

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

V. A. Ambarcumjan

Problém vzniku hvězd

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 3 (1958), No. 3, 312--323

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137101>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1958

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

## ASTRONOMIE

### PROBLÉM VZNIKU HVĚZD<sup>1)</sup>

Akademik V. A. AMBARCUMJAN

Během čtyřiceti let, která uběhla od Velké říjnové socialistické revoluce, se uskutečnil také převrat v astrofysice — vědě jednající o fyzikálních dějích ve vesmíru. Nové možnosti rozšíření našich znalostí o fyzikálních procesech, probíhajících ve hvězdách a v mezihvězdném prostoru, poskytly velké teleskopy a elektronické měřicí aparatury. Moderní teoretická fyzika pomohla při správné interpretaci pozorovacího materiálu a při pochopení samé podstaty těchto procesů. Vzniklo nové vědní odvětví — teoretická astrofyzika, umožňující teoreticky vypočítat mnohé z dějů, probíhajících v nebeských objektech, i předpovídat nové, dosud nepozorované jevy.

Zvláště vysokého ocenění si zaslouží výsledky sovětské astrofyziky. Před revolucí dosáhla vysoké úrovně pouze experimentální astrofyzika, díky práci akademiků Bredichina, Bělopolského a jejich žáků. Nyní se tento stav radikálně změnil. Sovětští astrofyzikové zaujímají v řadě případů vedoucí místo v oblasti teoretických výzkumů a nezřídka jsou autory nových, zajímavých myšlenek a směrů v tomto vědním odvětví.

Přibližně v třicátých letech sovětští astrofyzikové začali pronikat i do oblasti hvězdné kosmogonie. Na podkladě bohatého pozorovacího materiálu se zprvu velmi neurčitě a nezřetelně počala rýsovat kusá fakta, souvisící se vznikem hvězd. Tento proces zrodu moderní vědecké hvězdné kosmogonie postupoval zpočátku velmi pomalu, avšak tou měrou, jak narůstal pozorovací materiál, vzrůstaly i úspěchy v jeho interpretaci. Koncem čtyřicátých let nabyly určité podoby první významné výsledky ve studiu vzniku hvězd a hvězdných soustav. Tím byla otevřena cesta k dalším cenným úspěchům.

V této stati bude shrnuta řada zajímavých závěrů, k nimž dospěli sovětští astrofyzikové při řešení problému vzniku a vývoje hvězd. Přitom bude hlavní pozornost věnována okruhu idejí, který vzešel z prací katedry astrofyziky Leningradské university a dále se rozvíjel v pracích Bjurakanské astrofyzikální observatoře Akademie věd Arménské SSR. K propracování těchto idejí a metod došlo za těsné součinnosti jiných sovětských astronomických kolektivů, z nichž je třeba na prvním místě jmenovat Pulkovskou observatoř, Krymskou astrofyzikální observatoř a Šternbergův astronomický ústav. Aby byla zachována jednotna výkladu, pokládáme za vhodné opírat se především o ten způsob chápání problémů hvězdné kosmogonie, který vyplývá z prací leningradských a bjurakanských.

\*

<sup>1)</sup> Akademik B. A. Амбарцумян, *O probleme proischoždenija zvezd*, Vestnik AN SSSR, č. 11 (1957), str. 45—57.

Mluvíme-li o problému vzniku a vývoje hvězd, máme na mysli obvykle hvězdy patřící k naší hvězdné soustavě — Galaxii. Zajímá nás, kdy a jak vznikla většina hvězd v Galaxii, jaký je jejich věk, je-li nějaký vztah mezi vznikem hvězd a jinými objekty v Galaxii, např. plynnými mlhovinami.

Hlavní překážkou při řešení těchto otázek je to, že evoluční změny v hvězdách probíhají zpravidla velmi pomalu, takže život člověka a vůbec celá historie astronomických pozorování je pouhým okamžikem ve srovnání s trváním těchto změn. Většinou nejsou tyto procesy přímo pozorovatelné. Obraz vzniku a vývoje hvězd může být proto vytvořen pouze na základě pečlivého zkoumání a srovnávání všech známých dat o fyzikálním stavu mnoha hvězd.

Zarážející jsou ohromné rozdíly v těchto fyzikálních stavech. Na konci minulého století se všechny hvězdy dělily na nevelký počet tříd, lišících se ve spektru. Později byly zavedeny četné spektrální podtřídy a jiný způsob dělení podle svítivosti. Ukázalo se, že hvězdy stejné spektrální třídy i podtřídy o stejné svítivosti mohou mít různou rychlost rotace kolem vlastní osy, což podmiňuje další rozdíly ve fyzikálním stavu hvězd. Jsou ještě další zvláštnosti, založené na rozdílném chemickém složení, přítomnosti magnetického pole, proudění látky z hvězdné atmosféry a j.

Avšak hvězdy se vzájemně liší nejen co do fyzikálního stavu. Liší se i co do charakteru svého spojení s jinými hvězdami. Všechny hvězdy v Galaxii rotují kolem jejího středu. Ale zatím co jedny vykonávají tento pohyb samostatně (např. naše Slunce), jiné se pohybují kolem galaktického středu jako dvojhvězdy, trojhvězdy, násobné hvězdy nebo hvězdokupy. Existence takových malých „kolektivů“ je pro Galaxii charakteristická. Tyto malé soustavy se vzájemně liší strukturou a stavem v daném okamžiku. Jsou objevovány zajímavé zákonitosti mezi fyzikálním stavem hvězd a jejich polohou v soustavě, k níž patří. K vysvětlení těchto zákonitostí může dojít teprve tehdy, až budeme znát mechanismus vzniku různých hvězd a hvězdných skupin.

