

Na čem pracujeme: Dosahuje akreční disk rentgenových dvojhvězd v jejich tvrdém stavu až k černé díře?

29.10.2024 - | Astronomický ústav AV ČR

Jádrem rentgenové dvojhvězdy je hvězdná černá díra, na níž z doprovodné složky dopadá látka. Nedopadá přímo, ale vytváří kolem černé díry akreční disk. Tento disk je zdrojem celé řady jevů, které bezprostředně souvisejí s procesy v silném gravitačním poli. Tyto jevy nechávají své otisky na pozorovaném elektromagnetickém záření, jmenovitě na tom tvrdém v rentgenové oblasti spektra. Rentgenová spektra zmiňovaných systémů obvykle obsahují dvě hlavní složky: tepelnou emisi z akrečního disku a tvrdší rentgenovou složku způsobenou Comptonovým rozptylem měkkých fotonů horkými elektrony v oblasti zvané korona. Když je disk ozářen korunou, část tvrdého rentgenového záření se odrazí a vrátí se zpět jako záření s nižší energií, což se označuje jako odražené spektrum. Toto odražené záření zahrnuje různé spektrální čáry, například emisní čáry železa, a je klíčovým nástrojem pro pochopení vlastností disku a okolí černé díry.

Odražené spektrum je zajímavé i z toho důvodu, že umožňuje odborníkům nahlédnout do velmi silného gravitačního pole v blízkosti černé díry. Studium takových spekter může odhalit, jak blízko se disk nachází k tzv. ISCO (nejvnitřnější stabilní kruhové dráze), což je oblast, kde materiál stále může stabilně obíhat kolem černé díry, než spadne dovnitř. Pokud je disk ukončen před ISCO, znamená to, že disk je tzv. oříznutý, zatímco pokud sahá až k ISCO, je považován za rozšířený až k černé díře.

Úroveň aktivity rentgenové dvojhvězdy není stálá a i charakter pozorovaného záření se podle toho mění. Klíčové jsou především dvě veličiny: celkové množství záření, pak mluvíme o nízkém nebo vysokém stavu, a převaha záření ve spektru, pak mluvíme tvrdém nebo měkkém stavu. S výskytem systému v určitém stavu souvisí předpověď pro vzhled záření. V nízkém tvrdém stavu se však často nepozoruje očekávaný tepelný příspěvek z disku, který je kombinací vlastního tepelného záření a záření odraženého. Teorie předpokládá, že když je disk blízko k černé díře a silně ozářen korunou, měla by být přítomna přinejmenším významná reemise tepelných fotonů. Jejich nepřítomnost ve spektru vedla k hypotéze, že disk může být v této fázi od černé díry dále, než se dříve předpokládalo, a tudíž není osvětlen korunou tak intenzivně, aby produkoval výrazný tepelný příspěvek odražených fotonů.

Autoři článku se zaměřili na zkoumání této otázky na základě pozorování systému MAXI J1820+070, což je v komunitě známá rentgenová dvojhvězda. Jde o černou díru s hmotností kolem 8 hmotností Slunce obíhanou nejspíše vyvinutým trpaslíkem s hmotností kolem poloviny sluneční hmotnosti. Složky kolem sebe oběhnou jednou za 16,5 hodiny. Tato rentgenová dvojhvězda, která se nachází v souhvězdí Orla, patří mezi systémy se značnou proměnností jasnosti, kdy v některých fázích míra přetoku látky (akrece) vybočuje z jiných známých hodnot. Proto je tento systém pro odborníky velmi zajímavý a není divu, že zaujal i autory představované práce.

K vyšetření situace autoři používají různé modely k analýze tvaru a toku odraženého spektra. Autoři například poukazují, že dosavadní modely často předpokládaly nízkou hustotu disku, což je typické pro aktivní galaktická jádra, ale pro rentgenové dvojhvězdy s černou dírou to nemusí být vhodné. Tyto systémy mohou mít mnohem vyšší hustoty disků, protože disky v těchto systémech jsou blíže ke kompaktním objektům.

Když autoři použili modely s vyšší hustotou disku, zjistili, že disk může sahát velmi blízko k černé díře, aniž by produkoval výrazný tepelný příspěvek. Tím se liší od některých dřívějších studií, které tvrdily, že disk musí být v nízké/tvrdé fázi ukončen dále od černé díry. Nejen vyšší hustota, ale také zlepšení modelování současným přizpůsobením tvaru i toku poskytuje správný odhad hustoty a ionizačního stavu, což následně vede ke správnému odhadu vnitřního poloměru disku a to bez nutnosti zavádět nepřesnosti nebo ad-hoc předpoklady, které byly běžné v dřívějších studiích. Připomeňme, že vnitřní poloměr disku ovlivňuje rozšíření železné čáry prostřednictvím relativistických efektů v blízkosti černé díry. Studie také zkoumala možné geometrie korony. Autoři ukazují, že pokud by byla korona nad vnitřní částí disku hustější a rozptýlenější, mohla by část termálních fotonů absorbovat a tím způsobit, že nebudou viditelné jako výrazný tepelný příspěvek. Taková geometrie by mohla vysvětlit, proč se zdá, že vnitřní část disku nejsou osvětleny stejně intenzivně jako ty vnější. To by také mohlo znamenat, že korona funguje jako určitý druh „zastínění“ pro určité části disku.

Je třeba ještě dodat, že autoři pracovali s konkrétními daty z pozorování, což jim umožnilo potvrdit, že jejich model odpovídá reálným výsledkům. To je důležité, protože mnoho teoretických studií často končí ve fázi modelování bez přímého srovnání s daty. V tomto případě se však podařilo prokázat, že nové modely s vyšší hustotou a upravenou geometrií skutečně dokážou lépe vysvětlit to, co bylo pozorováno v systému MAXI J1820+070.

Představovaná práce přispívá k pochopení toho, jakým způsobem může být disk blízko černé díry v nízké/tvrdé fázi stále přítomen, aniž by se projevoval silným tepelným odrazem. Výsledky naznačují, že klíčovým faktorem je vysoká hustota disku a jeho interakce s korunou. Tento přístup je v kontrastu s dřívějšími modely, které předpokládaly spíše nižší hustoty a oddělené modelování jednotlivých složek spektra.

Nicméně tato studie se zabývala jediným objektem. Navrhovaná vylepšená metoda analýzy a interpretace rentgenových spekter by měla být otestována i na jiných objektech ze stejné třídy, což by mohlo přispět k obecnému porozumění interakce mezi diskem a korunou v tvrdých stavech rentgenových dvojhvězd.

S. R. Datta, M. Dovčiak, M. Bursa, W. Zhang, J. Horák, V. Karas: *Are the shape and flux of X-ray reflection spectra in hard state consistent with an accretion disk reaching close to the black hole?*, Astronomy & Astrophysics v tisku, preprint arXiv:2409.06621

<https://www.asu.cas.cz/articles/2335/19/na-cem-pracujeme-dosahuje-akrecni-disk-rentgenovych-dvoj-hvezd-v-jejich-tvrdem-stavu-az-k-cerne-dire>