

# Circum-nuclear molecular disks: role in AGN fueling and feedback

Francoise Combes

*Galaxy Evolution and Feedback Across Different Environments  
 Proceedings IAU Symposium No. 359, 2020*  
 T. Storchi-Bergmann et al.



arXiv:2003.13280

Часть наблюдательного материала уже обсуждали на VOLGA:

## ALMA observations of molecular tori around massive black holes

F. Combes<sup>1,2</sup>, S. García-Burillo<sup>3</sup>, A. Audibert<sup>1</sup>, L. Hunt<sup>4</sup>, A. Eckart<sup>5</sup>, S. Aalto<sup>6</sup>, V. Casasola<sup>4,7</sup>, F. Boone<sup>8</sup>, M. Krips<sup>9</sup>,  
 S. Viti<sup>10</sup>, K. Sakamoto<sup>11</sup>, S. Müller<sup>6</sup>, K. Dasyra<sup>12</sup>, P. van der Werf<sup>13</sup>, and S. Martin<sup>14,15</sup>

arXiv:1811.00984

ALMA CO 0.07"=4-9 pc

Barred AGN:

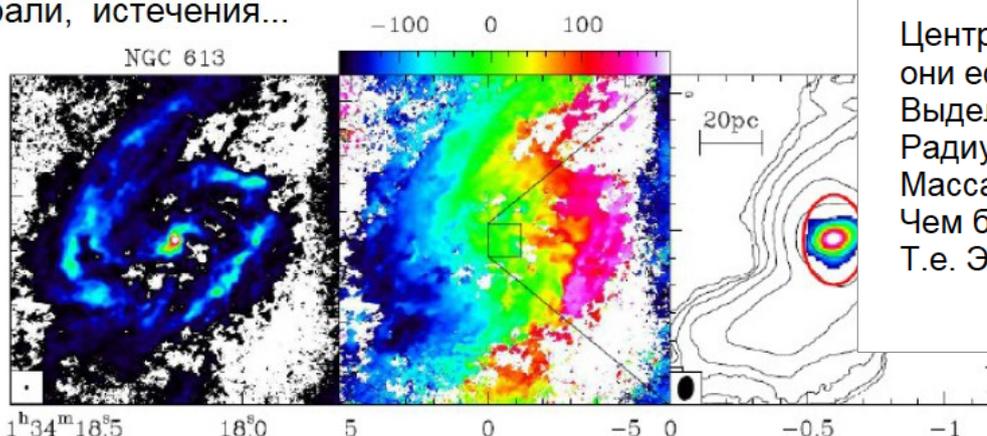
+HST  
 +SINOFONI IFU

Широкий диапазон светимостей  
 и типов активности

Разнообразие морфологии газа:  
 кольца, спирали, истечения...

Name	Type	D Mpc	SFR M <sub>☉</sub> /yr	log(L <sub>X</sub> ) erg/s
N613	Sy- SB(rs)bc	17.2	5.3*	41.2
N1326	LINER- SB0(r)	14.9	1.1	39.9
N1365	Sy 1.8- SB(s)b	17.8	17.	41.8
N1433	Sy 2- SB(r)ab	9.7	0.5	39.2
N1566	Sy 1.5- SAB(s)bc	7.2	0.8	40.5
N1672	Sy 2- SB(s)b	11.4	3.1	38.4
N1808	Sy 2- SAB(s)a	9.3	4.7	39.8

Проблема старая,  
 Но ALMA позволяет  
 рассматривать  
 детали с  
 разрешением лучше  
 10 пк

