

Na čem pracujeme: Vývoj hvězdokup závisí na počátečních pohybech hvězd

7.8.2024 - | Astronomický ústav AV ČR

Hvězdokupy patří jednoznačně mezi oblíbené cíle pozorování amatérských astronomů. Jsou totiž často dostupné pro sledování i za špatných podmínek se silným světelným znečištěním např. z center měst. Hvězdokupy jsou ovšem v centru zájmu i profesionálních astronomů. Tyto samogravituující systémy (což znamená, že jsou drženy pohromadě svou vlastní gravitací) totiž nabízejí jedinečný vhled do pochopení hvězdné tvorby, vývoje hvězd i stavby galaxií.

Studiu kolektivních procesů, které ovlivňují celkový vývoj hvězdokup, napomáhají i moderní spektroskopická a poziční pozorování z nejvyspělejších dalekohledů. Díky nim mají odborníci přístup k informacím o kinematice jednotlivých hvězd v kupě, a dozvídají se zajímavé detaily. Ukazuje se například, že uvnitř některých systémů rozdělení rychlostí hvězd vzhledem k jejich hmotnosti neodpovídá předpokládanému vývoji.

Teorie popisující vývoj hvězdokup se opírají především o tzv. *relaxační procesy*, které říkají, jak dochází k výměně energie a hybnosti mezi jednotlivými hvězdami kupy. V této souvislosti se nejčastěji zmiňuje pojem *relaxačního času*, který je definován jako doba, za níž se hvězdy v kupě dostanou do stavu statistické rovnováhy. Jedním z pozorovaných důsledků relaxace je také např. *přerozdělování hmotnosti*, kdy hmotnější hvězdy dlouhodobě migrují do centra hvězdokupy a méně hmotné hvězdy se pohybují spíše směrem ven. Ukazuje se, že tyto procesy neprobíhají ve všech systémech stejným způsobem a že jedním z hlavních faktorů, který je ovlivňuje, je směr, jakým se uvnitř kup pohybují hvězdy.

Václav Pavlík z Oddělení galaxií a planetárních systémů ASU vedl teoretickou studii ve spolupráci s vědci z University of Edinburgh (UK) a Indiana University (USA), která se zabývala vlivem změn počátečních pohybů hvězd na vývoj hvězdokup. Tato studie byla podpořena z programu EU Horizon Europe a Středočeského kraje v rámci Marie Skłodowska-Curie Actions COFUND – „MERIT“. Tým sledoval vývoj N-částicových numerických simulací se sto tisíci hvězdami s hmotnostmi dle známé hmotnostní funkce. Kromě gravitačního působení všech členů kupy na sebe navzájem byl také započítán vliv vnějšího gravitačního pole, jehož zdrojem je naše Galaxie. Modely též připouštěly tvorbu dvojhvězd v průběhu času, neboť tento proces se ukazuje jako důležitý pro celkový vývoj hvězdokup.

Nejdůležitějšími parametry počátečních podmínek byla různá rozdělení rychlostí hvězd. Pro porovnání simulací byly některé modely spuštěny s běžně užívaným *izotropním* rozdělením, kde nejsou preferovány žádné směry pohybů. Dále autoři zahrnuli rychlostní rozdělení s asymetrií buď v *radiálním* směru (tedy ve směru od centra kupy ven – jinými slovy zde bylo více hvězd s protaženými eliptickými drahami) nebo v *tečném* směru (více hvězd mělo dráhy podobné kruhovým).

Práce ukazuje, že vliv rozdělení počátečních směrů rychlostí hvězd na vývoj hvězdokupy je nezanedbatelný. Relaxační procesy probíhají v modelech s tečnou anizotropií rychleji než v modelech s izotropním rozdělením rychlostí, zatímco v modelech s radiální anizotropií jsou nejpomalejší.

Ze simulací také vyplývá, že ve vnitřních částech kupy nenechávají počáteční podmínky své otisky, neboť po uplynutí několika relaxačních časů jsou zde rychlosti hvězd izotropní, a to bez ohledu na původní rozdělení. Naproti tomu ale vnější oblasti mohou některé anizotropie uchovávat. Zde svoji

roli hraje i gravitační pole Galaxie. Pokud jsou slapové síly Galaxie velké, objeví se ve vnějších oblastech kupy tečná anizotropie; pokud jsou slabé, má anizotropie rychlostí naopak radiální směr.

Výsledky dále ukazují, že čas tzv. *kolapsu jádra* ve hvězdokupách (tj. okamžik, kdy jádro dosahuje maximální hustoty) závisí na míře radiální anizotropie v systému. Ve všech hvězdokupách dochází k nejčasnějšímu kolapsu jádra v tečně anizotropních modelech a nejpozději v radiálně anizotropních modelech. Časové rozdíly jsou však výraznější ve hvězdokupách, které se vyvíjejí ve slabším Galaktickém poli. Důvodem je, že silnější slapy od Galaxie efektivněji odebírají hvězdy z okraje kupy, čímž urychlují vývoj hvězdokup – zejména v radiálně anizotropních modelech.

Studie také potvrzuje, že přerozdělování hmotnosti probíhá různou rychlostí v různých modelech. V centrální oblasti tečně anizotropních modelů je přerozdělování hmotnosti nejrychlejší a zpomaluje se s rostoucí mírou radiální anizotropie. Vnější oblasti však vykazují opačný trend, kdy se hmotnost nejpomaleji přerozděluje v tečně anizotropních modelech a zrychluje se s rostoucí radiální anizotropií.

Počáteční rozdělení ve směrech pohybů hvězd má svůj vliv také na ustanovení energetické rovnováhy. Ve vnitřních oblastech opět všechny modely vedou ke stejnému výsledku, kdy střední kinetická energie hvězd nezávisí na jejich hmotnosti. Hmotné hvězdy se tedy pohybují pomaleji, méně hmotné rychleji. Situace je však jiná ve vnějších oblastech. Nepředvídatelně zde dochází v některých modelech k vývoji směrem od energetické rovnováhy a to tak, že těžší hvězdy se pohybují statisticky rychleji než hvězdy lehčí. S rostoucí tečnou anizotropií tato nerovnováha roste, s radiální anizotropií naopak klesá.

Vývoj hvězdokup tedy závisí na vtištěných počátečních podmínkách, které zachovávají své otisky v časování relaxačních procesů, jejichž důsledky jsou přímo pozorovatelné. Pokud bychom dokázali určit dostatečně přesně věk hvězdokupy, byli bychom možná schopni odvodit alespoň velmi obecné představy například o rozdělení počátečních rychlostí jejích hvězd a způsobu jejího vzniku.

V. Pavlík, a kol., *Dynamics of star clusters with tangentially anisotropic velocity distribution*, Astronomy&Astrophysics v tisku, preprint arXiv:2405.19400

<https://www.asu.cas.cz/articles/2294/19/na-cem-pracujeme-vyvoj-hvezdokup-zavisi-na-pocatecnich-po-hybech-hvezd>