

Na čem pracujeme: Účinnost továrny na tvorbu hvězd závisí na metalicitě hvězd

21.7.2026 - Michal Švanda | Astronomický ústav AV ČR

Jak vlastně vznikají hvězdokupy a proč se některé oblaky plynu promění jen v několik procent hvězd, zatímco jiné dokážou přetavit většinu své hmoty do hvězdné populace? Nová studie především českých astronomů z Oddělení galaxií ASU ukazuje, že jedním z klíčových faktorů může být chemické složení mezihvězdného plynu. Pomocí rozsáhlého souboru numerických modelů autoři zjistili, že v prostředích chudých na těžší prvky může hvězdotvorba probíhat déle, být účinnější a vést ke vzniku mimořádně hmotných hvězdokup. Výsledky mohou pomoci vysvětlit vznik kulových hvězdokup v raném vesmíru i nová pozorování z kosmického dalekohledu JWST.

Hvězdy nevznikají jednotlivě, ale zpravidla ve velkých oblacích molekulárního plynu. Gravitační kolaps těchto mračen vede ke vzniku hustých oblastí, v nichž se rodí nové hvězdy. Už několik desetiletí však astronomy zaměstnává otázka, proč je tento proces tak neefektivní. Pozorování ukazují, že typicky pouze několik procent původní hmotnosti oblaku skončí ve hvězdách, zatímco zbytek plynu je rozptýlen zpět do mezihvězdného prostředí. Hlavní roli zde hraje takzvaná hvězdná zpětná vazba – souhrn procesů, jimiž mladé hvězdy ovlivňují své okolí. Patří mezi ně hvězdné větry, ultrafialové záření a později i výbuchy supernov. Tyto mechanismy mohou plyn ohřívat, urychlovat a nakonec zcela odfouknout z rodící se hvězdokupy.

Situace ale nemusí být vždy tak jednoduchá. Již dříve vznikla hypotéza takzvané „továrny na tvorbu hvězd“ (star formation factory), podle níž může za určitých okolností zpětná vazba naopak podporovat další vznik hvězd. Místo toho, aby expandující slupka plynu okolní prostředí rozptýlila, může se dostat do stavu dynamické rovnováhy. Do této slupky pak neustále přitéká další plyn z kolabujícího oblaku, který se zde stlačuje a mění na nové hvězdy. Takový mechanismus by mohl vést ke vzniku velmi hmotných a kompaktních hvězdokup. Dosud však nebylo jasné, za jakých podmínek může podobný režim nastat a jakou roli v něm hraje chemické složení plynu.

Právě zde vstupuje do hry metalicita, tedy zastoupení prvků těžších než helium. V raném vesmíru byly tyto prvky vzácné, protože vznikají až v nitrech hvězd a při explozích supernov. Oblaka plynu v mladém vesmíru proto měla výrazně nižší metalicitu než dnešní Mléčná dráha. Metalicita ovlivňuje řadu fyzikálních procesů, například schopnost plynu vyzařovat energii a ochlazovat se nebo intenzitu hvězdných větrů. Pozorování z Kosmického dalekohledu Jamese Webba navíc ukazují kompaktní hvězdotvorné systémy s velmi nízkou metalicitou i ve velmi vzdáleném a tudíž velmi mladém vesmíru. To vytváří potřebu teoretických modelů, které by dokázaly vysvětlit jejich vznik a vývoj.

Studie rozsáhlého týmu především českých autorů z ASU si klade za cíl právě tuto otázku zodpovědět. Autoři zkoumali, jak hvězdné větry a supernovy ovlivňují kolabující oblaka plynu s různou hmotností, velikostí a metalicitou. Zvláštní důraz přitom věnovali tomu, zda zpětná vazba vznik hvězd potlačuje, nebo naopak podporuje.

Samotná metodika práce je zajímavá. Namísto časově náročných trojrozměrných simulací použili autoři jednorozměrný sféricky symetrický model, který jim umožnil prozkoumat tisíce různých kombinací parametrů. Model popisuje kolabující molekulární oblak, v jehož středu vzniká hvězdokupa. Nově vznikající hvězdy produkují hvězdné větry a později i supernovy, které vytvářejí horkou bublinu obklopenou expandující slupkou stlačeného plynu. Do výpočtů byly zahrnuty gravitační síly, přítok plynu způsobený kolapsem oblaku, časově proměnná produkce energie hvězd,

ochlazování plynu vyzařováním i tvorba druhé generace hvězd přímo ve slupce.