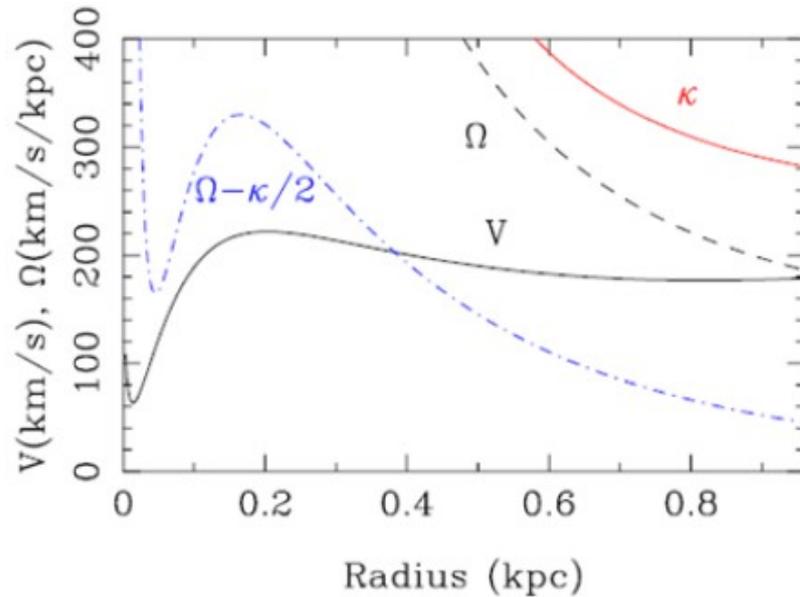
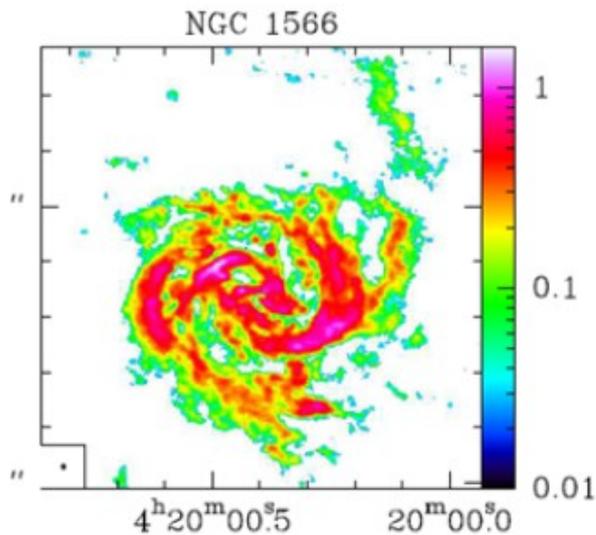


Центральные молекулярные “торы” (не всегда с дырой, они есть только в N1365, 1566, 1672):  
 Выделяются и морфологией и кинематикой  
 Радиус 6-27 пк  
 Масса 0.7-4 \*10<sup>7</sup> M<sub>☉</sub>  
 Чем больше масса, тем меньше L<sub>X</sub> ?  
 Т.е. Это внешние части “пылевых” торов

