

LOW ANGULAR MOMENTUM IN CLUMPY, TURBULENT DISK GALAXIES

DANAIL OBRESCHKOW¹, KARL GLAZEBROOK², ROBERT BASSETT², DAVID B. FISHER², ROBERTO G. ABRAHAM³, EMILY WISNIOSKI¹, ANDREW W. GREEN⁵, PETER J. MCGREGOR⁶, IVANA DAMJANOV⁷, ATTILA POPPING^{1,8} & INGER JØRGENSEN⁹

ABSTRACT

We measure the stellar specific angular momentum $j_s = J_s/M_s$ in four nearby ($z \approx 0.1$) disk galaxies that have stellar masses M_s near the break M_s^* of the galaxy mass function, but look like typical star-forming disks at $z \approx 2$ in terms of their low stability ($Q \approx 1$), clumpiness, high ionized gas dispersion (40–50 km s⁻¹), high molecular gas fraction (20–30%) and rapid star formation ($\sim 20 M_\odot \text{yr}^{-1}$). Combining high-resolution (Keck-OSIRIS) and large-radius (Gemini-GMOS) spectroscopic maps, only available at low z , we discover that these targets have ~ 3 times less stellar angular momentum than typical local spiral galaxies of equal stellar mass and bulge fraction. Theoretical considerations show that this deficiency in angular momentum is the main cause of their low stability, while the high gas fraction plays a complementary role. Interestingly, the low j_s values of our targets are similar to those expected in the M_s^* -population at higher z from the approximate theoretical scaling $j_s \propto (1+z)^{-1/2}$ at fixed M_s . This suggests that a change in angular momentum, driven by cosmic expansion, is the main cause for the remarkable difference between clumpy M_s^* -disks at high z (which likely evolve into early-type galaxies) and mass-matched local spirals.

いつの時代も、星形成を担っているのは1e10-11Msolの銀河

←質量関数の折れ曲り質量でもある

しかし...

• $z \sim 0$ では銀河系のようなディスク銀河。回転運動で支持されている

• $z \sim 2$ では重力不安定clumpyな銀河⇒その後楕円銀河になった？

この違いは何に起因しているのか？

- 分子ガス量？
- 分子・原子ガス比率？
- 星成分のSpecific angular momentum ($j_s = J_s/M_s$)？
 - : 宇宙膨張で $1/\sqrt{1+z}$ でスケールされる？ (昔のほうが小さい)
 - : j_s が形態を決めているようでもある (Obreschkow & Glazebrook 14)

でも、遠方で角運動量の測定はむづかしい。

⇒ 近傍で $L_{\text{H}\alpha} > 1e42 \text{ erg/s}$ ($8 M_\odot/\text{yr}$) の "DYNAMO" 銀河 (95天体ある) で調べてみよう。

観測

- $z=2$ SFG \rightarrow ばい4天体を面分光
- $M_{\text{star}} = 1e10.4-11.1 M_\odot$
- Giant HII clumpがある
- 平均星形成率は $20 M_\odot/\text{yr}$: $L_{\text{H}\alpha} = 1e41.68-42.36 \text{ erg/s}$
- 速度分散大: 40-50 km/s
- 分子ガス比が高い (20-30%)
- OSIRISでPa α / GMOSでH β
- NIR Continuumで星質量密度を出している
- 結果を力学モデルでフィットして角運動量を出す

Table 1
Properties of the four clumpy target galaxies and the control galaxy.

Object	Basic properties			IFS Resolution ^a		Fitted in this work ^d						
	Redshift	M_s^* log(M_\odot)	$L_{\text{H}\alpha}$ log(erg s ⁻¹)	OSIRIS kpc	GMOS kpc	η deg	α deg	B/T	R_e kpc	v_{flat} kpc	v_{flat} km s ⁻¹	$j_{s,\text{obs}}$ kpc km s ⁻¹
C22-2	0.07116	10.4	41.68	0.33	-	50	145	0.12	2.6	-	120	273 ± 49
D13-5	0.07535	10.7	42.10	0.35	-	38	127	0.01	3.5	0.5	202	828 ± 143
G04-1	0.12981	11.1	42.36	0.57	1.19	40	359	0.15	5.1	0.5	135	515 ± 834 ± 116
G20-2	0.14113	10.7	42.26	0.62	1.28	46	187	0.18	2.7	0.6	118	337 ± 394 ± 32
NGC 3198 (reference)	0.02	10.2	-	0.02	-	69	215	0.00	6.2	3.9	163	626 ± 973 ± 122 ± 936 ± 207