Autoři použili inovativní způsob výpočtu ochlazování horké bubliny. Explicitně totiž zahrnuli přenos tepla mezi velmi horkým plynem uvnitř bubliny a chladnou slupkou na jejím okraji. Tento proces způsobuje odpařování materiálu ze slupky zpět do nitra bubliny, čímž mění hustotu i teplotu plynu a tím i rychlost jeho ochlazování. Právě správný popis těchto procesů se ukázal být klíčový pro určení, zda zpětná vazba nakonec převládne nad gravitací, nebo zda vznikne dlouhodobě stabilní konfigurace.

Výpočty byly provedeny pro tři různé metalicity. První odpovídala přibližně dnešní Mléčné dráze, druhá trpasličím galaxiím s asi desetinnou metalicitou a třetí extrémně chudému prostředí které se očekává v raném vesmíru. Pro každou metalicitu byly simulovány stovky až tisíce oblaků s hmotnostmi mezi zhruba 160 tisíci a třemi miliony hmotností Slunce a poloměry od 14 do 31 parseků.

Výsledky ukázaly, že existují tři základní scénáře vývoje. V prvním případě je zpětná vazba příliš slabá a slupka nedokáže zastavit gravitační kolaps. Celý systém se zhroutl a pravděpodobně projde několika epizodami tvorby hvězd. Ve druhém případě je zpětná vazba velmi účinná, plyn rychle odfoukne a hvězdotvorba brzy skončí. Ve třetím případě, který je nejzajímavější, se skořápka zastaví v určité vzdálenosti od středu a vytvoří dlouhodobě stabilní konfiguraci. Právě zde vzniká zmíněná „továrna na tvorbu hvězd“.

Podrobná analýza ukázala, že když se rychlost slupky blíží nule, stává se gravitačně nestabilní. Ve slupce začínají vznikat husté fragmenty, které se mění na nové hvězdy. Ty následně dodávají další energii prostřednictvím hvězdných větrů, což pomáhá udržovat systém v rovnováze. Slupka tak funguje jako jakýsi průtokový reaktor: plyn přitéká z kolabujícího oblaku, ve slupce se stlačuje a přeměňuje na hvězdy, zatímco celková hmotnost slupky zůstává téměř konstantní. V některých modelech tento stav přetrvával více než milion let.

Nejdůležitějším výsledkem studie je však zjištění, že právě metalicita rozhoduje o tom, který scénář převládne. Na první pohled by se mohlo zdát, že nízká metalicita znamená slabší ochlazování plynu, a tedy účinnější zpětnou vazbu. Výsledky ale ukazují složitější obrázek. Nízká metalicita sice skutečně omezuje radiační ztráty, současně však výrazně oslabuje hvězdné větry. Tyto dva efekty se navzájem vyvažují. V extrémně chudých prostředích se proto zpětná vazba často nedokáže prosadit natolik, aby plyn rychle odfoukla. Místo toho vznikají dlouhodobě stacionární slupky a hvězdotvorba pokračuje mnohem déle. To by mohlo vysvětlovat, proč Webbův dalekohled pozoruje takové systémy. U modelů s metalicitou podobnou Mléčné dráze autoři nenalezli prakticky žádné stabilní slupky. Hvězdné větry jsou zde natolik silné, že expandující bublina plyn rychle rozptýlí. Účinnost tvorby hvězd je zde velmi nízká. Situace byla zcela odlišná v prostředích s nízkou metalicitou. Tam se objevovala rozsáhlá oblast parametrického prostoru, kde stacionární slupky vznikaly běžně. Účinnost tvorby hvězd zde často dosahovala 50 až 90 procent. Jinými slovy, většina původního plynu byla nakonec přeměněna na hvězdy. Zároveň vznikaly velmi hmotné hvězdokupy o hmotnostech až kolem milionu hmotností Slunce. Takové objekty připomínají dnešní kulové hvězdokupy, jejichž původ je dosud předmětem intenzivního výzkumu.

Přestože model obsahuje řadu zjednodušení – například předpoklad kulové symetrie nebo zanedbání radiačního tlaku – poskytuje důležitý pohled na fyzikální mechanismy, které mohou řídit vznik hvězdokup v různých epochách vesmíru. Autoři sami upozorňují, že trojrozměrné simulace mohou některé kvantitativní výsledky změnit. Základní trend však považují za robustní: nízká metalicita může vést k překvapivě vysoké účinnosti tvorby hvězd a k dlouhodobému přetrvávání hvězdotvorných oblastí.

S. Jiménez, D. Kománek, R. Wunsch, J. Palouš, S. Ehlerová a kol., *The star formation factory revisited: I. The impact of metallicity on collapsing star-forming clouds*, *Astronomy & Astrophysics* 709 (2026) A100.

<https://www.asu.cas.cz/articles/2595/19/na-cem-pracujeme-ucinnost-tovarny-na-tvorbu-hvezd-zavisi-na-metalicite-hvezd>