Ještě před nedávnem byla otázka vzniku hvězd řešena zcela odděleně od otázky vzniku hvězdných soustav (násobných hvězd a hvězdokup). Jak uvidíme dále, v pracích sovětských astronomů bylo ukázáno, že tyto otázky spolu velmi těsně souvisí. Nyní, když bylo dokázáno, že hvězdy vznikají po skupinách, je nepřipustné vůbec klást otázku vzniku jednotlivé hvězdy jako samostatného objektu. Tak tomu nebylo ovšem ještě před desíti lety. I tehdy se sice přiznávalo, že každá hvězda leží v gravitačním poli jiných hvězd. Lze však dokázat, že gravitační působení jiných hvězd a vůbec celé Galaxie na vnitřní stav hvězdy je zcela zanedbatelné. Každou hvězdu bychom mohli pokládat za uzavřenou soustavu, kdyby nebylo záření hvězdy. Toto záření hvězdu spojuje s vnějším světem. Toto spojení je však jednostranné. Množství vyzáření energie a její druh je dáno vnitřními podmínkami v hvězdě. Vnější síly zůstávají prakticky bez vlivu na vnitřní život hvězdy, která se vyvíjí v důsledku vzájemného působení vnitřních sil a procesů.

Je-li tomu tak, pak se nabízí prostá a logická cesta k řešení otázky vývoje hvězd. Na základě zákonů teoretické fyziky můžeme určit vnitřní složení hvězdy ve stavu rovnovážném při daných charakteristikách, stanovených z pozorování (hmota, svítivost, poloměr atd.). To znamená, že předpokládáme-li, že hvězda je v každém bodě v rovnováze, musíme umět spočítat hodnotu hustoty, teploty a tlaku jako funkci vzdálenosti od středu dané hvězdy. Rozřešíme-li tuto úlohu pro libovolnou hvězdu, dostaneme tzv. model její vnitřní stavby.

Pokud hvězda září, postupně se vyčerpávají její zdroje zářivé energie, čímž se nutně mění její stav. Pak teplota, hustota i tlak nabývají v každém bodě hvězdy jiných hodnot, dostaneme jiný model, jemuž budou odpovídat jiné pozorované charakteristiky.

Takto můžeme získat celou posloupnost modelů, které budou odpovídat jednotlivým etapám vývoje hvězdy. Přitom je ovšem podstatné, jaké předpoklady zavedeme o povaze zdrojů hvězdné energie. Jak bylo dokázáno, při teplotách, které vládou v nitru hvězd, se uvolňuje velké množství energie při termonukleárních reakcích, v nichž přechází vodík v helium. Ovšem předpoklad, že právě tyto nukleární změny jsou hlavním zdrojem zářivé energie hvězd, není podložený, a vyžaduje ještě solidního ověření.

Naproti tomu těžko si můžeme být jisti, že v období, kdy hvězda vznikala, vnitřní procesy probíhaly zcela bez vnějších vlivů, i když ji po většinu jejího dalšího života můžeme považovat za autonomní organismus. K zodpovězení této otázky bychom museli znát podmínky, za kterých hvězda vznikla. Metoda modelů se však setkává s nepřekonatelnými překážkami při pokusech extrapolovat změny ve vnitřním složení hvězd tak daleko zpět, abychom mohli stanovit, v jakém stavu byla hvězda bezprostředně po svém vzniku. Nadto libovolné předpoklady, které se vnášejí při použití metody modelů, způsobují, že není dostatečně spolehlivá ani aplikujeme-li ji na pozdější stadia vývoje již vytvořených hvězd.

Použijeme-li však metod teoretické mechaniky a statistické fyziky, můžeme velmi spolehlivě sledovat evoluční změny, k nimž dochází ve skupinách hvězd i v systémech, složených z těchto skupin. Pokud jde o tyto změny, můžeme extrapolovat zpět, aniž bychom dělali nějaké podstatné libovolné předpoklady. Závěry o počátečních stavech hvězdných grup, k nimž dospívá hvězdná dynamika, jsou proto dostatečně spolehlivé. Vedou dále k jistým závěrům o původu těchto grup, a zároveň i o vzniku jednotlivých hvězd v grupách. Právě z těchto úvah vznikl v hvězdné kosmogonii směr, používající metod hvězdné dynamiky; je rozšířen nejvíce v Sovětském Svazu.

Kombinací metod hvězdné dynamiky s podrobným vyšetřováním fyzikálního stavu hvězd, tvořících hvězdné grupy, v různých etapách vývoje můžeme dospět k obecnějším kosmogonickým závěrům.

V minulém století a také v první polovině našeho století vznikla řada tzv. kosmogonických hypotéz. Byly vysloveny hypotézy o původu sluneční soustavy, o původu dvojhvězd, o vzniku galaxií a hvězd, jež k nim patří atd. Tyto hypotézy se pokoušely vysvětlit jak vznik, tak i další vývoj daného objektu na základě jistého (předpokládaného) počátečního stavu. Tak se např. dělaly pokusy o vysvětlení současného stavu sluneční soustavy, které vycházely z předpokladu, že Slunce bylo kdysi obklopeno difusní mlhovinou, která zaujímal celý prostor, v němž se dnes pohybují planety.

Žádná z těchto hypotéz není dostatečně průkazná. Jádro věci je v tom, že kosmické jevy, a tím spíše jevy, spojené se vznikem a vývojem hvězd, se kvalitativně liší od procesů, probíhajících ve značně menším měřítku. Rozumí se samo sebou, že atomy a molekuly látek, ať se nacházejí kdekoli — v naší Galaxii, v mlhovině Andromedy nebo ve fyzikální laboratoři — si zachovávají totožné vlastnosti. Avšak v kosmických podmínkách se setkáváme s tak velkými hmotami a s tak dlouhými etapami vývoje, že v průběhu procesů vystupují a časem i nabývají největšího významu takové vlastnosti hmoty, které za normálních podmínek nehrají téměř žádnou roli.

