

Astronomia Pozagalaktyczna: Galaktyki Aktywne

Szymon Kozłowski

Uniwersytet Warszawski

2023

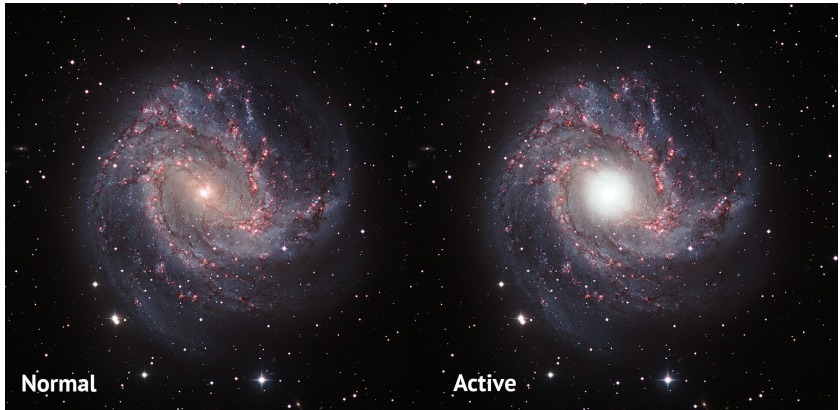


Active Galactic Nuclei

- Galaktyka aktywna = active galaxy
- Aktywne jądro galaktyki = active galactic nuclei (AGN)
- Galaktyki, w których znacząca część promieniowania elektromagnetycznego nie pochodzi od gwiazd i pyłu.

AGNy są najjaśniejszymi źródłami ciągłego promieniowania elektromagnetycznego we Wszechświecie. Jasności absolutne w zakresie optycznym/UV nawet -28 mag.

Galaktyki Aktywne - AGN



Galaktyki Aktywne - AGN

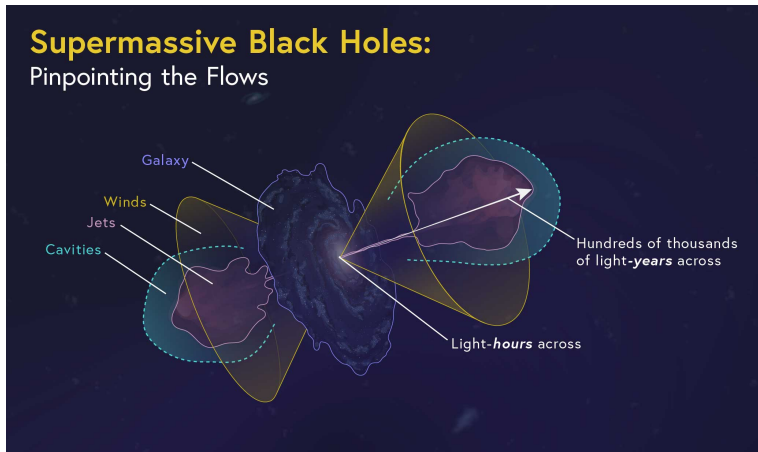


Galaktyki Aktywne - AGN



Supermassive Black Holes:

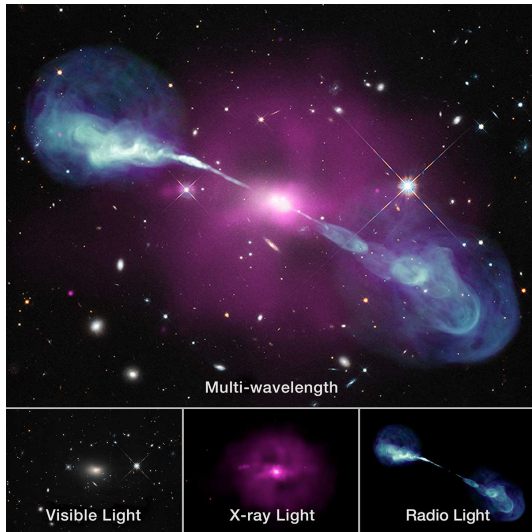
Pinpointing the Flows



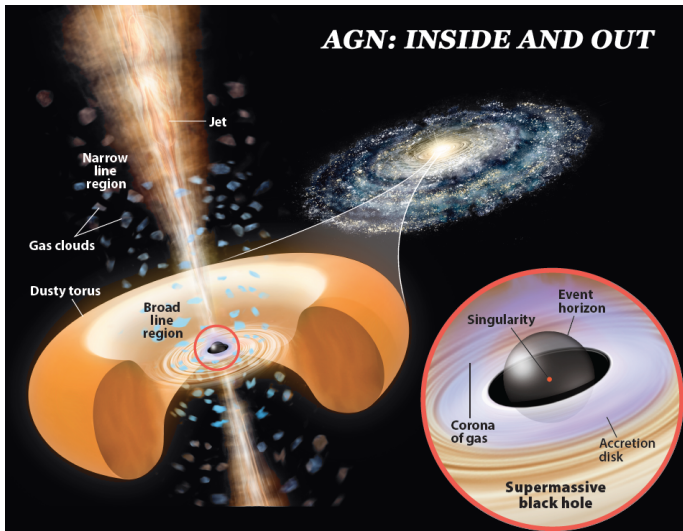
Galaktyki Aktywne - AGN



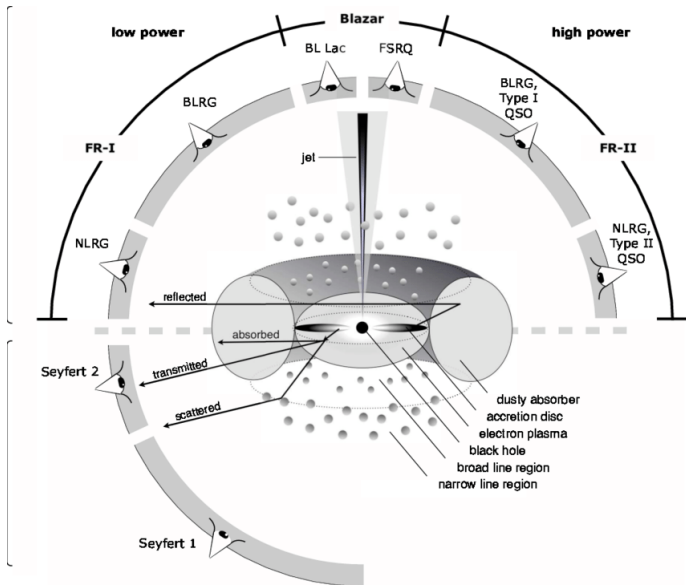
Galaktyki Aktywne - AGN



Galaktyki Aktywne - AGN



Galaktyki Aktywne - AGN

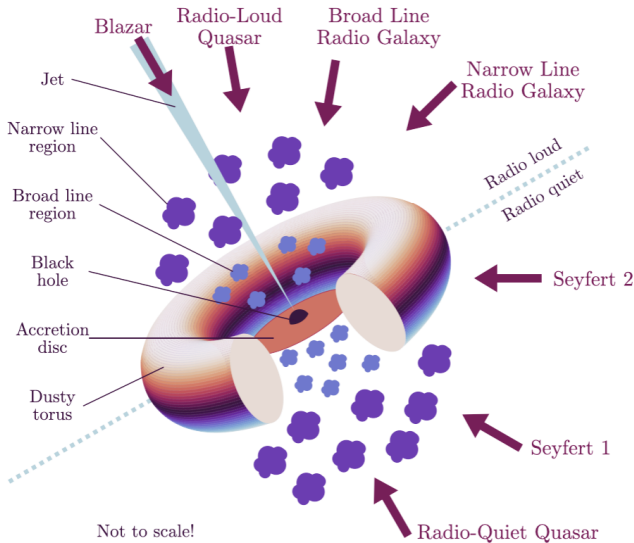


Active Galactic Nuclei

Podział:

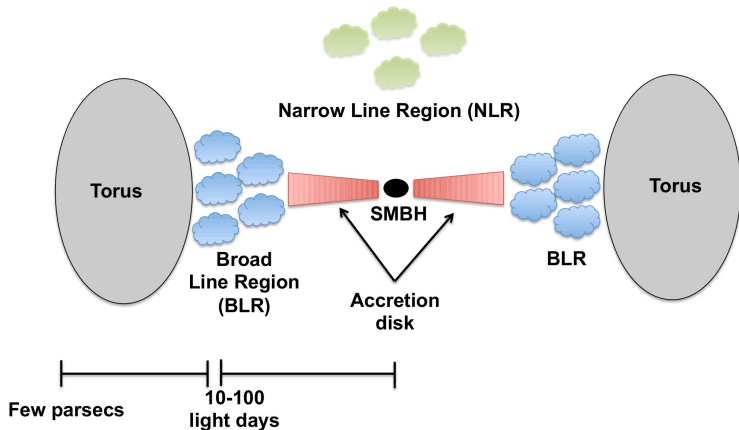
- ciche radiowo – radio-quiet AGN (non-jetted)
 - galaktyki Seyferta 1 (Seyfert 1943, szerokie linie emisyjne)
 - galaktyki Seyferta 2 (Seyfert 1943, wąskie linie emisyjne)
 - Low-ionization nuclear emission-line regions (LINERs)
 - kwazary ciche radiowo ($M_{\text{abs}} < -23$ mag, Osterbrock 1980)
- głośne radiowo – radio-loud AGN (jetted)
 - blazary
 - kwazary głośne radiowo
 - galaktyki radiowe o szerokich liniach emisyjnych
 - galaktyki radiowe o wąskich liniach emisyjnych

Galaktyki Aktywne - AGN

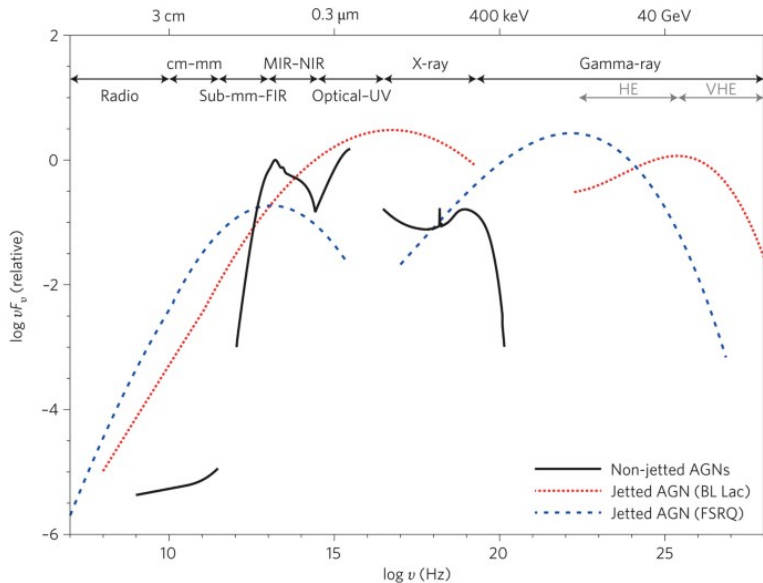


Emma Alexander

Galaktyki Aktywne - AGN



Galaktyki Aktywne - AGN



Compton scattering

Zjawisko rozpraszania promieniowania elektromagnetycznego o dużej częstotliwości (tj. energii, $E = h\nu$), na swobodnych elektronach, w wyniku którego następuje zwiększenie długości fali promieniowania (tj. zmniejszenie ich energii).

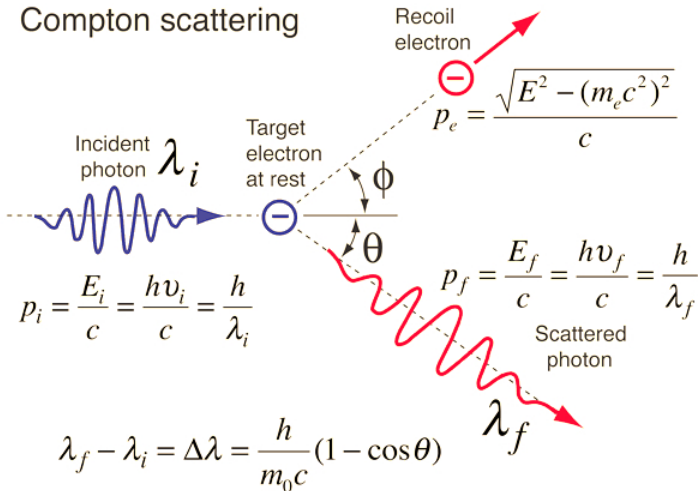
Fotony przekazują energię elektronom.

Zwiększenie długości fali rozproszonego fotonu, zwane przesunięciem Comptona, zależy od kąta rozproszenia fotonu zgodnie ze wzorem:

$$\Delta\lambda = (\lambda_{\text{rozproszone}} - \lambda_{\text{padające}}) = \lambda_C(1 - \cos\theta) \quad (1)$$

Rozpraszanie Comptonowskie

Compton scattering



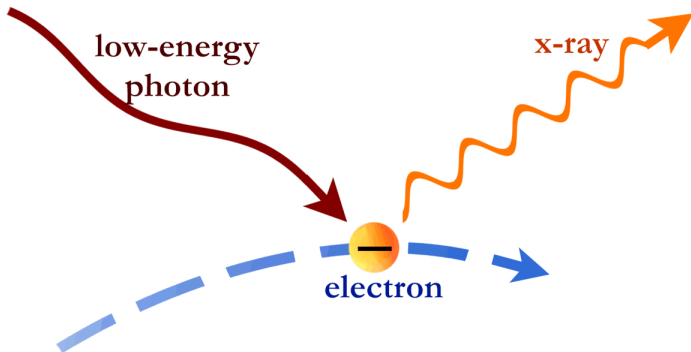
Inverse Compton scattering

Zjawisko zwiększenia częstotliwości (zmniejszenie długości) fali promieniowania elektromagnetycznego przez swobodne elektrony o dużych prędkościach.

Elektrony przekazują energię fotonom.

Ważne dla CMB (efekt Suniajewa-Zeldowicza), AGNów (korona), itp.

Odwrotne Rozpraszanie Comptonowskie



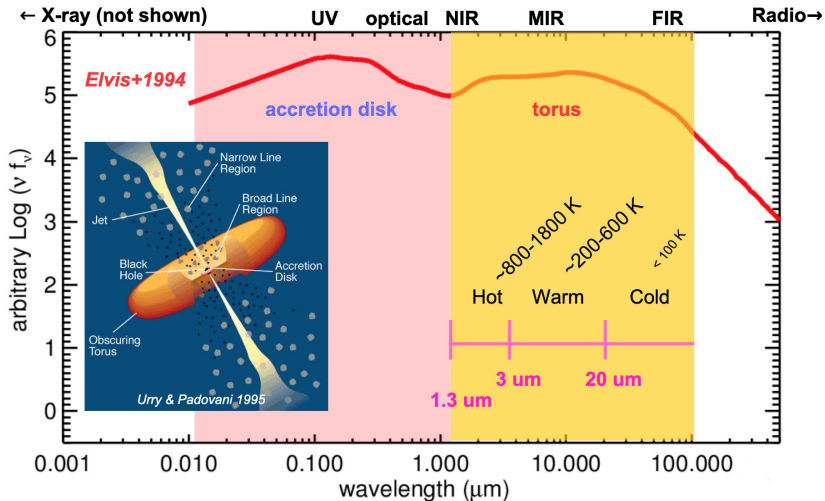
Thomson scattering

Zjawisko rozpraszania promieniowania elektromagnetycznego – fotonów na swobodnych elektronach. Fotony mają energię DUŻO mniejszą niż elektrony ($h\nu < mc^2$), w wyniku czego NIE następuje zmiana długości fali promieniowania.

