



# «Астрофизика объектов со сверхвысокой яркостной температурой»

Ограничения на интенсивность синхротронного излучения астрономических объектов.

ВАК2010, САО, 13 сентября 2010 г.

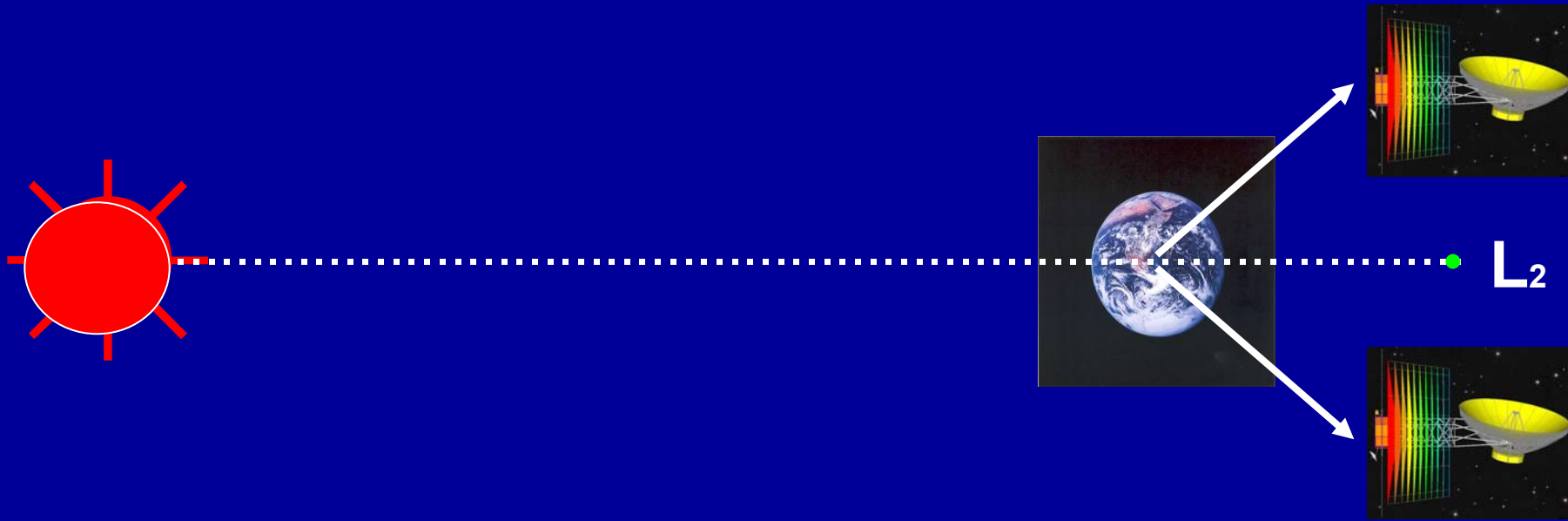


# Основные параметры интерферометра Радиоастрон

Диапазоны частот [ГГц]	0,320- 0,328	1,636- 1,692	4,804- 4,860	18,372- 25,132
2 поляризации x ширина полосы [МГц]	2 x 4	2 x 32	2 x 32	2 x 32
Ширина лепестка на базе 350.000 км [микросекунд]	540	106	37	7 - 10
Чувствительность 1- $\sigma$ [мЯн] (GBT, накопление 300 с)	42	4	4	10

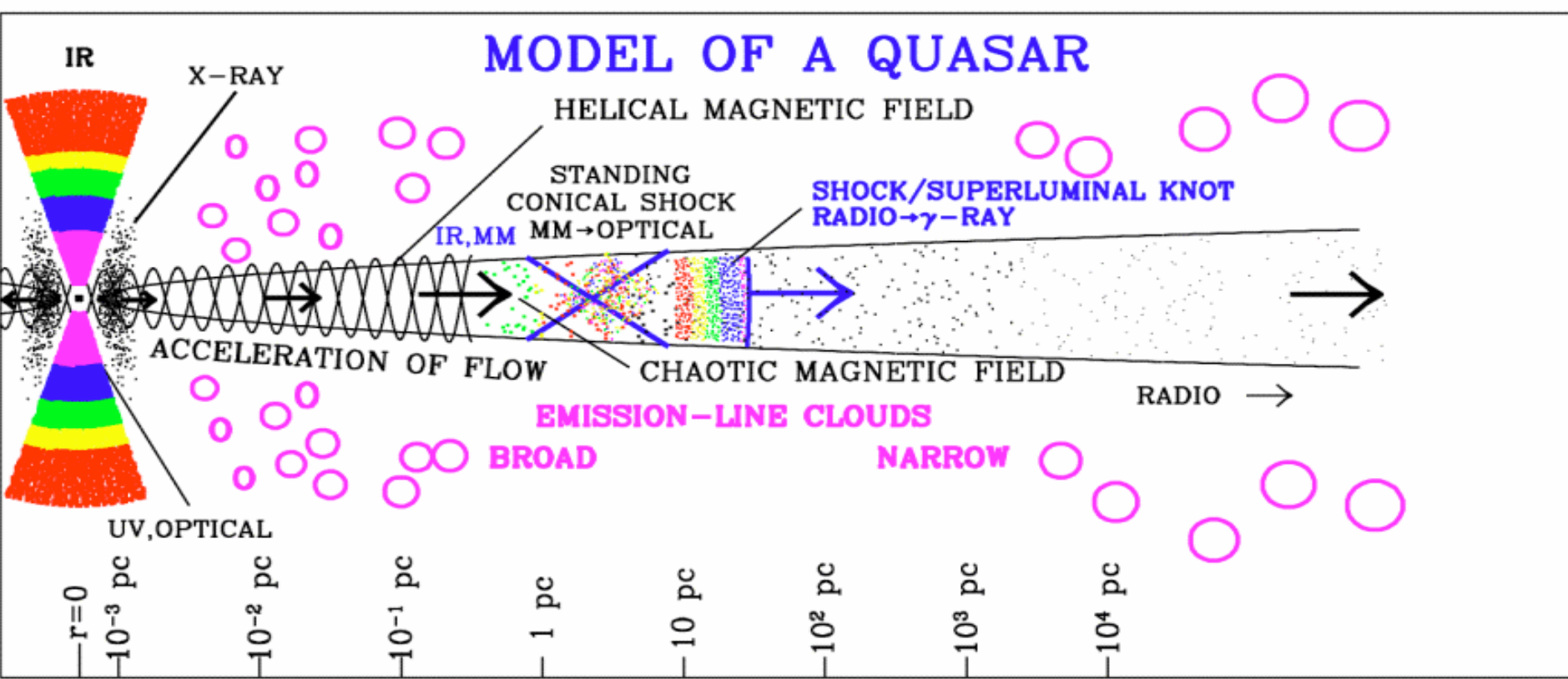


# Миллиметронтрон около точки $L_2$



T (days)	B( $10^3$ km)	$\lambda=2$ cm	1 mm	300 $\mu$ m
365( $L_2$ )	1.5 000	$\lambda/a = 2.8$ $\mu$ as	0.14 $\mu$ as	41 nas

