Na čem pracujeme: Jak změřit rotaci černé díry: první rentgenová polarimetrie systému GRS 1739–278

3.2.2026 - | Astronomický ústav AV ČR

Mezinárodní vědecký tým, jehož součástí byl i Michal Dovčiak z ASU, se zabýval měřením rentgenových spekter a polarizovaného záření přicházejícího od rentgenové dvojhvězdy GRS 1739-278. Tento systém podle výsledků představované studie obsahuje černou díru s hmotností asi šestnácti hmotností Slunce, která rotuje téměř maximální dovolenou rychlostí. Kvůli rychlé rotaci lze v měřeních identifikovat významný příspěvek tzv. vratného záření, které je důsledkem silných jevů obecné relativity v blízkosti černé díry.

Studium černých děr je jedním z nejintenzivněji rozvíjených témat současné astrofyziky. Černé díry samy o sobě světlo nevyzařují, o jejich existenci a vlastnostech se dozvídáme nepřímo pozorováním záření z materiálu, který je děrami pomalu pohlcován. Zajímavými systémy jsou tedy například tzv. rentgenové dvojhvězdy, kde je černá díra obíhána stárnoucí hvězdou. Ze stále ještě aktivní hvězdy se látka spirálovitě dostává blíže k černé díře a tvoří akreční disk, který se zahřívá na miliony stupňů a vyzařuje převážně v rentgenové oblasti spektra. Detailní vlastnosti tohoto záření – jeho intenzita, spektrum, časové variace, ale i polarizace – obsahují informaci o fyzikálních procesech v extrémních gravitačních polích.

Polarizace je vlastnost světla, která popisuje preferenční směr vibrací elektromagnetického pole. V prostředí silné gravitace a rychle rotující hmoty je polarizace dodatečným diagnostickým nástrojem: její měření může odlišit různé geometrické a dynamické modely akrečního disku, různé příspěvky od struktur v systému a relativistické efekty – což se tradiční spektroskopií a časovou analýzou získává jen obtížně.

Studovaný systém GRS 1739–278 je jednou z již zmíněných rentgenových dvojhvězd, který bychom v Galaxii umístili někam do galaktické výdutě. Tento systém při změně rychlosti akrece tu a tam podlehne výraznému zjasnění, kdy se stává dostatečně jasným pro detailní studium. Předchozí spektroskopické analýzy naznačovaly, že by tento objekt mohl hostit černou díru s vysokou rychlostí rotace (spinem), ale samotné spektrum neposkytovalo jednoznačná omezení.

Představovaný článek zpracovává měření pořízená během malého zjasnění objektu GRS 1739–278, ke kterému došlo na podzim roku 2025. Využili pozorování ze dvou družic: z IXPE (Imaging X-ray Polarimetry Explorer) – satelitu primárně určeného k měření polarizace v oblasti 2–8 keV – s daty z NuSTAR (Nuclear Spectroscopic Telescope Array), která pokrývá širší energetické spektrum až do přibližně 30 keV. Takový souběh měření umožňuje spolehlivěji oddělit různé složky záření a jejich polarizační vlastnosti.

Prvním krokem studie bylo určení stupně polarizace metodami, které nejsou závislé na modelu systému. Autoři takto odvodili stupeň polarizace přibližně 2,3 % a polarizační úhel přibližně 62°. Dále se ukázalo, že polarizační stupeň rostl s energií, dosahující hodnot až kolem 10 % v pásmu 6–8 keV, což naznačuje, že vyšší energie více přispívají polarizované složce.

Aby bylo možné interpretovat naměřenou polarizaci ve fyzikálním kontextu, autoři použili kombinovanou spektro-polarimetrickou analýzu. Základní spektrální modely nevysvětlovaly dobře pořízená pozorování, výrazná rezidua naznačovala přítomnost reflexní komponenty, typicky

spojovanou s tzv. vratným zářením. Tento jev se objevuje zejména v situaci, kdy silné gravitační pole černé díry zakřivuje dráhy fotonů tak, že se část světla vyzářeného do jiných směrů vrací zpět k disku a znovu se odráží k pozorovateli. Bez efektů obecné teorie relativity bychom takový příspěvek nepozorovali.

Při analýze dat byl použit unikátní numerický kód pro modelování záření akrečních disků černých děr včetně jeho polarizace, který je dlouhodobě vyvíjen relativistickou skupinou na ASU. Tento kód umožňuje konzistentně zahrnout efekty obecné relativity, zakřivení drah fotonů a vratné záření, a je klíčovým nástrojem pro fyzikální interpretaci polarimetrických pozorování. Tímto modelem bylo možné odhadnout rotační parametr (spin) černé díry a sklon systému. Z výsledků vyplývá, že spin je extrémně vysoký, s hodnotou asi 0,994, kde 1 značí maximální možný spin podle obecné relativity. Sklon systému (úhel, pod kterým pozorujeme disk) byl odvozen na 54°, zatímco poziční úhel (orientace disku na obloze) vychází na 58°, což je konzistentní s polarizačním úhlem naměřeným nezávisle. Vysoký spin je také v souladu s pozorovanou složkou vratného záření. Některé pozorované zvláštnosti by vysvětlovaly i jiné fyzikální modely, například kladoucí silnější omezení na tvar akrečního disku nebo na přítomnost větru vanoucího z disku, žádná z těchto alternativ ale nevysvětluje komplex existujících pozorování jako celek tak dobře, jako model navrhovaný autory.

Studie představuje první úspěšné měření polarizace rentgenového záření od rentgenové dvojhvězdy GRS 1739–278 a jeho interpretaci v kontextu fyziky akrečních disků a silné gravitační interakce. Díky kombinaci vysoké kvality dat z IXPE a NuSTAR bylo možné extrahovat polarizační parametry, a ty pak fyzikálně interpretovat pomocí relativistických modelů. Hlavní výsledky – detekce stupně polarizace závislého na energii záření a extrémně vysoký spin černé díry – přinášejí nový důkaz o dynamickém prostředí kolem tohoto objektu a demonstrují, že rentgenová polarimetrie je cenným nástrojem pro studium černých děr v takových systémech.

Q. Zhao, M. Dovčiak a kol., *The First X-ray Polarimetry of GRS 1739-278 Reveals Its Rapidly Spinning Black Hole*, Astrophysical Journal Letters v tisku, preprint arXiv:2512.21899

https://www.asu.cas.cz/articles/2522/19/na-cem-pracujeme-jak-zmerit-rotaci-cerne-diry-prvni-rentgenova-polarimetrie-systemu-grs-1739-278