Na čem pracujeme: Vyvinuté obří hvězdy v galaxiích M31 a M33 infračerveným pohledem

10.12.2025 - Kraus | Astronomický ústav AV ČR

Velmi hmotné hvězdy představují krátké, ale mimořádně bouřlivé epizody ve vývoji galaxií. Patří mezi nejintenzivnější zdroje záření, hvězdného větru i výronů hmoty, obohacují své okolí o těžší prvky. Ve svých pozdních fázích mohou nabývat velmi různorodých typů a rozlišit mezi nimi často není snadné – zejména pokud se spoléháme jen na viditelný obor elektromagnetického záření. Michaela Kraus z ASU vedla tým, který si detailně prohlédl šest vybraných hvězd v galaxiích M31 a M33 v blízké infračervené oblasti. Autoři ukazují, že tato část spektra dokáže odhalit znaky, které jsou v optickém oboru skryté, a umožňuje doladit či radikálně změnit dosavadní klasifikaci zkoumaných objektů.

Masivní hvězdy – zpravidla s hmotností více než osm Sluncí – prožívají svůj život rychle a dramaticky. Díky extrémním teplotám a zářivým tlakům z nich vyvěrají silné hvězdné větry a při přechodu do pokročilejších fází ztrácejí obrovská množství hmoty. Tyto procesy obohacují okolní mezihvězdné prostředí o těžší prvky a hrají klíčovou roli při formování dalších generací hvězd. Zároveň však činí jejich vývoj mimořádně složitým. Masivní hvězdy se mohou během relativně krátkého období proměňovat mezi několika typy – například mezi modrými veleobry, B[e] superobry, modrými svítivými proměnnými (LBV), žlutými hyperobry i červenými superobry. Při tom všem se rychle mění jejich spektra, jasnost i struktura okolní látky.

Klasifikace těchto objektů je obtížná i proto, že mnohé z nich sdílejí podobné znaky. V optickém oboru může mít LBV v klidové fázi téměř totožné spektrum jako B[e] superobr. U jiných hvězd se v infračerveném světle objevuje přebytek záření, který může znamenat buď přítomnost prachového disku, nebo skrytého chladného průvodce. Pokud se musíme spoléhat pouze na optické pozorování, mohou být závěry velmi nejisté.

V posledních letech proto roste význam infračervené spektroskopie, která dokáže odhalit molekulární pásy či charakteristické emisní série. Například detekce emisních pásů molekuly CO je silným indikátorem hustého a relativně chladného materiálu v disku kolem hvězdy, typického pro B[e] superobry. Naopak slabé či žádné spektrální čáry v oblasti blízké infračervené mohou ukazovat na fázi LBV v tzv. S Dor cyklu, kdy hvězda přechodně zchladne a rozšíří se její fotosféra. Infračervený obor se tak stal nedílnou součástí snahy pochopit, v jaké vývojové etapě se jednotlivé hvězdy nacházejí.

Studie Michaely Kraus z ASU a jejích kolegů se zaměřuje na šest objektů v galaxiích M31 (v souhvězdí Andromedy) a M33 (v souhvězdí Trojúhelníku), které byly v minulosti klasifikovány nejednoznačně. V literatuře se objevovaly jako kandidáti na LBV, jako tzv. Fe II hvězdy či dokonce jako B[e] superobři. Autoři se rozhodli tyto nejasnosti vyřešit pomocí detailní infračervené spektroskopie v pásmu K (vlnová délka 2,2–2,4 μm), která umožňuje detekci molekulárních pásů oxidu uhelnatého CO nebo Pfundovy spektrální série vodíku, jež patří mezi klíčové znaky různých fází vývoje masivních hvězd.

