

# Soczewkowanie grawitacyjne w wysokich energiach

Anna Barnacka

Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika w Warszawie  
CEA Saclay, DSM/IRFU, Francja

08 marca 2011

- 1 Silne soczewkowanie grawitacyjne
- 2 PKS 1830-211
  - Charakterystyka sytemu
  - Radio obserwacje - wyznaczanie opóźnienia czasowego
- 3 FERMI Satelita
  - PKS 1830-211 obserwacje FERMI
  - Obserwacje w wysokich energiach a soczewkowanie grawitacyjne
- 4 Metoda wyznaczania opóźnienia czasowego
  - Metoda
  - Symulacje Monte Carlo
  - PKS 1830-211
- 5 Podsumowanie

# Silne soczewkowanie grawitacyjne

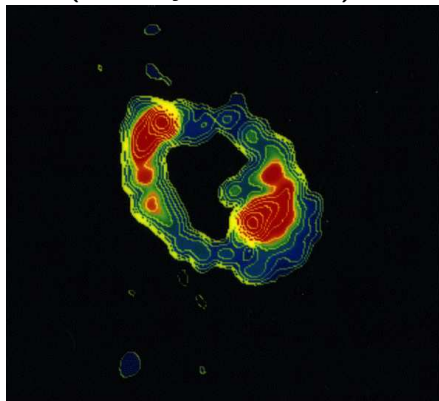


**a** - opóźnienie czasowe; **b** - stosunek amplitud  
separacja obrazów - kilka arcsec

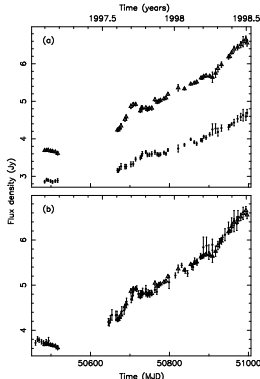
# PKS 1830-211

- **PKS 1830-211** - Blazar soczewkowany grawitacyjnie  $z=2.507$  (Lidman 1999)
- **Soczewka** - galaktyka spiralna  $z=0.89$  (Wiklind & Combes)
- 0."97 odległość kątowa między obrazami

(Jauncey et al. 1991)



# Radio obserwacje - wyznaczanie opóźnienia czasowego

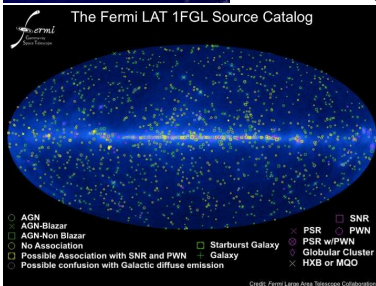


(J.E.J. Lovell et. all, 1998)

- Metoda wyznaczania opóźnienia czasowego: kroskorelacja
- Wyniki otrzymane przez Lovell et. all :  
Opóźnienie czasowe  $\mathbf{a} = 26 \pm 5$ ;  
Stosunek amplitud  $\mathbf{b} = 1.52 \pm 0.05$
- Ograniczenia metody:
  - Wymaga charakterystycznego przebiegu czasowego
  - Dane nie są równomiernie próbkowane
  - Trudności z uzyskaniem długiej próbki danych
  - Wymaga dobrej separacji obrazów



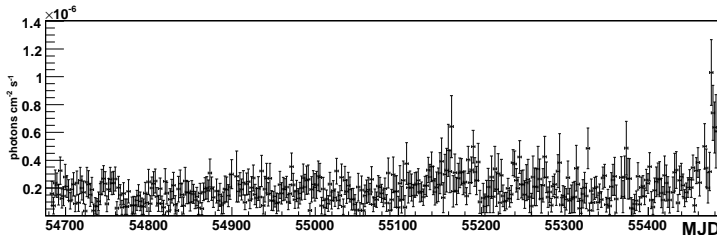
- Pierwsze światło: czerwiec 2008
- Zakres energii: 20 MeV - 300 GeV
- Pole widzenia: 20 % nieba
- Skan całego nieba: 3 godz
- Rozdzielczość kątowna:  
 $100\text{MeV} \sim 3.5^\circ$  ,  $10\text{GeV} \sim 0.1^\circ$
- Tysiące odkrytych źródeł, w tym:



- Aktywne jądra galaktyk (AGN)
- Blazary
- Pozostałości po wybuchu supernowych (SNR)
- Pulsary (PSR)
- Pulsar Wind Nebula (PWN)
- x-ray binary stars (HXB) and micro-quasars (MQO)
- Błyski gamma

# PKS 1830-211 obserwacje za pomocą satelity FERMI

- Detekcja  $\sim 6.5\sigma$  (Abdo et al. 2010)
- Zakres energii od 300 MeV do 100 GeV
- Długość binu = 2 dni
- Krzywa blasku od 4.08.2008 do 13.10.2010
- Średnia liczba fotonów = 2.6 fotonów/dzień