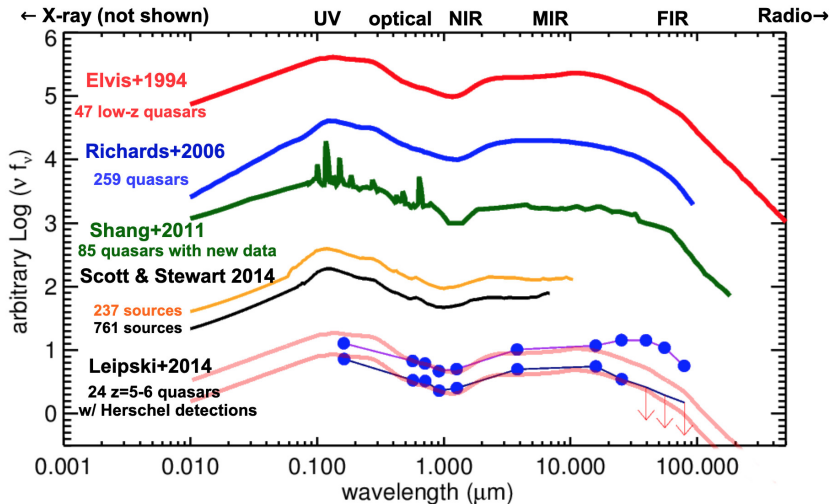
Fotony NIE przekazują energii elektronom.

Pole elektryczne fali padającej (fotonu) przyspiesza naładowaną cząstkę, powodując, że z kolei emituje ona promieniowanie o tej samej częstotliwości co fala padająca, a zatem fala ulega rozproszeniu.

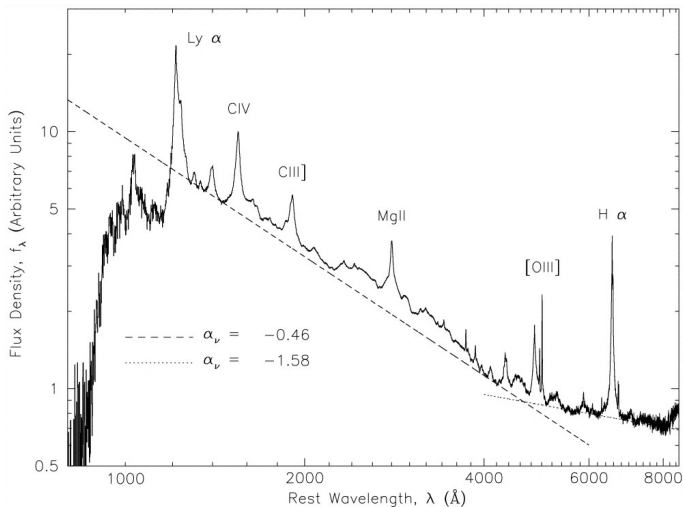
AGN Spectral Energy Distribution (SED)



Galaktyki Aktywne - AGN

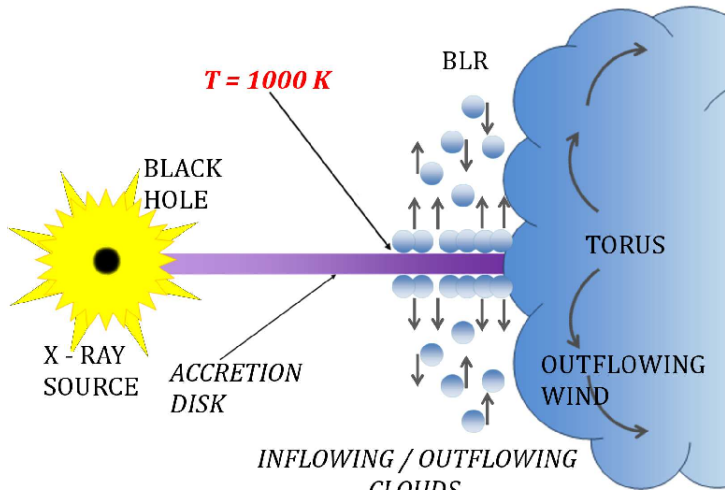


Galaktyki Aktywne - AGN



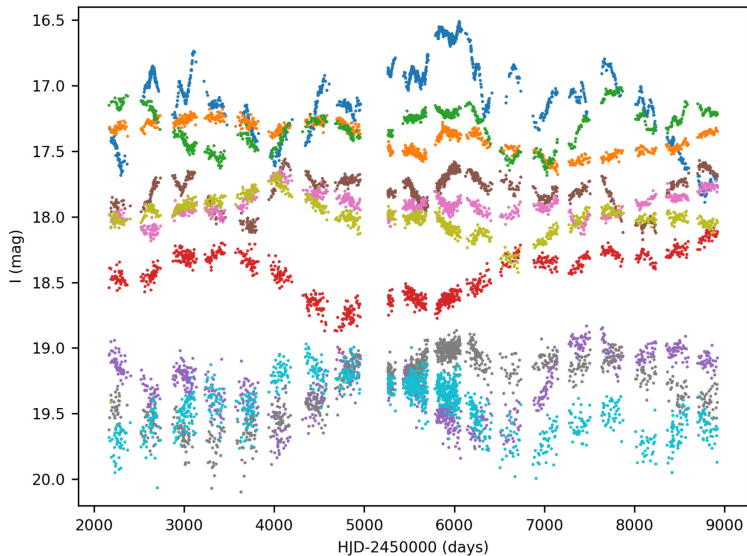
2200 widm AGN – Vanden Berk et al. (2001), AJ, 122, 549

Galaktyki Aktywne - AGN

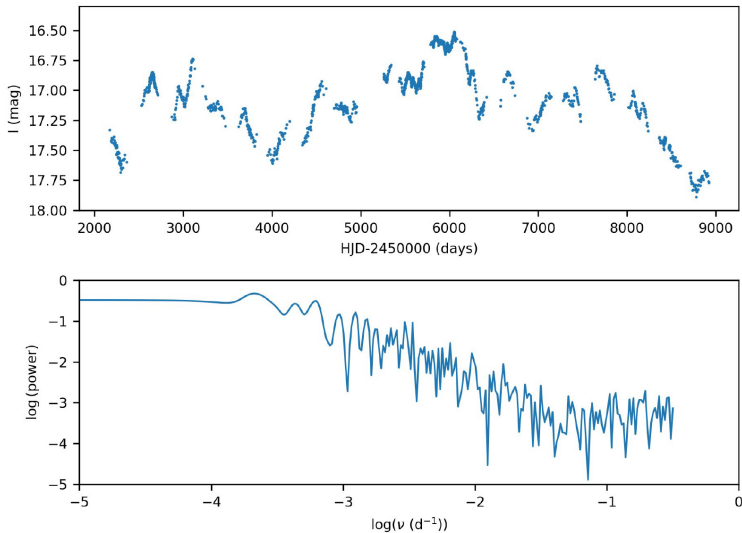


Czerny & Hryniewicz (2011)

