

Struktur von aktiven Galaxienkernen

Überblick: Aufschlüsse aus der Beobachtung

Abschattung und anisotrope Abstrahlung:

- Spektro-polarimetrische Aufschlüsse: Sy 2 = verdeckte Sy 1
- Infrarotspektroskopie: Nachweis stark staubabsorbierter Linien
- Ionisationskegel in NLR und EELR
- Neutraler Wasserstoff und Staub in Kernnähe
- Häufigkeiten verschiedener AGN-Typen in Surveys

Lineardimension und Stratifikation der Kernregion:

- Lichtecho-Messungen
- Konsequenzen für Größe und Dichte der BLR
- „Warme“ und „kalte“ Röntgenabsorber
- Der Mikro-Gravitationslinseneffekt: Größe der Kontinuumsquelle

Kinematik und Dynamik der AGN-Komponenten:

- Linienbreiten
- Interpretation der Emissionslinien-Profile

Versuch einer Synthese

Typische Linear- und Winkeldimensionen

Für Feld-, Wald- & Wiesenquasar:

	metrische Ausdehnung	Winkelgröße bei	
		$z = 0.1$	$z = 2$
• Muttergalaxie	10 kpc	4''	1''
• Narrow Emission Line Region	1 kpc	0.''4	0.''1
• Broad Emission Line Region	1 pc	0.''0004	0.''0001
• Akkretionsscheibe	0.01 pc	4 μ as	1 μ as
• R_S für $M = 10^9 M_\odot$	10^{-4} pc	0.04 μ as	0.01 μ as

($H_0 = 50$, $\Omega_m = 1$, $\Lambda = 0$)

(Einheit 1 μ as = 10^{-6} Bogensekunden, *micro-arcseconds*)

Auflösung durch direkte Beobachtungen somit nur bis NLR möglich,
für Geometrie auf kleineren Skalen nur indirekte Verfahren.

- Modellrechnungen und Spektralfits
- Streulichtmessungen
- Lichtechno-Verfahren
- Mikrogravitationslinseneffekt
- Statistische Betrachtungen

Abschattung und Streulicht

Der Fall NGC 1068

Helle ($V \simeq 9$) und nahe ($z = 0.004$) Sy 2-Galaxie; Morph. Typ Sb, nahezu *face-on*. Schwacher Radiojet, \sim kollinear mit NLR-Konus.

Beobachtungen (Antonucci & Miller 1985 und nachfolgend):

- Optisches Licht ist leicht linear polarisiert (Polarisationsgrad wenige %)
- Nach Subtraktion des (völlig unpolarisierten) Sternlichts: Polarisation von $\sim 16\%$, nahezu unabh. von λ von NIR bis UV.
- Optisches Spektrum: perfekte Sy 2-Eigenschaften.
- Spektrum im polarisierten Licht: identisch mit klassischem Sy 1-Kern! \Rightarrow Gestreutes Licht der BLR in Kernnähe.
- Polarisationsrichtung senkrecht zur Jetachse.
- Räumlich aufgelöste Spektropolarimetrie: BLR-Spektrum auch sichtbar (aber schwach) in Richtung einzelner NLR-Knoten.

Interpretation: BLR und Kontinuum verdeckt und nicht direkt sichtbar; aber geometrischer Abschattungsfaktor ist < 1 , d.h. es gibt Richtungen, in die BLR- und Kontinuumsstrahlung entkommen.

Dann *außerhalb*: Streuung an diffusem Material (Staub, Gas)
 \Rightarrow Sichtbarkeit in alle Richtungen!

Streuprozess: Frequenzunabhängigkeit der Polarisation Hinweis auf Streuung an freien Elektronen (Thomson-Streuung; Streuquerschnitt unabh. von λ)

Für NGC 1068 ist die Klassifikation als Sy 2-Galaxie eine Folge unserer Blickrichtung; aus anderen Richtungen betrachtet, würde die Galaxie als Sy 1 klassifiziert werden.