# Obserwacje w wysokich energiach a soczewkowanie grawitacyjne

- Rozdzielczość kątowna  $1^\circ$  dla 1 GeV
- Typowa separacja dla obrazów kwazara soczewkowanego przez galaktykę - kilka arcsec
- Maksymalna separacja 100 arcsec (Paczyński & Górski 1981)  
→ obserwowany obraz = suma poszczególnych obrazów  
 $g(t) = f(t) + bf(t+a)$
- Strategia obserwacyjna: przegląd całego nieba w 190 minut  
→ regularne próbkowanie z okresem kilku godzin
- Satelita FERMI rejestruje wysokoenergetyczne fotony od ponad 800 dni  
→ długa seria danych
- Bardzo niski poziom szumu



# Metoda podwójnego widma mocy

## I Transformata Fouriera

- $f(t) + bf(t + a) \xrightarrow{FT} \tilde{f}(\nu) + b\tilde{f}(\nu)e^{-2\pi i\nu a}$
- $\tilde{g}(\nu) = \tilde{f}(\nu)(1 + be^{-2\pi i\nu a})$

## I Widmo Mocy

- $|\tilde{g}(\nu)|^2 = |\tilde{f}(\nu)|^2(1 + b^2 + 2b\cos(2\pi\nu a))$

**a** - opóźnienie czasowe

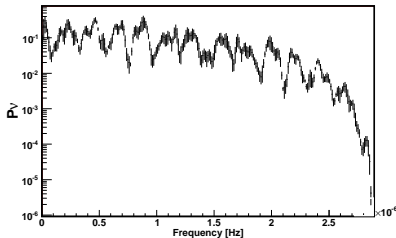
**b** - stosunek amplitud

# Symulacje Monte Carlo

Krzywa blasku: biały szum,  $a = 28$ ,  $b = 1.5$

## I Widmo Mocy

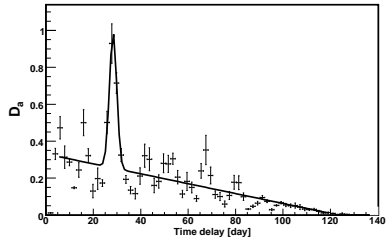
$$|\tilde{g}(\nu)|^2 = |\tilde{f}(\nu)|^2(1 + b^2 + 2b\cos(2\pi\nu a))$$



## II Widmo Mocy

Istotność =  $10\sigma$

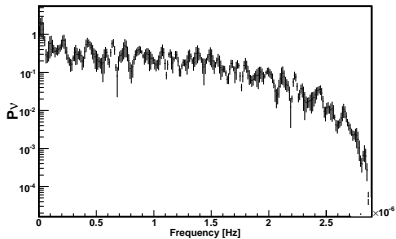
Opóźnienie czasowe  $a = 28.56 \pm 0.52$



# PKS 1830-211

## I Widmo Mocy

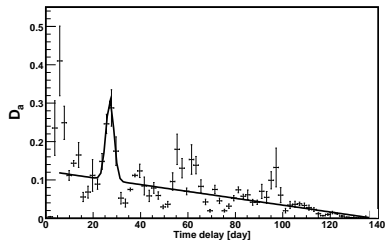
$$|\tilde{g}(\nu)|^2 = |\tilde{f}(\nu)|^2(1 + b^2 + 2b\cos(2\pi\nu a))$$



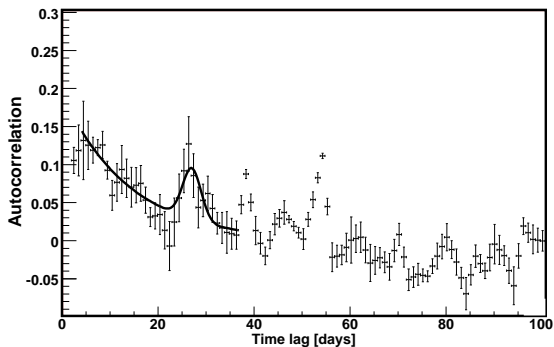
## II Widmo Mocy

Istotność = 4.2  $\sigma$

Opóźnienie czasowe  $a = 27.1 \pm 0.6$



Opóźnienie czasowe  $a = 27.1 \pm 0.45$  Istotność =  $1.1 \sigma$



# Podsumowanie

- Precyzyjne wyznaczenie opóźnienia czasowego jest kluczowe dla modelowanie układów soczewek  
Opóźnienie czasowe:  
 $26_{-5}^{+4}$  dni Lovel et al.(1998)  
 $24_{-4}^{+5}$  dni Wiklind & Combes (2001)  
 $27.1 \pm 0.6$  dni Barnacka et al. (2011)
- Metoda nie wymaga obecności rozbłysków w krzywej zmiany blasku
- Poszukiwanie więcej niż jednego opóźnienia czasowego w bardziej skomplikowanych układach
- Poszukiwania układów soczewkowanych dla których nie była możliwa separacja obrazów
- Wyznaczanie opóźnień czasowych dla innych zjawisk astronomicznych, gdzie krzywa blasku jest sumą kilku komponentów