Modely akrece dvou rentgenových dvojhvězd

22.11.2023 - | Astronomický ústav AV ČR

Rentgenové dvojhvězdy jsou systémy, v nichž je hvězdná černá díra doprovázena stále aktivní hvězdou. Hvězdná složka ovšem vyplňuje svůj Rocheův lalok a v systému tak dochází k přetoku látky na černou díru. Tu nakonec obklopuje akreční disk látky, který se stává zdrojem elektromagnetického záření v různých oblastech spektra.

Míra akrece nezůstává v těchto systémech stále stejná, akreční disk mění svůj rozsah. Tyto změny probíhají u rentgenových dvojhvězd nejčastěji v cyklu, v němž se mění svítivost systému a také „tvrdost“ vysílaného záření, tedy míra charakterizující, jaká část záření je vysílána na vyšších energiích. Na grafu, který vynáší tyto dvě veličiny jako dvě souřadnice, pak jeden cyklus aktivity rentgenové dvojhvězdy připomíná písmeno *q*. Cyklus obvykle začíná ve stavu s nižší svítivostí a tvrdším zářením pocházejícím především z tzv. koróny. Zajímavou souvislost představuje vznik a zánik polárního výtrysku, který je přítomen pouze v „tvrdém stavu“. Když převládá tepelné záření z akrečního disku, tento jet mizí. Jen občas se znovu objevují epizodické ale o to intenzivnější výrony hmoty, když zdroj krátce přejde do tvrdšího stavu. Ve stavu charakterizovaném vysokou svítivostí a měkkostí spektra dokonce jet vždy zaniká. Zdroj akrece se vyčerpá, její rychlost poklesne a svítivost systému klesne. Systém se vrací do původního stavu před zjasněním.

Informace o parametrech dvojhvězdného systému přirozeně získáváme pouze nepřímo z pozorování. Obvykle jde o hledání souladu mezi předpovědí elektromagnetického záření vypočteného na základě numerického modelu se skutečným pozorováním. Minimalizací rozdílu mezi těmito dvěma veličinami se v několika krocích dochází k hledání optimálního řešení. Naneštěstí je předpověď elektromagnetického záření modelu závislá na okolnostech, které byly ve fyzikálním modelu zahrnuty. Zcela obecný model zahrnující všechny známé fyzikální jevy by byl příliš složitý, takže fyzikové často používají různá zjednodušení. V případě rentgenových dvojhvězd některé z běžně užívaných modelů ignorují i jevy obecné relativity, které jsou v okolí černých děr ale přítomny vždy.

Anastasiya Yilmaz z Oddělení galaxií a planetárních systémů ASU je studentkou doktorského studia, která pod vedením Jiřího Svobody testovala hned trojici používaných modelů. K testování si vybrala dva zdroje, pro něž existuje velmi bohatý pozorovací materiál. Jednak šlo o rentgenovou dvojhvězdu GRO J1655-40, která v sobě hostí jednu z nejstudovanějších černých děr v Galaxii. Zdroj nacházející se asi 3,2 kpc od Země je tvořen černou dírou s hmotností asi 6 hmotností Slunce, která je doprovázena hvězdou s hmotností asi 2,4 sluncí. Různé analýzy v minulosti vedle ke kontroverzním výsledkům, zejména pokud jde o stanovení rychlosti rotace černé díry. Druhým exemplářem je pak objekt LMC X-3 nacházející se ve Velkém Magellanově mračnu, tedy ve vzdálenosti asi 50 kpc od Země. Zde má černá díra hmotnost necelých 7 sluncí a doprovodná hvězda asi 3,5 slunečních hmot. Ukazuje se, že tato dvojhvězda se dominantně vyskytuje ve vysokém/měkkém stavu a jen výjimečně prochází ostatními stádii v rámci běžného „q“ cyklu.

Oba objekty byly po téměř 15 let sledovány družicí RXTE (Rossi X-Ray Timing Explorer) i dalšími přístroji. A. Yilmaz tato pozorování analyzovala s pomocí tří různých modelů, které jsou pro tyto účely v komunitě vyvinuty, a jsou pro tento úkol velmi vhodnými. Jednak model s názvem DISKBB, který je nerelativistický a připodobňuje záření disku charakteristickou záření černého tělesa s radiálním teplotním profilem. Proti němu postavila dva modely, americký model KERRBB a kód KYNBB z produkce Astronomického ústavu AV ČR, které zahrnují obecně i speciálně relativistické efekty, jakými jsou gravitační ohyb světla, změna frekvence (času) a intenzity v důsledku přítomnosti silného gravitačního pole a vysokých oběžných rychlostí. Oba modely v základním nastavení předpokládají, že vnitřní okraj akrečního disku se nachází na poslední stabilní orbitě, která je daná

mírou rotace černé díry. U KYNBB modelu však můžeme tento okraj nastavit v libovolné vzdálenosti a testovat tak případ tzv. oříznutého disku s vnitřním okrajem dál od černé díry.

Hlavním cílem analýzy bylo prozkoumat a přesněji určit fyzikální parametry studovaných systémů, se zvláštním důrazem na spin (což je míra rotace) černé díry a vlastnosti disku. Největší rozdíly v odhadu vnitřního okraje akrečního disku byly mezi nerelativistickým modelem DISKBB a relativistickými kódy. Při použití DISKBB se vnitřní okraj disku odhaduje z normalizace modelu, charakterizující míru přicházejícího záření při znalosti vzdálenosti zdroje. Tyto odvozené hodnoty často vycházely i pod poslední stabilní orbitou pro maximální spin. Naproti tomu relativistické modely měří tento vnitřní okraj z relativistických korekcí, které se projevují na vysoko-energetickém konci spektrální složky tepelného záření a poskytly mnohem realističtější odhady. Nicméně při studiu vysoce proměnlivého systému GRO J1655-40 se ukázalo, že nejlepší fit preferuje změny vnitřního okraje akrečního disku. Zatímco spin se na tak krátkých časových škálách nemůže měnit, nejschůdnějším vysvětlením se ukazuje oříznutý akreční disk, který se neroztahuje až k poslední stabilní dráze. Proto nejlepšího spektrálního fitu bylo dosaženo pomocí modelu KYNBB, ve kterém je možné tuto proměnlivost nastavit. Autoři také ukázali výsledky samostatných fitů jednotlivých pozorování s cílem ukázat na systematické nejistoty při měření spinu černé díry a realisticky odhadnout nepřesnost těchto měření. Z výsledků je patrné, že GRO J1655-40 rotuje poměrně vysokou rychlostí (asi ¾ maximální možné rychlosti), zatímco systém LMC X-1 má poměrně nízkou rotační rychlost (přibližně 1/10 maximální možné rychlosti), svědčící o odlišném charakteru obou dvojhvězdných systémů.

A. Yilmaz, J. Svoboda a kol., *Accretion disc evolution in GRO J1655-40 and LMC X-3 with relativistic and non-relativistic disc models*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 525 (2023) 1288-1310, preprint arXiv:2308.00396.

http://www.asu.cas.cz/articles/2197/19/na-cem-pracujeme-modely-akrece-dvou-rentgenovych-dvojhvezd