**Период колебаний около точки  $L_2$  200.8 days.  
При этом эклиптическая широта обсерватории  
изменяется в пределах  $b=+/-$  55 градусов.**



**Exploring the Most Compact Regions of Relativistic Jets with the Ultra-high Angular Resolution of Space VLBI**

[http://www.nrao.edu/A2010/whitepapers/rac/Marscher\\_Exploring\\_GCT.pdf](http://www.nrao.edu/A2010/whitepapers/rac/Marscher_Exploring_GCT.pdf)

Decadal Survey thematic science area 4: Galaxies across Cosmic Time (GCT). A. Marscher et al., 2010.

**Центральная машина: структура и величина магнитного поля, роль гравитации СМЧД, ускорение частиц, струя или облака, синхротронное или изгибное излучение, электроны или протоны.**

## Пределные яркостные температуры синхротронного излучения

- $10^{12}$  К – обратное комптоновское рассеяние (Kellermann & Pauliny-Toth 1969).
- $10^{10}$ - $10^{11}$  К – равенство энергии релятивистских частиц и магнитного поля в облаках или струе (Readhead 1994, Guijosa & Daly 1996, Kellermann et al. 2004, Homan et al. 2006, Singal 1986 & 2009).
- Синхротронное излучение релятивистских протонов (Jukes 1967, Rees 1968, Pacini & Rees 1970, Kardashev 2000 & 2001, Mucke et al. 2002, Aharonian 2004, Reimer et al. 2004, Razzaque et al. 2010).  
$$T_p/T_e = (m_p/m_e)^{6/5} = (1836)^{6/5} = 8254.$$

Если  $T_e = 10^{12}$  К, то  $T_p = 8 \times 10^{15}$  К.

При заданном потоке угловой размер меньше а база интерферометра больше в  
 $(m_p/m_e)^{3/5} = 90$  раз.
- Нестационарные условия: постоянная инжекция и уход излучающих частиц за время  $t$ , синхротронное излучение с учётом самопоглощения и обратного комптоновского рассеяния (Slysh 1992).  
$$T_b \leq 0.75 \text{ m}^2 \text{ c}^5 (4\pi e^2 k)^{-1} v_c^{-1.5} (2t/3)^{-0.5},$$
$$T_e \leq 3 \cdot 10^{13} (v_c / 30 \text{ ГГц})^{-1.5} (t/1 \text{ день})^{-0.5} \text{ К},$$
$$T_p \leq 1 \cdot 10^{20} (v_c / 30 \text{ ГГц})^{-1.5} (t/1 \text{ день})^{-0.5} \text{ К}.$$
- Допплеровское усиление за счёт движения облаков или струи релятивистских частиц (Shklovsky 1964, Wolthjer 1966, Rees 1966, Van der Laan 1971, Blandford & Konigl 1979, Lahteenmaki et al. 1999, Valtaoja et al. 1999, Hovatta et al. 2008, Kellermann et al. 2007, Nieppola et al. 2009, Singal 2009, Savolainen et al. 2010).

Для источника с центральной симметрией и падением яркостной температуры по закону Гаусса спектральная плотность интенсивности

$$I_{\nu} = (2kT_{\max} / \lambda^2) \exp(-\ln 16 \cdot \phi^2 / \theta^2) \quad (1).$$

$T_{\max}$  – яркостная температура в центре изображения,  $\theta$  - диаметр изображения по уровню 0,5 от центральной интенсивности. Поток излучения от источника и его функция видности

$$F_{\nu} = \pi \cdot k \cdot T_{\max} \theta^2 / (\ln 4 \cdot \lambda^2) \quad (2),$$

$$V = \exp[-(\pi \cdot \theta \cdot B / \lambda)^2 / (\ln 16)] \quad (3).$$

$B$  – величина проекции базы на картинную плоскость источника (Purcell, G.H., PhD thesis, California Institute Technology, 1973). Из (3) для  $V=0,5$  диаметр источника

$$\theta = (\ln 4 / \pi) \cdot (\lambda / B) \approx 0.44 \cdot \lambda / B \quad (4).$$

Из (2) и (3)

$$T_{\max} = (\pi \cdot F_{\nu} \cdot B^2) / (2 \cdot k \cdot \ln V^{-1}) \quad (5)$$

или

$$B = [(2 \cdot k \cdot T_{\max} \cdot \ln V^{-1}) / (\pi \cdot F_{\nu})]^{1/2} \quad (6).$$

Для Радиоастроны

$$F_{\nu} = 50 \text{ mJy}, B = 350000 \text{ km}, V = 0.5 : T_{\max} = 10^{13} \text{ K}.$$

$$T_b = (amc^2 / k)(m^2 c^4 e^{-3} H_{\perp}^{-1})^{1/7} N^{6/7} D^{n+\alpha} / (1+z)^{3+\alpha},$$

$$D = \gamma^{-1} (1 - \beta \cos \theta)^{-1},$$

$$\gamma = (1 - \beta^2)^{-0.5},$$

$$\beta = v / c,$$

$$F_{\nu} \propto \nu^{\alpha}.$$

**В факторе Допплеровского усиления для подвижного и излучающего облака  $n=3$ , для струи  $n=2$ .**

**Для моноэнергетического спектра релятивистских частиц  $a=0.725$ , для степенного спектра с показателем 1, 2 и 3 величина  $a$  соответственно 0.85, 0.28 и 0.19.**

**$N$  – фактор когерентности для  $e$  и  $m$ .**



## Допплеровское усиление интенсивности

Определение параметров по наблюдениям переменности радиопотока  $\Delta F_\nu$  за время  $\tau$  и с помощью РСДБ скорости движения источника (иногда сверхсветовой) в долях скорости света  $\beta_o$ .

