# First results from the JWST Early Release Science Program Q3D: Turbulent times in the life of a $z \sim 3$ extremely red quasar revealed by NIRSpec IFU

Dominika Wylezalek,[1] Andrey Vayner,[2] David S. N. Rupke,[3] Nadia L. Zakamska,[2,4] Sylvain Veilleux,[5] Yuzo Ishikawa,[2] Caroline Bertemes,[1] Weizhe Liu,[5] Jorge K. Barrera-Ballesteros,[6] Hsiao-Wen Chen,[7] Andy D. Goulding,[8] Jenny E. Greene,[8] Kevin N. Hainline,[9] Fred Hamann,[10] Timothy Heckman,[2] Sean D. Johnson,[11] Dieter Lutz,[12] Nora Lützgendorf,[13] Vincenzo Mainieri,[14] Roberto Maiolino,[15] Nicole P. H. Nesvadba,[16] Patrick Ogle,[17] and Eckhard Sturm[12]

## ABSTRACT

Extremely red quasars, with bolometric luminosities exceeding $10^{47}$ erg s$^{-1}$, are a fascinating high-redshift population that is absent in the local universe. They are the best candidates for supermassive black holes accreting at rates at or above the Eddington limit, and they are associated with the most rapid and powerful outflows of ionized gas known to date. They are also hosted by massive galaxies. Here we present the first integral field unit (IFU) observations of a high-redshift quasar obtained by the Near Infrared Spectrograph (NIRSpec) on board the *James Webb Space Telescope* (*JWST*), which targeted SDSS J165202.64+172852.3, an extremely red quasar at $z = 2.94$. *JWST* observations reveal extended ionized gas – as traced by [O III]$\lambda$5007Å – in the host galaxy of the quasar, its outflow, and the circumgalactic medium. The complex morphology and kinematics imply that the quasar resides in a very dense environment with several interacting companion galaxies within projected distances of 10–15 kpc. The high density of the environment and the large velocities of the companion galaxies suggest that this system may represent the core of a forming cluster of galaxies. The system is a good candidate for a merger of two or more dark matter halos, each with a mass of a few $10^{13}$ $M_\odot$ and traces potentially one of the densest knots at $z \sim 3$.

arXiv:2210.10074

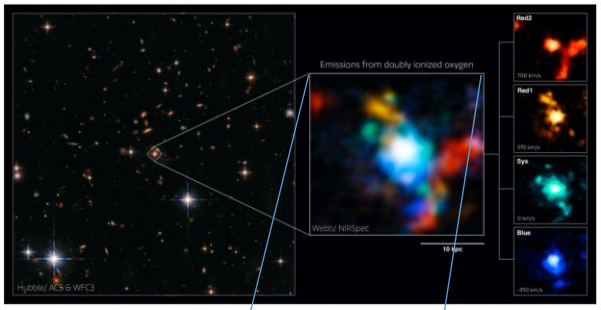
## JWST/NIRSpecによるz~3 obscured AGN 面分光

- 銀河とBlack Hole (BH) の共進化
  - 銀河中心部でのdusty starburstによりBHが成長する (accretion phase) 一方で、AGN-driven outflowにより星形成が止まる (blowout phase)。
  - Merging/interactionも密接に関係していると考えられる。
- 共進化を観測的に確かめる上で、red (obscured) QSOは適した種族。
  - z~2-3 red QSOには速いoutflowがあり、blowout phaseの最中と考えられる。
- しかしながら、QSO自身が邪魔になり、ホスト銀河やその周辺の様子を詳しく調べることはHST/WFC3をもってしても難しかった（近傍ですら）。
- JWST/NIRSpec IFUデータでz~3 red QSO (J1652) とその周辺の速度構造 ([OIII]) を調べた。
  - これまでに3000 km/sの[OIII] outflowやtidal tailが見つかっている。
  - Feedbackによってstarburstが終わりつつあると見られる天体。

**Table 1.** Results from the multi-component Gaussian fitting in Apertures 0-9 as shown in Figure 3. The apertures are ordered roughly by velocity offset of the dominating component.