Tak např. jevy, spojené s nukleární energií, mají za obvyklých podmínek na Zemi, jak známo, zcela nepatrnou úlohu. Až do počátku našeho století, kdy byla objevena radioaktivita, byly vůbec fysikům neznámé. Naproti tomu uvolňování jaderné energie v nitrech hvězd má ten největší význam, je podstatnou vlastností hvězd. Je tedy zřejmé, že autoři kosmogonických hypotéz v minulém století, kteří neměli ponětí o specifických podmínkách, charakteristických pro hvězdná nitra, nemohli správně řešit otázky vývoje hvězd. V mnoha případech mají kosmická tělesa bezpochyby i jiné specifické vlastnosti, které jsou nám dosud neznámy.

Čím dále pronikáme do hloubi kosmického prostoru, tím častěji se setkáváme s tak mimořádně specifickými úkazy, že jejich vysvětlení je možné jen na podkladě studia nejinternějších vlastností elementárních částic, které se obvykle přímo vůbec neprojevují, a které jsou právě odhalovány moderní fysikou nebo které teprve budou dříve nebo později objeveny.

Astrofysikové musí všestranně aplikovat výsledky atomové a nukleární fysiky na kosmické jevy; zároveň však je nutno opírat se v kosmogonických závěrech především o pozorovací materiál a odhalovat ty specifické zákonitosti, které, jak tomu nasvědčuje pozorování, ovládají kosmogonické procesy. A to je právě cesta, kterou nastoupila moderní astrofysika. Výsledky, dosažené v tomto směru, nasvědčují, že tyto zákonitosti jsou velmi složité a skutečně zcela specifické.

Teprve po dosažení prvních úspěchů vyvstává před námi otázka vzniku hvězd v celé své složitosti. Můžeme říci, že naše úspěchy v oblasti hvězdné kosmogonie jsou charakterisovány ne toliko počtem a obtížností problémů již vyřešených, ale spíše ještě větším počtem a ještě větší obtížností nově vznikajících a dosud nevyřešených otázek.

Tyto úvahy se mohou zdát triviální, jsou však nutné, neboť se dosud dělají pokusy řešit kosmogonické problémy na podkladě zjednodušujících představ, bez dostatečně hluboké analýsy veškerého pozorovacího materiálu.

Např. mnoho autorů vychází při vysvětlení původu hvězd z předpokladu difusní látky. Domnívají se, že hvězdy vznikly zhuštěním rozptýlené mlhovinné látky a že Galaxie, složená nyní z hvězd, kdysi tvořila jedinou gigantickou mlhovinu. Jako důkaz se uváděl velký počet eliptických galaxií, které se tehdy ještě nepodařilo rozložit na hvězdy, a které byly podle Jeansona schematu pokládány za prvotní stadium vývoje galaxií. Tato domněnka dostala smrtelnou ránu v roce 1944, když V. Baade dokázal, že eliptické galaxie jsou složeny z hvězd. Dokonce se ukázalo, že obsahují menší množství difusní látky, než kterýkoli jiný typ galaxií. Neznáme žádnou galaxii, kterou by tvořila pouze difusní látka. Není proto žádných podkladů pro hypotézy o vzniku hvězd ze zředěné mlhovinné látky. Přesto jsou dosud rozšířeny mylné představy o tom, že hvězdy vznikají z mlhovin.

Přejdeme nyní k některým významným kosmogonickým otázkám a povíme si, k jakým zajímavým faktům a zákonitostem dospěla sovětská věda v oblasti vzniku hvězd.

Jak staré jsou hvězdy? Metody, používané do poloviny třicátých let, nevedly k správnému odhadu stáří hvězd. Ke správnému odhadu stáří hvězd v naší Galaxii se došlo poprvé na základě statistiky dvojhvězd. Většina celkového počtu hvězd patří, alespoň v okolí Slunce, ke dvojhvězdám (nebo násobným soustavám). Čím je určen poměr počtu dvojhvězd k počtu jednotlivých hvězd v jednotce objemu? Při řešení této otázky se ukázalo, že s hlediska

teoretické mechaniky musí v Galaxii docházet k rozpadům (disociaci) dvojhvězd na jednotlivé složky a naopak k tvoření dvojhvězd (rekombinaci) z dříve nezávislých jednotlivých hvězd. K procesu rozpadu dvojhvězdy dochází tehdy, když nastane při setkání dvojhvězdy s nějakou třetí hvězdou taková gravitační interakce, při níž část energie relativního pohybu dvojhvězdy a jednotlivé hvězdy bude spotřebována na roztržení dvojice. Takové případy budou řídké, jsou však principiálně možné. K utvoření dvojhvězdy ze dvou dříve nezávislých hvězd může dojít tehdy, když se setkají náhodně v prostoru tři jednotlivé hvězdy, octnou se v těsné blízkosti a přitom budou na sebe působit tak, že na jednu hvězdu přejde značná část energie relativního pohybu ostatních dvou hvězd, takže se počne vzdalovat, a zbylé dvě hvězdy utvoří dvojhvězdu. Rovněž k tomuto procesu dochází zřídka, avšak v dlouhých časových intervalech se přece jen v Galaxii vyskytují. Kdyby hvězdné soustavy mohly existovat dostatečně dlouhou dobu a hvězdy by si při tom zachovaly nezměněné hmoty, musela by se konečně ustálit rovnováha mezi těmito dvěma protikladnými procesy. Kdyby se nějaká myšlená soustava dostala do takového stavu, řekli bychom, že je ve stavu disociativní rovnováhy, při čemž poměr počtu dvojhvězd k počtu jednotlivých hvězd by musel mít zcela určitou numerickou hodnotu, kterou můžeme nazvat „rovnovážnou“.

Pozorovaný, poměr však řádově desetmilionkrát převyšuje tuto rovnovážnou hodnotu. Z toho plyne, že v Galaxii ještě zdaleka nenastal stav rovnováhy mezi dvojhvězdami a jednotlivými hvězdami. Jinými slovy, hvězdy v Galaxii existují po mnohem kratší dobu, než jaká je nutná k dosažení disociativní rovnováhy. Dá se ukázat, že takto odhadnuté stáří hvězd nedosahuje deseti miliard let. Touto cestou byla určena horní mez stáří hvězd. Geochemickými metodami pak bylo stanoveno, že stáří Země, a tedy i Slunce, které je typickou hvězdou, je nejméně několik miliard let. Lze tedy předpokládat, že výše uvedená horní mez není příliš vzdálena od skutečného stáří hvězd.

