astro-ph ゼミ 2019.12.25 (担当: 大澤)

The MUSE view of the planetary nebula NGC 3132

A. Monreal-Ibero and J. R. Walsh, accepted in A&A

Aims. 2D spectroscopic data for the whole extent of the NGC 3132 planetary nebula have been obtained. We deliver a reduced datacube and high-quality maps on a spaxel-by-spaxel basis for the many emission lines falling within the MUSE spectral coverage over a range in surface brightness >1000. Physical diagnostics derived from the emission line images, opening up a variety of scientific applications, are discussed.

Methods. Data were obtained during MUSE commissioning on the ESO Very Large Telescope and reduced with the standard ESO pipeline. Emission lines were fitted by Gaussian profiles. The dust extinction, electron densities and temperatures of the ionised gas and abundances were determined using Python and PyNeb routines.

Results. The delivered datacube has a spatial size of ~ 63″ × 123″, corresponding to ~ 0.26 × 0.51 pc^2 for the adopted distance, and a contiguous wavelength coverage of 4750-9300 Å at a spectral sampling of 1.25 Å pix^{-1}. The nebula presents a complex reddening structure with high values (c(Hβ)~ 0.4) at the rim. Density maps are compatible with an inner high-ionisation plasma at moderate high density (~1000 cm^{-3}) while the low-ionisation plasma presents a structure in density peaking at the rim with values ~700 cm^{-3}. Median T_e using different diagnostics decreases according to the sequence [N II],[S II]→ [S III]→ [O I]→ He I→ Paschen Jump. Likewise the range of temperatures covered by recombination lines is much larger than those obtained from collisionally excited lines (CELs), with large spatial variations within the nebula. If these differences were due to the existence of high density clumps, as previously suggested, these spatial variations suggest changes in the properties and/or distribution of the clumps within the nebula. We determined a median helium abundance He / H = 0.124, with slightly higher values at the rim and outer shell. The range of measured ionic abundances for light elements are compatible with literature values. Our kinematic analysis nicely illustrates the power of 2D kinematic information in many emission lines to shed light on the intrinsic structure of the nebula. Specifically, our derived velocity maps support a geometry for the nebula similar to the diabolo-like model proposed by Monteiro et al. (2000), but oriented with its major axis roughly at P.A.~ −22°. We identified two low-surface brightness arc-like structures towards the northern and southern tips of the nebula, with high extinction, high helium abundance, and strong low-ionisation emission lines. They are spatially coincident with some extended low-surface brightness mid-IR emission. The characteristics of the features are compatible with being the consequence of precessing jets caused by the binary star system. A simple 1D Cloudy model is able to reproduce the strong lines in the integrated spectrum of the whole nebula with an accuracy of ~15% .

Conclusions. Together with the work on NGC 7009 presented by Walsh et al. (2018), the present study illustrates the enormous potential of wide field integral field spectrographs for the study of Galactic PNe.

Theme/Motivation

惑星状星雲は電離度や密度が異なる様々な領域が共存する環境であり ISM の研究に適している.

Collisionally Excited Line と **Recombination Line** から求めた物理量に違いがあることが知られている.

空間分解できない高密度なクランプの存在が示唆されており IFU ならその空間分布を調べることができる.

という建前があるが実際のところ commissioning 期のデータ公開が目的の MUSE を称える論文

Observations

target: NGC 3132 (PN G272.1+12.3), well-known, extended PN (~ 58″ × 85″)

instrument: VLT/MUSE (0.2″ sampling, 1×3 mosaicing, 3×, 7×, 3× 60 s-exposures / 4750–9300 Å, 1.25 Å sampling)

Results / Discussion

得られた 3D data-cube を Gaussian でフィットして輝線マップを作成 (**Figure 2**).

水素再結合線の強度比から惑星状星雲の減光マップを作成 (**Figure 3**). 星雲全体では c(Hβ) ~ 0.1 程度であり, この値は前景に存在する星間ダストによる減光と考えて矛盾はない. リムの部分では c(Hβ) ~ 0.5 程度. Spitzer の観測からここにはダストがあり H_2 分子輝線も検出されているので星雲内部の減光と考えられる.

