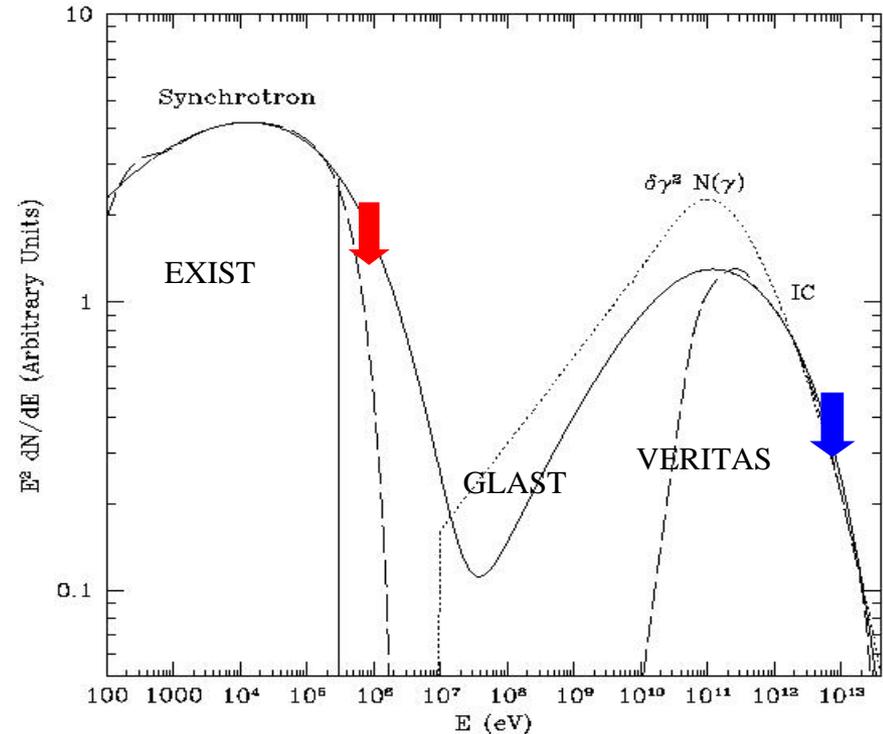
- Pointed X-ray telescopes get very limited samples; <10 thus far!
- *EXIST* will go factor of 10-30X deeper than RXTE and measure variability spectrum for $\geq 10^3$ AGN to give BH masses vs. z and N_H

Blazar Spectral variability

Extragalactic Background Light (EBL): Stellar vs. Accretion Luminosity of Universe

EBL: Hard x-ray (synchrotron) spectral **breaks** (~5-200keV) for *Blazars* at known redshift allow SSC gamma-ray (~10 GeV - 10 TeV) spectral **breaks** measured by *GLAST & HESS/VERITAS* to constrain poorly known diffuse IR background from total stellar light of universe *absorbing gammas to e^+e^-*

Time-variability: spectral breaks *required from simultaneous HX measurements.* Wide-field HX imaging needed for simultaneous X, Gamma-ray observations of Blazars



SSC model for Mkn 501 (Coppi & Aharonian 1999)

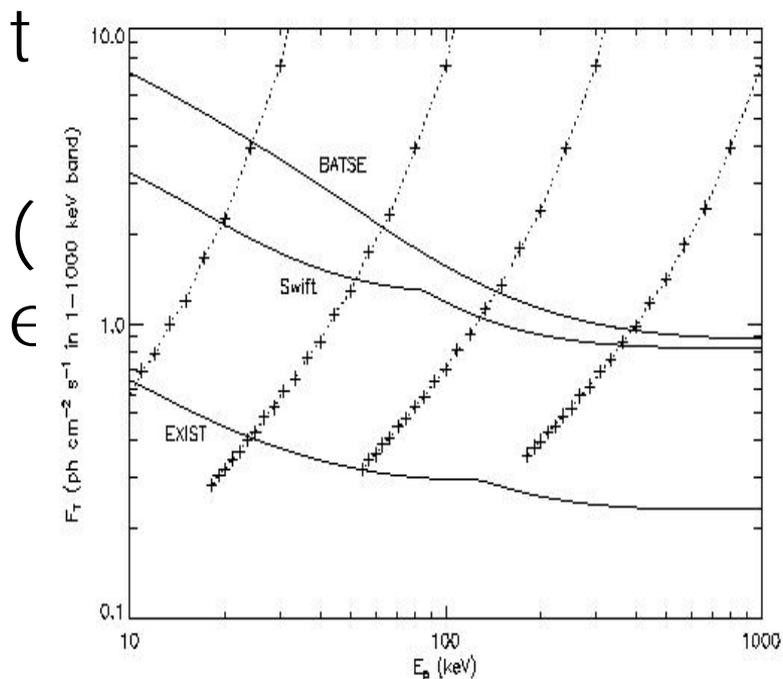
EXIST will provide the continuous HX spectral-monitoring to study Blazars and non-thermal AGN to constrain diffuse IR (~10-100 μ) background from obscured AGN and thus **nuclear vs. accretion luminosity of the universe**