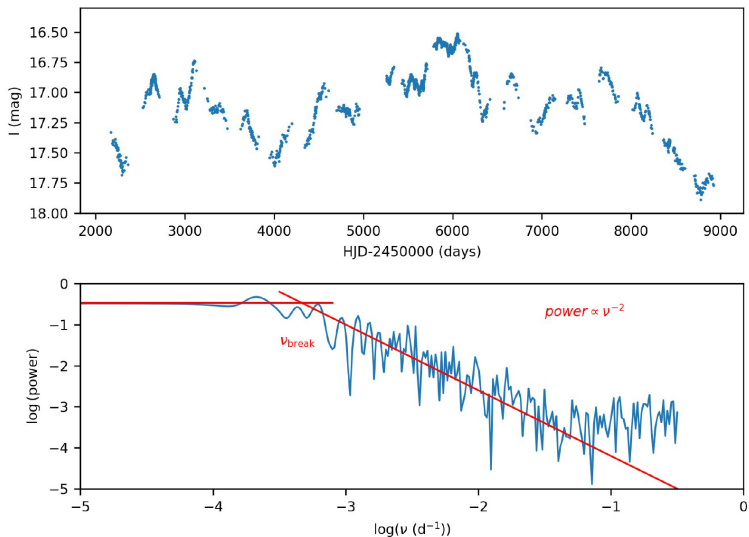
Galaktyki Aktywne - AGN



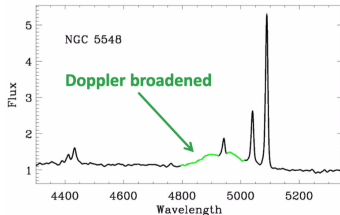
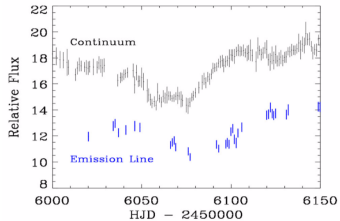
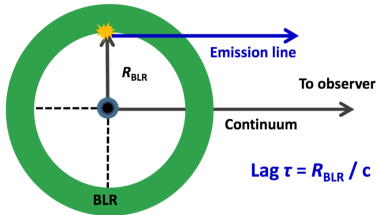
Galaktyki Aktywne - AGN



Galaktyki Aktywne - AGN



Galaktyki Aktywne - reverberation mapping



BH Mass Estimate

$$M_{\text{BH}} \approx f R_{\text{BLR}} \sigma^2 / G$$

$$R_{\text{BLR}} = c \tau$$

Line Width σ = velocity dispersion

f , "form factor": BLR inclination + kinematics

Uwaga na redshift!

Zmienność obiektów na redshifcie z jest rozciągnięta jak $(1 + z)$.

$$\tau_{\text{OBS}} = \tau_{\text{EM}}(1 + z) \quad (2)$$

τ_{OBS} – obserwowana skala zmienności lub okres zmienności

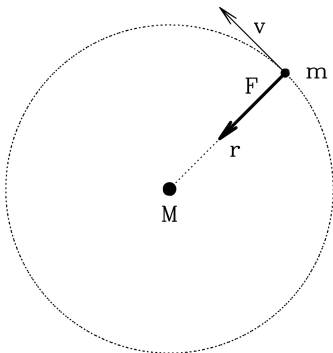
τ_{EM} – skala zmienności lub okres zmienności w układzie odniesienia w czasie emisji fotonów.

Promień BLR

$$r_{\text{BLR}} = \frac{c \cdot \tau_{\text{OBS}}}{1 + z} \quad (3)$$

r_{BLR} – promień obszaru BLR (rest-frame)

Galaktyki Aktywne - masa czarnej dziury



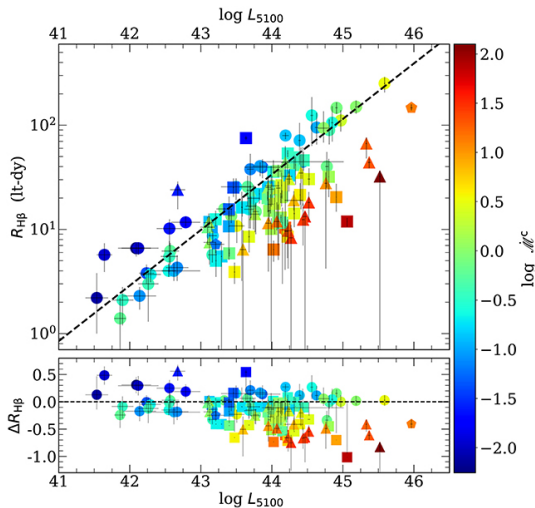
$$F = F$$

$$G \frac{Mm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$M = \frac{rv^2}{G}$$

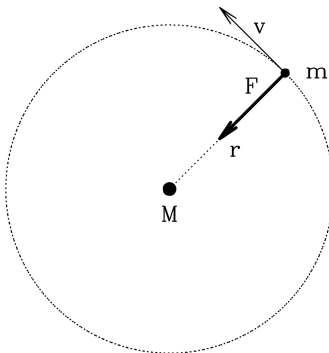
$$\log M = a + \log r + 2 \log v$$

Galaktyki Aktywne - masa czarnej dziury



Kaspi relation – $L \propto r^{\frac{1}{2}}$ – praca Panda et al. (2019)

Galaktyki Aktywne - masa czarnej dziury



$$\log M = a + \log r + 2 \log v$$

$$r \propto L^{1/2}$$

$$\log M = a + 0.5 \log L + 2 \log \sigma$$



VIRIAL BLACK HOLE MASS ESTIMATES FOR 280,000 AGNs FROM THE SDSS BROADBAND PHOTOMETRY AND SINGLE-EPOCH SPECTRA

SZYMON KOZŁOWSKI

Warsaw University Observatory, Al. Ujazdowskie, 4 00-478 Warszawa, Poland; simkoz@astrouw.edu.pl

Received 2016 October 12; revised 2016 December 7; accepted 2016 December 18; published 2017 January 20

ABSTRACT

We use the Sloan Digital Sky Survey (SDSS) Quasar Data Release 12 (DR12Q), containing nearly 300,000 active galactic nuclei (AGNs), to calculate the monochromatic luminosities at 5100, 3000, and 1350 Å, derived from the broadband extinction-corrected SDSS magnitudes. After matching these sources to their counterparts from the SDSS Quasar Data Release 7 (DR7Q), we find very high correlations between our luminosities and DR7Q spectra-based luminosities with minute mean offsets (~ 0.01 dex) and dispersions of differences of 0.11, 0.10, and 0.12 dex, respectively, across a luminosity range of 2.5 dex. We then estimate the black hole (BH) masses of the AGNs using the broad line region radius–disk luminosity relations and the FWHM of the Mg II and C IV emission lines, to provide a catalog of 283,033 virial BH mass estimates (132,451 for Mg II, 213,071 for C IV, and 62,489 for both) along with the estimates of the bolometric luminosity and Eddington ratio for $0.1 < z < 5.5$ and for roughly a quarter of the sky covered by SDSS. The BH mass estimates from Mg II turned out to be closely matched to the ones from DR7Q with a dispersion of differences of 0.34 dex across a BH mass range of ~ 2 dex. We uncovered a bias in the derived C IV FWHMs from DR12Q as compared to DR7Q, which we correct empirically. The C IV BH mass estimates should be used with caution because the C IV line is known to cause problems in the estimation of BH mass from single-epoch spectra. Finally, after the FWHM correction, the AGN BH mass estimates from C IV closely match the DR7Q ones (with a dispersion of 0.28 dex), and more importantly the Mg II and C IV BH masses agree internally with a mean offset of 0.07 dex and a dispersion of 0.39 dex.