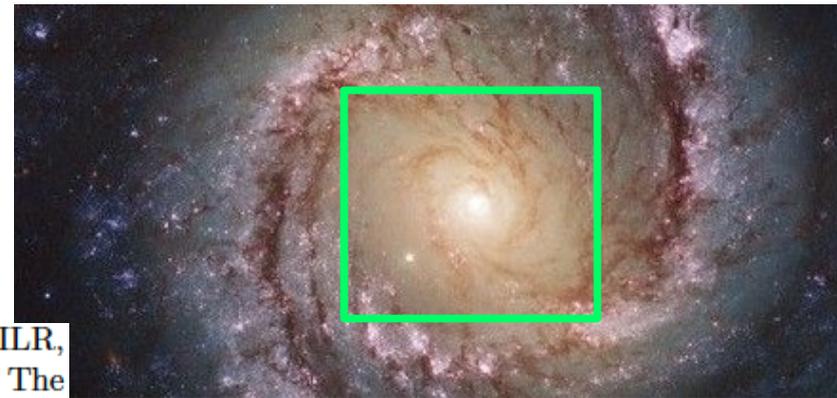
Семинар VOLGA 19/11/2018, Моисеев

Семинар VOLGA 06/04/2020, Моисеев

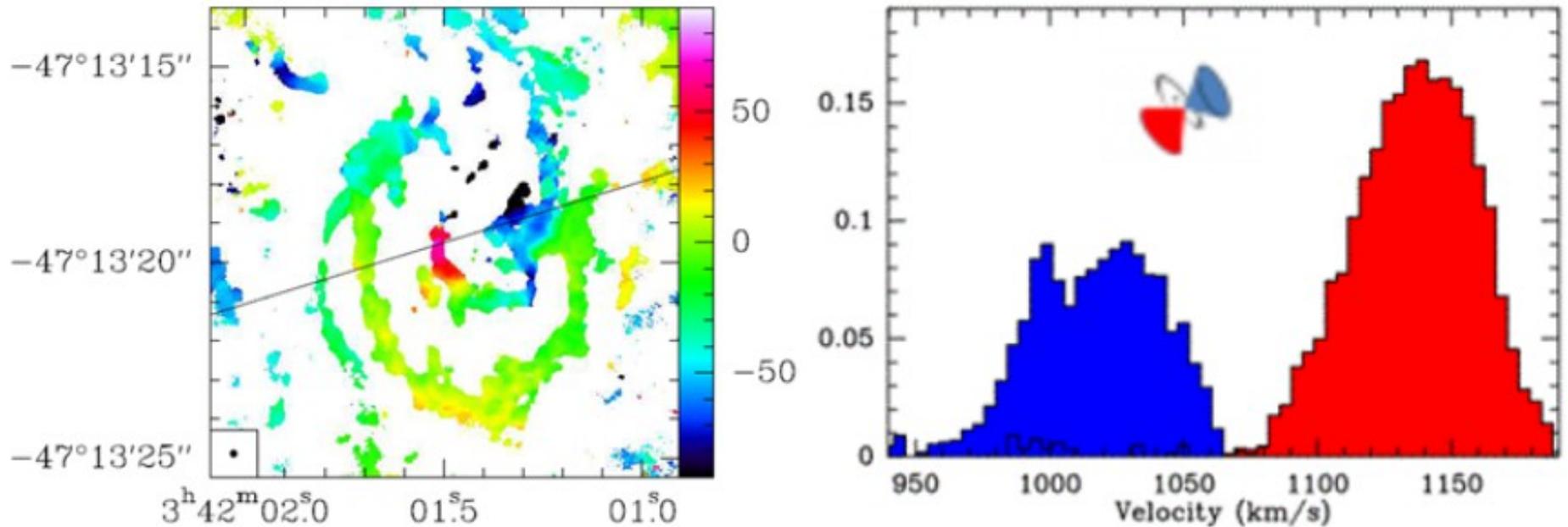
# NGC 1569: nuclear spiral at $r < 400$ pc (ILR of the bar)



Если темп прецессии  $\Omega - \kappa/2$  падает – спираль отстающая и газ движется вовнутрь, иначе – наружу, к ILR бара (и спираль – лидирующая). Уверждается, что внутри 50 пк – мы видим того, что надо (спасибо ВН  $\sim 8 \cdot 10^6$ ).  
 Меня смущает отсутствие пылевой лидирующей спирали на  $r=100-400$  пк. И бар не впечатляет



with  $\Omega$  the rotation frequency  $= V/r$ , and  $\kappa$  the epicyclic frequency. Usually, inside ILR, and far from the black hole,  $\Omega - \kappa/2$  increases with radius, and the spiral is leading. The torque of the bar is positive, and the gas is driven back to the ILR. But near the massive black hole, the precessing frequency  $\Omega - \kappa/2$  is decreasing with radius, and the spiral is trailing. The gas can then fuel the AGN (Buta & Combes 1996).