Je třeba mít na paměti, že mluvíme o odhadu pouze středního stáří hvězd. Stáří jednotlivých kategorií hvězd se může od této hodnoty značně lišit. Zejména se nevylučuje existence mladých hvězd, jejichž věk je mnohokrát menší.

**Uchvácení nebo společný vznik?** Jak však ve skutečnosti vznikly všechny dvojhvězdy, které se nyní v Galaxii vyskytují? Vznikly uchvácením při setkání tří hvězd, nebo již na počátku vznikly jako dvojhvězdy?

Připusťme, že všechny hvězdy vznikly zpočátku jako jednotlivé. Potom nastala rekombinace. Ovšem hned nato, jakmile uchvácením vznikly první dvojhvězdy, musel začít i proces disociace dvojic. Je zřejmé, že poměr počtu dvojhvězd k počtu jednotlivých hvězd, i když by musel v takovém případě vzrůstat, by nikdy nemohl přesáhnout výše uvedenou rovnovážnou hodnotu. Zatím však pozorovaná hodnota tohoto poměru je mnohem větší než hodnota rovnovážná. To znamená, že náš předpoklad o vzniku jednotlivých hvězd je naprosto nesprávný. Docházíme tedy nutně k závěru, že pozorované dvojhvězdy z valné většiny vznikly již jako dvojhvězdy, jinými slovy, že jejich složky vznikly společně.

Totéž lze říci o trojných a násobných hvězdách i o hvězdokupách. Lze tedy tvrdit, že hvězdy, jež jsou součástí libovolné hvězdokupy, vznikly společně, tj. jsou ve vzájemném vztahu již od okamžiku svého vzniku. Již v těchto

závěrech, které byly vysloveny v třicátých letech, byla obsažena myšlenka společného vzniku hvězd po grupách. K širší aplikaci této myšlenky však došlo až ve spojitosti s odhalením faktů, souvisejících s rozpadem některých hvězdných grup.

Jsou hvězdokupy stabilní? Vyšetřování mnoha hvězdokup, např. typu Plejád, ukázalo, že jsou v ustáleném stavu; to znamená, že nehledě na přesuny jednotlivých hvězd uvnitř hvězdokupy se prostorové rozložení hvězd v kupě nemění, neboť na místo hvězd uniknuvších z daného elementu objemu opět přicházejí jiné hvězdy, které přísluší ke hvězdokupě. Ptáme se nyní, jak dlouho se může tento ustálený stav udržet a z jakých příčin může být porušen. Podle závěrů hvězdné dynamiky způsobují narušení ustáleného stavu náhodná blízká setkání hvězd v kupě. Při těchto setkáních dochází k výměně energie. V některých případech setkání může jedna z hvězd získat tolik kinetické energie, že překoná přitažlivost celé hvězdokupy a unikne z ní. K takovým unikům hvězd dochází velmi zřídka, ale po dostatečně dlouhé době musí přece jen hvězdokupa chudnout a blížít se ke konečnému rozpadu. Dobu potřebnou k rozpadu hvězdokup typu Plejád, Hyád a j. můžeme vypočítat. Je to řádově několik miliard let, u některých hvězdokup je to však méně, jen několik set milionů let. To znamená, že různé hvězdokupy mohly vznikat v různých obdobích života Galaxie. Nejzajímavějším závěrem, dnes ještě ne dostatečně zdůrazněným, je však zjištění, že některé jednotlivé hvězdy v Galaxii musely uniknout z hvězdokupy, tj. že i ony vznikly v grupách.

Pokračuje i nyní proces vznikání hvězd v Galaxii? Odpověď na tuto otázku úzce souvisí se studiem zvláštních grup, objevených v Galaxii, velmi protáhlých a rozptýlených, které se vyskytují v několika fyzikálních typech. Jsou to tzv. hvězdné asociace a byly pozorovány i v jiných galaxiích. Podrobně bylo vyšetřováno mnoho O-asociací, což jsou rozptýlené grupy žhavých hvězd vysoké svítivosti (obří), a T-asociací, tj. grup složených z relativně chladných proměnných hvězd nízké svítivosti (trpaslíci). Prostorová koncentrace hvězd v asociacích je tak malá, že se tyto hvězdné systémy nemohou udržet ve stacionárním stavu silami vzájemné přitažlivosti svých členů. Nutně se deformují a rozpadají se vlivem rušivého působení galaktického středu. Kdyby nebylo jiných příčin, vyvolávajících rozpad asociací, pouze vliv galaktického středu by stačil k tomu, aby se asociace rozpadla během několika desítek milionů let. Již tato skutečnost ukazuje, že asociace jsou ve srovnání s ostatní Galaxií velmi mladé hvězdné soustavy. Další zkoumání však ukázalo, že hlavní příčinou rozpadu asociací není působení galaktického středu, ale to, že členy asociace již na počátku nabývají tak velkých rychlostí, že rychle unikají ze sféry vzájemné přitažlivosti. Jinými slovy, většina asociací jsou rozpadávající se skupiny hvězd, v každém případě jsou to skupiny, v nichž se většina hvězd vzdaluje velkými rychlostmi od středu. K těmto závěrům se dospělo nejprve teoreticky, kvalitativním rozbořením struktury asociací. Byly však plně potvrzeny dalším výzkumem, založeným na analýze naměřených pohybů hvězd v asociacích. Nyní je již pro řadu asociací určena rychlost jejich rozpínání. Pro řadu asociací O bylo vypočítáno stáří od jednoho do pěti milionů let. čili řádově tisíckrát menší než je stáří Galaxie. Znamená to, že v asociacích jde skutečně v pravém slova smyslu o novorozené hvězdy. Věk asociací T nebyl dosud odhadnut tak přesně, ale podle nepřímých údajů je asi 1–2 mil. let.