$D$  – Допплеровский фактор усиления интенсивности и угол  $\theta$  между направлением струи и направлением на наблюдателя в его системе координат. В системе источника

$$\theta_s = \arccos[(\cos \theta - 1) / (1 - \beta \cos \theta)] ,$$

здесь Лоренц-фактор  $\beta = v/c$ ,  $v$  – скорость струи).

Яркостная температура по переменности радиопотока в системе источника

$$\begin{aligned} T_b &= \Delta F_\nu \cdot d_L^2 \cdot (1+z) / (2\pi \cdot k \cdot \nu^2 \cdot \tau^2) = \\ &= 1.544 \cdot 10^{-32} \cdot \Delta F_\nu \cdot d_L^2 \cdot (1+z) / (\nu^2 \cdot \tau^2) . \end{aligned}$$

Здесь приведён численный коэффициент для  $\Delta F_\nu$  - в Янских,  $\tau$  - в сутках, фотометрического расстояния  $d_L$  до источника с красным смещением  $z$  - в метрах.

$$D = (T_b / T_{b,int})^{1/(3+\alpha)} ; \delta = (\beta_o^2 + D^2 + 1) / 2D ;$$

$$\theta = \arctg[2\beta_o / (\beta_o^2 + D^2 - 1)] .$$

# AGN's with $z < 0.048$ and associated 27 PAO events.

1FGL name	$l$	$b$	Class <sup>a</sup>	Name <sup>b</sup>	$z$	ID <sup>c</sup>	$N(6.5^\circ)^d$	$N(16.9^\circ)$
J1305.4-4928	$-54.7^\circ$	$13.3^\circ$	Sy 2	NGC 4945	0.002	1	4	7
J1325.6-4300	$-50.4^\circ$	$19.4^\circ$	RG	Cen A	0.002	2	3	7
J1307.0-4030	$-54^\circ$	$22.4^\circ$	Sy 1	ESO 323-G77	0.015	3	3	6
J0047.3-2512	$97.4^\circ$	$-88^\circ$	SB	NGC 253	0.001	4	0	1
J1517.8-2423	$-19.3^\circ$	$27.6^\circ$	BLL	Ap Lib	0.048	5	0	0
J0308.3+0403	$174.9^\circ$	$-44.5^\circ$	BLL	NGC 1218	0.029	6	0	2
J2204.6+0442	$64.7^\circ$	$-38.6^\circ$	Sy 1/BLL	4C+04.77	0.027	7	2	3
J1230.8+1223	$-76.2^\circ$	$74.5^\circ$	RG	M87	0.004	8	0	0
J0008.3+1452	$107.6^\circ$	$-46.7^\circ$	Sy 1	RX J0008.0+1450	0.045	9	0	1

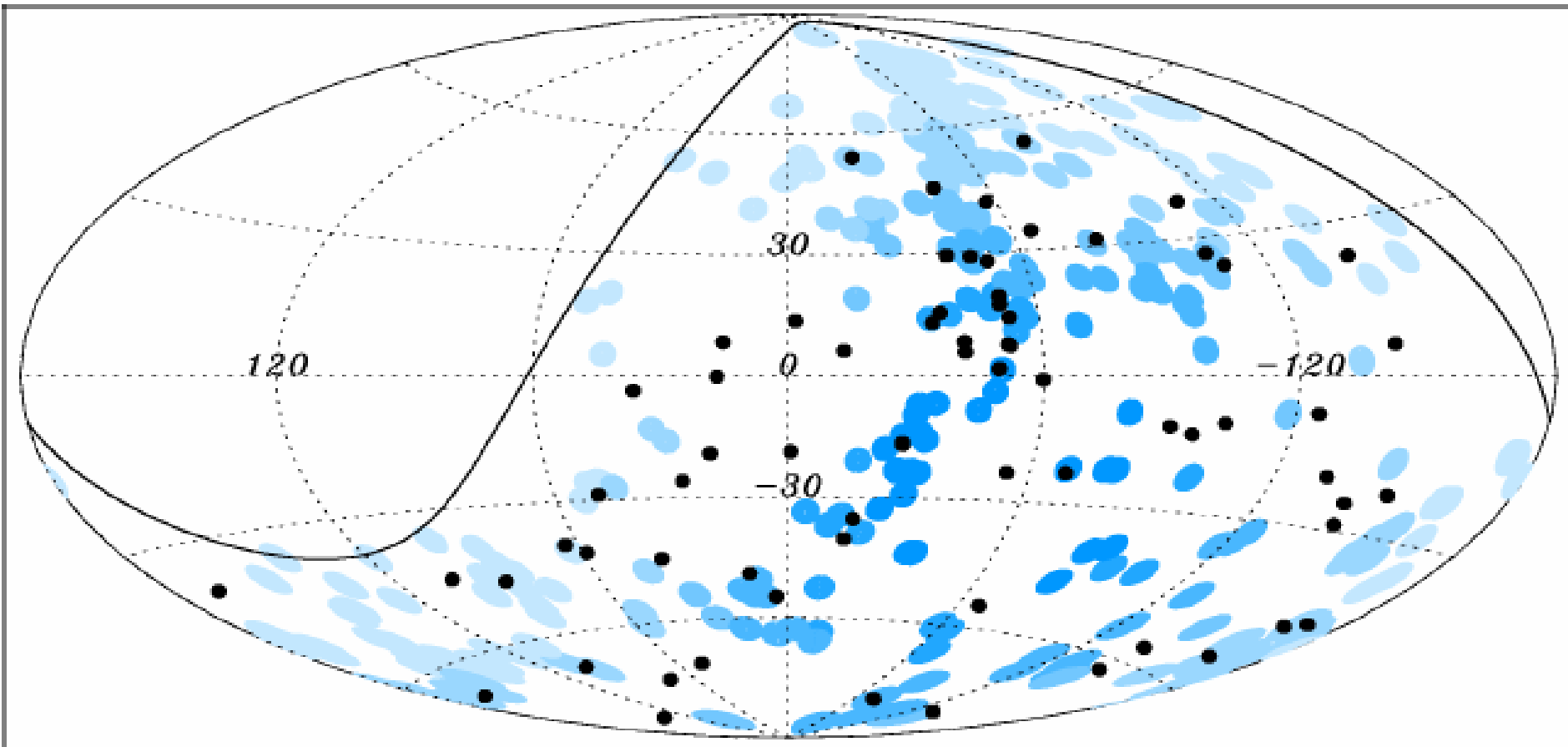
**a:** RG = radio galaxy, BLL = BL Lacertae, Sy 1 = Seyfert 1, Sy 2 = Seyfert 2, SB = starburst galaxy.

