

Na čem pracujeme: Záření ionizovaného helia a rentgenové záření v galaxiích

30.9.2025 - | Astronomický ústav AV ČR

Ve vesmíru září mnoho chemických prvků ve specifických vlnových délkách, což astronomům umožňuje sledovat fyzikální procesy nejen v galaxiích. Některé emisní čáry jsou však obzvláště náročné na vysvětlení. Mezi ně patří i čára ionizovaného helia (He II) na vlnové délce 468,6 nm. Aby takové záření vzniklo, je potřeba fotonů s energií přesahující 54 elektronvoltů - tedy mnohem více, než dokáže vyprodukovat většina hvězd, neboť typická energie záření ve viditelné oblasti je alespoň o řád nižší. Z tohoto důvodu je He II záření v galaxiích vzácné a jeho původ zůstává nejasný.

Tradičně se uvažovalo, že zdrojem jsou hmotné hvězdy, zejména tzv. Wolfovy-Rayetovy hvězdy, které jsou velmi horké a jsou intenzivními zdroji ultrafialového záření. Jenže detailní měření ukázala, že jejich příspěvek často nestačí. V posledních letech se proto pozornost obrací k jiným kandidátům - především k rentgenovým dvojhvězdám, kde materiál padá z jedné hvězdy na kompaktní oběžnici - neutronovou hvězdu či černou díru. A také k aktivním galaktickým jádrům, kde procesy v okolí centrálních supermasivních černých děr vydávají intenzivní rentgenové záření. Pokud by tyto zdroje byly skutečně rozhodující, mohly by vysvětlit i pozorování vzdálených mladých galaxií, u nichž Kosmický dalekohled Jamese Webba odhaluje překvapivě silnou emisi helia.

Studie Konstantina Kouroumpatzakise a Jiřího Svobody z Oddělení galaxií ASU se zaměřuje právě na tuto otázku. Autoři využili rozsáhlý soubor galaxií, ve kterých byla již dříve prokázána přítomnost He II záření ve spektru (tzv. katalog SB12 ze Sloan Digital Sky Survey). Tyto galaxie pak propojili s archivem rentgenové družice Chandra. Po pečlivém vyřazení nekvalitních záznamů získali konečný vzorek 165 galaxií, u nichž máme spolehlivě změřenou jak emisi helia, tak rentgenové záření.

Prvním krokem byla klasifikace objektů. Pomocí různých diagnostických diagramů (zejména tzv. BPT diagramu založeného na poměrech některých emisních čar) rozdělili galaxie na aktivní jádra (AGN) a čistě hvězdotočné galaxie. Ukázalo se, že část zdánlivě „nevinných“ hvězdotočných galaxií má ve skutečnosti příznaky slabých aktivních jader - projevují se širšími čarami a nadbytkem rentgenového záření. Tyto objekty autoři překlasifikovali jako úzkopásmové Seyfertovy galaxie typu 1. Čistý vzorek pak rozdělili na 15 hvězdotočných galaxií a zbytek AGN.

Analýza ukázala několik zásadních výsledků. Především se objevila těsná lineární závislost mezi rentgenovou emisí a emisí v čáře ionizovaného helia. Tento vztah platí bez ohledu na to, zda zdrojem rentgenového záření je centrální černá díra v AGN, nebo populace rentgenových dvojhvězd v mladých hvězdotočných galaxiích. Rozsah platnosti je ohromující - od nejméně svítivých trpasličích galaxií až po kvasary, a to přes sedm řádů veličin. Obvykle je rentgenová svítivost zhruba 300krát vyšší než svítivost v He II.

Důležitým poznatkem je také rozdíl mezi mechanismy v AGN a hvězdotočných galaxiích. V AGN je zdroj zřejmý - akreční disk kolem supermasivní černé díry produkuje tvrdé UV a rentgenové záření, které ionizuje helium. V hvězdotočných galaxiích však běžné ultrafialové záření mladých hvězd stačí jen na ionizaci vodíku a kyslíku, nikoliv helia. Právě zde nastupují rentgenové dvojhvězdy. Ty jsou častější v prostředích s nízkou metalicitou, tedy v mladých a trpasličích galaxiích, a dodávají potřebné tvrdé záření. Statistiky ukazují, že čím vyšší je poměr He II k vodíkové čáře H β , tím vyšší je také rentgenová svítivost připadající na jednotku hvězdotočné činnosti.

Autoři dále zkoumali, jak závisí tyto vztahy na dalších vlastnostech. Například zjistili, že pro hvězdotvorné galaxie je poměr He II/H β mnohem lepším ukazatelem přítomnosti rentgenového záření než klasické parametry jako metalicita. Rovněž se ukázalo, že nejmladší hvězdné populace (do 5 milionů let) ještě nemají dostatek rentgenových dvojhvězd, a proto mohou mít nízké rentgenové záření i přes vysokou hvězdotvorbu. Tyto galaxie jsou prostě příliš malé, abychom v nich našli dostatečný zlomek kompaktních objektů v dvojhvězdách. V souladu s modely vrcholí jejich rentgenový výkon zhruba po 30–50 milionech let od začátku hvězdotvorby.

Studie šla dále a analyzovala i větší vzorek téměř 2400 galaxií s detekovaným He II zářením bez ohledu na rentgenové měření. I zde se potvrdilo, že klasické indikátory hvězdotvorby nekorelují s přítomností He II, zatímco pro aktivní jádra vztah funguje. Zajímavým nástrojem se ukázal poměr dvou čar různých iontů kyslíku, tzv. O32, který významně souvisí s šířkou čáry H β u hvězdotvorných galaxií, ale nemá vazbu na He II. To opět podporuje tezi o dvou oddělených zdrojích záření: hvězdách pro nízkoenergetické ionizace a rentgenových zdrojích pro helium.

V diskusi autoři zvažují alternativní scénáře, například přítomnost velkého počtu Wolf-Rayetových hvězd. Ty sice skutečně přispívají, ale jejich schopnost vysvětlit pozorovaná čísla je omezená a v mnoha případech nedostačující. Oproti tomu korelace s rentgenovým zářením je natolik těsná a univerzální, že ji lze považovat za hlavní mechanismus.

Výsledky tedy ukazují na zásadní roli rentgenových zdrojů v galaxiích. V aktivních jádrech jde o centrální černou díru, v hvězdotvorných galaxiích o populaci rentgenových dvojhvězd. Tento mechanismus se zdá být univerzální a mohl by hrát klíčovou roli i v raném vesmíru. Pokud tomu tak je, pak je záření He II ve vzdálených galaxiích především stopou po činnosti binárních systémů s kompaktními objekty, nikoliv jen po exotických hvězdách první generace.

Tento poznatek dává astronomům do ruky nový nástroj: sledování He II záření může sloužit jako ukazatel aktivity rentgenových zdrojů a tím i nepřímý vhled do vývoje hvězdných populací a akrečních procesů. Zároveň to znamená, že interpretace He II emisí ve vzdálených galaxiích, jaké dnes odhaluje například teleskop Jamese Webba, musí brát v úvahu právě tuto „rentgenovou stopu“.

K. Kouroumpatzakis, J. Svoboda: *Gas excitation in galaxies and active galactic nuclei with He II λ 4686 and X-ray emission*, Astronomy & Astrophysics 696 (2025) id.A133, preprint arXiv:2503.03496

<https://www.asu.cas.cz/articles/2476/19/na-cem-pracujeme-zareni-ionizovaneho-helia-a-rentgenove-zareni-v-galaxiich>