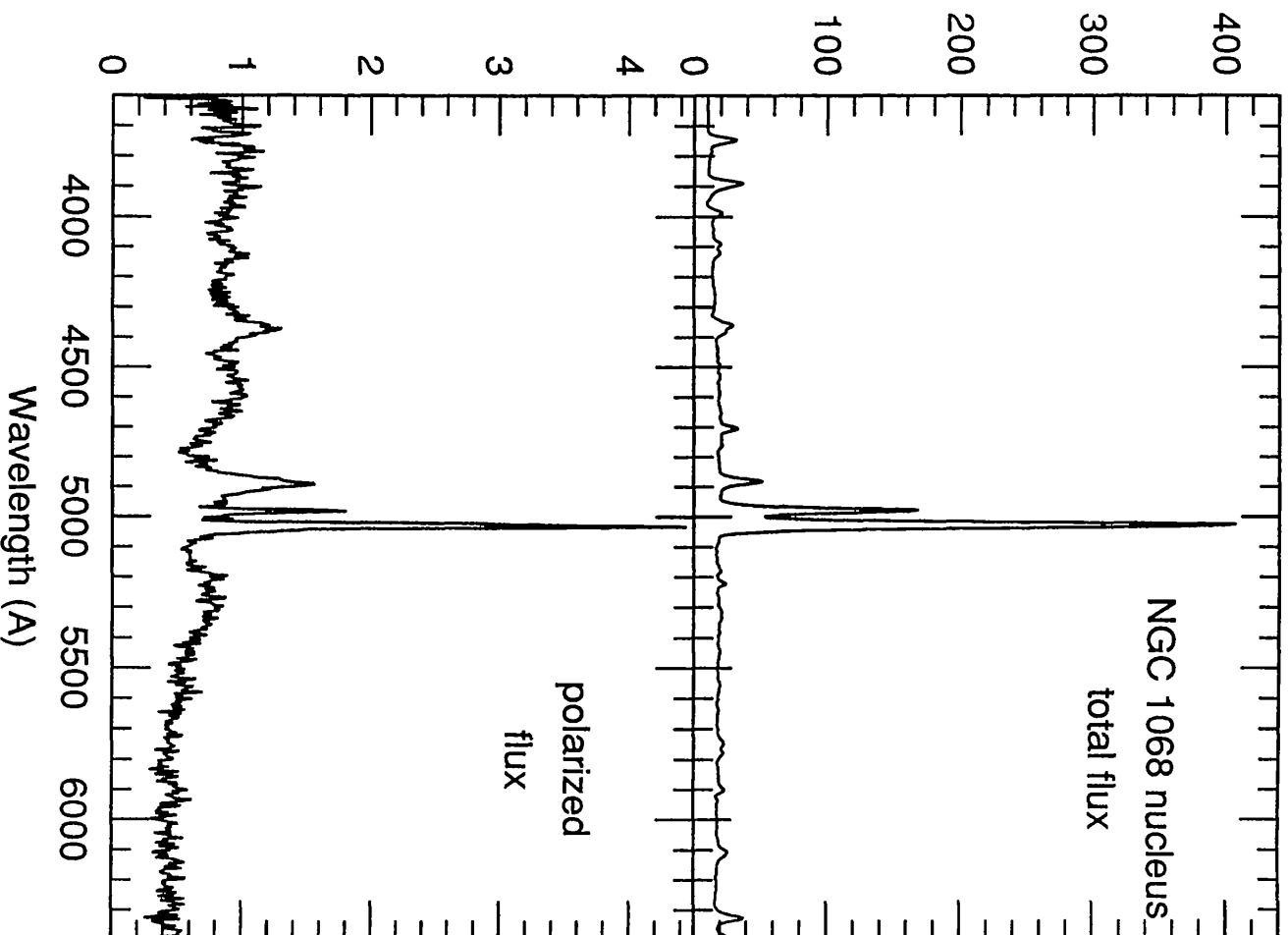


Figure 2 Spectropolarimetry of NGC 1068 by Miller et al 1991. The flux spectrum (*top*) indicates a Type 2 classification, while the polarized flux (*bottom*) is indistinguishable from the flux spectra of Type 1 Seyferts.