Objev hvězdných asociací a jejich rozpadání je dokladem toho, že hvězdy vznikají v Galaxii i nyní. Hvězdy, vzniklé v asociacích, se po jejich rozpadu stávají členy galaktického pole jako jednotlivé nebo i násobné hvězdy. Dospíváme k názoru, že hvězdy galaktického pole, při nejmenším jejich značná část, vznikly v asociacích.

Vznikly všechny galaktické hvězdy v asociacích? Víme, že část hvězd v Galaxii je velmi silně zkoncentrována k její rovině souměrnosti. Tuto část nazýváme hvězdami prvního typu, zatím co hvězdy druhého typu nejsou soustředěny k rovině souměrnosti Galaxie. Skutečnost je ovšem daleko složitější. Výstižnější je popsat Galaxii jako souhrn vzájemně se prostupujících subsystémů hvězd s různým prostorovým uspořádáním. Hvězdám prvního typu odpovídají „rovinné“ subsystémy, druhému typu „kulové“ subsystémy. Existují i „přechodné“ subsystémy, tj. ne rovinné, ale dosti zploštělé. Hvězdné asociace jsou soustředěny v galaktické rovině, a hvězdy, jež v nich vznikají, přecházejí do rovinných a někdy do přechodných subsystémů. V Galaxii je pozorován velký počet hvězdných asociací; protože však mohou existovat jen krátkou dobu, mohlo jich po dobu existence Galaxie vzniknout a opět se rozpadnout na statisíce, možná i miliony. To jsou dosti veliká čísla, abychom mohli pokládat za pravděpodobné, že převážná část hvězd, patřících k rovinným a snad i přechodným subsystémům, vznikla v hvězdných asociacích. Docházíme tedy k závěru, že u těchto subsystémů je skupinový vznik hvězd v asociacích zákonitý. Pokud jde o hvězdy, patřící ke kulovým subsystémům, ty zcela jistě nevznikly v asociacích. Mnohé z nich jsou soustředěny v kulových hvězdokupách. Lze tvrdit, že hvězdy, patřící k jedné kulové hvězdokupě, vznikly společně. Je zcela možné, že některé kulové hvězdokupy byly útvary nestabilní a rozptýlily se, takže se jejich hvězdy dostaly do hvězdného pole kulových subsystémů. Není proto vyloučeno, že i pro tyto hvězdy platí nějaká varianta zákonitosti skupinového vzniku. To je ovšem třeba ještě dokázat.

Vznikají všechny hvězdy v asociaci současně? Některé z asociací O jsou složeny ještě z několika grup hvězd. Některé z těchto grup se podobají obyčejným hvězdokupám. Jiné jsou tvořeny řetízky obřích hvězd, další jsou násobné hvězdy zcela zvláštního druhu, které se nazývají násobné soustavy typu Lichoběžníka (v Orionu). Vyskytují se hlavně v asociacích, což svědčí o jejich mládí. Tyto soustavy jsou tvořeny převážně žhavými hvězdami. Z hlediska hvězdné dynamiky jsou násobné soustavy typu Lichoběžníka nestabilní a musí se rozpadnout během asi jednoho milionu let nebo ještě dříve. Máme proto podklady k domněnce, že v asociacích existují grupy hvězd ještě mladších než jsou ostatní členové asociace. Tyto grupy jsou soustředěny v malých objemech a jsou to poměrně těsné systémy (kupy, řetízky, lichoběžníky). To vede ke dvěma závěrům: předně ne všechny hvězdy asociace vznikají současně; za druhé tvoření jednotlivých grup probíhá v prostorech poměrně malých ve srovnání s celkovým objemem asociace.

K analogickým závěrům se dospělo i při výzkumu asociací T: byly objeveny tzv. objekty Herbigovy-Harovy, které jsou podle všech známek nejmladšími útvary v asociacích T. Jejich stáří je zřejmě mnohem menší než jeden milion let.

Z čeho vznikají hvězdy? Když bylo zjištěno, že v Galaxii kromě hvězd existují také mlhoviny, tvořené nesmírným množstvím difusní plynné látky,



vznikl předpoklad, že hvězdné grupy vznikají z těchto mlhovin. Výskyt mlhovin značně hmotných byl zjištěn téměř ve všech asociacích. Není však žádných přímých dokladů o přetváření plynných hmot ve hvězdy. Naopak jsou přímé důkazy, svědčící o tom, že četné hvězdy, patřící k asociacím, vyvrhují hmotu do okolního prostoru, čímž se hmota mlhovin zvětšuje. Na druhé straně se ukázalo, že v některých asociacích se vyskytují mlhoviny, které jsou více méně symetrické, mají velikou hmotu a někdy jsou prstencovitého tvaru; přitom se rozpínají rychlostí řádově stejnou jako je rychlost rozpínání hvězdných grup v asociacích. Jistý počet rozpínajících se mlhovin byl objeven opticky. Kromě toho se podařilo najít ještě další objekty metodou pozorování radiového záření neutrálního vodíku: Některé z těchto mlhovin obsahují v centrálních partiích grupy mladých, žhavých hvězd. Zdálo by se, že to svědčí pro názor, že hvězdy i mlhoviny vznikají současně, načež se hvězdná grupa i mlhovina začnou rozpínat. Nicméně se v literatuře často setkáváme s názory, že hvězdné grupy vznikají z mlhovin. Nadto se ještě dělají pokusy vysvětlit hvězdné grupy tím, že prvotní mlhovina nemohla být v rovnovážném stavu a v daných podmínkách se musela začít rozpínat.