**b:** Name of identified or likely associated source.

**c:** Identification of each source numbered in Figure 5.

**d:** Number of PAO events potentially associated with each Fermi source at the given separation.

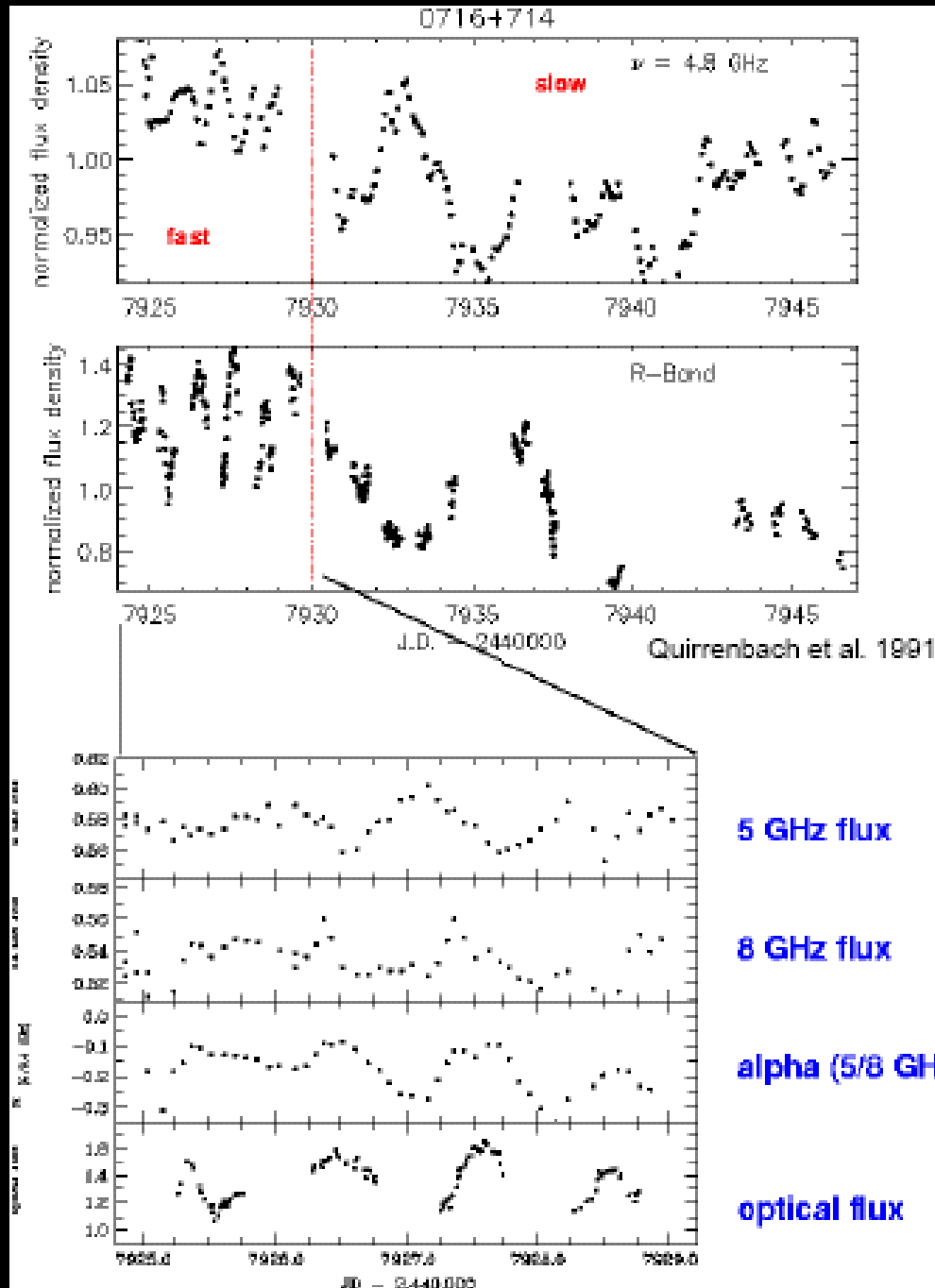
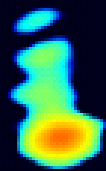
arXiv:1007.5317. A correlation between the highest energy cosmic rays and nearby active galactic nuclei detected by Fermi. R. Nemmen, Ch. Bonatto, Th. Storchi-Bergmann.



Чёрными точками показаны на карте (галактическая система координат) 69 направлений прихода частиц с самой высокой энергией  $E \geq 55 \text{ EeV}$  (55 эксп 18 эВ), обнаруженных на обсерватории Оже (Аргентина) до 2010 года (28 месяцев наблюдений). Сплошная линия указывает поле зрения, где зенитный угол менее 60 гр. Синие кружки радиусом 3.1 гр соответствуют положениям 318 АГЯ в пределах 75 Мпс внутри этой области. Более тёмный цвет указывает на относительно большие экспозиции.

**arXiv:1009.1855. The Pierre Auger Collaboration: P. Abreu, et al.**

# IDV in 0716+714



Radio-mm-optical IDV cannot be explained by ISS.

