



# Blazare

Historisch   Aktive Galaxien   Blazare   Ergebnisse

---

**Felicia Krauß**

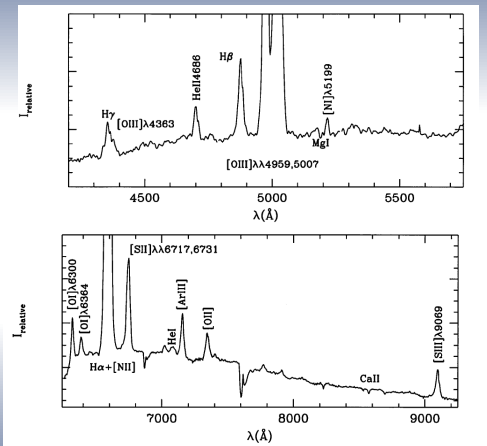
Seminar zur Astro- und Teilchenphysik, 20. Juni 2011



Historisch

# Entdeckung

1908 E. A. Fath:  
NGC 1068 Emissionslinien  
wie planetarischer Nebel  
sehr breite Emissionslinien

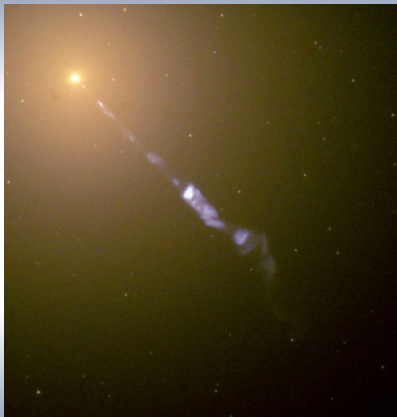


Garcia-Lorenzo, Mediavilla & Arribas, 1999

Blazare



# Entdeckung



M87 Jet (HST)

1918: Heber D. Curtis: Entdeckung optischer Jet (M87)

1926: E. Hubble: Emissionslinien in mehreren Objekten stark rotverschoben → extragalaktische Quellen

1929: **BL Lac** Sternwarte Sonneberg, veränderlicher Stern



# Entdeckung

1943 C. Seyfert: Spiralgalaxien mit Emissionslinien

→ **Seyfert-Galaxien**

1950-1960: Radio Surveys: viele unbekannte Quellen

→ **Quasar** (quasi-stellar radio source)

1963 M. Schmidt: 3C273 bei  $z=0.158$  →  $d \approx 680$  Mpc



Quasar (NAOJ)



Historisch

## Entdeckung

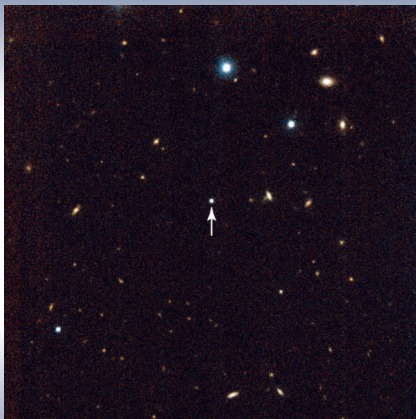
1943 C. Seyfert: Spiralgalaxien mit Emissionslinien

→ **Seyfert-Galaxien**

1950-1960: Radio Surveys: viele unbekannte Quellen

→ **Quasar** (quasi-stellar radio source)

1963 M. Schmidt: 3C273 bei  $z=0.158$  →  $d \approx 680$  Mpc



Quasar (NAOJ)

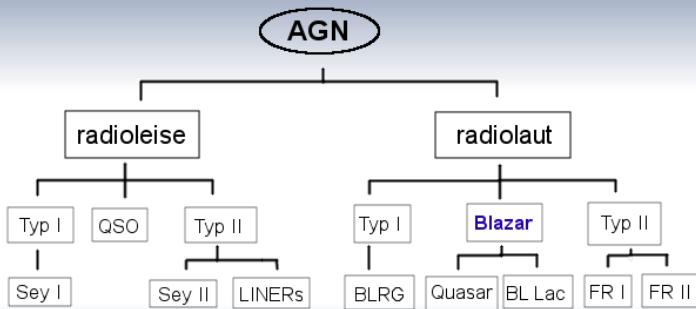


## Klassifizierung

- Hohe Leuchtkraft ( $10^{11} - 10^{14} L_{\odot}$ )
- Emission aus kleinem Gebiet im Zentrum
- Kontinuumsmissionen im gesamten Spektrum
- breite Emissionslinien im optischen und UV
- Aktiver Kern: Supermassives Schwarzes Loch (SMBH) ( $\approx 10^8 M_{\odot}$ )

