

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

B. J. Markarjan

Nové poznatky o otevřených hvězdokupách

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 1 (1956), No. 1, 33--50

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137264>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1956

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>

NOVÉ POZNATKY O OTEVŘENÝCH HVĚZDOKUPÁCH ОБ ЭВОЛЮЦИИ ОТКРЫТЫХ ЗВЕЗДНЫХ СКОПЛЕНИЙ

(*Soobščeniija Bjurakanskoj observatorii, seš. V, IX, XII.*)

Každý objev v oblasti stelární astronomie a astrofysiky obohacuje naše vědomosti a zpřesňuje naše představy jak o stavbě a vývoji jednotlivých objektů, tak i o Galaxii jako celku.

Ambarcumjanův objev, že v Galaxii existují soustavy nového typu — hvězdné asociace [1, 2], ukázal v podstatě nové cesty rozvoje nauky o stavbě Galaxie a spirálních mlhovin vůbec. Zvláště velký význam mají hvězdné asociace při studiu otázek, spojených s formováním a vývojem hvězd a hvězdných soustav, neboť jsou fakticky těmi oblastmi Galaxie, v nichž v dané epoše probíhá vytváření hvězd.

Studium hvězdných asociací, které již byly objeveny, zcela jasně ukázalo, že hvězdné asociace typu O, t. j. asociace hvězd, které jsou složeny ze žhavých obrů a veleobrů, mají jádra, jimiž jsou otevřené (galaktické) hvězdokupy.

Další důležitý objev spočívá v tom, že násobné hvězdy, nazvané soustavami typu Lichoběžníka¹⁾, bezprostředně souvisí s hvězdnými asociacemi typu O a s otevřenými hvězdokupami, tvořícími jejich jádra. Níže bude ukázáno, že ve skutečnosti není principiálního rozdílu mezi násobnými soustavami typu Lichoběžníka, které sestávají ze 6—10 složek, a mnohými otevřenými hvězdokupami, které jsou jádry O-asociací. V podstatě jsou tyto násobné soustavy hvězdokupami s malým počtem členů a malým průměrem. Proto je možno zahrnout násobné soustavy typu Lichoběžníka, vyskytující se v asociaci (nezávisle na hvězdokupách) mezi jádra asociace spolu s hvězdokupami, které se tam vyskytují.

Podrobný výzkum řady O-asociací ukázal, že mají ne jedno, nýbrž několik jader. Jejich počet je na př. v asociaci kolem P Cygni až deset, v asociaci Cefeus II sedm atd.

Otevřené hvězdokupy a násobné soustavy nabyly zcela nového fyzikálního významu a jejich studium je právě s tohoto hlediska velmi zajímavé jak pro otázky kosmogonické, tak i pro objasnění strukturálních zvláštností Galaxie. Avšak klasifikace otevřených hvězdokup, které se doposud používalo, je natolik formální a neplodná, že nás zbavuje možnosti orientovat se v souhrnu těchto objektů při řešení různých úloh. Násobné soustavy typu Lichoběžníka nebyly dosud vůbec zkoumány až na jednotlivé případy.

§ 1. Nezbytnost nové klasifikace otevřených hvězdokup

Nejprve musíme objasnit tyto otázky:

1. Jsou všechny až dosud objevené otevřené hvězdokupy, jejichž počet je řádově 500, jádry O-asociací, které nyní existují?
2. Nejsou-li všechny otevřené hvězdokupy jádry O-asociací, je možno určit pev-

¹⁾ Soustavami typu Lichoběžníka Oriona se nazývají takové násobné soustavy, v nichž se vyskytují alespoň tři hvězdy, které mají vzájemnou vzdálenost řádově stejnou.

né charakteristiky, podle nichž by bylo možno vybrat z jejich celkového souboru ty, které jsou jádry O-asociací?

3. Je pak v takovém případě možné pokusit se o objasnění fyzikální podstaty i zbývající části otevřených hvězdokup?

Formální statistika a klasifikace, která byla dosud u těchto objektů prováděna, nedává úplné odpovědi na vytyčené otázky.

Z dosavadních klasifikací je nejdokonalejší klasifikace Trumplerova, i ta však trpí velmi závažnými nedostatky, takže je v přítomné době již málo vhodná.

Jak známo, je Trumplerova klasifikace [3] založena na množství, stupni koncentrace a rozdílech v zdánlivých jasnostech hvězd hvězdokupy.

Předně všechny vyjmenované charakteristiky jsou formální a za druhé všechny velmi závisí na vzdálenosti, kosmické absorpci a na všeobecném hvězdném pozadí; tyto vlivy nebyly do Trumplerovy klasifikace zahrnuty.

