

Na čem pracujeme: Akrece u černých děr v přítomnosti magnetického pole

20.8.2024 - | Astronomický ústav AV ČR

Černé díry jsou jedním z nejzáhadnějších a nejvíce fascinujících objektů ve vesmíru. Jsou to oblasti prostoru, kde je gravitace tak silná, že ani světlo nemůže uniknout jejich přitažlivosti. Tyto extrémní objekty vznikají jednak, když masivní hvězda vyčerpá své jaderné palivo a zkolabuje pod svou vlastní gravitací. Druhým známým mechanismem vzniku jsou velmi hmotné černé díry, které se nejspíše vytvářejí postupným spojováním méně hmotných černých děr.

Něnými svědky takových procesů jsou záblesky gravitačních vln. Takto by mohly vznikat černé veledíry v jádrech galaxií. Bez ohledu na hmotnost nebo způsob vzniku je výsledkem singularita, bod s nekonečnou hustotou a nulovým objemem, obklopená horizontem událostí, což je hranice, za kterou už není úniku.

Okolo černých děr se často nachází akreční disky, které jsou tvořeny hmotou, převážně plynem, padající směrem k černé díře. Tento materiál se při svém pohybu spirálovitě přibližuje k černé díře, zahřívá se na extrémně vysoké teploty a začne vyzařovat elektromagnetické záření. Akreční disky jsou tak jedním z nejjasnějších objektů ve vesmíru a mohou být pozorovány ve vzdálenostech miliard světelných let. Akrece je často doprovázena i dalšími jevy, například výtrysky látky. Jde o úzké proudy hmoty vystřelované z oblastí blízko černé díry rychlostí blízkou rychlosti světla. Tyto výtrysky mohou dosahovat vzdáleností tisíců světelných let a mají obrovský vliv na své okolí. Mohou ovlivňovat formování hvězd, strukturu galaxií, a dokonce i šíření kosmického záření. Přesné mechanismy vzniku výtrysků a co a jak ovlivňuje jejich intenzitu a tvar však není v současnosti spolehlivě vysvětleno.

Představovaná práce se zabývá mechanismem výtrysků z černých děr, které jsou iniciovány velkoplošnými magnetickými poli. Cílem studie bylo pochopit, jak tyto výtrysky vznikají a jakou roli hraje magnetické pole a rotace černé díry v tomto procesu. Východiskem práce byl akreční disk obklopující černou díru. Disk je složen převážně z horkého plynu, který v principu může obsahovat i nabitě částice – je tedy ve stavu plazmatu. V takovém prostředí se často zcela přirozeně vyskytuje magnetické pole. S tím, jak se zmagnetizované plazma přibližuje k horizontu událostí, intenzita pole narůstá, až pole začne velmi významně ovlivňovat akreci samotnou. Brzdí ji. Z běžného akrečního disku se náhle stává tzv. magneticky brzděný disk („Magnetically Arrested Disk“, neboli MAD), v němž přirozeně hraje působení magnetického pole významnou roli.

Prvním z autorů nově zveřejněné studie je student doktorského programu v Centru teoretické fyziky Polské akademie věd ve Varšavě. Autoři vykonali podrobné numerické simulace k modelování akrece a vzniku výtrysků u rotující černé díry. Simulace byly provedeny pomocí modifikované verze kódu HARM, což je program pro řešení rovnic magnetohydrodynamiky se zahrnutím jevů obecné relativity, které je v těchto situacích zcela nezbytné. Studie zkoumala dva hlavní scénáře: jeden, kde je magnetické pole, které vygeneruje stlačovaný plyn v disku, zarovnáno s osou rotace černé díry, a druhý, kde je magnetické pole nakloněno vůči této ose. V obou případech byly pozorovány výtrysky, ale jejich vlastnosti se lišily v závislosti na orientaci magnetického pole.

Pokud je magnetické pole zarovnáno s osou rotace černé díry, vycházející proudy se tvoří hlavně v rovníkové oblasti. Magnetické pole akumulované v blízkosti černé díry dává vzniknout periodickým výtryskům, které jsou částečně nasměrovány podél rovníkové roviny a částečně kolmo na ni.

V případě nakloněného magnetického pole byly výtrysky výrazně ovlivněny rotací černé díry, což vedlo k deformaci výtrysků a vzniku nízkohustotních oblastí podél rotační osy. Tvorba rovníkových proudů hmoty a jejich opakované překlápění do výtrysků ve směru osy rotace černé díry jsou zajímavé a zatím neprozkoumané novum. Když autoři porovnali důležitost vlivu rotace černé díry, zjistili, že v blízkosti horizontu událostí má rotace na strukturu toku látky rozhodující vliv. Naproti tomu, dále od horizontu událostí je proudění výrazněji ovlivňováno magnetickým polem a jeho sklonem.

Kromě toho práce ukázala, že akreční rychlost a vlastnosti výtrysků mohou výrazně kolísat v čase, což je důsledek interakce mezi akrečním proudem a magnetickým polem. Tento jev je zřejmě důležitý pro pochopení proměnných rentgenových záblesků pozorovaných u černých děr. Nestálou aktivitou je známo i centrum naší Galaxie, označované často zkratkou Sgr A*. Vzájemná interakce rotace černé veledíry a magnetického pole akrečního disku by tak tyto změny mohla přirozeně vysvětlit.

Přiložená animace zachycuje časový vývoj hustoty a změny rychlostního pole plazmatu akretovaného na černou díru. Znárodně je řez v rovině kolmé na rovníkovou rovinu černé díry (rotační osa souhlasí s osou z na grafu). V samotném počátku numerické simulace padá plyn pod vlivem gravitace radiálně do centra, avšak vliv magnetické pole směr pohybu hmoty a její rychlost postupně mění. Část plynného materiálu se zastavuje a je přesměrována do výtoku směrem od ní. Další část proudí podél rotační osy, avšak jen malý díl je nakonec pohlcen černou dírou.

B. James, A. Janiuk, V. Karas, *Black hole outflows initiated by a large-scale magnetic field - Effects of aligned and misaligned spin*, Astronomy&Astrophysics 687 (2024) id.A185, preprint arXiv:2403.14882

<https://www.asu.cas.cz/articles/2301/19/na-cem-pracujeme-akrece-u-cernych-der-v-pritomnosti-magnetického-pole>