Complements GRB science: star formation vs. redshift from L_{GRBs} vs. z

EXIST measures Gamma-ray Bursts at $z \sim 0.1-15$

(Birth of stellar-mass Black Holes, including the very First?)

- “Long”-GRBs are from SNIb,c & likely due to stellar BH formation \rightarrow
- Likely that first stars were $\sim 100M_{\odot}$ and collapse



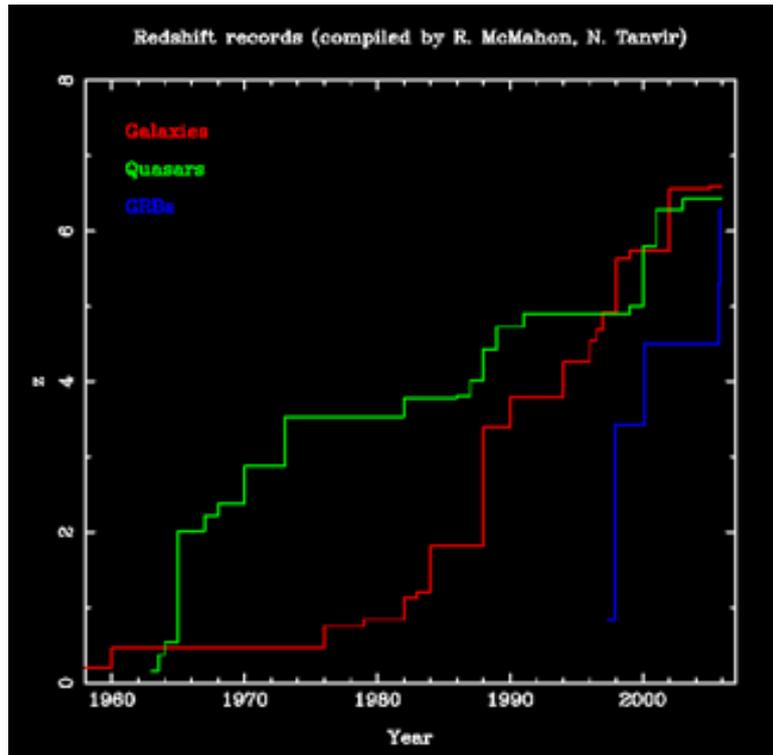
Horizontal curves: flux at detection threshold vs. E_{peak} . Vertical curves: observed flux and E_{peak} for same GRB at $z=1$ (top +) to 10 (bottom +) (Band 2004).

EXIST could detect GRBs to $z \sim 10-15$ from PopIII BHs at re-ioniz. epoch suggested by WMAP.
 rging NSs in globulars
 are Short GRBs
 Photometric z from Lum- E_{peak}
 ular cluster formation?
 \rightarrow need response to $E > 300 \text{ keV}$,
 And from Lum-Variability (Firmani Relation) \rightarrow need large area det.