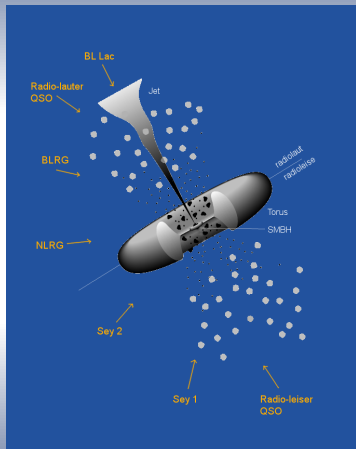


# Klassifizierung

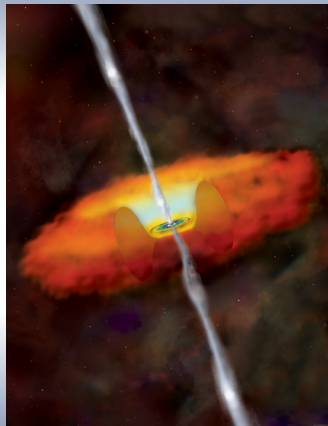




# Standard Modell



AGN - Modell (Urry & Padovani 1995)

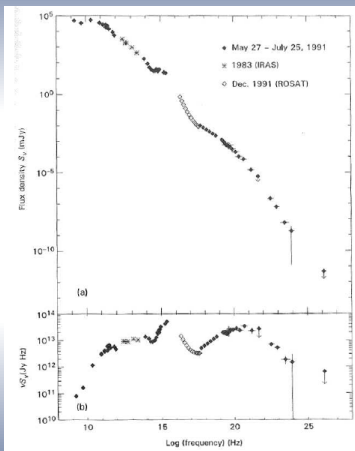


AGN - Modell (NASA/CXC/M.Weiss)





# SED (Spectral Energy Distribution)

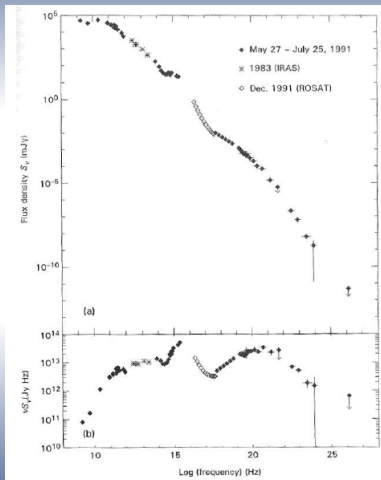


$$F = \int_{\nu_1}^{\nu_2} f \, d\nu = \int_{\ln(\nu_1)}^{\ln(\nu_2)} \nu \cdot f \, d(\ln \nu)$$

f: spektrale Energiedichte  
 $\left( \frac{J}{s \, m^2 \, Hz} \right)$



# SED (Spectral Energy Distribution)



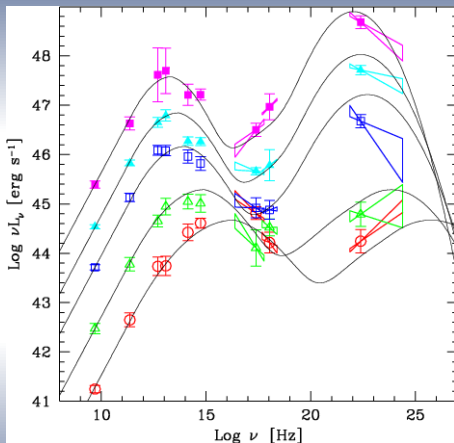
$$F_\nu = C \cdot \nu^{-\alpha}$$

mit  $\alpha \approx 1$

$\nu F_\nu$  konstant: nicht thermische Emission



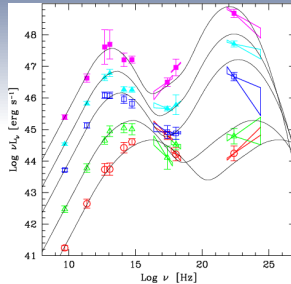
# Blazar Sequenz



gemittelttes Blazar Spektrum, (Donato et al. 2001)