Připusťme, že toto hledisko je správné, že hvězdná grupa vznikla z mlhoviny. Ale mlhovina nemohla být podle teoretických výpočtů v rovnovážném stavu, protože u mlhovin vůbec rovnovážné konfigurace neexistují. Během jistého časového úseku, přibližně několika milionů let se mlhovina musí rozptýlit. Nyní stojíme před otázkou: co bylo před mlhovinou? Jinými slovy: připustíme-li, že před vznikem hvězdné grupy předcházelo stadium mlhoviny, bylo v každém případě nepoměrně krátké — kratší než je vůbec stáří asociace. Přicházíme tedy nutně k závěru, že před stadiem existence hmoty v podobě hvězd a mlhovin předcházely jiné formy existence hmoty. Za současného stavu vědy je nejpodloženější předpoklad, že hvězdy a mlhoviny vznikly společně z této předhvězdné formy existence hmoty. Pro stručnost budeme uvádět, že hvězdy i mlhoviny vznikají z protohvězd.

Co to jsou protohvězdy, nemůžeme dnes ještě říci, protože nebyly dosud pozorovány. Mají zřejmě značně velkou hmotu, takže z nich může vzniknout celá grupa hvězd a mlhovina. Dá se předpokládat, že protohvězdy jsou útvary spíše značně hutné, než zředěné.

Otázka podstaty a struktury protohvězd přirozeně nebyla dosud úspěšně rozřešena. Avšak uvažujeme-li o tomto problému, dojdeme k závěru, že je-li hypotéza o protohvězdách správná, pak látka, z níž jsou složeny, musí mít celou řadu neobvyklých vlastností, zejména schopnost vázat v potenciálním stavu obrovské množství energie. Vycházíme-li z toho, musíme mít za pravděpodobnější, že látka protohvězd je prehuštěná a že jejich hustota může být srovnatelná s hustotou atomových jader. Je-li tomu tak, pak otázka vzniku hvězd a mlhovin z protohvězd navazuje na otázku vzniku chemického prvku, z nichž se skládá normální kosmická látka.

Lze předpokládat, že protohvězdy mají velkou hmotu a malý poloměr. Hvězdné grupy vznikají dělením protohvězdy na části. Tyto díly předhvězdné látky (řádově rovné hmotám hvězd) jsou nestabilní; rychle přecházejí v normální látku a vytvářejí tak hvězdy. Hmota bývalé protohvězdy, která zůstane mimo nově utvořené hvězdy, vytvoří mlhovinu. Část energie, soustředěné původně v protohvězdě, přechází při těchto změnách v kinetickou energii rozpínání mlhoviny a hvězdné grupy.

Není vyloučeno, že právě vyložený názor neodpovídá úplné skutečnosti,

kteřá je pravděpodobně daleko složitější. Můžeme však používat zatím tohoto hlediska jako pracovní hypotézy. Budeme ji nazývat hypotézou o protohvězdách a budeme mít na paměti, že má dosud velmi primitivní podobu.

Jsou kromě vznikání hvězd a mlhovin pozorovatelné ještě jiné projevy předhvězdné látky? Jak již bylo uvedeno, protohvězdy nebyly dosud pozorovány. Nepodařilo se dosud sestrojít nějaký teoretický model protohvězdy. Je to zřejmě tím, že vlastnosti předhvězdné hmoty jsou pro nás kvalitativně nové a je obtížné vysvětlit tyto vlastnosti na základě dosavadních znalostí o podstatě elementárních částic. Předně je nutno nashromáždit co nejvíce empirických dat o vnějších projevech předhvězdné látky, pátrat po těchto projevech a studovat jejich zákonitosti, abychom v dalším mohli přejít k závěrům o podstatě této látky i o podstatě protohvězd.

Jak již bylo řečeno, jedním z těchto projevů je tvoření hvězd a vznik mlhovin. Je ovšem žádoucí najít ještě jiné projevy předhvězdné hmoty. Je zcela dobře možné, že po vzniku hvězdy se nepřemění všechna předhvězdná látka v normální stavební hmotu hvězdy. Pripustme, že v nitru mladých hvězd ještě zbývá jisté, i když postupně ubývající množství předhvězdné látky. A je-li skutečně předhvězdná látka nositelem velkého množství energie, jak jsme uváděli výše, pak lze mít za to, že proces přeměny předhvězdné látky v těchto mladých hvězdách bude provázen bouřlivým uvolňováním energie. A právě takové procesy se skutečně pozorují u členů výše zmíněných T-asociací. Jsou to tak zvané proměnné hvězdy typu T Tauri a jiné jim příbuzné *vybuchující* hvězdy.

Vyšetřování těchto proměnných hvězd poskytlo v posledních letech překvapující výsledky. Ukázalo se, že se u nich pozorují zcela specifické fyzikální jevy, o kterých se stručně zmíníme níže. Ve smyslu zavedené pracovní hypotézy o protohvězdách je nutno na tyto jevy hledět jako na některé projevy předhvězdné látky, zbylé v nitru mladých hvězd.

Některé zvláštnosti nestacionárních hvězd. U hvězd typu T Tauri pozorujeme zcela nepravidelné změny jasnosti, dosahující značných rozměrů. U jednotlivých hvězd bývá někdy v maximu jasnosti svítivost 20—30krát větší než svítivost v minimu. Název „nestacionární hvězdy“ je proto zcela přiléhavý. Totéž platí i o vybuchujících proměnných hvězdách, objevených v asociacích. Rozdíl je pouze v tom, že vybuchující proměnné hvězdy mají obvykle minimální jasnost a pouze v krátkém časovém intervalu (několik minut) vybuchují a jejich svítivost vzrůstá až stonásobně.