**Figure 2.** ALMA CO(3-2) observations of the Seyfert-2 NGC 1433: Left, the velocity field, with the color bar labelled in km/s; The thin line indicates the minor axis (PA=109°). Right, spectrum summing the blue and red-shifted components close to the center, along the minor axis. The systemic velocity is  $V_{sys} = 1075$  km/s. The mass in the outflow is  $3.6 \cdot 10^6 M_{\odot}$ . From

NGC 613 – мелкое истечение ( 23 pc, 300 km/s), совпадает с радиоджетом

“Radio mode” - только давление джета

Если  $L \sim L_{Edd}/100$  – добавляется ветер (лучевое давление от ядра)

Это случай NGC 1068 – молекулярное истечение вдоль радиоджета (не перпендикулярен диску галактики!)

NGC 1377 – прецессирующий (?) молекулярный джет без радио

## 4. Molecular tori: misalignment

Внешние области пылевых торов, радиус около 20 пк, уже в сфере влияния ЧД

Combes+ 2018:

**Table 4.** Radii, masses and inclinations of the molecular tori

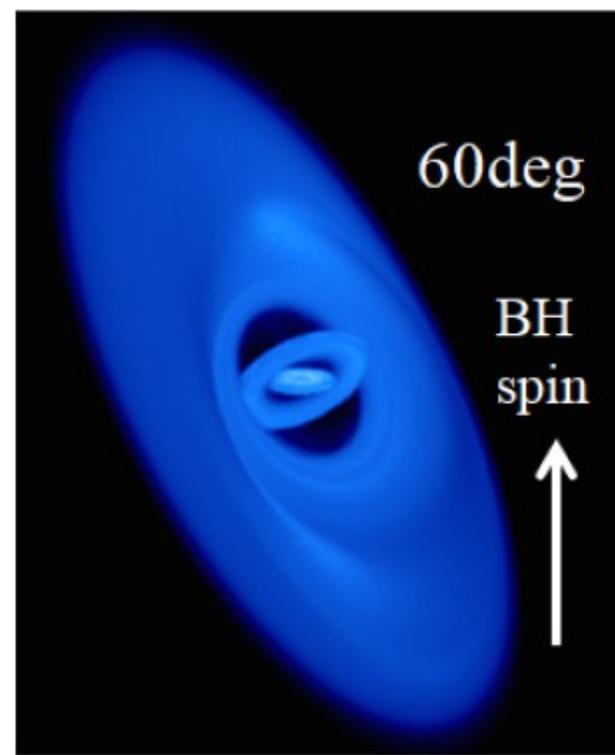
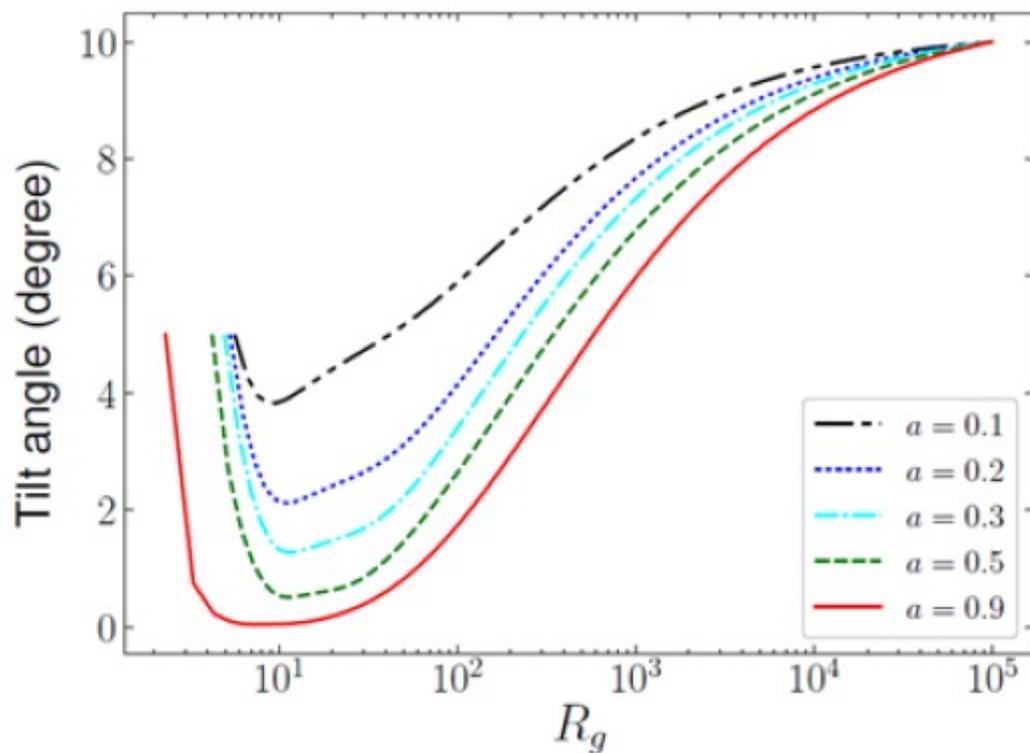
Galaxy	Radius (pc)	S(CO)dV Jy km/s	Mass <sup>a</sup> 10 <sup>7</sup> M <sub>⊙</sub>	inc(°) torus	PA(°) torus	inc(°) <sup>b</sup> gal	Beam (pc)	logNH <sub>2</sub> (cm <sup>-2</sup> )	M <sub>cent</sub> 10 <sup>6</sup> M <sub>⊙</sub>	off-centring (pc)
NGC 613	14±3	56±20	3.9±1.4	46±7	0±8	36	6.2	25.3±.001	10.	42.
NGC 1326	21±5	18±2	0.95±0.1	60±5	90±10	53	5.3	23.9±.02	0.3	21.
NGC 1365	26±3	10±3	0.74±0.2	27±10	70±10	63	6.3	23.5±.01	0.	86.
NGC 1433	–	–	–	–	–	67	2.9	23.5±0.1	0.04	–
NGC 1566	24±5	72±10	0.88±0.1	12±12	30±10	48	1.7	24.5±.01	0.1	7.
NGC 1672	27±7	80±9	2.5±0.3	66±5	0±10	28	4.0	24.3±.01	0.4	27.
NGC 1808	6±2	46±6	0.94±0.1	64±7	65±8	84	3.1	24.6±.004	0.5	58.