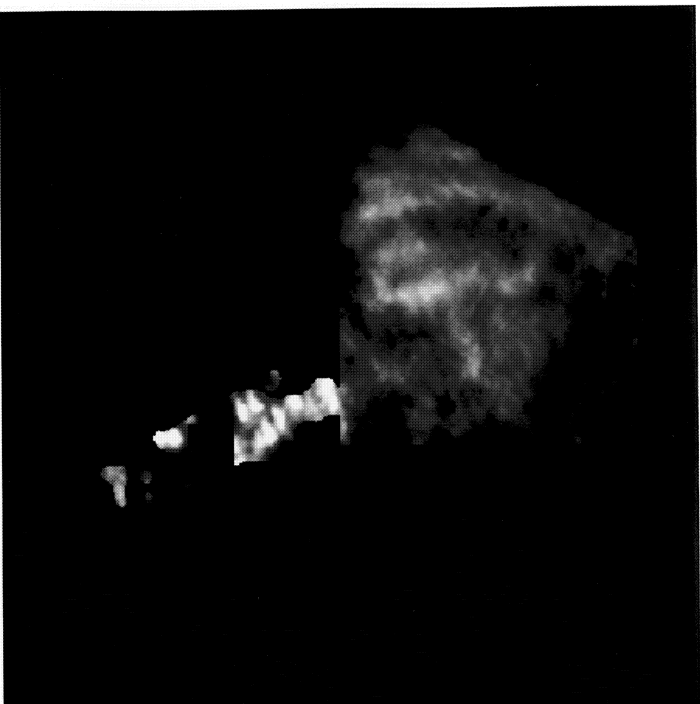


Fig. 3.—Polarized flux map from the FOC observations. The field of view is $9'' \times 9''$. North is at the top, east is to the left. All the images are presented in the same orientation.
 CAPRETTI et al. (see 446, 138)