X-ray flashes and high z GRBs
 \rightarrow need response to $E \sim 3 \text{ keV}$

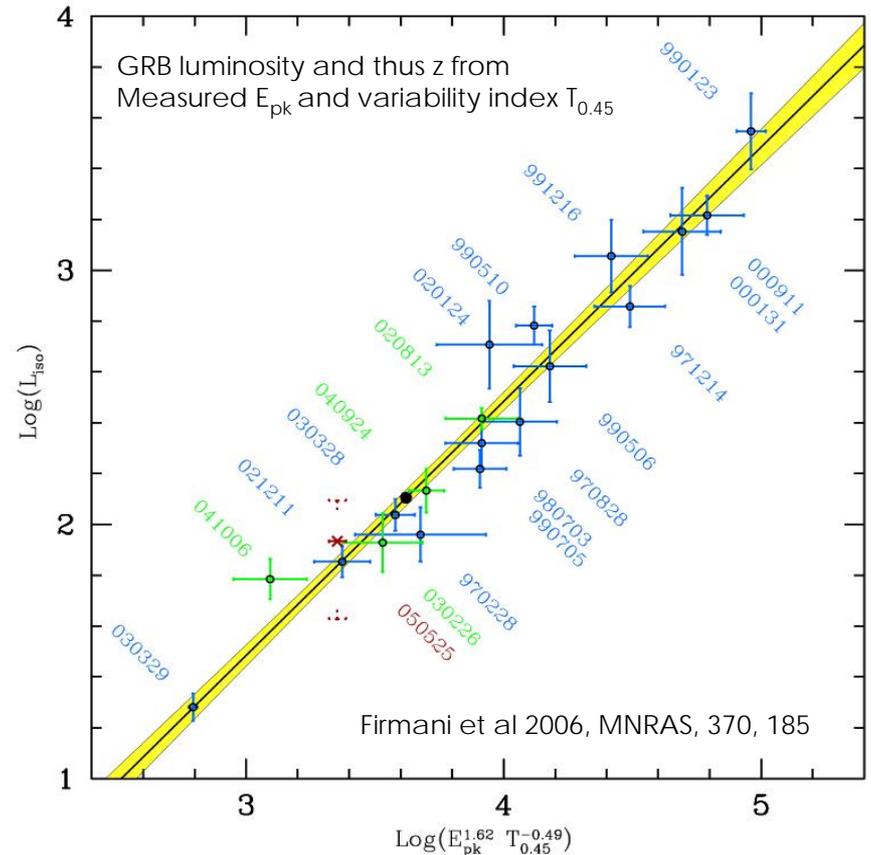
$\sim 5\text{sr}$ instantaneous GRB coverage
 & increased sensivity: $\sim 700 \text{ GRBs/y}$
 \rightarrow capture *rare* (high z ?) events

Most distant stars & galaxies probed by GRBs



Record redshift vs. time: GRBs nearly max!