Brightness temperatures derived from radio IDV:

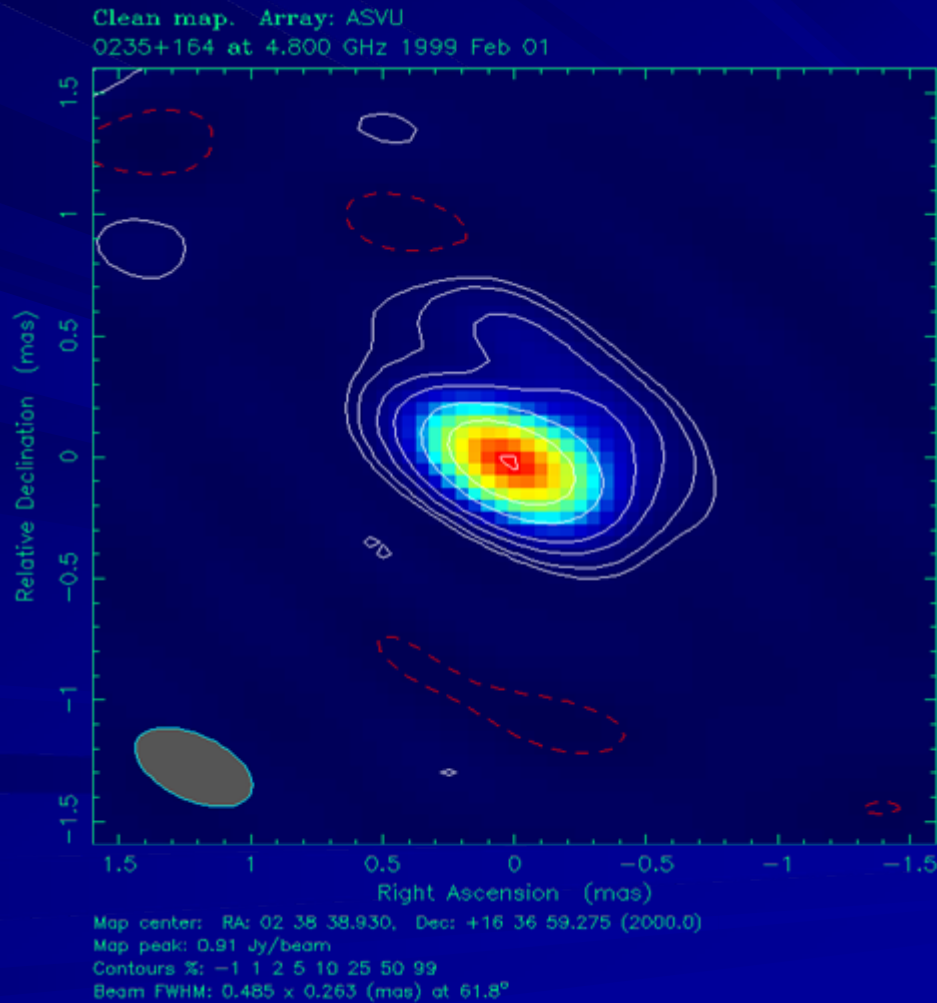
$$T_b = 10^{15} \text{ K to } 10^{19} \text{ K}$$
$$\delta \geq 50$$

radio spectral index correlates with optical flux !

T.Krichbaum 2008

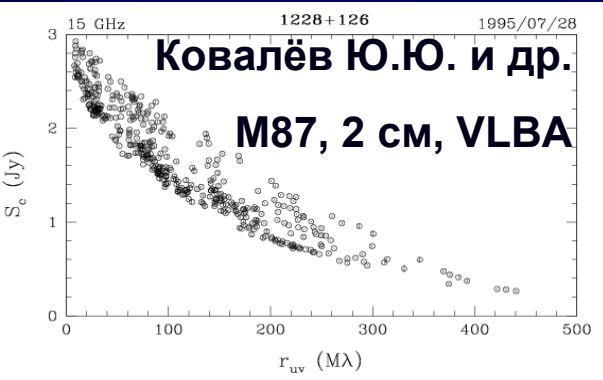
Qian et al. 1996, Wagner et al. 1996

**0235+164, сильно переменный объект типа VL Лас,  
z=0.940, по наблюдениям с космическим  
радиоинтерферометром VSOP на частоте 5 ГГц имеет  
наивысшую яркостную температуру. В системе источника  
 $T_B > 5.8 \times 10^{13}$  К (Frey et al. 2000, PASJ 52, 975).**