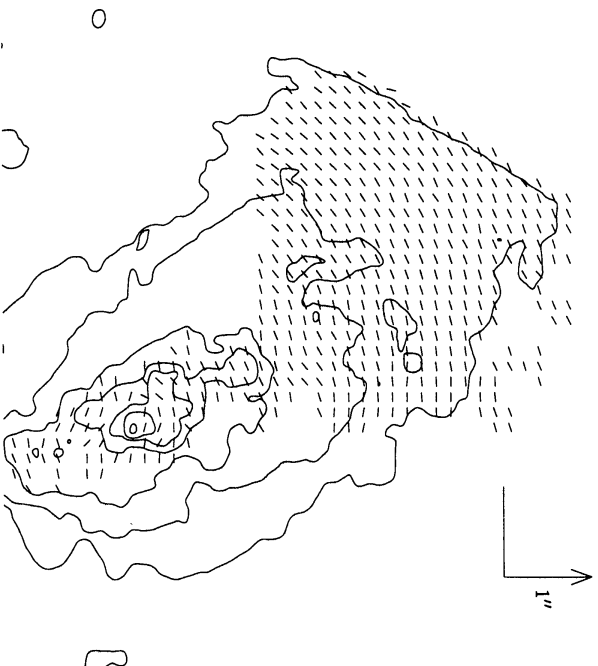
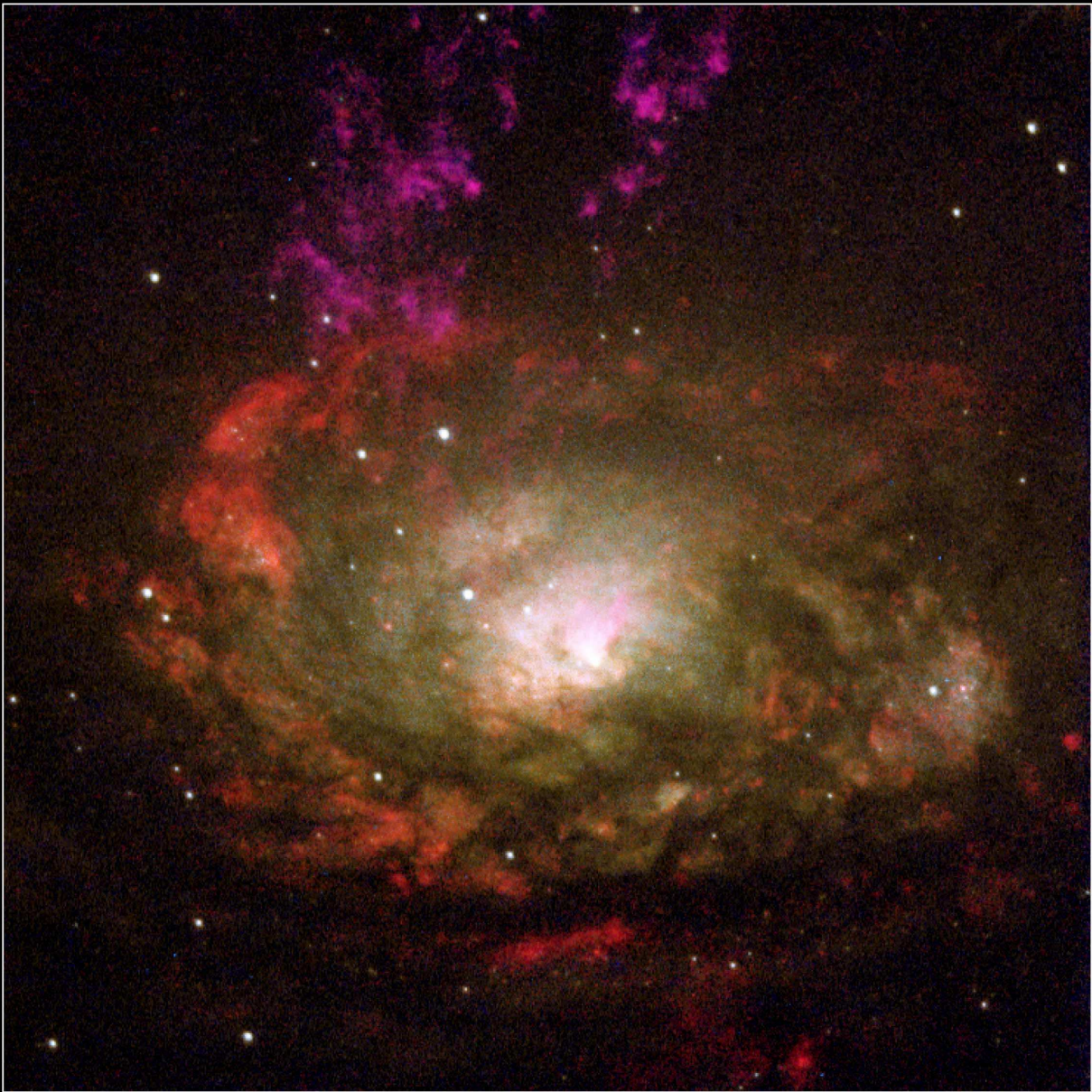


Fig. 5.—Polarization vectors from the FOC observations. To show more clearly the polarization pattern, the length of the vectors is constant and not proportional to the polarization level. Superposed we show the total intensity contours.



Circinus Galaxy
Hubble Space Telescope • WFPC2

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

Nächster AGN: Circinus (Seyfert 2), Entfernung: ~ 5 Mpc

Nachfolgend: Weitere Sy 2-Galaxien mit BLR-Spektren im polarisierten Licht entdeckt. Gesamtdetektionsrate aber nur bei $\sim 50\%$.