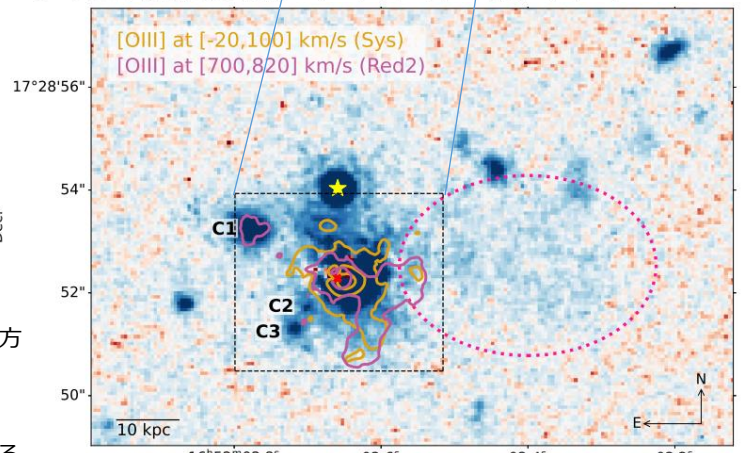
| | $v_{\rm blue}$ km s$^{-1}$ | $\sigma_{v_{\rm blue}}$ km s$^{-1}$ | $v_{\rm sys}$ km s$^{-1}$ | $\sigma_{v_{\rm sys}}$ km s$^{-1}$ | $v_{\rm red1}$ km s$^{-1}$ | $\sigma_{v_{\rm red1}}$ km s$^{-1}$ | $v_{\rm red2}$ km s$^{-1}$ | $\sigma_{v_{\rm red2}}$ km s$^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A0[a] | -289 | 548 | 19 | 101 | 156 | 113 | – | – |
| A7 | -427 | 111 | 81 | 18 | 430 | 147 | – | – |
| A8[b] | -475 | 250 | 125 | 148 | 546 | 107 | – | – |
| A5 | -437 | 81 | 92 | 177 | – | – | 819 | 123 |
| A6 | -177 | 274 | – | – | – | – | 788 | 109 |
| A3 | – | – | 53 | 94 | 251 | 102 | 526 | 481 |
| A4 | – | – | 42 | 99 | – | – | 696 | 98 |
| A1 | – | – | – | – | 205 | 100 | – | – |
| A2[c] | – | – | – | – | – | – | 640 | 134 |
| A9[d] | – | – | -68 | 83 | 520 | 100 | – | – |

[a] Aperture centered on quasar position.
[b] Corresponds to companion galaxy C2.
[c] Emission at 500 km/s is associated with companion galaxy C1.
[d] Corresponds to companion galaxy C3.



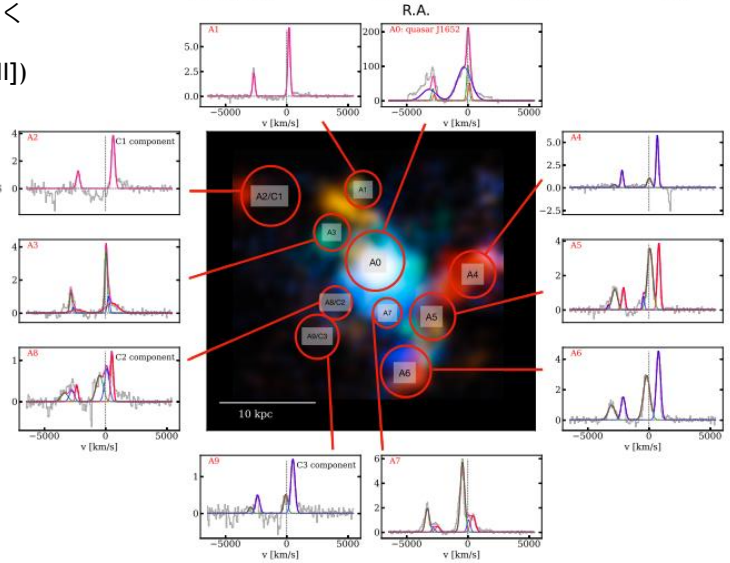

←Fig.1: J1652とその周辺の4つの[OIII]速度成分

- 北側に遠ざかるoutflow (dust減光がより強い) はNIRSpecの高い感度により初めて検出 → bipolar outflow。
- v~0もclumpyなgas分布




←Fig.2: HST/WFC3 F160W画像に[OIII]の2つの速度成分 (Sys, Red2) を重ねて表示。

- C1, C2, C3はこれまで見つかってはいたがredshiftは分かっていなかった。Fig.3の通り、今回初めてphysicalに近いことが判明。
- (IFUの視野外にもいる？)
- QSOと3つの銀河が相互作用し、原始銀河団が形成されつつある。
  (数密度はfieldより2桁高い)
- J1652はcD銀河の祖先？




←Fig.3: J1652とその周囲の[OIII]速度分布。

- A1, A2以外ではv~0つまりホスト起因の成分も受かっている。
  →QSOの周囲10kpcに電離ガスが広がっている。
- A3のbroadなv~+450は新たに見つかった成分。
- C1, C2, C3の速度も初めて得られた→投影距離~5-10 kpc。速度分散は130-160 km/sで普通の銀河程度。M/Lから推定される星質量は>1e9.8Msun。
- 南西方向にv~700-800の成分。Continuum tidal tail (Fig.2の楕円) と付随。
  →相互作用の結果か。

- ◆ J1652は複数のhaloが合体している最中の(原始)銀河団。
- ◆ [OIII]速度分散から推定されるhalo mass ~ 1e13 Msun → z~0で1e15 Msunの銀河団ハローに成長。