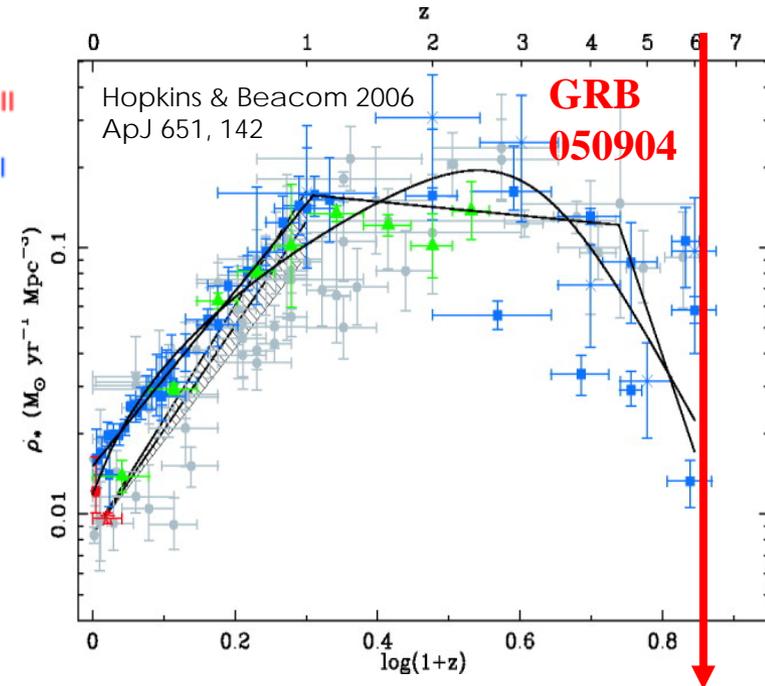
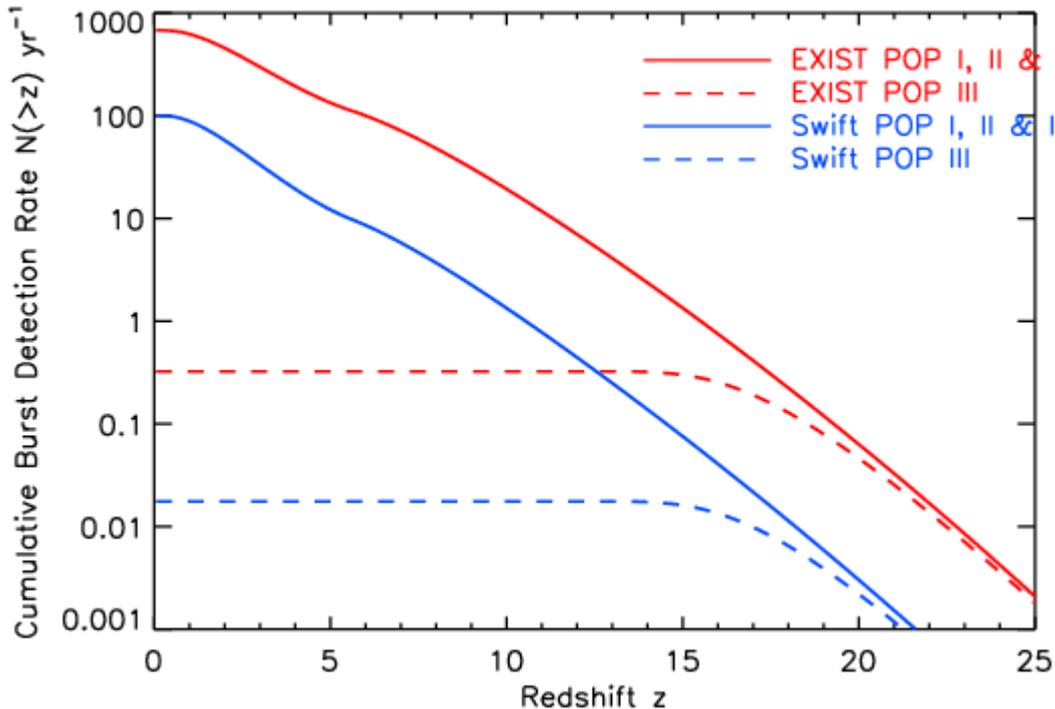
- *Swift* GRB at $z = 6.3$ & Spitzer galaxies at $z \sim 8$ show *GRBs must be detectable out to at least $z \sim 8-10$*
- Broader energy band, higher sensitivity & FoV needed for large sample at $z \geq 8-10$
- IR from space (*JWST*) needed for $z \geq 10!$



GRB Luminosity correlates with spectrum: gives z !

- *EXIST* measures E_{pk} and $T_{0.45}$ and Firmani reln. gives "photo- z " with uncertainties typically $\Delta(\log(1+z)) \sim 0.1$.
- *EXIST* measures E_{pk} up to 3 MeV using active shields
- GRBs provide "back-light" for IR spectroscopy of IGM, gas, & galactic structure back to re-ionization

Predicted *EXIST* GRB rate opens universe to $z \geq 10$



EXIST GRBs vs. z will probe the star formation rate (SFR) vs. z at highest redshifts, and constrain/measure Pop III.

Predicted GRB rates vs. z based on Bromm and Loeb (2005). *EXIST* will detect many GRBs at $z > 7$ and may detect Pop III GRBs for which models are uncertain.