Notes. ^a K-band based stellar masses ($\Upsilon_K = 0.5 M_\odot/L_{K0}$); ^b H α luminosity as measured by IFS observations on the AAT/SPIRAL (Green et al. 2014); ^c FWHM of PSF; ^d Parameters fitted as described in Appendix B; ^e Table 4 of Leroy et al., 2008 (Leroy et al. 2008); ^f Table 1 of Obreschkow et al., 2014 (Obreschkow & Glazebrook 2014).

結果と議論

- 今回の結果: 普通のディスク銀河に比べて角運動量が1/3しかない
- ディスクのToomre Qは

$$\bar{Q} \propto M_s^{-1} (1 - f_g) j_s \sigma \quad (1)$$

- 普通のディスク銀河では2くらいになって安定する。
- 今回の場合、1くらい。原因は、通常銀河に比べて速度分散で2倍大きくなるのだが、多いガスのせいで0.8倍、角運動量で1/3倍
- これがクランピーな星形成領域の原因だろう。

• ではhi-zでこんな銀河が多い原因は？

- Λ CDM宇宙では、宇宙膨張のため系(ハロ質量Mh)のspecific angular momentumは時間とともに増加する。おおよそ以下の通りにかける(らしい)

$$j_h \propto M_h^{2/3} (1+z)^{-1/2}$$

数値シミュレーションもこの結果にあう。

- 注意しないといけないのは、個々の銀河がこのような角運動量の変化を起こす、というわけではないということ。
- すなわち、 $z \sim 3$ で1e10Msolの質量だった銀河は不安定で星形成をして楕円銀河になってしまったが、 $z=0$ ではより安定で、急激な星形成をしない模様。

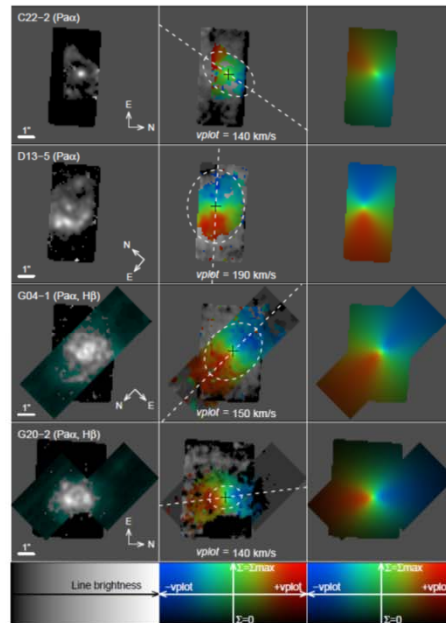


Figure 1. Kinematic fits for the four clumpy targets. Col 1: emission line fluxes of

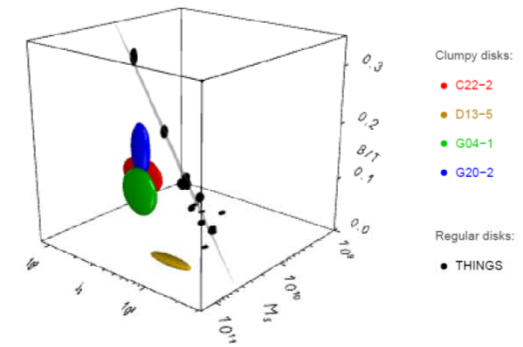


Figure 2. Interactive 3D-figure. Feel free to use the standalone and animated versions in our [Dropbox](#). Mass-spin-morphology space. Dark points represent the 16 typical local spiral galaxies of the THINGS sample (Obreschkow & Glazebrook 2014; Walker et al. 2008); colored points are the four clumpy disks of this study – they appear to be deficient in angular momentum j_s . Ellipsoids represent 1 σ -statistical uncertainties. The j_s -values of the DYNAMO objects are the best estimates $j_{s,\text{best}}$ (see Appendix B) listed in Table 1. The grey plane is best fits to the data accounting for the 3D Gaussian uncertainties.