– ***Sind alle Seyfert 2-Galaxien verdeckte Sy 1?***

Ebenfalls: $\sim 50\%$ der *Narrow-Line Radio Galaxies* zeigen polarisierte breite Linien. Polarisationsvektoren im allgemeinen senkrecht zu Hauptachsen der Radiojets.

– ***Große Vereinheitlichung des AGN-Zoos?***

Schlüsselproblem: Was sind die Objekte mit nicht detektierten verdeckten BLR?

Schwierigkeit: Polarisationsgrad immer $< 10\%$, oft bei wenigen %

⇒ Technik nur für sehr helle Objekte anwendbar.

Beobachtung muß indirekte Hinweise liefern: Wenn Sy 1 und Sy 2 gleiche Objekte unter verschiedenem Blickwinkel sind, dann müssen großskalige isotrope Eigenschaften ununterscheidbar sein:

- Leuchtkraft der NLR
- Hubble-Typen der Hostgalaxien
- Stellare Population der Hostgalaxien
- Radioleuchtkräfte

Andere Eigenschaften sollten kompatibel mit Zufallsverteilung der Orientierung im Raum sein.

- Projizierte Größe der NLR
- Hauptachsen von Radiojets

Was verdeckt BLR und Kontinuumsquelle?

Aufgrund kleiner Winkeldurchmesser: BLR selbst in nahen Galaxien wie NGC 1068 nicht direkt auflösbar. Ursache für Abdeckung nur spekulierbar (mit nachfolgenden indirekten Tests). Vermutung: Kernregion umgeben von Material mit hoher Staub-Säulendichte \Rightarrow hohe Extinktion.

Option 1: Population von sehr dichten Wolken mit Abdeckungsfaktor < 1

Option 2: Anisotrope Geometrie mit „staubigem Torus“

Argument für Torus: Hauptsächlich über beobachtete Form der NLR, oft in Gestalt eines Kegels – s.u.

Abschätzung des geometrischen Abdeckungsfaktors:

- (i) über Öffnungswinkel des Kegels (falls beobachtet)
- (ii) über Verhältnis der Raumdichten $Sy\ 2 / Sy\ 1$

Test: Wenn Abdeckung durch Staubextinktion, dann könnten breite Emissionslinien im Infraroten beobachtbar werden – z.B. Bracket-Serie von H. Allgemein: je längerwellig, desto bessere Chancen wegen $A_\lambda \propto \lambda^{-1}$ für Staub.