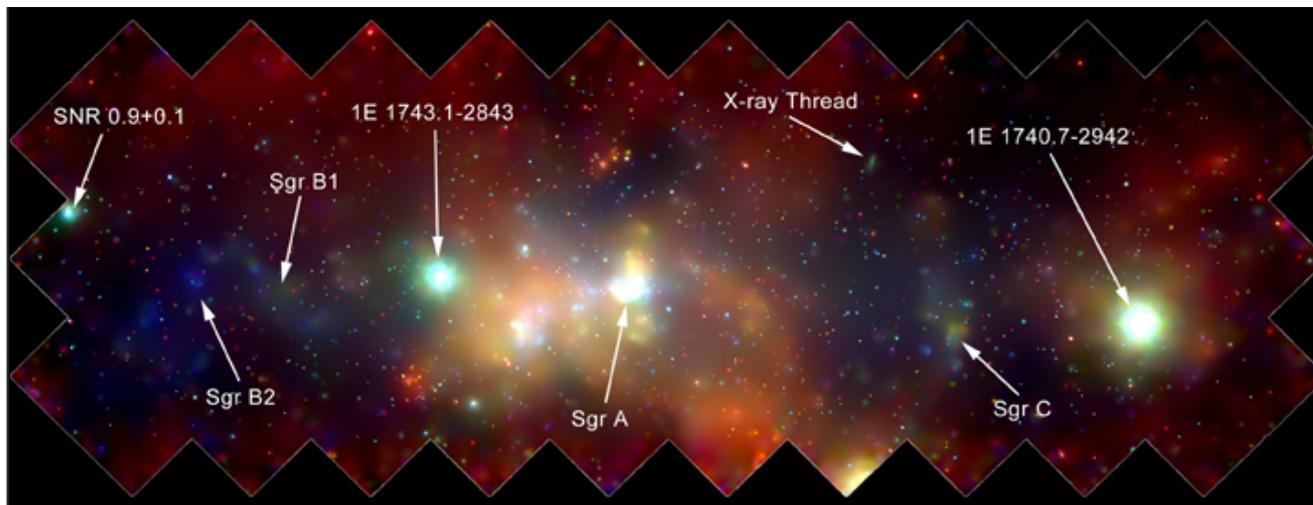
GRBs allow cosmology at highest redshifts (non-CMB), and *EXIST* will open this window.

EXIST will probe:



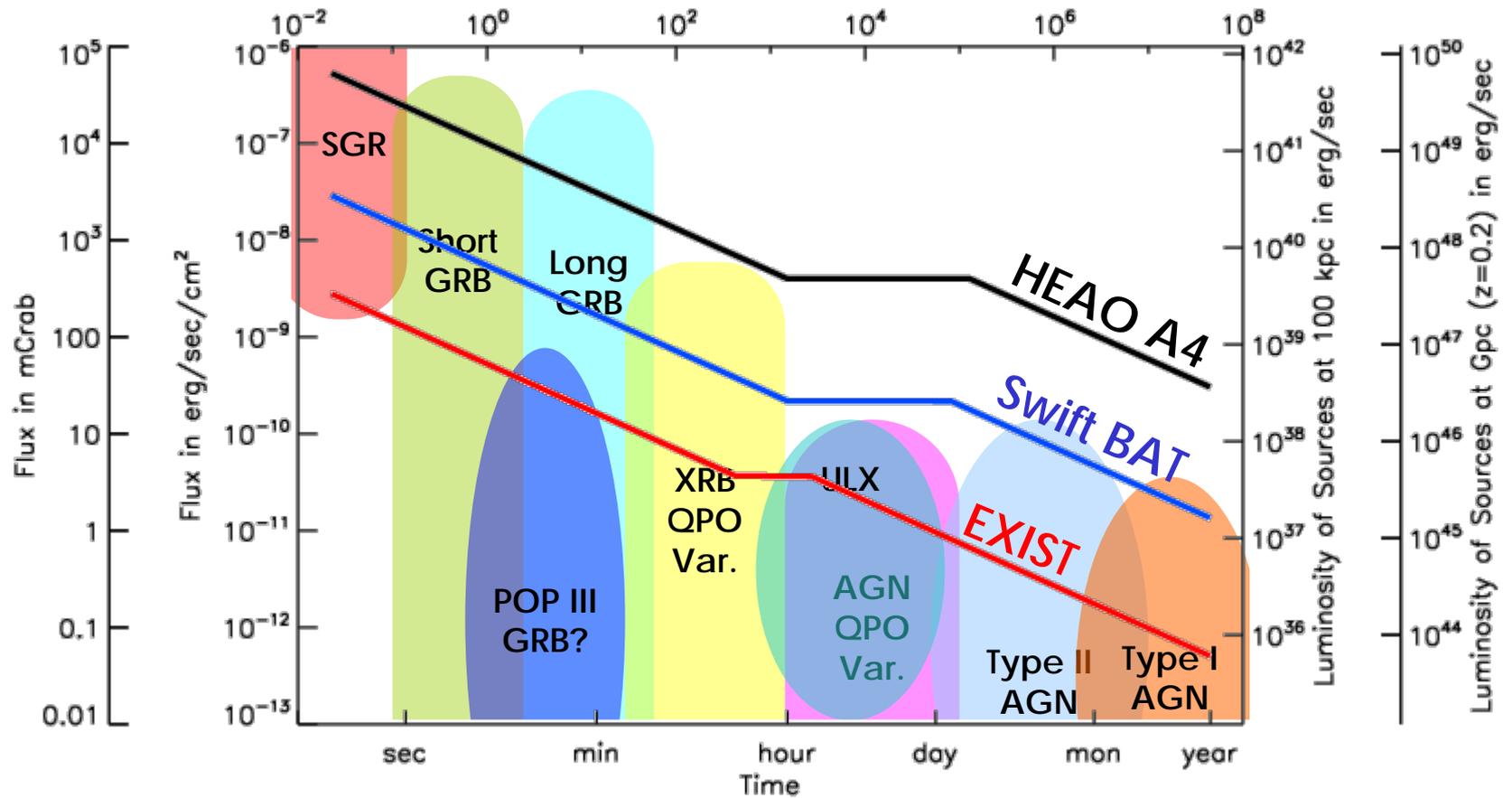
EXIST measures stellar BHs & IMBHs in Local Group

- *EXIST* detects all bright stellar BHs in transients ($L_x(>10 \text{ keV}) \sim 10^{37-38} \text{ erg/s}$) throughout Galaxy, LMC/SMC and M31. *Reveal population of obscured HX sources found with INTEGRAL/Swift: discrete sources at $>10 \text{ keV}$*
- *Isolated* stellar BHs in Galaxy and IMBHs in Local Group accreting via Bondi-Hoyle (with $\sim 10^{-4}$ efficiency) from GMCs nearly Compton thick
- Faint BH transients in *Central Galactic Bulge*?: BHs in nuclear cusp (cf. Alexander & Livio 04) detected if $L_x(>10 \text{ keV}) \sim 10^{35} \text{ erg/s}$ CI Cam type outbursts ($\sim 1-2\text{d}$?) of Bulge BH vs. WD binaries around *SgrA**



Chandra view
of central Bulge
($\sim 2^\circ \times 1^\circ$)

Expected *EXIST* Sensitivity for Variability



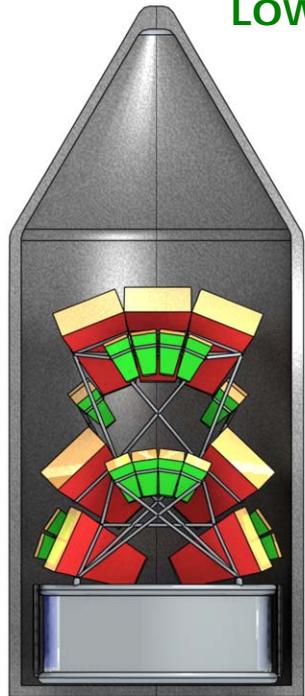
EXIST sensitivity on each timescale allows key measurements across BH types