# SED (Spectral Energy Distribution)



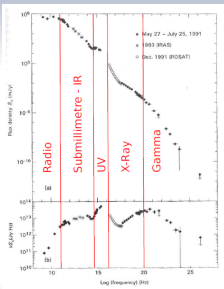
gemitteltetes Blazar Spektrum, (Donato et al. 2001)

typisches Spektrum eines Blazars → zwei Peaks

→ simultane Beobachtungen in verschiedenen Wellenlängen notwendig



# Multiwellenlängen-Astronomie



SED, (Ian Robson, Active Galactic Nuclei, 1996.)

## Multiwellenlängenbeobachtungen

- Radio: Effelsberg, VLBI, VLA, ..
- IR: IRAS, Herschel
- UV/Optisch: zB. Swift/XMM
- X-ray: Chandra, Swift, XMM-Newton, Suzaku, RXTE
- Gamma: Hess, Fermi, Agile



# Multiwellenlängen-Astronomie

## Probleme

- Variabilität der Blazare  
→ zeitnahe Beobachtungen notwendig
- erdgebundene Beobachtungen: nur nachts
- Satelliten:  $90^\circ$  zur Sonne



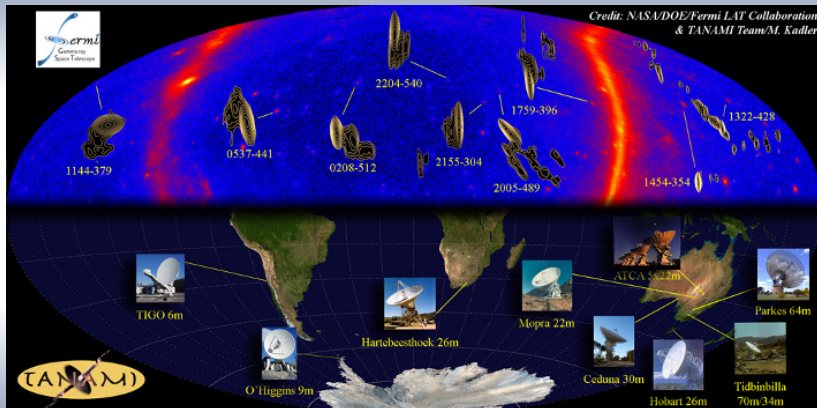
# Multiwellenlängen-Astronomie

Table 1: Simultaneous TANAMI-Swift/XRT observations of selected BL Lacs

Source name	Frequency	TANAMI epoch	Swift/XRT epoch		XRT ontime	Obs-ID
PKS 0208-512	8 GHz	Nov 2007	-			
	8 GHz	June 2008	-			
PKS 0208-512	8 GHz	<b>Nov 27, 2008</b>	2008-11-25T10:17:01	2008-11-25T12:15:58	2172.342000	00035002021
	8 GHz	Sept 5, 2009	2009-09-10T02:38:01	2009-09-10T03:46:40	1203.088000	00035002033
	8 GHz	March 2010	-			
	8 GHz	July 2010	-			
	8 GHz	March 2011	-			
	22 GHz	<b>Nov 29, 2008</b>	2008-11-25T10:17:01	2008-11-25T12:15:58	2172.342000	00035002021
	22 GHz	July 2009	-			
	22 GHz	March 2011	-			
PKS 0521-36	8 GHz	Nov 2007	-			
	8 GHz	March 2008	-			
	8 GHz	Aug 2008	-			
	8 GHz	Feb 2009	-			