同じイオンで複数の輝線を検出しているため輝線による電子密度や電子温度の診断ができる (**Figure 4**). He, O, N, S, Cl, Ar の各種イオンの H^+ に対する相対存在量の空間分布しているのかを導出 (**Figure 9**). 元素の存在量比も計算しており He/H^+ がリムの外側で marginally enhanced な傾向が見られている.

星雲の中心付近では再結合線の速度構造はほぼ見えていない (分解能不足 **Figure 14**). [OI] の速度マップは PA ~ -22° 方向の双極的な構造を示唆している. 先行研究の diabolo-like structure を支持する結果.

南北に広がるアーク状の低電離領域 (**Figure 1**) を初めて発見した. 空間的に spaxel を足し合わせることで S/N を向上させて輝線診断をした (**Figure 15**). 中心星は binary だと考えられているので precessing jet の痕跡だと推測される. またこの領域の減光量はリムの領域とほぼ同程度 (c(Hβ) ~ 0.5) だった.

広がった低電離領域が発見されている惑星状星雲は全体の 10% 程度であると考えられてきた. MUSE のような広視野の IFU によるサーベイでこうした低電離領域を効率よく発見できる可能性がある.

Fig. 2

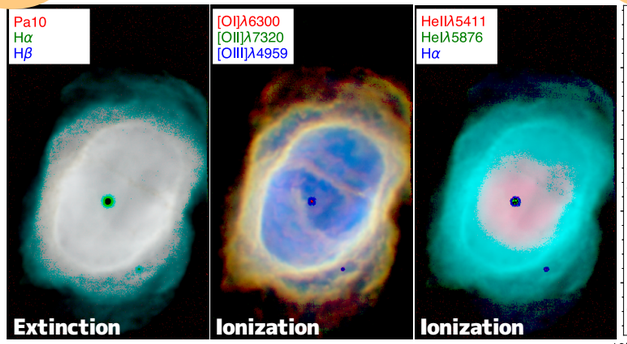
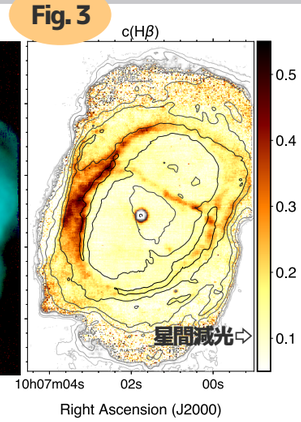


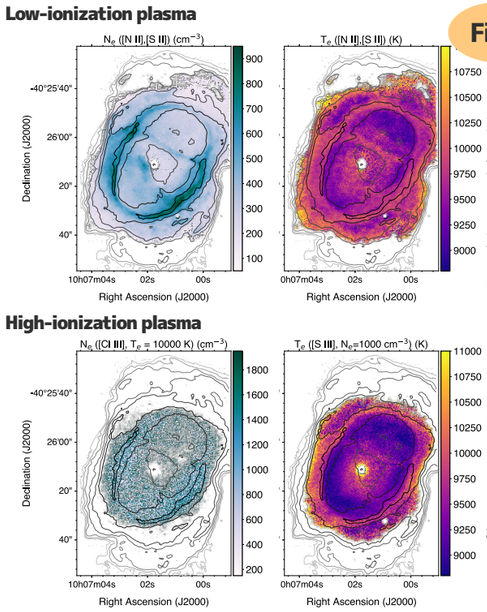
Fig. 3



(Fig. 2) 各種ラインによる 3 色合成図. 左の図は減光量を中央と右の図は電離度の高さを表している.