Zatím co záření převážně většiny stacionárních hvězd se pokládá za tepelné, ukazuje se, že značná část záření nestacionárních hvězd není obyčejné tepelné záření. Zvýšení jasnosti nebývá totiž provázeno zvýšením teploty fotosférických vrstev hvězdy. Netepelné záření se projevuje v podobě tzv. „spojité emise“, která vzniká na vnější hranici hvězdné atmosféry nebo snad i vně atmosféry, ale mohutností toku energie je srovnatelná s tepelným zářením, vycházejícím z vrstev fotosféry. U vybuchujících hvězd dochází k tepelnému záření hlavně v okamžiku vzplanutí, jako by šlo o grandiosní explozi. Pokusy o nalezení zdrojů tohoto záření vedly k závěru, že se nemohou trvale vyskytovat ve vnějších vrstvách hvězdy. Je nutno připustit, že zásoby vázané energie jsou dodávány čas od času, někdy i nepřetržitě, bezprostředně z vnitřních vrstev hvězdy na hranici hvězdné atmosféry a někdy i za ni, a tam probíhá proces uvolňování energie. Protože teplota oblasti, v níž dochází k uvolňování

energie, je velmi nízká, nejde zde zcela určitě o termonukleární reakce. V důsledku nějakého neznámého procesu vzniká velké množství částic, vyzařujících spojitě spektrum. Není zcela nepodstatná domněnka, že jedním z mechanismů tohoto záření může být vyzařování relativistických elektronů v hvězdných nebo mimohvězdných magnetických polích. Jsou však jisté námitky proti tomuto mechanismu, nelze proto dnes ještě pokládat tuto otázku za rozřešenou.

Podstatné je, že uvolňování takového množství energie, či tolika částic s vysokou energií nebylo dosud vysvětleno na základě známých nukleárních reakcí. Lze proto vyslovit domněnku, že látka, vycházející z vnitřních vrstev hvězdy, je jistou částí zbytků předhvězdné látky. V tom případě je možné, že tu zároveň dochází k procesu vznikání prvků. V atmosféře hvězd typu T Tauri pozorujeme čáry lithia, které by při podmínkách, jaké panují ve vnějších vrstvách těchto hvězd, muselo velmi rychle vymizet. Tento fakt přímo svědčí o tom, že zásoby lithia se neustále doplňují, což by podporovalo předpoklad o vytváření prvků. Zde je na místě připomenout také jiné hvězdy, které sice nepatří do asociací T či O, jsou však nicméně mladými objekty — totiž hvězdy typu S. Jsou to také proměnné hvězdy, a u mnoha z nich dochází k nepravidelným změnám jasnosti. V jejich spektrech pozorujeme intenzivní čáry technecia, které, jak známo, nemá stabilních isotopů a na Zemi se s ním v přírodním stavu vůbec nesetkáváme. I v tomto případě musíme předpokládat, že zásoby atomů technecia se v atmosférách těchto hvězd neustále obnovují.

Ve prospěch představy o tom, že spojitou emisi vyvolávají částice s vysokou energií, pohybující se rychlostmi blízkými rychlosti světla, svědčí i změny, probíhající v tzv. komentárních mlhovinách. Tyto mlhoviny jsou spojeny s nestacionárními hvězdami a dříve se předpokládalo, že prostě odrážejí světlo těchto hvězd. Avšak hypotéza odrazení nemohla vysvětlit svícení některých kometárních mlhovin a tím méně změny jejich jasnosti. Tyto změny probíhají velmi vysokou rychlostí. Je zcela přirozené předpokládat, že v mnoha případech má svícení těchto mlhovin stejný charakter jako spojitá emise ve spektrech hvězd, a že je vyvoláváno rychlými částicemi, vyvrhovanými z nestacionární hvězdy. V tom případě změny v množství těchto částic budou probíhat velmi rychle, což je v souladu s pozorováním.

**Krabí mlhovina.** Podobné změny pozorujeme i u Krabí mlhoviny, u níž kromě spojitě emise dochází i k intenzivnímu radiovému záření. Jak vyplývá z výpočtů, úkaz spojitě emise může být v tomto případě vysvětlen vyzařováním relativistických elektronů v magnetickém poli.

Bylo pozorováno, že z centrální hvězdy v Krabí mlhovině jsou vyvrhovány kondenzované shluky částic s vysokými rychlostmi, které pak dávají spojitou emisi. Zde můžeme bezprostředně pozorovat též obraz, jaký jsme si utvořili na základě nepřímých údajů při vyšetřování nestacionárních hvězd. Energie uvedených shluků částic nemá nic společného s obvyklými zdroji energie v hvězdných atmosférách. Zřejmě i zde se energie uvolňuje v důsledku změn, které prodělává předhvězdná látka. Slabá hvězda, ležící ve středu Krabí mlhoviny, není tedy vůbec obyčejná hvězda. Je zdrojem zcela neobvyklých procesů a podle naší pracovní hypotézy může být zbytkem protohvězdy. Mimořádně řečeno, Krabí mlhovina vznikla po výbuchu supernovy, k němuž došlo v r. 1054, tedy takřka před našimi očima. Tato mlhovina se nyní rozpíná rychlostí 1500 m/sek.

Zjišťujeme tedy, že proces vzniku mlhovin z protohvězd je spojen, alespoň v některých případech, s výbuchem supernov.

**Jádra galaxií.** Centrální oblasti velkých galaxií, např. takových, jako je mlhovina v Andromedě, obsahují převážně hvězdy, patřící ke sférických subsystémům, kdežto spirální větve obsahují hvězdy plochých subsystémů. Jinak řečeno, oblasti kolem středu spirálních galaxií připomínají svým složením eliptické galaxie. Je pravděpodobné, že podobně jako u eliptických galaxií je v těchto centrálních oblastech jen poměrně nevelké množství difusní látky. Znamená to, že hmota je zde soustředěna v podstatě ve hvězdách.

Avšak v samém středu velké mlhoviny v Andromedě, tak říkajíc ve středu jejich centrálních oblastí, existuje ještě nepříliš rozměrné jádro, které se zřetelně rýsuje na okolním pozadí. Jeho rozměry — řádově 4–5 pc — jsou ve srovnání s rozměry celé galaxie v Andromedě zcela zanedbatelné.

