

Na čem pracujeme: Rentgenové záření rekurentních nov

Datum	9.10.2026
Subjekt	Astronomický ústav AV ČR
Autor	Michal Švanda
Region	Tschechische Republik - Mittelböhmische Region
Kategorie	Technologie, Wissenschaft, technische und berufliche Tätigkeiten, Wissenschaft und Forschung

Opakované výbuchy novy nezanechávají v okolí hvězdy jen jednotlivé rozpínající se obálky. Při každé další erupci narazí právě vyvržená hmota do pozůstatků předchozích výbuchů a vytváří nové rázové vlny, které plyn zahřívají na miliony stupňů. Trojrozměrné počítačové simulace nyní ukázaly, jak se takový složitý systém vyvíjí během více než jednoho století a jak se jeho historie otiskuje do rentgenového záření.

Astronomie zná novy již po staletí, i když samotná historie tohoto pojmenování je zapeklitější. Tato náhlá zjasnění vzdálených hvězd vznikají překotnou termojadernou reakcí na povrchu bílého trpaslíka, na něhož přetéká hmota z druhé složky dvojhvězdy, jež prochází obdobím expanze. U asi deseti nov je z pozorovatelské historie známo, že se u nich výbuch novy objevil opakovaně. Takové novy se označují jako rekurentní. Obecně se předpokládá, že všechny novy jsou rekurentní, jen u většiny z nich jsou období klidu mezi erupcemi delší než historie pozorování člověkem.

U tzv. symbiotických nov je průvodcem a zdrojem látky pro bílého trpaslíka obvykle rudý obr, který svou hvězdnou atmosférou zásobuje okolí poměrně hustým hvězdným větrem. Část tohoto materiálu postupně zachytává gravitační pole bílého trpaslíka. Na jeho povrchu se hromadí vodík, až jsou podmínky vhodné pro prudkou termonukleární reakci. Nahromaděná vrstva je při ní částečně odhozena do prostoru rychlostí stovek až tisíců kilometrů za sekundu. Bílý trpaslík výbuch přežije, i když ne zcela bez následků. O tom ale dnešní zpráva nebude.

Jednou z nejlépe sledovaných rekurentních nov je RS Ophiuchi v souhvězdí Hadonoše. Její výbuchy byly zaznamenány v letech 1898, 1907, 1933, 1945, 1958, 1967, 1985, 2006 a naposledy v roce 2021. Nelze vyloučit, že systém vybuchoval i dříve, jen pro to nemáme pozorovací důkazy. Každá erupce přitom probíhá v prostředí, které bylo změněno předchozími výbuchy. Rychle se rozpínající obálka proto nenaráží pouze do větru rudého obra, ale také do staršího materiálu, který se v okolí hvězdy nahromadil při předchozích erupcích. Vznikají rázové vlny, které plyn stlačují a zahřívají na vysoké teploty. Horký plyn je zdrojem rentgenového záření. To je přesně případ RS Oph, u níž je proměnná rentgenová emise přítomna, tu je však obtížné správně interpretovat jen z pozorování probíhajících systematicky pár týdnů po výbuchu. Představovaná práce se proto zaměřila na mnohem delší časové měřítko: na to, co se s okolím rekurentní novy děje během mnoha po sobě jdoucích erupcí.

Takovou studii nelze přirozeně postavit na pozorováních, protože taková nejsou k dispozici. Autoři, mezi nimi i Santiago Jiménez a Richard Wünsch z Oddělení galaxií ASU, vytvořili trojrozměrný počítačový model, který sleduje postupně devět výbuchů podobných těm pozorovaným u RS Oph během 130 let. Nechtěli přitom rekonstruovat jednotlivé historické erupce RS Oph. Jejich cílem bylo vytvořit reprezentativní model systému, v němž se výbuchy opakují v podobných časových intervalech a každý nový výbuch ovlivňuje prostředí vytvořené těmi předchozími. Ukázalo se, že výsledkem je překvapivě složitá struktura: jednotlivé obálky se vrství jedna do druhé, vzájemně se deformují a postupně vytvářejí rozsáhlou bipolární dutinu obklopenou několika slupkami.

Zjednodušeně řečeno, okolí dvojhvězdy si tak uchovává „paměť“ svých předchozích výbuchů.