Ориентированы – как угодно  
(возможен внутренний изгиб!) Заметное смещение между центром диска на

Причины изгиба внутреннего диска:

- radiation driven warping instability – момент появляется из-за переизлучение диском
- magnetic instability ( но проблемы с параметрами для AGN)
- несогласованность осей аккреционного диска и спина ЧД, релятивистский эффект Бардена-Петерсона – диск старается подстроиться под “экватор” ЧД

not aligned with the black hole spin. The relativistic frame dragging effect induces a precession, which tends to align the inner parts of the accretion disk with the black hole equator. The disk develops a warping up to distances  $10^2$  to  $10^4$  Schwarzschild radius  $R_s$ . The precession of the disk and its warp can be seen from inner to outer disk, up to  $1 \text{ pc } M_{BH}/(10^9 M_{\odot})$ . According to the amplitude of viscosity, one can distinguish two



**Figure 3.** Misalignment of the accreting material near a black hole: Left: radial profiles of the disk tilt-angle (with respect to the black hole spin), for several values of the parameter  $a$ , dimensionless angular momentum  $J$  of the black hole  $M$ ,  $0 < a < 1$  ( $a = cJ/(GM^2)$ ). The initial tilt-angle is  $5^\circ$ . The radius is in unit of the gravitational radius  $R_g = GM/c^2$ . From [Banerjee et al. \(2019a\)](#). Right: Simulation of the Bardeen-Petterson effect, in a disk initially inclined by  $60^\circ$  with respect to the black hole spin. The Lense-Thirring precession causes the disk to break

Два режима, в зависимости от альфа-параметра диска:

$a > H/R$  – плавная перестройка

$a < H/R$  – диск распадается на наклонные прецессирующие кольца

Наблюдается по мазерам в NGC 4258 и 1068?

Кормлению таких дисков должно способствовать центральное ЗО, “закидывающее” газ на полярные орбиты (галактические фонтаны)...