V důsledku toho jsou podle Trumplera přiřazeny k jednomu typu hvězdokupy s různými fyzikálními charakteristikami, t. j. fyzikálně různorodé objekty. Tato okolnost pak nedovoluje, abychom se mohli správně orientovat mezi těmito rozmanitými objekty.

Je nutné poznamenat, že ani v Trumplerově, ani v jiných klasifikacích nejsou vzaty v úvahu strukturně morfologické zvláštnosti otevřených hvězdokup, které mohou mít značný význam při jejich klasifikaci. Lze tedy říci, že v současné době neexistuje klasifikace otevřených hvězdokup, které by se dalo použít při řešení více či méně závažných úloh, souvisejících s hvězdnými asociacemi, jejichž jádra tvoří, ani v otázkách vývoje a skutečného rozložení hvězdokup v Galaxii a pod.

Z toho všeho vyplývá nutnost podat novou, racionálnější klasifikaci těchto objektů.

§ 2. Všeobecná charakteristika základních typů v nové klasifikaci otevřených hvězdokup

Abychom mohli podat správnou a racionální klasifikaci otevřených hvězdokup, je třeba vycházet z jejich fyzikálních charakteristik. K tomu jsou však nutné hlavně spektrální údaje o hvězdách, jež se vyskytují v těchto objektech. V současné době lze takové údaje shrnout jen u malého počtu hvězdokup a pouze pro několik hvězdokup je proveden přesně pečlivý spektrální výzkum (h a χ Persei, Plejady, NGC 6231, Hyady atd.). Takový výzkum, jaký byl proveden v poslední době Bidelmannem [4] pro h a χ Persei a Struvem [5] pro NGC 6231, je možný jen zřídka. Ostatně ani obvyklý spektrální výzkum není proveditelný u všech hvězdokup. Proto není nyní možné udat klasifikaci otevřených hvězdokup pouze na základě spektrálních charakteristik jejich členů.

Mezi fyzikálními charakteristikami a strukturně morfologickými vlastnostmi otevřených hvězdokup existuje dosti zřejmá souvislost. Je proto účelné přibrat ke klasifikaci otevřených hvězdokup spolu s jejich spektrálními charakteristikami též jejich strukturně morfologické vlastnosti. Zahrneme-li tyto vlastnosti do klasifikace hvězdokup, budeme se moci lépe orientovat v celém souhrnu těchto objektů, zvláště v těch případech, kdy není možné získat spektrální charakteristiky.

Ani výzkum strukturně morfologických vlastností nelze provádět bez určitých těžkostí; jsou způsobeny jednak tím, že zvláštnosti struktury jsou velmi rozmanité, a dále tím, že podmínky viditelnosti jsou často nepříznivé.

Přesto lze podobné údaje získat u dostatečného počtu hvězdokup, jsou-li pečlivě zkoumány. Za tím účelem bylo r. 1949 započato na Bjurakanské observatoři

fotografování otevřených hvězdokup Schmidtovou komorou (12—8palcovou) ve dvou oblastech spektra — fotografické a visuální.

Po zpracování těchto snímků lze udat v hlavních rysech předběžné schema a popis jednotlivých typů nové klasifikace. Z vyšetřování vyplývá, že ve většině případů určují fyzikální podstatu a mnohé strukturně morfologické zvláštnosti hlavně jasné hvězdy hvězdokupy.

Jednotlivé detaily, někdy důležité, mohou podmiňovat i ostatní hvězdy hvězdokupy s poměrně menší jasností; jelikož však chceme podat všeobecné rysy jednotlivých typů hvězdokup, budeme se opírat v podstatě o jejich jasné hvězdy. Počet jasných hvězd se může v závislosti na typu hvězdokupy měnit od několika desítek až k několika hvězdám. Někdy charakterisují hvězdokupu v podstatě její 3—4 nejjasnější hvězdy.

Když byly vzaty v úvahu strukturně morfologické zvláštnosti otevřených hvězdokup a srovnány hlavně se spektrálními třídami jejich nejjasnějších hvězd, t. j. s nejranější částí hlavní posloupnosti Russelova diagramu, došlo se k závěru, že všechny otevřené hvězdokupy lze rozdělit ve tři skupiny, uvedené v tab. 1.

Tabulka 1.

Typ hvězdokupy	Spektrální třída nejjasnějších hvězd hvězdokupy
O	O, B0, (B1)
B	B1,, B5
A	B6,, B9, A0,, A3

B1 uvedené v závorce je třeba chápat jako přípustný, avšak řídký případ.