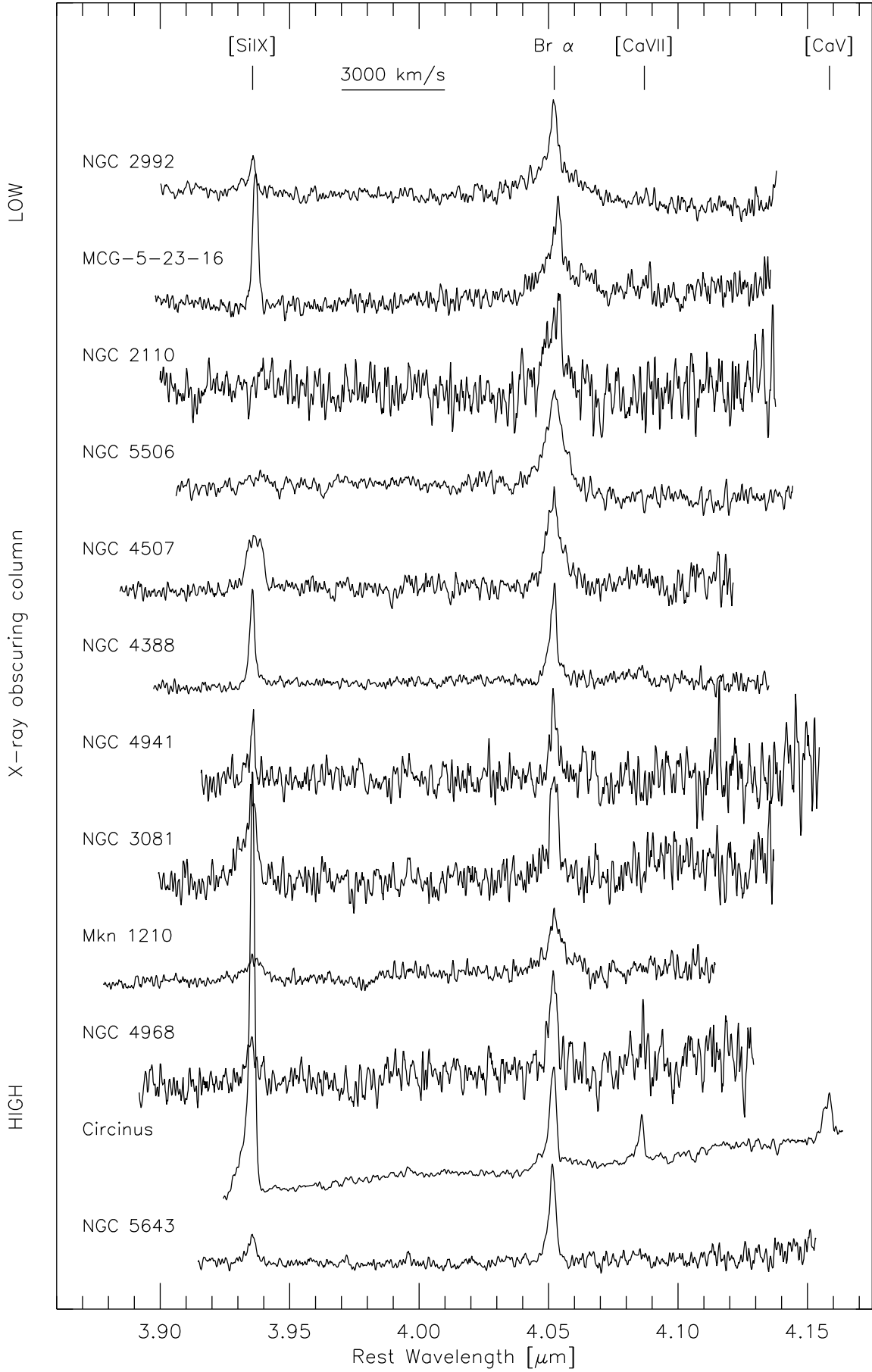
– Kein harter Test: Nulldetektionen durch zu hohe Extinktion erklärbar.

Beobachtungstechnische und instrumentelle Herausforderung (Erdatmosphäre!). Bisher aussagekräftigste Resultate durch MPE-Gruppe (D. Lutz et al. 2003):

- Von 12 beobachteten Sy 2-Galaxien: 3–4 zeigen breite Br α -Linie
- Genau die Objekte, die insgesamt eher moderate Extinktion zeigen.
- Genau die Objekte, die auch eine BLR im polarisierten Licht zeigen.

Schlußfolgerung: Extinktion durch Staub als Grund für teilweise Abdeckung in Sy 2-Galaxien sehr plausibel.

Grund für nicht detektierte BLR in vielen Sy 2 immer noch unbekannt.