PKS 0521-36	8 GHz	March 2010	2010-03-05T04:53:00	2010-03-05T06:08:20	1702.464000	00031645001
			2010-03-08T00:13:01	2010-03-08T23:40:51	2432.838000	00031645002
	8 GHz	July 2010	2010-07-09T00:36:01	2010-07-09T04:48:22	2954.999000	00031645006
			2010-07-13T07:22:01	2010-07-13T11:55:05	2883.432000	00031645007
	8 GHz	March 2011	2011-03-06T15:30:01	2011-03-06T17:13:00	1168.041000	00031645008
			2011-03-07T04:25:01	2011-03-07T06:39:31	2043.446000	00031645009
	22 GHz	March 2008	-			
	22 GHz	Aug 2008	-			
	22 GHz	March 2011	2011-03-06T15:30:01	2011-03-06T17:13:00	1168.041000	00031645008
			2011-03-07T04:25:01	2011-03-07T06:39:31	2043.446000	00031645009
PKS 2005-489	8 GHz	Nov 2007	-			
	8 GHz	March 2008	-			
	8 GHz	Aug 2008	-			
PKS 2005-489	8 GHz	Feb 2009	2009-06-01T00:58:00	2009-06-01T06:43:32	2954.381000	00035026007
	8 GHz	Dec 2009	2009-06-24T20:42:00	2009-06-24T23:30:03	3251.680000	00035026009
	8 GHz	July 2010	-			
	8 GHz	March 2011	-			
	22 GHz	March 2008	1	-		
	22 GHz	Aug 2008	-			
	22 GHz	March 2011	-			
PKS 2155-305	8 GHz	March 2008	-			
PKS 2155-305	8 GHz	<b>Aug 8, 2008</b>	2008-08-08T23:58:01	2008-08-09T01:04:42	832.207000	00030795034
	8 GHz	Feb. 2009	-			



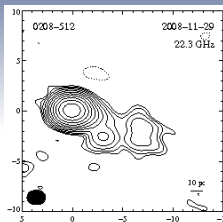
# TANAMI







# TANAMI

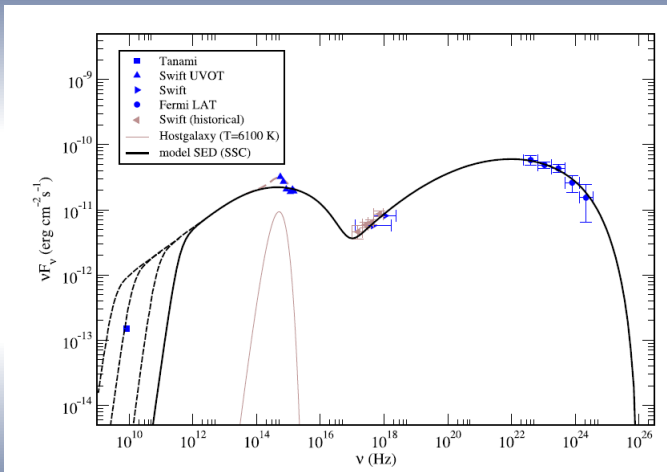


(NASA/Fermi LAT/TANAMI)

- Tracking Active Galactic Nuclei with Austral Milliarcsecond Interferometry
- VLBI - Monitoring (Very Large Baseline Interferometry)
- 8.4 and 22 GHz



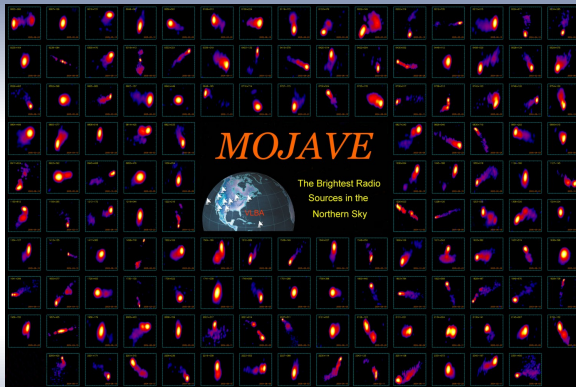
# TANAMI



SED (Roopesh Ojha, Tanami)