Key words: galaxies: active – quasars: general – techniques: photometric

Supporting material: machine-readable table

Jasność AGN i tempo akrecji

Energia potencjalna masy m

$$U = \frac{GMm}{r} \quad (4)$$

Ilość “dostępnej” energii (tj. jasność) to

$$L = \dot{U} = \frac{GM}{r} \frac{dm}{dt} = \frac{GM}{r} \dot{M} \quad (5)$$

$\dot{M}$ – tempo akrecji

Jasność AGN i tempo akrecji

Możemy założyć, że emisja pochodzi z promienia charakterystycznego r_{in} o rozmiarze $\sim$ kilku promieni Schwarzschilda

$$r = r_{\text{in}} R_{\text{Schw}} = r_{\text{in}} \frac{2GM}{c^2} \quad (6)$$

wtedy

$$L = \frac{GM\dot{M}}{r} = \frac{GM\dot{M}c^2}{2GMr_{\text{in}}} = \frac{\dot{M}c^2}{2r_{\text{in}}} \quad (7)$$

jeśli założymy $\eta = (2r_{\text{in}})^{-1}$ to

$$L = \eta \dot{M} c^2 \quad (8)$$

gdzie η to wydajność zamiany masę na energię
typowo: $\eta \approx 0.1 \rightarrow r_{\text{in}} \approx 5$.

Tempo akrecji

Z powyższych wzorów wynika, że tempo akrecji to

$$\dot{M} = \frac{L}{\eta c^2} = 0.18 \left(\frac{L_{46}}{\eta} \right) M_{\odot} \text{yr}^{-1} \quad (9)$$

L_{46} – jasność w jednostkach 10^{46} erg/s.

Jasność Eddingtona

$$L_{\text{Edd}} = 1.3 \times 10^{46} M_8 \text{ erg s}^{-1} \quad (10)$$

M_8 – masa czarnej dziury w jednostkach $10^8 M_{\odot}$.

Eddingtonowskie tempo akrecji

$$\dot{M}_{\text{Edd}} = \frac{L_{\text{Edd}}}{\eta c^2} = 0.23 \left(\frac{M_8}{\eta} \right) M_{\odot} \text{ yr}^{-1} \quad (11)$$

Stosunek jasności bolometrycznej do jasności Eddingtona

$$-3 < \log \left(\frac{L_{\text{bol}}}{L_{\text{Edd}}} \right) < 0 \quad (12)$$

Dysk akrecyjny

Energia grawitacyjna jest uwalniana w postaci $L = \frac{GM\dot{M}}{r}$, z czego połowa zużywana jest na grzanie gazu, a druga połowa jest wypromieniowywana.

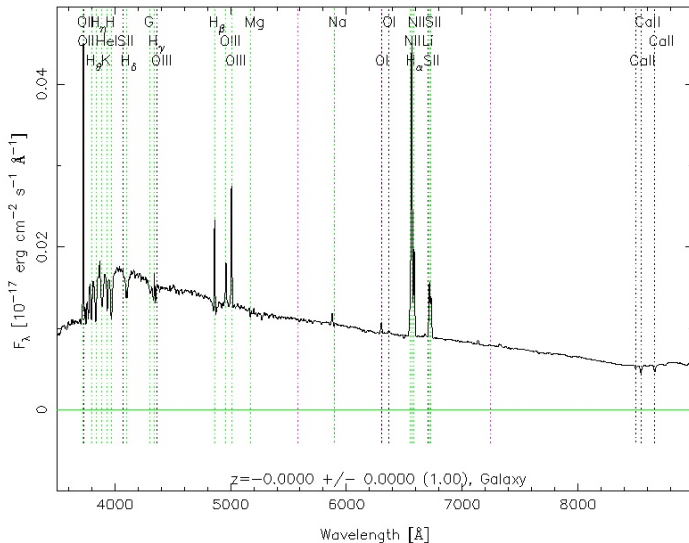
Dysk ma powierzchnię $2 \times \pi r^2$, stąd

$$L = \frac{GM\dot{M}}{2r} = 2\pi r^2 \sigma T^4 \quad (13)$$

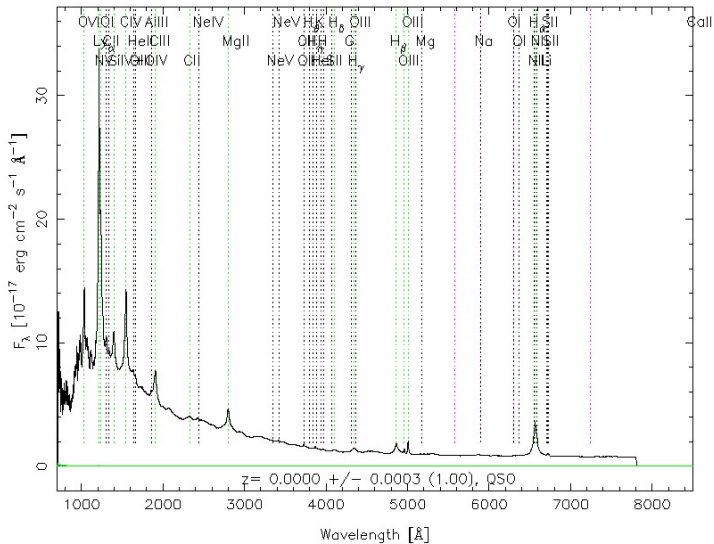
Z powyższego wzoru temperatura dysku T to

$$T(r) = \left(\frac{GM\dot{M}}{4\pi\sigma r^3} \right)^{\frac{1}{4}} \propto r^{-\frac{3}{4}} \quad (14)$$

Galaktyki Aktywne - jak rozpoznać low- z ?



Galaktyki Aktywne



Galaktyki Aktywne - Diagram Baldwina, Phillipsa, Terlevicha (BPT)

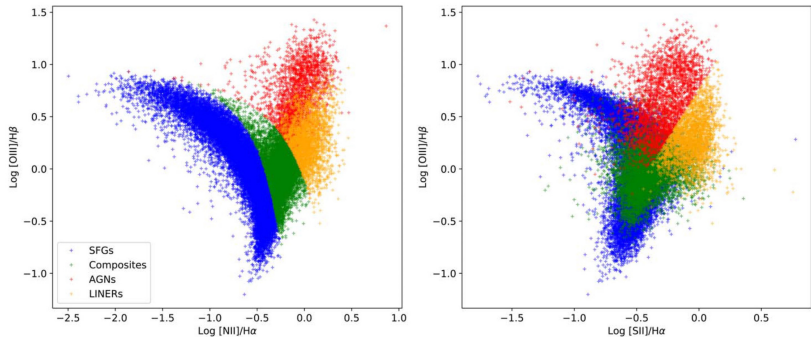
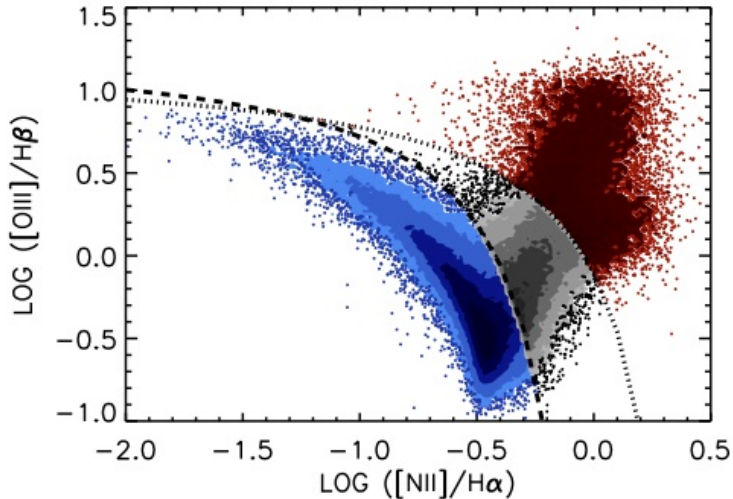