Ionisationskegel

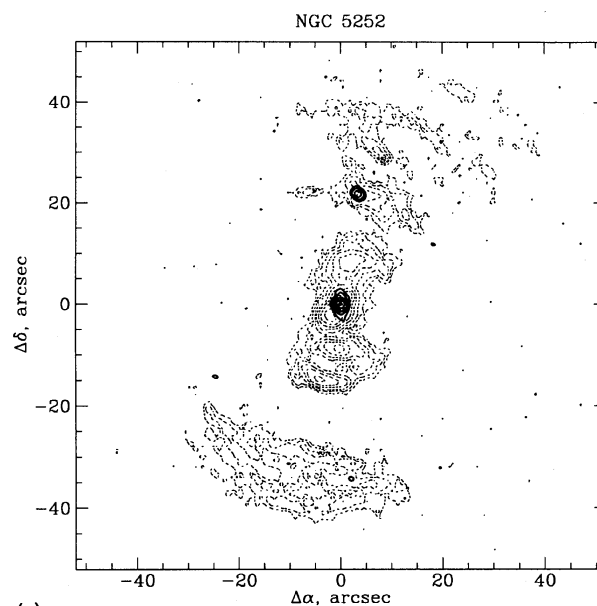
Ausgedehnte Emissionslinienregion in Seyfert-Galaxien oft nicht symmetrisch, sondern stark elongiert – selbst in \sim *face-on*-Galaxien.

Zusätzlich bei Beobachtungen mit hoher Winkelauflösung (z.B. HST): NLR zeigt konische Struktur mit Öffnungswinkel $\sim 30^\circ \dots 100^\circ$.

Spektroskopie der Emissionsknoten zeigt: $[\text{O III}] \lambda 5007 / \text{H}\beta$ -Verhältnis > 10 , gleichzeitig signifikante Emission von $[\text{N II}] \lambda\lambda 6548, 6584$

\Rightarrow Ionisation mit großer Wahrscheinlichkeit durch AGN, nicht *in situ* durch heiße Sterne.

- Option 1: Ausströmendes Gas, z.B. in Verbindung mit Radio-Jets. Begrenzung zu den Seiten dann durch nicht vorhandenes Material. Extrem scharfe Begrenzung allerdings schwierig zu erklären.
- Option 2: Material ist überall vorhanden, ist aber ionisiert nur in Richtungen, die vom zentralen Torus nicht abgeschattet werden. Scharfer Rand des Ionisationskegels \Rightarrow scharfer Rand des Torus.



Neutraler Wasserstoff und Staub in Kernnähe

Erfahrungsgrundsatz aus dem Interstellaren Medium in Milchstraße: Staub- und Gasmassendichte eng korreliert, typisch

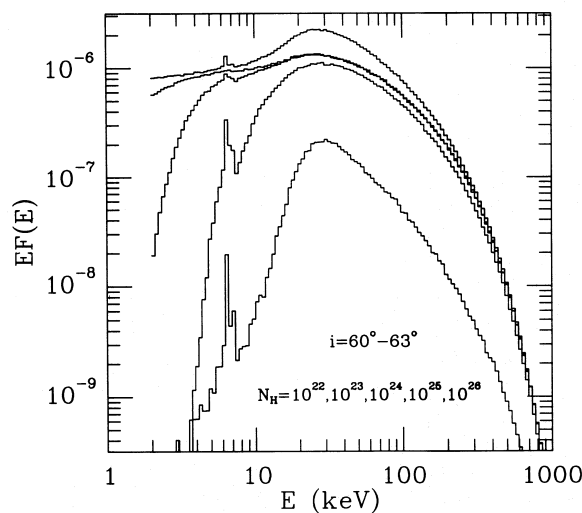
$$\rho_{\text{Gas}} \sim 100 \rho_{\text{Staub}} .$$

Für \sim universale Staubzusammensetzung ergibt sich dann ein Zusammenhang zwischen Extinktion im optischen (V -Band: 550 nm) und Säulendichte des Wasserstoffs:

$$A_V \simeq 3 \cdot N_H / (5.8 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-2}) .$$

(Für andere Wellenlängen gilt $A_\lambda \propto \lambda^{-1}$).

Falls dies auch in unmittelbarer AGN-Umgebung gilt, dann sollten Sy 2-Galaxien deutlich höhere H-Absorption zeigen als Sy 1-Galaxien; beobachtbar durch Röntgenspektroskopie (vgl. H-Absorptionsquerschnitt).