EXIST: current Baseline Mission Design Concept

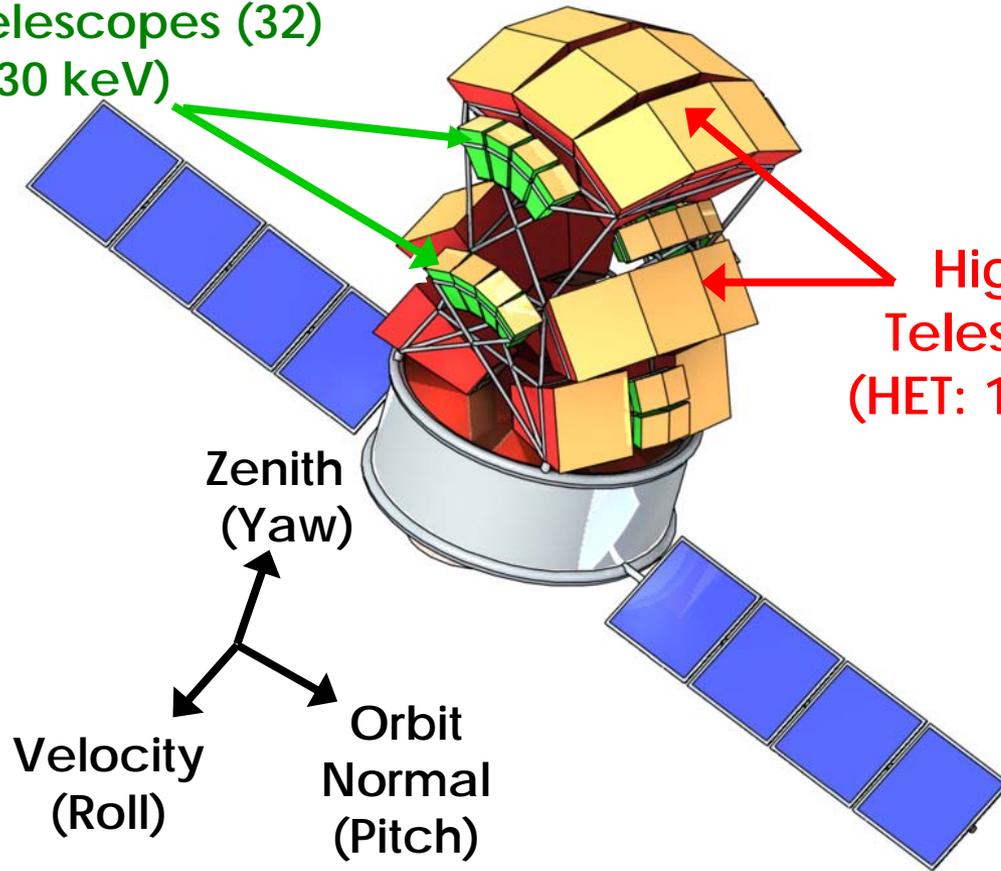
(General Dynamics mission concept)

Low Energy Telescopes (32)
(LET: 3-30 keV)

High Energy
Telescopes (19)
(HET: 10 - 600 keV)