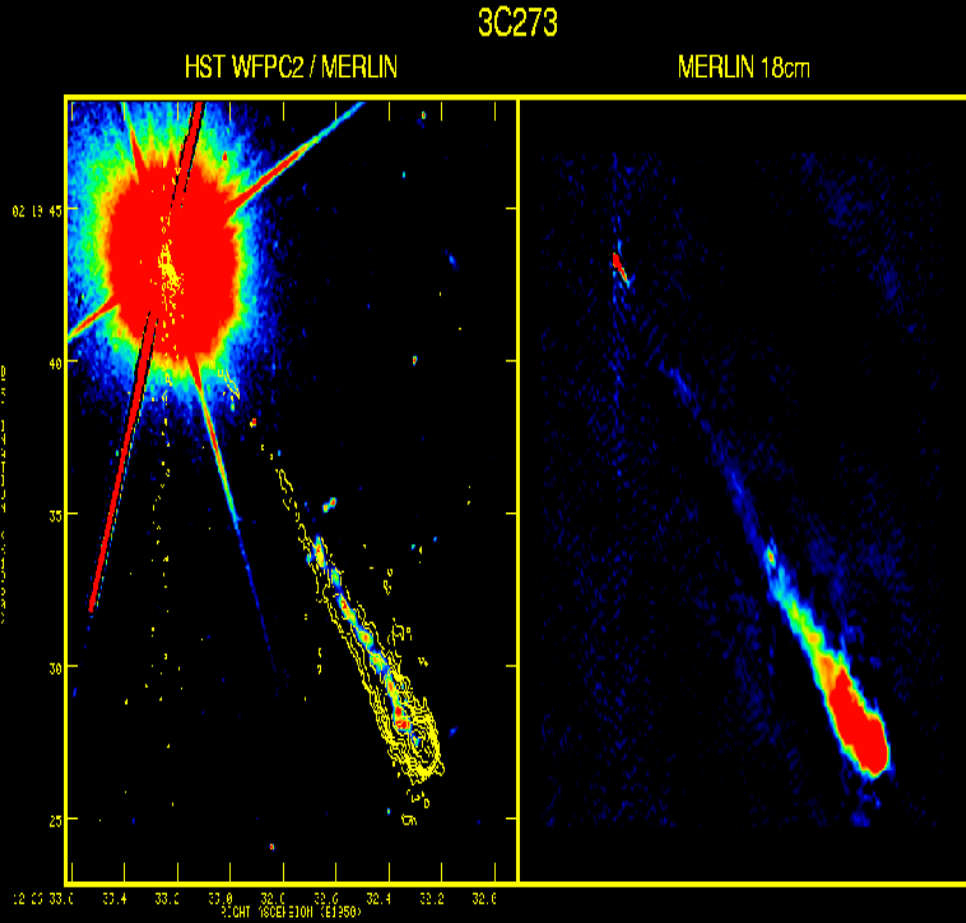
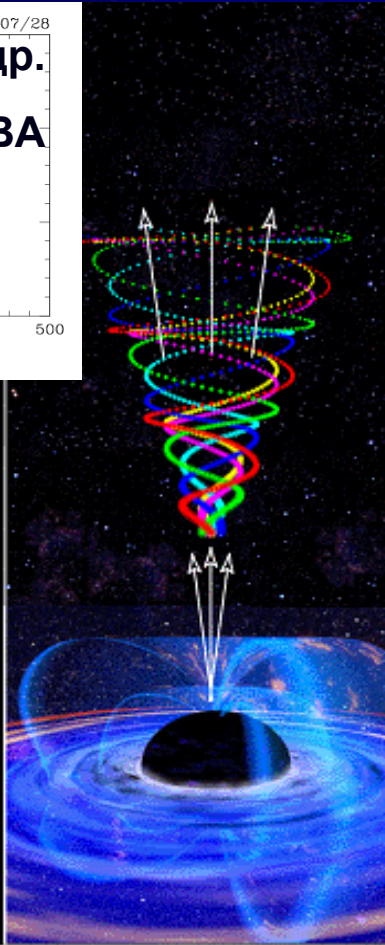
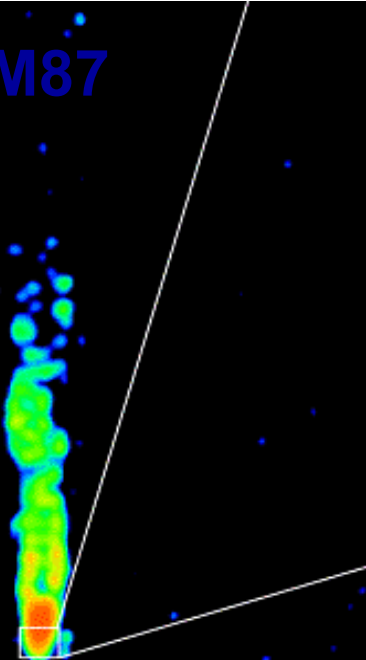




# Физика около горизонта чёрной дыры или входа в кротовую нору. Sgr A\*, Cen A, M87, VL Лас и 3C273 – «Розеттские камни».