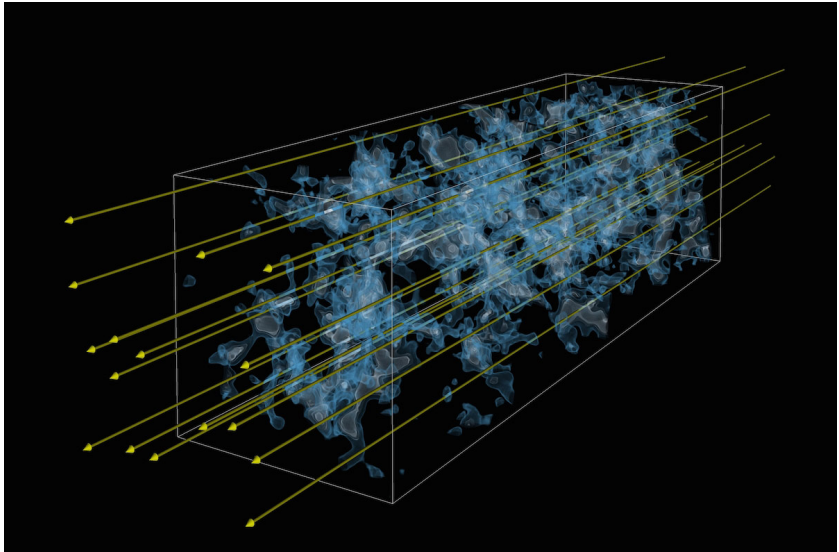
Figure 1. Classification of star-forming galaxies (blue), composites (green), AGNs (red), and LINERs (orange) using the BPT diagram for the $z < 0.32$ galaxy sample. The demarcation lines are from Kauffmann et al. (2003) and Kewley et al. (2006).

Zhang et al. (2019), 883, 63

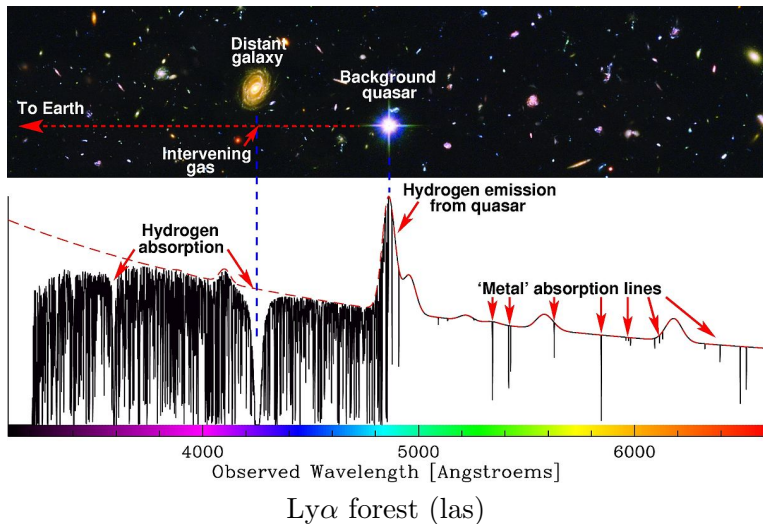
Galaktyki Aktywne - Diagram Baldwina, Phillipsa, Terlevicha (BPT)



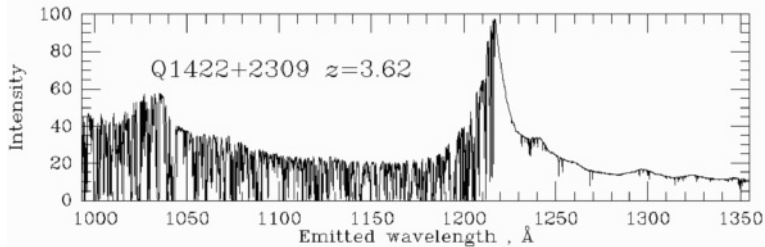
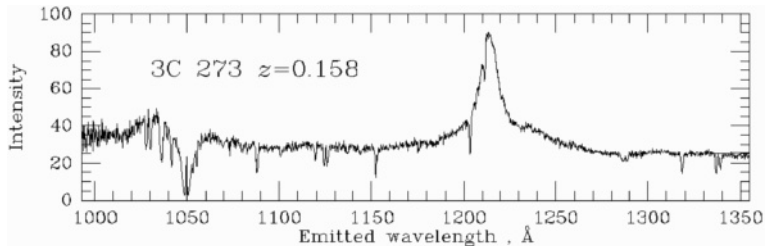
Galaktyki Aktywne - zastosowanie kosmologiczne

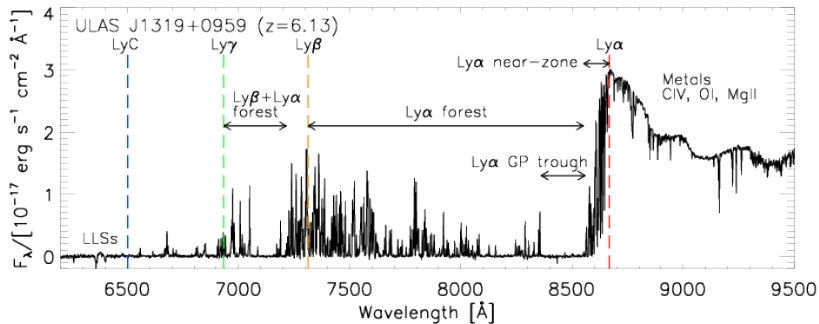


Galaktyki Aktywne



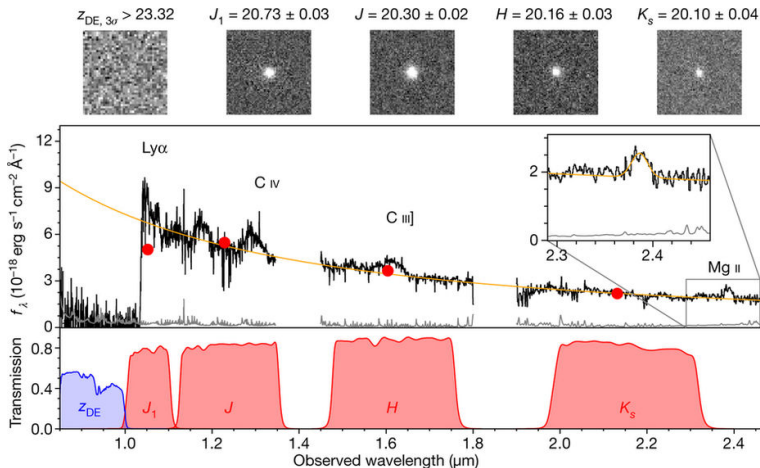
Galaktyki Aktywne





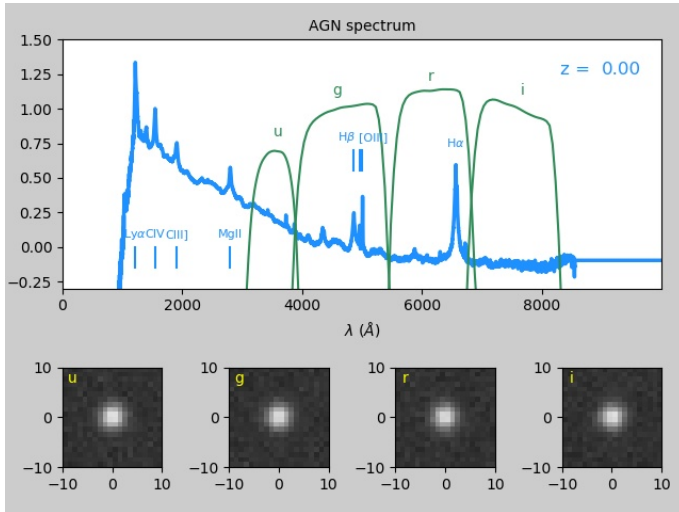
Gunn-Peterson trough (dolina)