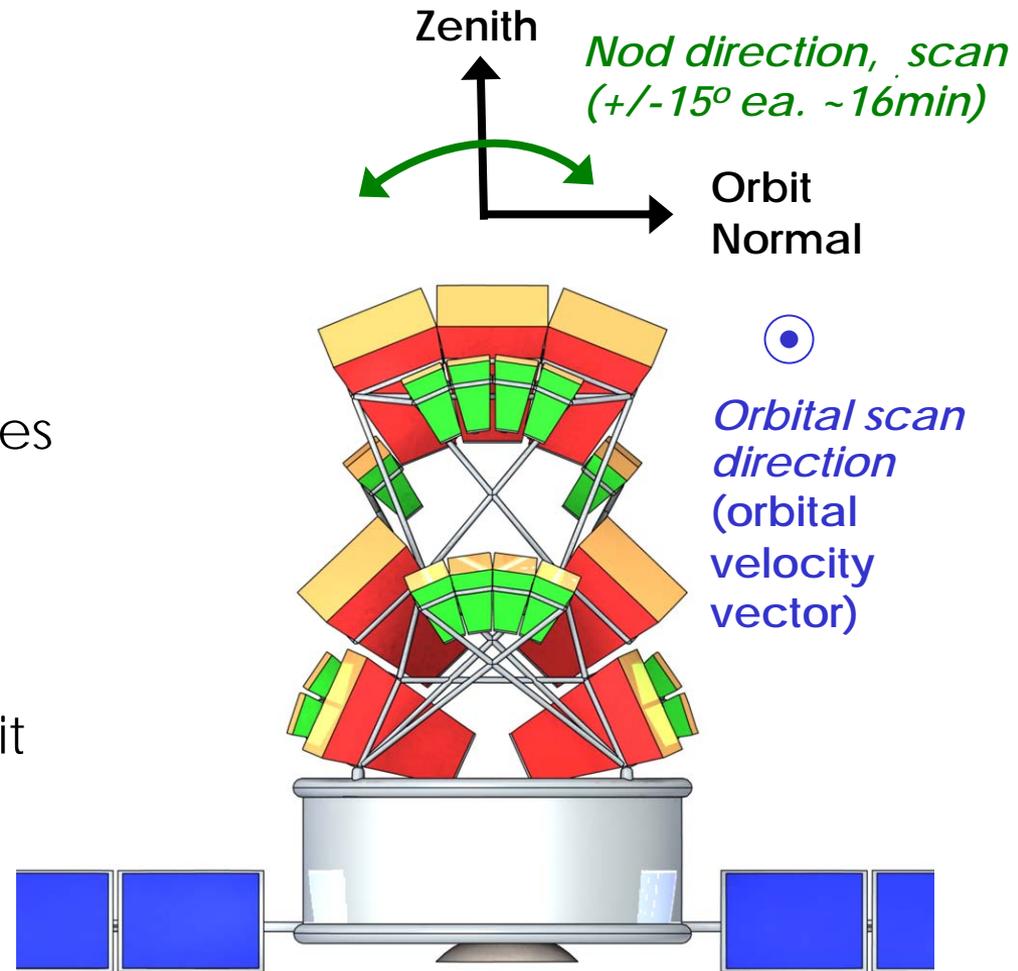
In Delta IV or Atlas V
(5m Fairing)



- Survey the hard X-ray sky 10-50x deeper than previous HX missions, with $<10''$ source positions (for $>5\sigma$ survey threshold)
- Cover the 3 - 600 keV band with two telescope systems:
HET: 10 - 600 keV (6 m² CZT pix) and LET: 3 - 30 keV (1.3 m² Si pix)

EXIST Mission Design Parameters

- Zenith pointer - scanning & nodding for ~full-sky coverage each orbit (95min)
- 19 coded aperture HE telescopes (6m² total area CZT pixel det.)
- 32 coded aperture LE telescopes (1.3m² total area Si pixel det.)
- Mass, power, telemetry:
9500kg, 3kW, 3Mbps
- Delta IVH launch to 500 km orbit (i ~5°) or Atlas V-551 launch (i ~20°) – *study bkgd. trades*
- Mission lifetime: 5 years
- Cost: \$650M (incl. 20% conting. IMDC costing FY05 \$)



Prototyping *EXIST*: *ProtoEXIST*

Balloon borne Hard X-ray Survey Telescope
(Harvard, GSFC, Caltech, Stanford collaboration)



- Pathfinder & technology development for *EXIST* HET (CZT imager)
- Building a large area CZT detector with fine resolution, covering 10 – 600 keV

ProtoEXIST1 ~ 1000 cm² (2.5 mm pixels)

ProtoEXIST2 ~ > 256-1000 cm² (1.25 mm pixels)



EXIST (HET) ~ 6 m² (1.25 mm pixels)

- Prototype for LET needed: package Si pixel *DepFET* (MPE collab.) or CMOS pixel Sensor (LSST imager option)



Themen & Daten

- 11.04.: Aktuelles/Übersicht
- 25.04.: Mikrowellenhintergrund (WMAP)
- 09.05.: Reionisation
- HEUTE: Schwarze Löcher - NEUES
- **06.06.: Der Röntgen-Himmel**
- 20.06.: MOND – eine Alternative zur Dunklen Materie?
- 04.07.: GLAST, Planck, Herschel