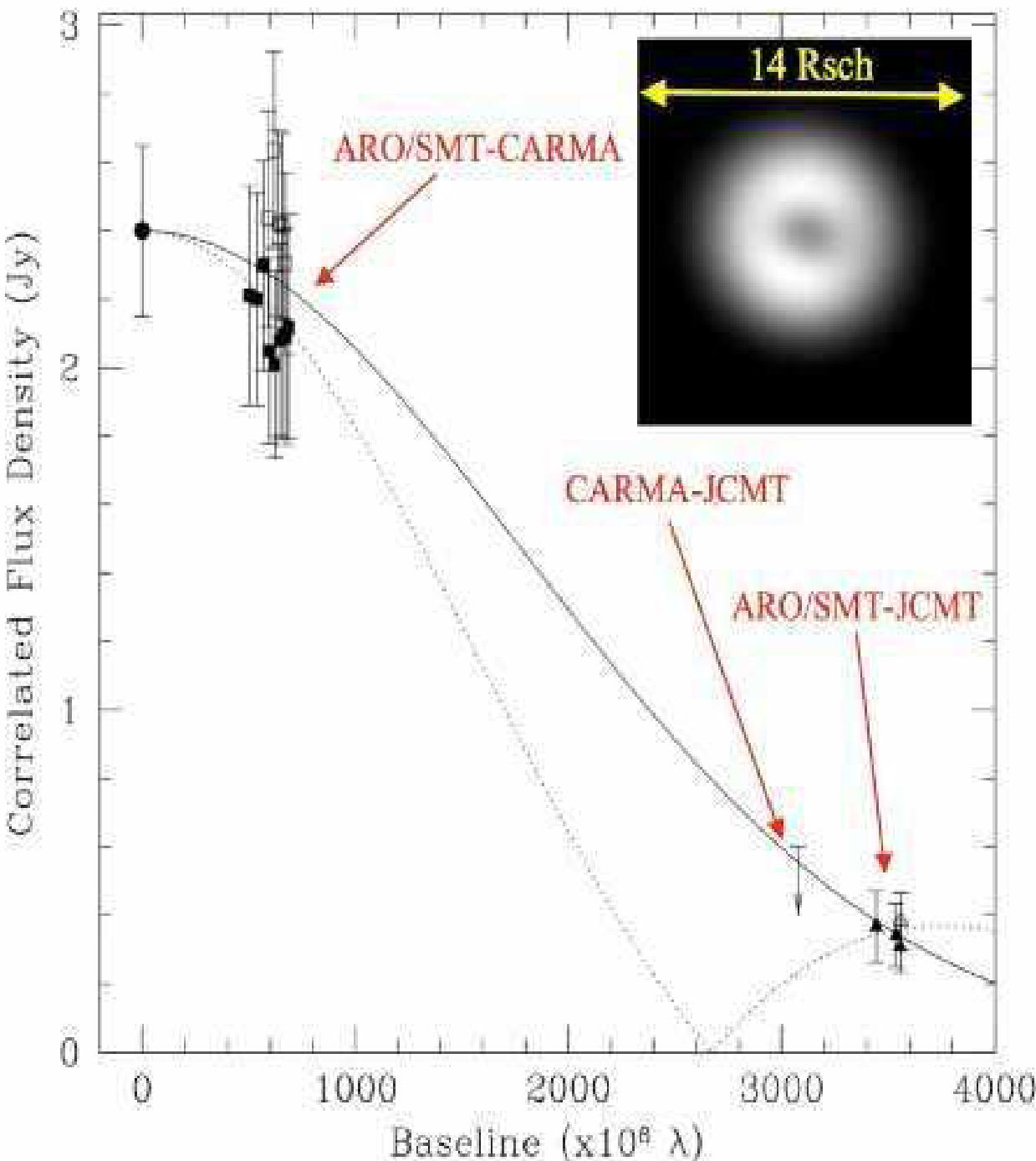
M87



# The Event Horizon Telescope

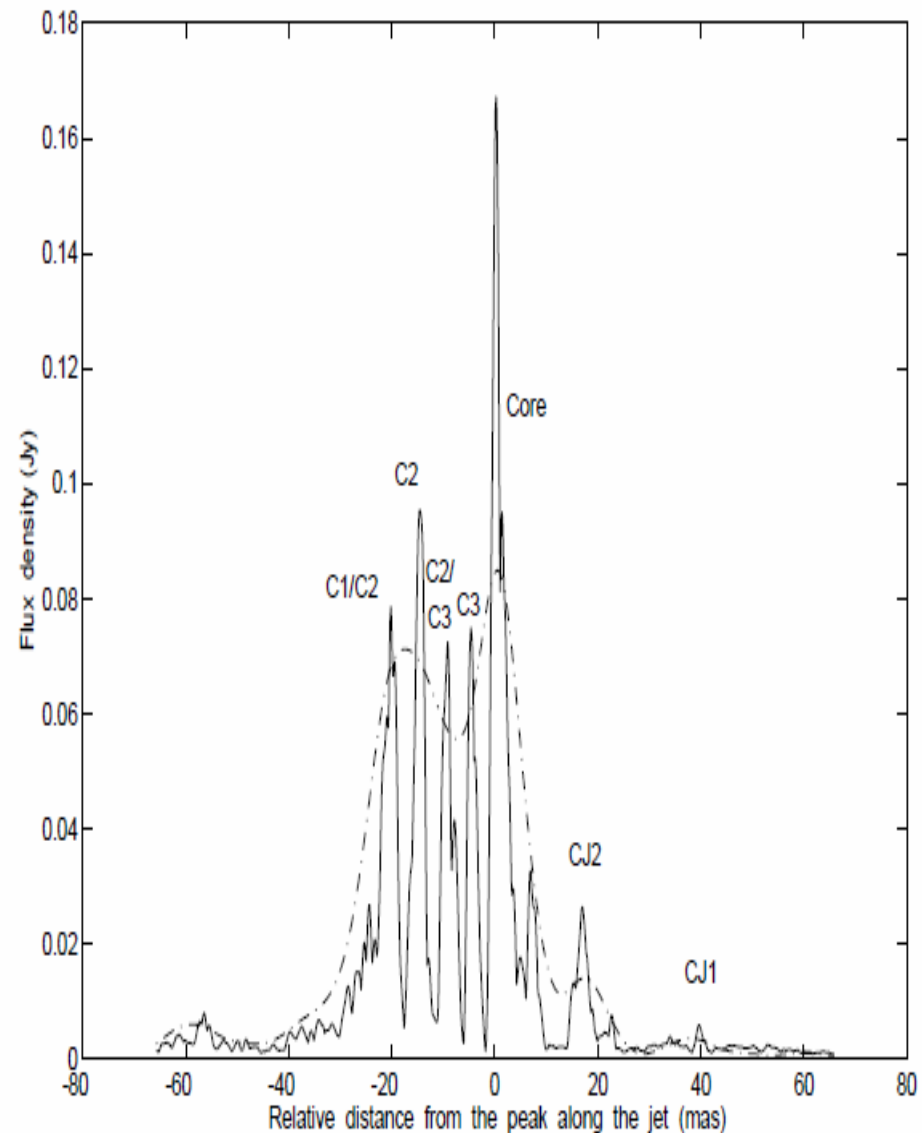
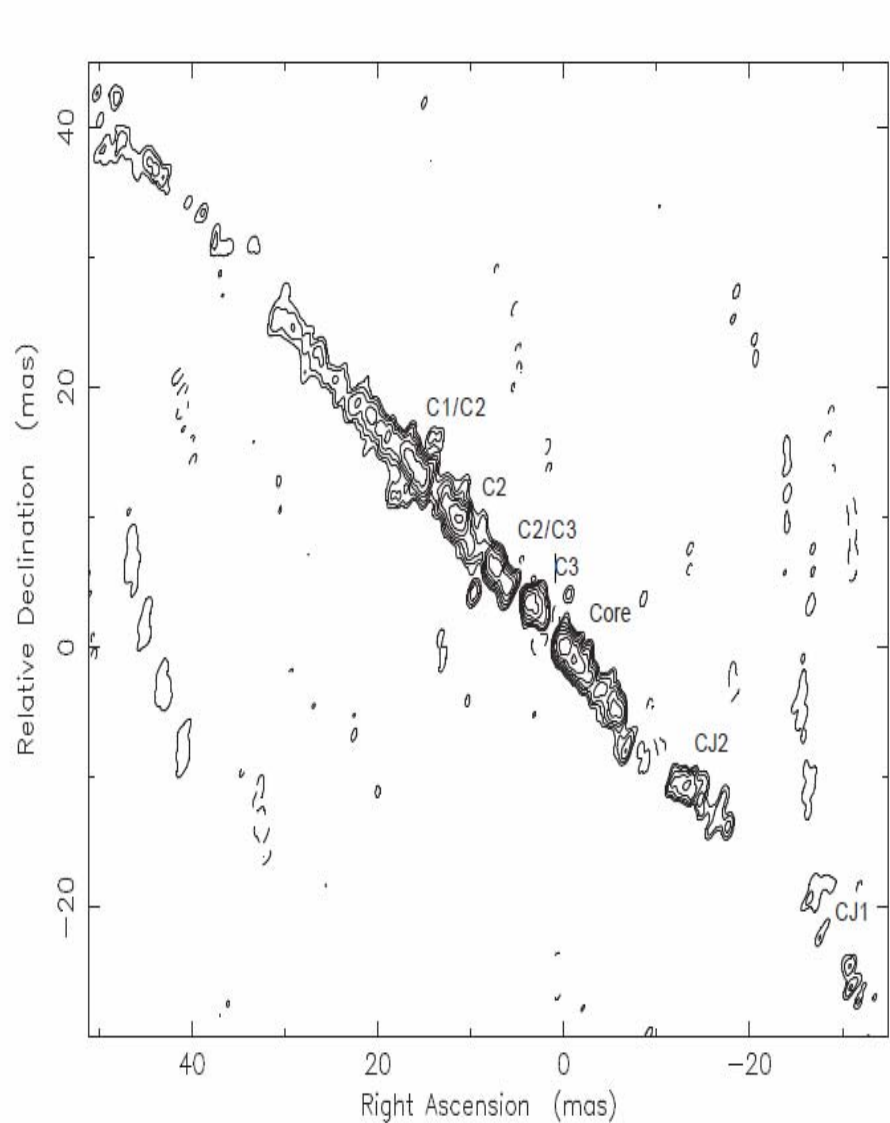