# MOJAVE

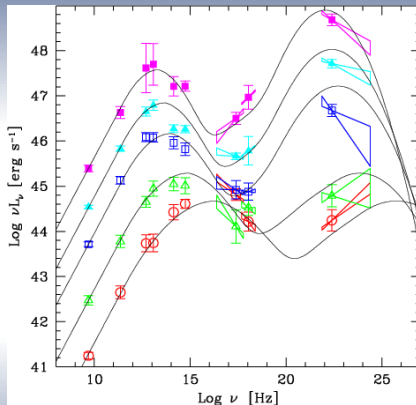


(<http://www.physics.purdue.edu/>)

VLBA Beobachtungen 15 GHz



# SED (Spectral Energy Distribution)



gemittelttes Blazar Spektrum, (Donato et al. 2001)

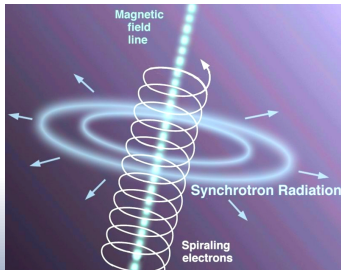
Ursache für die beiden Peaks?



## SED (Spectral Energy Distribution)

### Der erste Höcker: Synchrotron-Strahlung

- entsteht wenn geladene Teilchen in einem Magnetfeld beschleunigt werden

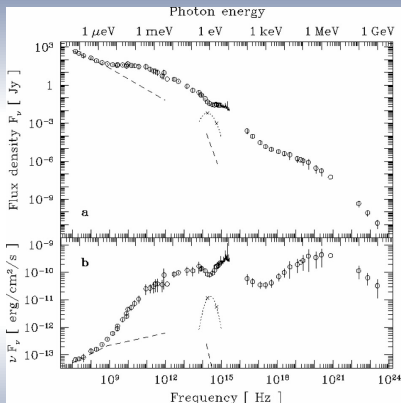


(<http://woodahl.physics.iupui.edu/>)

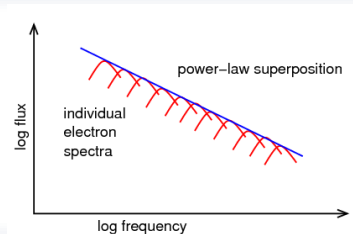
- Synchrotronstrahlung ist linear polarisiert
- bei relativistischen Geschwindigkeiten  
→ stark kollimierter Strahlungskegel
- Änderung der Jet Geschwindigkeit  
→ Flussänderungen erklären Variabilität



# Synchrotron-Strahlung



(SED 3C273, (Türler et al., 1999))

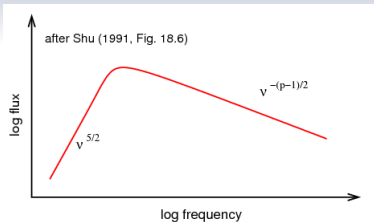


(Shu, 1991)

Überlagerung der Synchrotronstrahlung: Potenzgesetz



# Synchrotron-Strahlung



Bei kleinen Energien:  
Elektronen absorbieren  
Synchrotron-Photonen

→ Synchrotron Selbst - Absorption



---

## SED (Spectral Energy Distribution)

### Der zweite Höcker?

Verschiedene Modelle → genauere Betrachtung notwendig

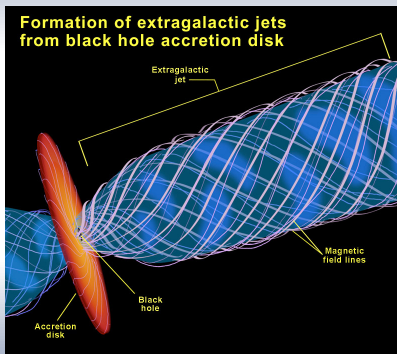
Leptonisches vs. hadronisches Modell





## Leptonisches Modell

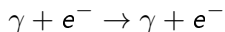
relativistisches Jetplasma aus Elektronen und Positronen  
zweiter Höcker durch Inverser Compton Effekt



(NASA)



## Inverser Compton Effekt



Inverser Compton Effekt: hochenergetisches Elektron streut an niederenergetischem Photon

Intern: Photonen entstehen im Jet (Synchrotron-Self-Compton)