Pozorování byla provedena mezi lety 2019 a 2020 prostřednictvím přístroje GNIRS na osmimetrovém dalekohledu Gemini North. Šlo o středně vysoké spektrální rozlišení a pozorování byla pečlivě kalibrována pomocí horkých modrých hvězd, což umožnilo ve spektrech potlačit čáry zemské

atmosféry, které jsou jinak v blízké infračervené oblasti zastoupeny velmi bohatě.
Metodologie měla dva hlavní směry. Prvním bylo hledání a modelování emisních pásů molekuly CO, které mohou vznikat pouze v hustých a relativně chladných (obvykle menší než 5000 K) oblastech blízko hvězdy, zejména v rotujících discích či prstencích. Autoři používali modely, které simulují jak tvar pásů, tak jejich intenzity, a umožňují odhad teploty, sloupcové hustoty a dynamiky plynu. Zvláštní pozornost byla věnována poměru čar 12CO a 13CO s různými izotopy uhlíku, protože ten prozrazuje, zda materiál pochází z povrchu hvězdy v rané či pokročilé vývojové fázi – hvězdy po fázi červeného superobra mají tento poměr velmi nízký.

Druhým směrem analýzy byla studia linií Pfundovy série vodíku. Ty jsou typickým znakem hustého ionizovaného větru, častého u B[e] superobrů či LBV v horké fázi. Na základě maximální detekovatelné čáry a tvaru profilu lze odhadnout hustotu a turbulentní rychlost v oblasti, kde linie vznikají. Pro každé ze šesti spekter tak autoři mohli určit, zda se jedná o hvězdu s diskem, s hustým větrným prostředím, o objekt v přechodové fázi, nebo dokonce o složitější systém.

U pěti objektů došlo k upřesnění klasifikace. Nejzajímavější se však překvapivě stala hvězda hvězda s katalogovým označením J013242.26+302114.1, jež se nachází v galaxii M33 v Trojúhelníku. Její infračervené spektrum obsahuje silné absorpční pásy CO, typické pro červené superobry. To bylo překvapivé, protože v optickém oboru v minulosti vykazovala znaky horké emisní hvězdy. Autoři se proto rozhodli otestovat možnost, že jde o dvojhvězdný systém – horkou hvězdu a chladného superobra, jejichž spektra se v různých oborech různě prosazují.

Pomocí modelování spektrální distribuce energie v širokém rozsahu vlnových délek ukázali, že kombinace horkého zdroje o teplotě kolem 23 000 K a chladného superobra s teplotou kolem 4000 K dokonale vysvětluje všechny dostupné fotometrické body od UV po infračervenou oblast. Obě složky mají téměř srovnatelné svítivosti, hmotnosti v desítkách hmotností Slunce a i přes jejich velké rozměry jsou od sebe dost daleko, takže zde nedochází k výměně látky. Horká hvězda tak může být ve fázi B[e] superobra nebo LBV po fázi červeného superobra, zatímco hvězda červená je zřejmě ve fázi červeného superobra.

Autoři využili archivní data z přehlídky APOGEE, aby testovali možný orbitální pohyb. Ukázalo se, že se rychlost červeného superobra mění přinejmenším o 9 km/s, což je v souladu s pohybem ve dvojhvězdě. Minimální perioda takového systému by musela být alespoň 1,5 roku, aby hvězdy nebyly ve vzájemném kontaktu. Přesto však nejde o definitivní důkaz, autoři upozorňují, že červení superobři mohou mít podobné rychlostní změny i díky pulsacím nebo gigantické podpovrchové konvekci. Skutečné potvrzení dvojhvězdy tak bude vyžadovat další dlouhodobé spektroskopické monitorování, zejména v UV, kde by se spektrum horké složky projevilo nejlépe. Pokud se binarita potvrdí, šlo by o vůbec první známý systém, kde je primární hvězdou modrá svítivá proměnná nebo B[e] superobr a sekundární složkou červený superobr.

Studie ukazuje, že blízká infračervená spektroskopie je nenahraditelným nástrojem pro klasifikaci a studium evoluce velmi hmotných hvězd hvězd.

M. Kraus a kol., Near-infrared characterization of evolved massive stars in M31 and M33, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 541 (2025) 4049-4059, preprint arXiv:2507.19249

https://www.asu.cas.cz/articles/2511/19/na-cem-pracujeme-vyvinute-obri-hvezdy-v-galaxiich-m31-a-m33-infracervenym-pohledem