

Oponentský posudek na disertační práci Mgr. Ivany Stoklasové

„Integral-Field Spectroscopy of Seyfert Galaxies: Kinematics and Excitation of Gas in Narrow-Line Regions”

Mezi aktivními galaktickými jádry (AGN) se Seyfertovy galaxie řadí spíše mezi ty méně aktivní, s nižší celkovou luminozitou, bez výrazných relativistických výtrysků a souvisejících oblastí silné rádiové emise. Jejich hlavním spektrálním rysem jsou atomové emisní čáry, a to jednak čáry široké, dle sjednoceného modelu AGN vyzařované z oblasti několika málo parseků kolem centrální supermasivní černé díry, jednak čáry úzké, vyzářené stovky parseků od centra mimo rovinu galaxie. Zdroje z oblasti širokých čar lze prostorově rozlišit pouze ve výjimečných případech, jako byla např. detekce vodních maserů u Seyfertovy galaxie NGC 4258. Oproti tomu oblast úzkých čar nejbližších AGN je dostatečně rozsáhlá na to, aby byla rozlišitelná nejenom fotometricky, ale dnes už i moderní „3D“ spektroskopií (2D souřadnice na nebeské sféře plus 1D vlnová délka). Taková pozorování by umožnila detailní studium prostorové struktury, kinematiky a ionizačních procesů této složité oblasti, ve které se překrývají vlivy centrálního jádra i prostředí vnější galaxie.

Právě tímto směrem se vydala Mgr. Stoklasová ve své disertační práci. Cílem bylo jednak analyzovat pozorování 16 blízkých Seyfertových galaxií „3D“ získaných spektroskopem OASIS na dalekohledu CFHT, jednak sestavit program, který by podobné výsledky generoval z jednoduchých geometrických modelů emise. Úvodní kapitola disertace je věnována zejména fyzice oblasti úzkých čar a technikám „3D“ spektroskopie. V Kapitole 2 jsou představeny mapy intenzity emise a rychlosti plynu vygenerované z jednoduchých počítačových modelů sféricky nebo diskovitě rozloženého plynu, ozářeného dvojitým kuzelem ionizujícího záření. Kapitola 3 popisuje pozorování, redukci „3D“ dat a s ní související modelování hvězdného spektra i emisních čar galaxie. Hlavní výsledky analýzy získaných „3D“ dat jsou uvedeny v Kapitole 4 a ve článku odeslaném k publikování v *Astronomy & Astrophysics*, který je přiložen jako appendix C. V článku jsou výsledky pro 11 galaxií typu Seyfert 2, ve kterých je centrální zdroj i oblast širokých čar pro pozorovatele díky vysoké inklinaci zakryta prachoplynovým torem. Kapitola 4 obsahuje také analýzu dvou pozorovaných galaxií typu Seyfert 1, složitější na analýzu díky viditelné oblasti širokých čar, a zajímavé vzorové výsledky rychlostní tomografie dvou systémů. Závěrečná Kapitola 5 kromě souhrnu uvádí i plánovaný postup navazujícího výzkumu.

Z věcné stránky práce obsahuje velice zajímavé originální výsledky. Hlavním přínosem je vypracování detailních map plošné jasnosti (intenzity), střední radiální rychlosti a jejího rozptylu, z těch pak odvozené mapy dalších veličin (barevný exces, elektronová hustota) v centrálním kiloparseku analyzovaných Seyfertových galaxií. Takovéto údaje jsou zcela zásadní pro následné rozluštění skutečné trojrozměrné struktury a pohybů v oblastech úzkých čar. Ze získaných výsledků je zjevné, že ve většině případů nejjednodušší modely nestačí, bude třeba uvažovat i různé neaxisymetrické struktury. Jako konkrétní zajímavý příklad byl u galaxie Mrk 348 objeven centrální plynný prsteneц výrazně odkloněný od roviny galaxie.


Z formální, grafické a jazykové stránky je disertace na velmi dobré úrovni. Za zmínku stojí snad leda občas příliš stručné popisky některých obrázků (např. Fig.2.7 – 2.14), v obrázcích z článku občas odlišné měřítko v sousedních mapách či nejasný původ kontur (např. Fig.2, Fig.28). Trochu nestandardní je umístění významné části výsledků pouze v článku v appendixu.

V modelovací části práce je zajímavé stanovení intenzity vyzařování. Zdá se, že ta je pro daný paprsek brána jako přímo úměrná lineární délce emitující oblasti, což je jistě v pořádku pro opticky tenké homogenní prostředí. Jsou však vždy uvedené modely v tomto režimu? Nebude hrát roli i self-absorpce v plynu, například pro Balmerovy čáry a typ Seyfert 1? Nebude hrát roli prach v plynu rozmístěný? Zdá se pravděpodobné, že v realističtějších modelech bude třeba přejít k výpočtu intenzity přenosem záření. V oddílu 2.6 jsou uvedena různá jiná vylepšení vhodná do realističtějších modelů, jako je využití výsledků N-částicových simulací namísto homogenního rozložení plynu, započítání možné galaktické příčky nebo „warpu“, apod. Pro diskové modely by mohlo být dalším snadným vylepšením použití lomené rotační křivky s lineární vnitřní a konstantní vnější částí.

Podle oddílu 4.1.5 při analýze dat z pozorování galaxií typu Seyfert 2 vyšly při stanovování obsahu prachu v některých systémech místa s nefyzikálním záporným barevným excesem. Jako možná příčina je demonstrována nevhodná volba modelové stelární populace. Příčina by pravděpodobně mohla být i jinde. Například obsah prachu je zde stanoven z poměru intenzit Balmerových čar. Dle rychlostních map ale kinematika v čarách $H\alpha$ a $H\beta$ není vždy totožná. Zřejmě tak může nastat situace, kdy porovnáváme píky pro každou čáru z jiné hloubky.

Bude-li autorka v tomto výzkumu pokračovat, lze se těšit na skloubení obou směrů v disertaci vytyčených, tedy na rozšíření kinematických modelů a následné rozluštění trojrozměrné struktury oblasti úzkých čar pozorovaných Seyfertových galaxií.

Závěrem lze jednoznačně říci, že předložená disertační práce prokazuje předpoklady autorky k samostatné tvořivé práci.



David Heyrovský

Ústav teoretické fyziky MFF UK