Jaká může být podstata tohoto jádra? Pro výjimečnou polohu tohoto objektu jej nemůžeme pokládat za obyčejnou hvězdokupu. Avšak aby mohlo mít podstatnou úlohu v životě celé galaxie, musí mít toto jádro velmi velikou hmotu, o několik řádů převyšující např. hmoty kulových hvězdokup. Přitom svítivostí toto jádro jen o málo převyšuje bohaté kulové hvězdokupy. Tato nízká svítivost se srovnává s představou o velké hmotě jen tehdy, předpokládáme-li, že průměrné vyzářování, připadající na jednotku hmoty jádra, je mnohokrát menší než tatáž veličina u kulových hvězdokup. Na základě toho vzniká domněnka, že v jádrech obřích galaxií mohou existovat objekty o velmi značné hmotě a malé svítivosti. A právě takové vlastnosti musí mít protohvězdy, složené z předhvězdné látky. Ptáme se nyní, zda se dá najít nějaký důkaz, který by svědčil o tak neobvyklé podstatě jader obřích galaxií?

Zdá se nám, že za přímý důkaz můžeme pokládat existenci „proudu“, vycházejícího ze středu obří galaxie NGC 4486, který je na třech místech zhuštěn. Každý z těchto tří uzlů vydává záření, které podle všech příznaků není tepelné, ale jeho spektrum má charakter spojité emise. Zářící částice mají zřejmě tutéž podstatu jako částice v Krabí mlhovině. Pravděpodobně jsou to relativistické elektrony. Podle tvaru proudu můžeme soudit, že byl vyvržen z centrálního jádra galaxie. Avšak kdyby jádro galaxie NGC 4486 sestávalo pouze z hvězd a mlhovin, nebylo by možno představit si vyvržení takového proudu, zejména uvažíme-li, že se uzly svou hmotou blíží velkým galaxiím.

Daleko přirozenější je představa, že centrální jádro obsahuje obrovské množství předhvězdné látky; při její přeměně vznikají mohutné proudy částic o vysoké energii a může dojít k vyvrhování velkých hmot na velké vzdálenosti — úkaz, který je znám již z hvězdných asociací.

Nedávno bylo zjištěno, že z oblasti středu eliptické galaxie NGC 3561 vychází proud, v němž je uzel o vysoké svítivosti, která je srovnatelná se svítivostí takových galaxií, jako jsou např. satelity mlhoviny v Andromedě. Zde došlo bezpochyby k ještě grandiosnějšímu vyvržení z jádra galaxie, než u NGC 4486.

Uzel, vyvržený z NGC 3561, má intenzivní modrou barvu. Tento jediný fakt již stačí k tomu, abychom vyloučili předpoklad, že záření uzlu je vyvoláváno tepelným zářením hvězd. Zřejmě i zde vystupují nějaké částice o vysoké energii. Kdyby jádro této galaxie sestávalo z obyčejných hvězd a mlhovin, bylo by přirozené vyvržení takových rozměrů zcela nepochopitelné. Tedy i v tomto případě docházíme k hypotéze o vysokém obsahu předhvězdné látky v jádru galaxie.

**Násobné galaxie.** Obdobnými metodami, jakých jsme používali v případě násobných hvězd, můžeme dokázat, že i v případě násobných galaxií je nepravděpodobná hypotéza o nezávislém vzniku každé složky. Docházíme tedy k představě o rozdělování nějakého prvotního tělesa na části, z nichž pak dalším vývojem vznikly jednotlivé galaxie. Zvláštním případem takového dělení může být vyvržení zárodku nějaké malé galaxie z centrálního jádra obří galaxie. To je případ dělení na dvě značně co do velikosti rozdílné části. Tak se patrně musí pohlížet na výše uvedené případy galaxií s proudy. Nejnovější výzkumy potvrdily tento názor řadou nových faktů. Může však nastat i případ rozdělení jádra na dvě části přibližně stejných rozměrů. Příkladem je zřejmě radiová galaxie v souhvězdí Labutě, která má dvě jádra a září tisíckrát intenzivněji než jiné radiové galaxie.

Zde již skončíme, neboť jsme se dostali až do neprobádané oblasti kosmogonie galaxií. Práce na tomto poli je teprve v začátcích. Naše závěry jsou zde méně spolehlivé, protože svět vnějších galaxií je mnohem méně prozkoumán než svět hvězd. Můžeme očekávat, že nové prostředky výzkumu přispějí k rychlému pokroku i na poli extragalaktické astronomie. Již nyní pozorování vedou k překvapivým objevům. Proto můžeme s důvěrou hledět do budoucnosti a doufat, že úspěchy v otázkách kosmogonie galaxií podstatně přispějí k řešení problémů kosmogonie hvězd.

*Přeložil J. Růprecht*

## MAGNETICKÉ VLASTNOSTI SLUNEČNÍCH SKVRN

*Kandidát fys.-mat. věd RNDr. M. KOPECKÝ, Astronomický ústav ČSAV, Ondřejov*

### 1. Úvod

Současný vývoj výzkumu sluneční činnosti směřuje k odhalení fyzikálních procesů probíhajících na Slunci. Proto se též v poslední době podstatně zvýšil zájem o magnetická pole ve sluneční atmosféře. Jejich existence byla poprvé zjištěna Halem na počátku tohoto století ve slunečních skvrnách, kde jsou totiž magnetická pole nejsilnější. Dosahují až několika oerstedů. Měření těchto magnetických polí bylo nejprve prováděno na observatoři Mt. Wilson; v současné době je prováděno jen na několika málo observatořích.

Úkolem tohoto článku je stručně shrnout některé dosavadní poznatky o magnetických vlastnostech slunečních skvrn.

### 2. Měření magnetických polí slunečních skvrn

Měření magnetických polí ve slunečních skvrnách je prováděno na základě tzv. Zeemanova efektu. Zeemanovým efektem rozumíme rozštěpení spektrální čáry atomu, vystaveného působení magnetického pole, na dvě či více složek.

Při měření magnetických polí skvrn přichází prakticky v úvahu ten případ, kdy směr paprsku světla vycházejícího z atomu k pozorovateli je rovnoběžný se směrem magnetických siločar. V tom případě se spektrální čára rozštěpí v nejjednodušším případě na dvě složky, vzdálené o  $\Delta\lambda$  od původní spektrální čáry, je-li  $\lambda$  vlnová délka. Světlo obou složek je kruhově polarisováno, a to