Pro výpočet použili autoři hydrodynamický kód FLASH, který umožňuje sledovat proudění plynu v trojrozměrném prostoru a současně zvyšovat rozlišení tam, kde se vytvářejí důležité struktury, například rázové vlny. Počáteční prostředí představoval hvězdný vítr rudého obra s rychlostí 20 km/s a ztrátou hmoty přibližně 10^{-7} hmotnosti Slunce za rok. Do tohoto prostředí postupně vložili devět explozí. Každá z nich vyvrhla 2×10^{-6} hmotnosti Slunce s kinetickou energií $4,02 \times 10^{37}$ J. Při zjednodušeném pohledu to odpovídá charakteristické rychlosti asi 4600 km/s. Výbuchy navíc nebyly dokonale kulové. Jejich rychlost byla vyšší v polárních oblastech, takže vznikala bipolární struktura odpovídající tomu, co astronomové pozorují u RS Oph. Tento jev se vysvětluje přítomností hustšího plynového disku v orbitální rovině systému, který zpomaluje rozpínání rázových vln v této rovině. Ty se proto šíří rychleji v polárním směru a vytvářejí bipolární struktury, které jsou u těchto objektů běžně pozorovány. Autoři do modelu vložili také malé náhodné nehomogenity hustoty. Ty umožňují, aby se v průběhu vývoje vytvořily přirozené nepravidelnosti a aby se jednotlivé části pozůstatku nevyvíjely dokonale symetricky.

Výpočet sledoval prostor o velikosti odpovídající 0,2 parseku, a nejmenší výpočetní buňka měla rozměr asi 80 astronomických jednotek. Pro každou fázi vývoje bylo možné z hustoty a teploty plynu určit, kde se nachází horký plyn schopný vyzařovat rentgenové záření. Jeho charakter byl vypočten pomocí programu XSPEC a studován ve dvou pásmech: měkkém s energiemi rentgenových fotonů 0,5–2 keV a tvrdém záření v rozsahu 2–10 keV.

Výsledný obraz ukazuje, že první výbuch vytvoří rozpínající se obálku, která postupně čistí okolní prostor. Další výbuch však už neprobíhá v původním hvězdném větru. Jeho rychle se pohybující materiál narazí do starší obálky, stlačí ji a vytvoří další rázovou vlnu. Další erupce celý proces zopakuje. Postupně tak vzniká soustava vnořených slupek a dutin. Výsledná struktura je výrazně bipolární a uvnitř obsahuje velmi horký plyn. Například 110 let po začátku simulace dosahuje nově vytvořená vnitřní bipolární struktura velikosti asi 0,058 parseku. Taková struktura byla v případě RS Oph pozorována Hubbleovým kosmickým dalekohledem po výbuchu v roce 2006.

Zvláště zajímavý se ukázal rozdíl ve vývoji měkkého a tvrdého rentgenového záření. Měkké rentgenové záření vzniká především v hustých oblastech na rozhraních jednotlivých slupek. Na simulovaných obrazech proto vytváří jasné okraje a oblouky, zatímco uvnitř dutin zůstávají oblasti s výrazně slabší emisí. Jak se pozůstatek rozpíná, hustota plynu klesá. Snižuje se tak množství horkého plynu schopného vyzařovat rentgenové záření a měkká rentgenová emise postupně slábne.

Tvrdé rentgenové záření má naproti tomu mnohem proměnlivější charakter. Vzniká v nejteplejších částech plynu, které jsou spojeny především s prudkými srážkami nového materiálu se staršími slupkami. Proto je patrný nárůst tvrdého rentgenového záření vždy po výbuchu, který je následovaný poklesem na téměř původní úroveň za méně než pět let.

S postupujícím časem se mění také vzhled celého pozůstatku. S přibývajícími rozpínajícími se obálkami se rozdíl mezi hustými a řídkými oblastmi zmenšují. Rentgenové záření se proto postupně přestává soustředit pouze do několika jasných rozhraní a více vyplňuje celý vnitřek pozůstatku. Simulace tak předpovídá postupnou přeměnu původně výrazné bipolární struktury v mnohem difúznější objekt, což přesně připomíná vývoj pozorovaný u RS Oph po výbuchu v roce 2006.

Ze studie je patrné, že okolí rekurentních nov není možné považovat za prostředí, které se po každém výbuchu vrací do původního stavu. Naopak, každý nový výbuch probíhá v prostředí pozměněném všemi předchozími erupcemi. Výsledná struktura proto obsahuje informaci o historii systému. Jednotlivé rázové vlny mohou přežívat dlouho poté, co původní výbuch odezněl, a další erupce je znovu aktivuje. Rentgenové záření se tak stává jakýmsi záznamem minulosti hvězdného

systemu. To nabízí potenciální možnost studovat historii takových systémů.

S. Martínez-González, S. Jiménez, R. Wunsch, T. Liimets: *X-rays from shock-heated gas in recurrent-nova remnants: Nested nova shells in a structured circumstellar medium*, Astronomy & Astrophysics v tisku, preprint arXiv:2608.06461

<https://www.asu.cas.cz/articles/2619/19/na-cem-pracujeme-rentgenove-zareni-rekurentnich-nov>