Ergebnis: In der Tat zeigen Sy 2-Galaxien i.allg. erheblich härtere Röntgenspektren, typische Säulendichten $N_H \sim 10^{23} \dots 10^{24} \text{ cm}^{-2}$.

Wieviel Prozent der AGN-Population kennen wir?

Frage seit Beginn der ersten AGN-Surveys: Gibt es eine Teilmenge der AGN-Population, die wir systematisch verpassen?

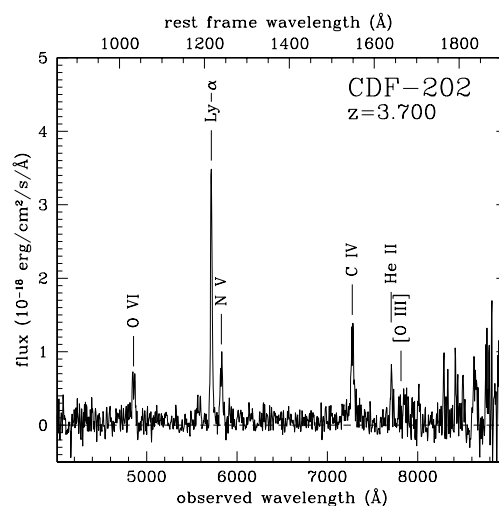
Wird bis heute heiß diskutiert, Antworten schwanken zwischen den Extremen:

- Ein Großteil aller AGN ist durch Staub absorbiert und im optischen nicht zu erkennen (bzw. nur als Sy 2-artiges Objekt).
- Staubabsorption kommt zwar vor, ist aber für die Populationsstatistik nicht relevant

In dieser extremen Form sind beide Positionen vermutlich nicht haltbar.

Zwei neue Resultate:

- Erste Typ-2-Quasar (Q 2) entdeckt, aber Anteil rel. zu Q 1 erheblich kleiner als für Sy 1 / Sy 2.
⇒ Torus-Raumwinkel möglicherweise L -abhängig, kleiner für Quasare.
- Einige AGN mit sehr hoher H-Säulendichte zeigen trotzdem breite Linien
⇒ Gas/Staub-Verhältnis evtl sehr anders in Kernnähe.



Orientierungsabhängige Klassifikation

Radio-leise AGN:

1. Seyfert-Galaxien:

- Wenigstens 50 % der Sy 2-Galaxien sind zweifellos verdeckte Sy 1.
- Für diese Objekte gilt: alle isotropen Eigenschaften sind ununterscheidbar.
- Aus Durchmusterungen: Verhältnis Sy 2 / Sy 1 \simeq 3–5 \Rightarrow Raumwinkel des „Torus“ \sim 60°.
- Andererseits sind möglicherweise etliche Sy 2 intrinsisch andersgeartete Objekte *ohne* BLR.

2. Quasare:

- Äquivalente Dichotomie wie bei Sy-Galaxien: Q 1 / Q 2, bisher nicht wirklich etabliert.
- Möglicherweise nehmen ultraleuchtkräftige IR-Galaxien teilweise Rolle der Q 2 ein (spricht aber vieles dagegen).

Radio-laute AGN:

3. BL Lac-Objekte / Radiogalaxien vom Typ FR (Fanaroff-Riley) I:

- Leuchtkräfte in beiden Fällen niedrig; kaum Emissionslinien
- Scheinbare Helligkeit abhängig von Jet-Orientierung

4. Radio-Quasare / Radiogalaxien vom Typ FR II / HPQ:

- Orientierung der Radioachse: Erscheinungsbild im Radiobereich
- Orientierung des Staubtorus: Erscheinungsbild im opt./UV/NIR

Vereinigung zwischen radiolauten und radioleisen AGN:

Etliche Hinweise auf intrinsische Unterschiede zwischen beiden Populationen. Sehr wahrscheinlich kein Orientierungseffekt.

Frage wird wieder aufgegriffen.