Na čem pracujeme: Supernovy v cirkumjaderném disku a aktivita jádra naší Galaxie

4.3.2025 - | Astronomický ústav AV ČR

Několik parseků centra naší Galaxie je obsazeno strukturou tvořenou převážně hustým molekulárním plynem, nazývanou circumjaderný disk. Naše znalosti o vlastnostech tohoto útvaru se výrazně zlepšily v nedávné době, přispěním přístrojů pozorujících v dlouhovlnné oblasti spektra, jako jsou ALMA nebo SOFIA. Údaje o geometrii cirkumjaderného disku se podle literatury liší, přičemž typický vnitřní poloměr je nejčastěji uváděn mezi 1,5 až 2 pc. Vnější poloměr není přesně určen kvůli nižším hustotám a plynulému přechodu do řidšího prostředí, v literatuře najdeme údaje mezi 3 a 7 pc. Pohyb plynu uvnitř 1 pc je ovládán gravitačním polem supermasivní černé díry, ve větších vzdálenostech pak obíhá přibližně po kruhových drahách v gravitačním poli této černé díry a jaderné hvězdokupy.

Oblast jádra Galaxie je velmi složité prostředí, kde dochází k neustálým interakcím mezi plynem, hvězdami a magnetickým polem. Cirkumjaderný disk je tvořen především chladným hustým molekulárním plynem, v řidších oblastech a na povrchu pak teplým ionizovaným plynem. Tento disk rotuje kolem supermasivní černé díry pod vlivem jejího silného gravitačního pole. Odborníci dlouhodobě zkoumají, jakým způsobem se plyn dostává blíže k černé díře a jaké procesy ovlivňují jeho pohyb. Dnes víme, že míra akrece na černou díru je relativně nízká, ale v minulosti tomu tak prokazatelně nebylo vždy. Důkazy o přechodném zvýšení míry akrece jsou k dispozici (např. tzv. Fermiho bubliny – obří struktury horkého plynu rozpínající se až 25 000 světelných let od středu Mléčné dráhy mimo Galaktický disk, pozorované v gama záření) a jedním z hlavních kandidátů na krátkodobé zvýšení akrece jsou exploze supernov, které se odehrávají v okolí disku.

Představovaná studie, na níž se významně podíleli i pracovníci Oddělení galaxií ASU, se zabývá vlivem explozí supernov na pohyb hmoty v blízkosti supermasivní černé díry v centru Mléčné dráhy. Autoři studie provedli numerické simulace chování této oblasti s použitím pokročilého magnetohydrodynamického modelu. Do modelu zahrnuli gravitační pole černé díry a okolních hvězd, rotaci plynu, magnetické pole, hvězdný vítr z mladých hmotných hvězd v jádře a výbuchy supernov. Cílem bylo zjistit, jak supernovy ovlivňují tok hmoty v cirkumjaderném disku a zda mohou krátkodobě zvýšit přísun plynu k černé díře.

Simulace ukázaly, že exploze supernov mají dva hlavní důsledky. Za prvé, tlaková vlna vyvolaná explozí může způsobit, že část plynu z disku je urychlena směrem k černé díře, což dočasně zvyšuje rychlost akrece. Tento efekt však závisí na poloze, kde k explozi dojde. Pokud se supernova nachází v určité vzdálenosti od černé díry v rovině disku, může efektivně přesměrovat plyn dovnitř, zatímco exploze mimo hlavní rovinu disku mají menší vliv na přísun hmoty do centra. Za druhé, výbuchy supernov také vedou k vyfouknutí plynu z disku do okolního prostředí. Simulace ukázaly, že v závislosti na poloze exploze může být z cirkumjaderného disku odneseno 50 až 100 hmotností Slunce. Tento proces může hrát důležitou roli v regulaci množství plynu dostupného pro akreci, protože snižuje celkovou hmotu disku a ovlivňuje jeho dlouhodobou evoluci. Přestože se část plynu dostane do blízkosti černé díry, jiná část je ztracena a uniká pryč z galaktického jádra.

Dalším zajímavým výsledkem studie bylo zjištění, že po výbuchu supernovy se v disku zvyšuje turbulence. To znamená, že pohyb plynu se stává chaotičtějším, což může vést k efektivnějšímu transportu hmoty směrem k černé díře. Tento efekt však není trvalý – simulace ukázaly, že přibližně

po 250 000 letech se disk vrací do svého původního stavu a vliv supernovy na dynamiku plynu odeznívá. Exploze supernov v centru Mléčné dráhy ale zřejmě nejsou ojedinělým jevem. Galaktické jádro obsahuje velké množství mladých hmotných hvězd, které mají relativně krátkou dobu života a často končí jako supernovy. Autoři studie odhadují, že k výbuchu supernovy v oblasti cirkumjaderného disku dochází v průměru jednou za 100 000 let, což je časový interval porovnatelný s dobou, za kterou se disk vrací do rovnováhy po jednotlivém výbuchu. To znamená, že supernovy mohou hrát v dlouhodobém vývoji disku významnou roli, neboť prakticky nepřetržitě ovlivňují jeho strukturu a dynamiku.

Výsledky této studie mají důležité důsledky nejen pro porozumění procesům v Mléčné dráze, ale i v dalších galaxiích. Mnoho galaxií obsahuje podobné cirkumjaderné disky kolem svých supermasivních černých děr a pravděpodobně čelí obdobným epizodickým událostem, které ovlivňují akreci a evoluci galaktických jader. Lepší porozumění těmto procesům může pomoci vysvětlit, proč jsou některé černé díry aktivnější než jiné, a jaký je vztah mezi hvězdnou aktivitou a růstem černých děr v různých fázích vývoje galaxií. Tyto otázky však budou předmětem dalších studií.

B. Barna, R. Wünsch, J. Palouš a kol., *Mass flows in the Galactic Center by supernovae of the circumnuclear disk*, Astronomy & Astrophysics v tisku, preprint arXiv:2501.18701

http://www.asu.cas.cz/articles/2384/19/na-cem-pracujeme-supernovy-v-cirkumjadernem-disku-a-aktivita-jadra-nasi-galaxie