Galaktyki Aktywne

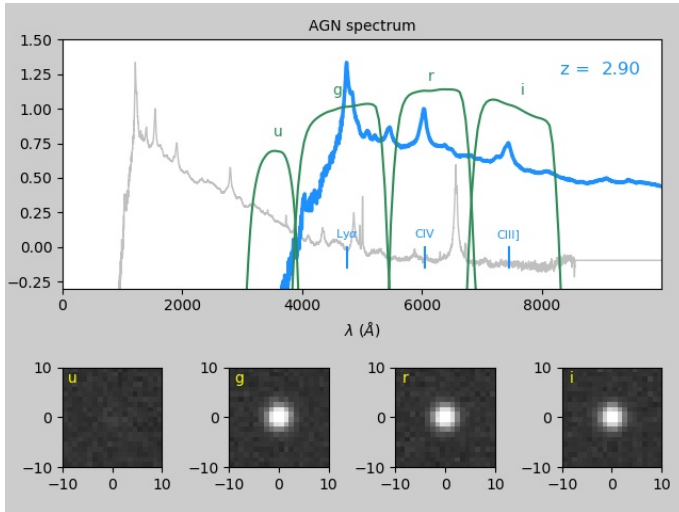


QSO $z = 7.54$ – Banados i in. (2018), Nature, 553, 473

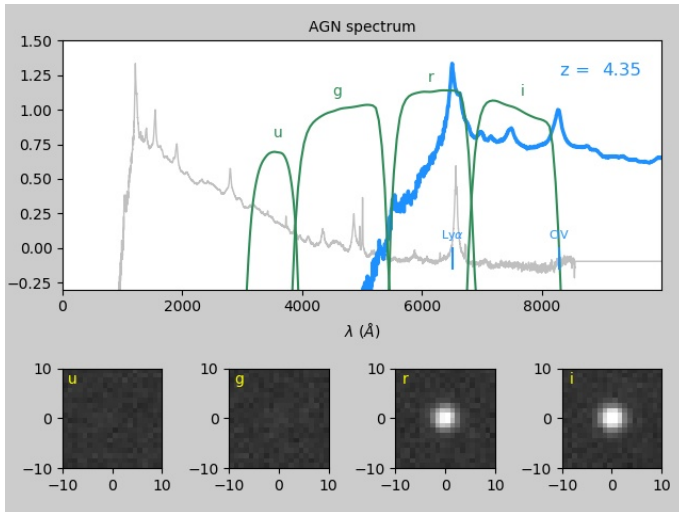
Galaktyki Aktywne



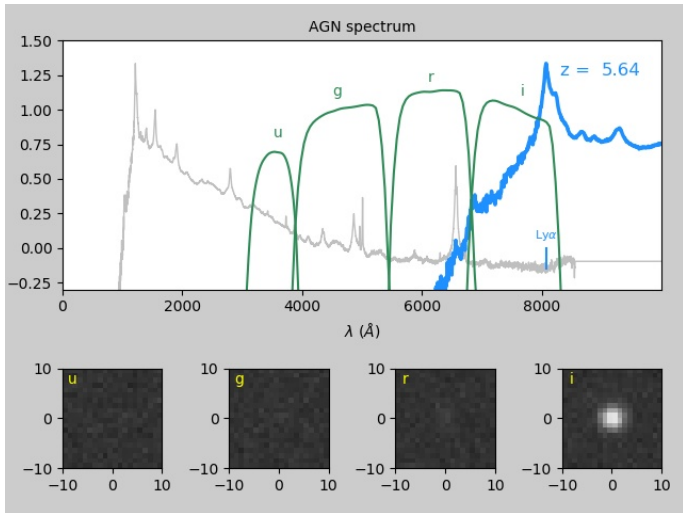
Galaktyki Aktywne

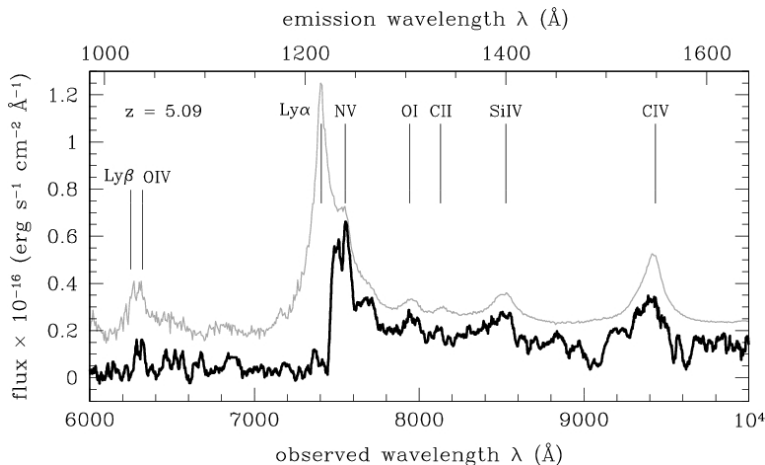


Galaktyki Aktywne



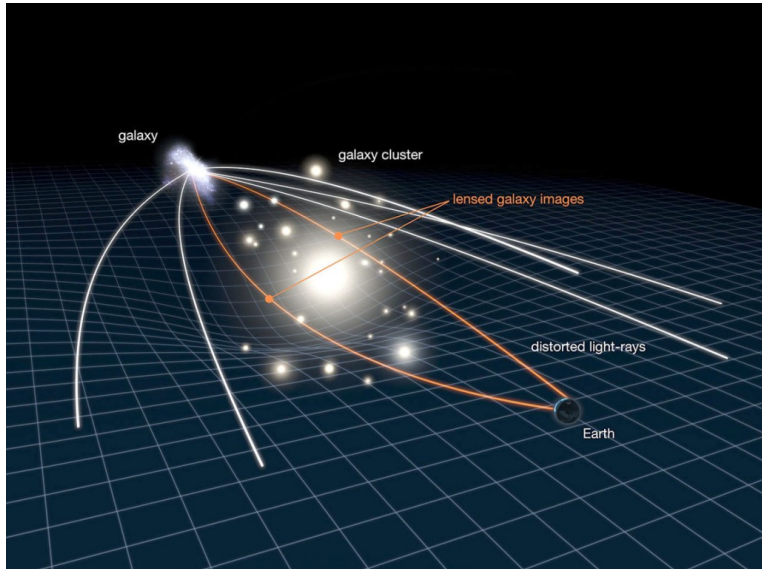
Galaktyki Aktywne



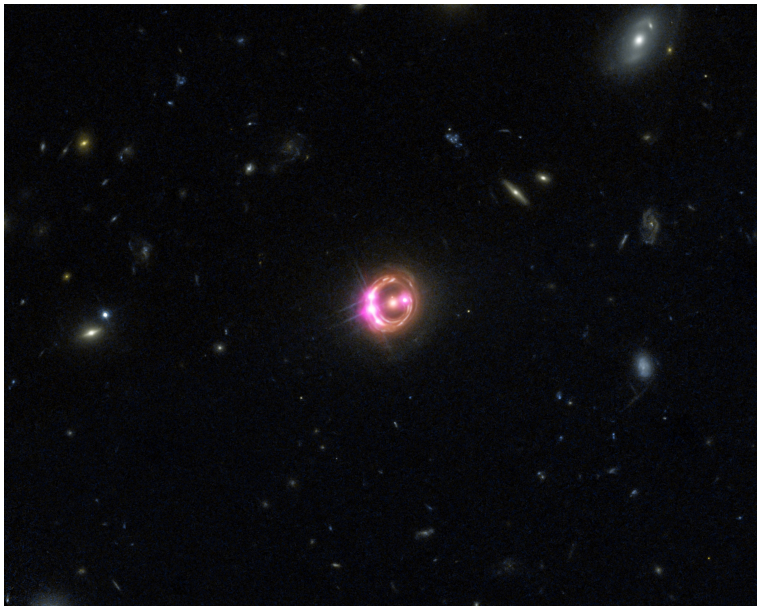


Kozłowski i in. (2019), ApJ, 878, 115

Galaktyki Aktywne - zastosowanie kosmologiczne



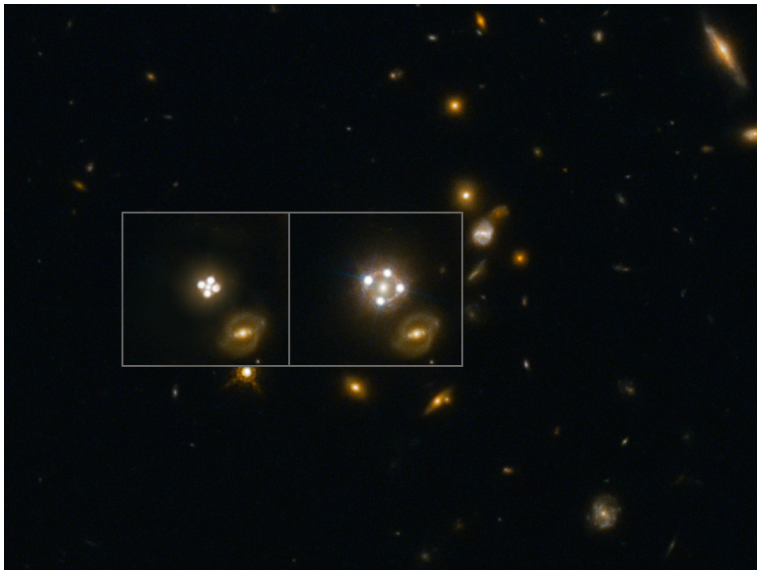
Galaktyki Aktywne



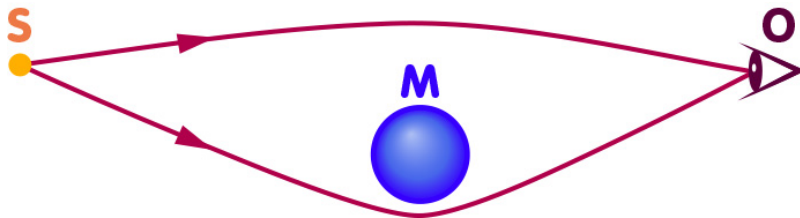
Galaktyki Aktywne