## Sgr A\*, 230 ГГц (1,3 мм).



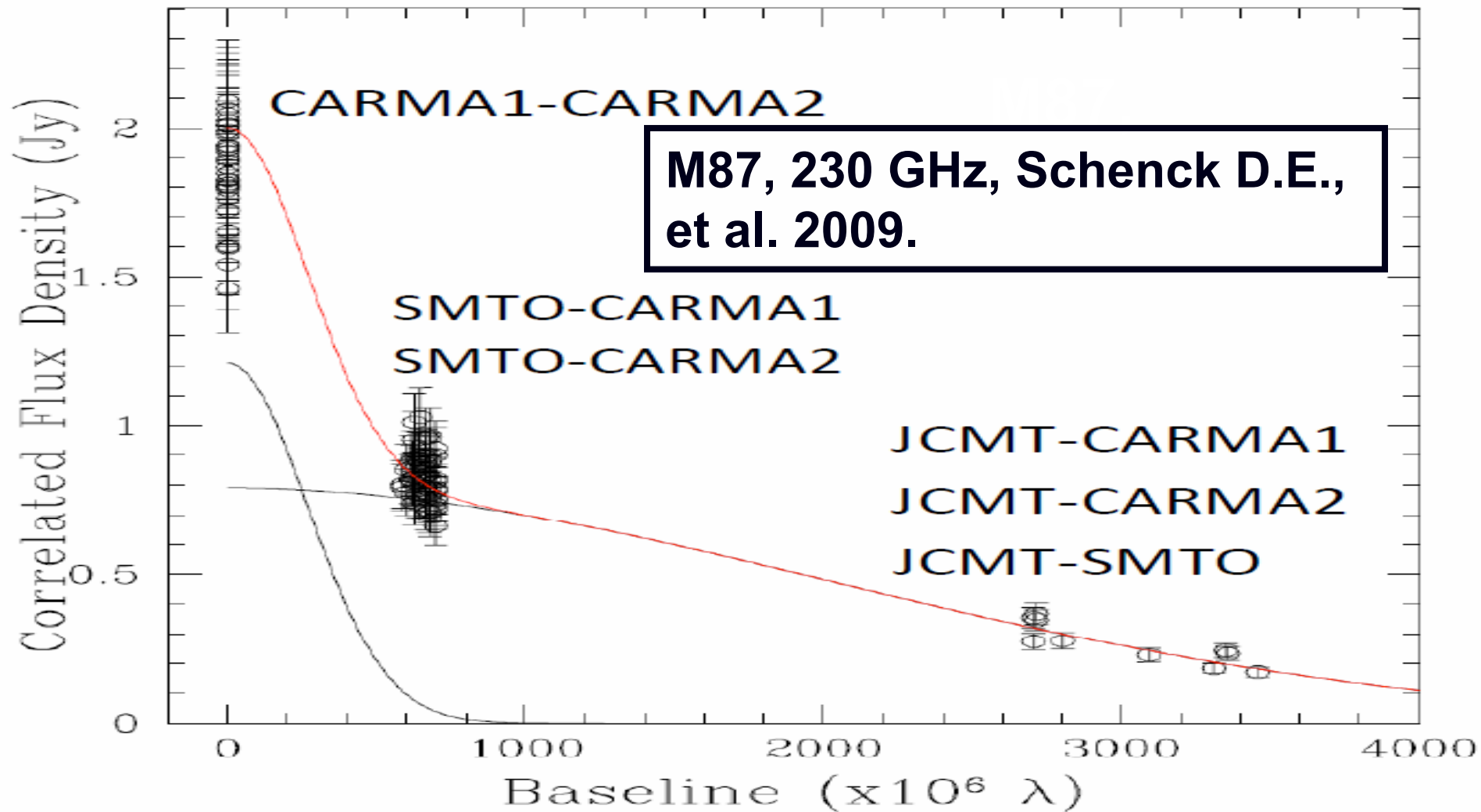
Зависимость измеренного коррелированного потока от проекции базы на картинную плоскость. Сплошная линия – Гауссиана для диаметра по половине интенсивности 0.037 mas, (3.7  $R_{Sch}$ ), Пунктирная кривая – силуэт аккреционного диска, обусловленный релятивистскими эффектами.

The submillimeter Universe, Scott et al., arXiv:1008.4159.



**Cen A, VSOP, 6 sm. arXiv:astro-ph/0508445.**

**Ten Milliparsec-Scale Structure of the Nucleus Region in Centaurus A. Horiuchi, S.; Meier, D.; Preston, R.; Tingay, S.**



Коррелированный поток в зависимости от проекции базы. Наблюдения удовлетворяют двум Гауссианам шириной 38 и 200 микросекунд дуги, что соответствует размеру 4.5 и 24 Шварцшильдовских радиуса. Некоторые модели электронного и адронного излучения, а также Комптоновского рассеяния удовлетворяют этим масштабам. Взаимодействие космических лучей и аннигиляция тёмной материи требуют много больших размеров.



# Радиогалактика М87

Расстояние 16 Мпс, масса чёрной дыры  $3.4 \times 10^9 M_{\odot}$ .  
Шварцшильдовский диаметр  $2R_s = 4GM/c^2 = 8.4$  мкс.

Диаметр силуэта без вращения ( $a=0$ )  
 $(108)^{0.5}GM/c^2 = 22$  мкс.

Диаметр силуэта с предельным вращением ( $a=1$ )  
 $9GM/c^2 = 19$  мкс, смещение  $(5)^{0.5}GM/c^2 = 4.9$  мкс.

Полуширина лепестка проекта Радиоастрон 7 мкс.