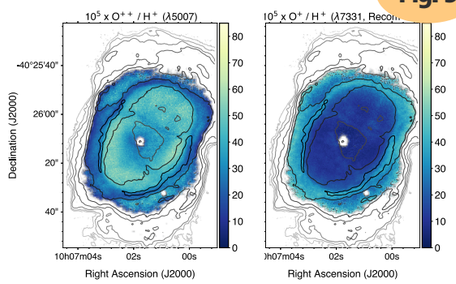
(Fig. 3) Hα と Hβ の強度比から算出した Hβ の波長における減光量マップ. リムに沿ってダストが濃く分布している. この分布は中間赤外線 (Spitzer/IRAC) の観測結果とよく一致する.

Fig. 4



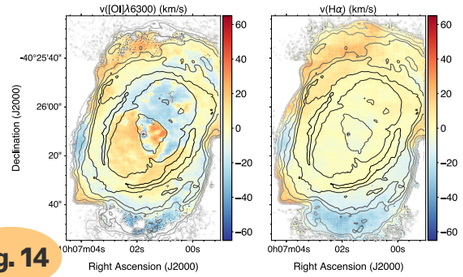
(Fig. 4) 異なるイオンから算出した電離ガスの電子密度と電子温度のマップ. 電離度の低いイオンでは密度と温度で self-consistent な解が得られている.

Fig. 9



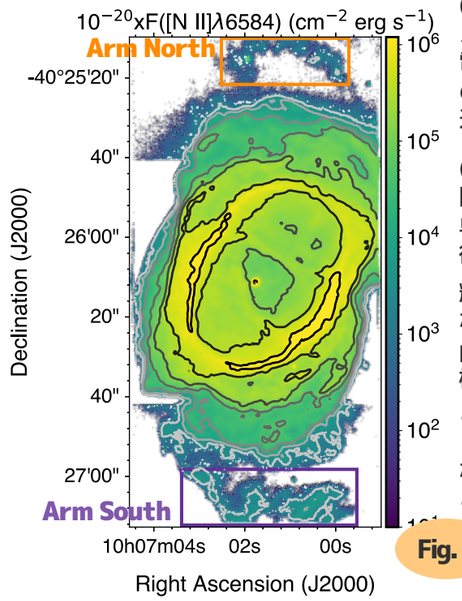
(Fig. 9) H^+ に対する O^+, O^{++} の存在量マップ. O 以外にも He, N, S, Cl, Ar のイオンの存在量を導出している.

Fig. 14



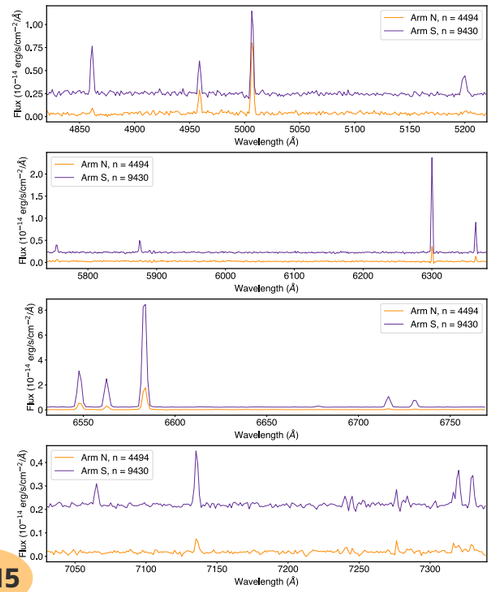
(Fig. 14) [O I]λ6300 と Hα の速度マップ. 速度分解能はおよそ 100–200 km/s 程度であり, 輝線の中心位置の微妙なズレしか検出できないことに注意.

Fig. 1



(Fig. 1) [N II]λ6584 の強度マップ. メインとなる星雲の外側に希薄で電離度の低いアーク状の構造を初めて検出した. 最も明るいリム付近に比べて強度は 3 桁ほど低い.

Fig. 15



(Fig. 15) 南北のアーク状構造を空間的に足し合わせたスペクトル. 単一の spaxel では検出できない微弱な輝線を測定できる.

輝線強度比的には shock heated なガスと考えて矛盾がない. precessing jet によって作られた構造かもしれない.

この構造の場所で測った減光量はリム付近とほぼ同程度. 前面にかなりの量のダストが存在していることを示唆している.