Galaktyki Aktywne

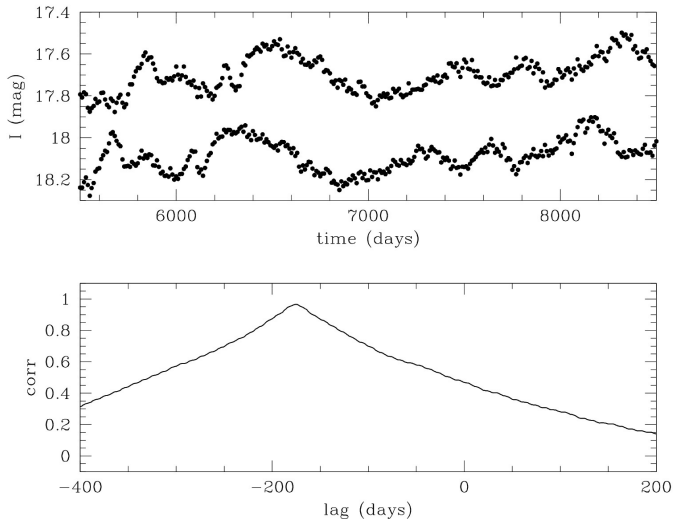


Galaktyki Aktywne - soczewkowanie grawitacyjne

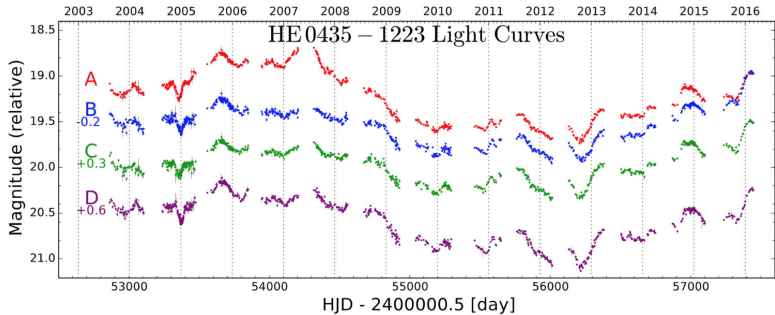


$$\Delta t_{\text{SIS}} = \frac{1}{2} \frac{D_d D_s}{c D_{ds}} \left(\theta_A^2 - \theta_B^2 \right) \quad (15)$$

Galaktyki Aktywne - soczewkowanie grawitacyjne

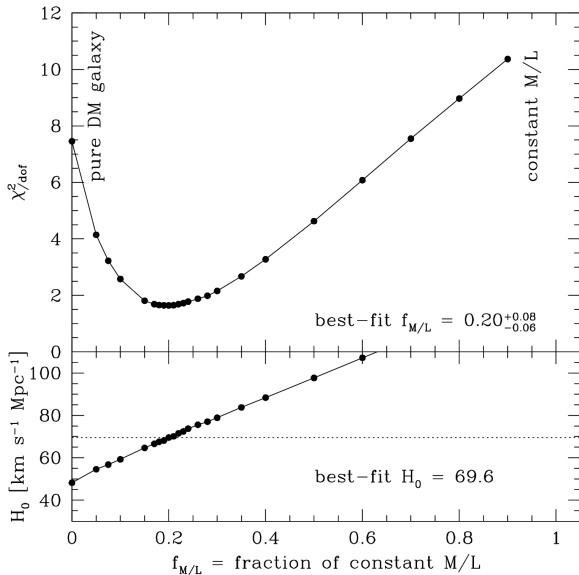


Galaktyki Aktywne - soczewkowanie grawitacyjne

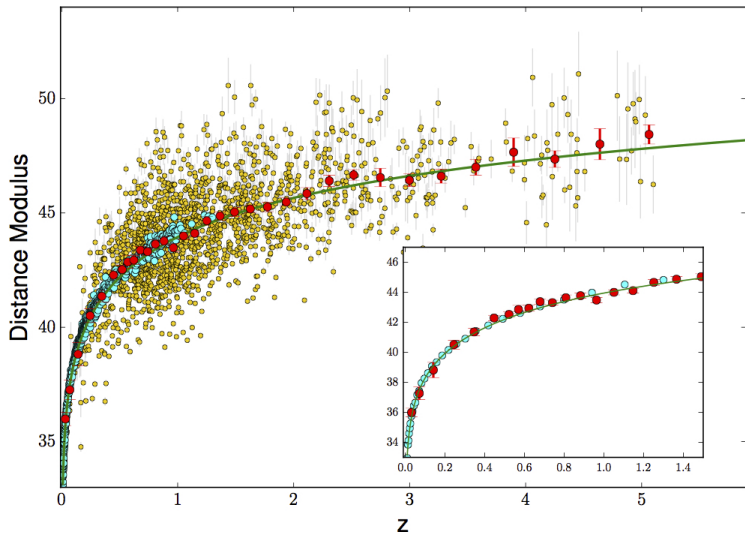


Bovin et al. (2017)

Galaktyki Aktywne - soczewkowanie grawitacyjne



Galaktyki Aktywne - świece standardowe



Galaktyki Aktywne - prędkości nadświatłne