Extern: Photonen kommen von außen



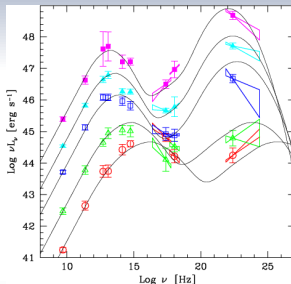
# Inverser Compton Effekt

$$E_{RS} = E_{LS} \cdot \gamma \cdot (1 - \beta \cos \theta)$$

$$E'_{LS} = E'_{RS} \gamma (1 + \beta \cos \theta')$$

$$\rightarrow E' = E \cdot \gamma^2$$

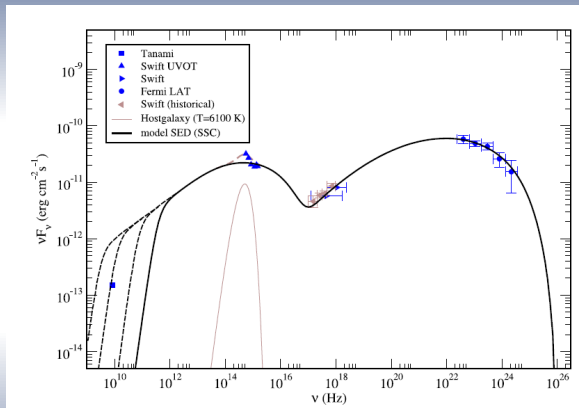
da  $\theta \approx \frac{\pi}{2}$



gemittelttes Blazar Spektrum,  
(Donato et al. 2001)



# Leptonisches Modell



SED: PKS 0521-365 (Roopesh Ojha/Tanami)



# Leptonisches Modell

## Zusammenfassung

- Elektronen haben wenig Masse  $\rightarrow$  Beschleunigung leichter
- gute Übereinstimmung beim Synchrotronhöcker
- SSC gute Erklärung für zweiten Höcker
- Problem: Ladungsneutralität (Elektronen und Positronen im Jet vorhanden)



## Hadronisches Modell

Hochrelativistische Protonen im Jetplasma

Erster Höcker: ebenfalls durch Synchrotronstrahlung

Zweiter Höcker: Proton-Proton und Proton-Photon

Wechselwirkungen

Beschleunigung: Schockfronten



## Hadronisches Modell

Proton-Proton Reaktionen  
produzieren Mesonen: Zerfall

$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma$$

$$\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm \nu_\mu$$

...

→ Detektion von Neutrinos wären guter Beweis für hadronisches Modell



# Hadronisches Modell

## Zusammenfassung

- gute Übereinstimmung im Ultrahochenergiebereich
- Neutrino-Beobachtungen notwendig

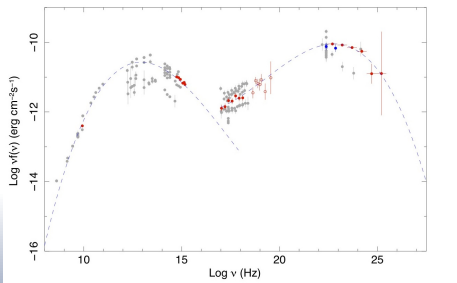




# Variabilität

Kurzzeitvariabilität: Minuten - Tage, Flares, Interstellare  
Szintillation, Micro-lensing

Langzeitvariabilität: Monate - Jahre, Akkretionsschwankungen



Abdo et al. 2010



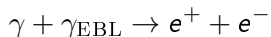
# Extragalactic Background Light

- gesamte diffuses Licht aller extragalaktischen Quellen
- Beitrag: 1 % des ankommenden Lichtes im UV-IR
- Messungen schwierig, da Quellen im Vordergrund viel stärker leuchten



# Extragalactic Background Light

hohen Energien:  $\gamma$  -Strahlung reagiert mit EBL



→ Aufschluss über EBL

## Quellen



**Krolik, J.: Active Galactic Nuclei, Princeton 1999**



**Rybicki G., Lightman A.: Radiative Processes in Astrophysics, Wiley 2004**



**Longair M.: High Energy Astrophysics, Cambridge 2004**



**Wilms J., Kadler M.: Vorlesung Aktive Galaxien, SS 10**



**Wilms J., Kadler M.: Vorlesung Multiwellenlängenastronomie, SS 09**



(cosmographica.com)