Jedna ze základních zvláštností otevřených hvězdokup, souvisejících s jejich fyzikální podstavou, spočívá v tomto: obecně platí, že čím ranější je typ hvězdokupy, tím těsněji se v ní hvězdy kupí a tím více je v ní patrná centrální koncentrace, při čemž koncentrace hvězd v hvězdokupě může někdy nastat kolem několika bodů. Postupujeme-li od hvězdokup typu O k pozdějším typům, počet hvězd v nich roste.

Dalo by se očekávat, že mezi všemi otevřenými hvězdokupami se vyskytnou některé, u nichž bude hlavní posloupnost Russelova diagramu začínat u hvězd pozdějších spektrálních tříd než A. Ale takové hvězdokupy patrně neexistují, aspoň ne mezi těmi, které byly zkoumány. Jediná taková hvězdokupa, která figuruje mezi 100 hvězdokupami, zkoumanými Trumplerem, je NGC 752, jejíž jasné hvězdy náleží podle Trumplera k třídě F. Avšak v seznamu hvězd, uvedeném Ebbighausenem [6], je obsaženo mnoho hvězd bez určitého spektrálního typu. Ať je tomu jakkoli, tato hvězdokupa se blíží k jednomu z podtypů hvězdokup typu A, proto jsme zatím nepokládali za užitečné vytvářet zvláštní třídu jen pro tuto hvězdokupu.

§ 3. Podtypy a charakteristika hvězdokup typu O

Téměř všechny hvězdokupy, které obsahují hvězdy spektrálních tříd O nebo B0, jsou kompaktní, zároveň s tím však »chudé«. Počet hvězd v takových hvězdokupách je obvykle řádově několik desítek a zřídka dosahuje 50—60. Výjimku činí hvězdokupy h a χ Persei a NGC 6231 v souhvězdí Štíra, o nichž bude pojednáno níže.

Podle strukturně morfologických zvláštností mohou být všechny hvězdokupy typu O rozděleny na tři podtypy: hvězdokupy s jádry, hvězdokupy obsahující řetízky a vězdokupy, spojené s difusními plynnými mlhovinami.

Přejdeme nyní k popisu jednotlivých podtypů.

a) **Hvězdokupy s jádry.** K tomuto podtypu byly přiřazeny hvězdokupy typu O, které obsahují násobné soustavy, kolem nichž byla zřetelně vyjádřena koncentrace ostatních hvězd hvězdokupy. Stupeň koncentrace hvězd byl dosud připisován v podstatě vlivu vzdálenosti. Výzkum však ukazuje, že existuje ještě jiný vliv, způsobující tento zjev, a nadto ještě silnější. Závisí na podstatě hvězd samých. Lze pozorovat, že čím jsou hvězdy žhavější, tím větší je u nich tendence těsně se shlukovat a seskupovat kolem sebe slabší hvězdy.

Mnohonásobné hvězdy, dříve již zmíněné, mají v těchto hvězdokupách skutečně význam jader, která až na řídké výjimky náleží k spektrální třídě O nebo k raným podtřídám B.

Mezi hvězdokupami tohoto podtypu se vyskytují hvězdokupy s jedním, se dvěma a někdy dokonce i se třemi jádry.

Jako příklad hvězdokupy s jedním jádrem může být uvedena kompaktní hvězdokupa IC 4996. Má poněkud protažený tvar a ostře vymezenou centrální koncentraci. Počet hvězd v ní nepřevyšuje 40 za předpokladu, že mezní hvězdná velikost desky dosahuje až do 17^m. Vezmeme-li v úvahu vzdálenost hvězdokupy — 1100 paprsek, je možno stanovit, že na desce by nezanechaly stopu pouze červení trpaslíci, pokud se tam vyskytují. Jádrem této hvězdokupy je násobná soustava typu Lichoběžníka ADS 13626, která sestává aspoň z deseti složek. Úhlový průměr této násobné soustavy je řádově 40".

Za příklad hvězdokup se dvěma jádry může být uvedena hvězdokupa IC 1848, obsahující 28 členů, jejímiž jádry jsou ADS 2161 a ADS 2165. ADS 2161 sestává ze 7 složek. Hlavní hvězdou v ní je HD 17505, jež podle pozorování konaných na Mount Wilsonu náleží ke spektrálnímu typu O. ADS 2165 sestává ze 4 složek. Hlavní hvězdou je v ní HD 17520, která náleží k ranému podtypu B. Obě tyto soustavy mohou být zařazeny mezi soustavy typu Trapez.

Za příklad hvězdokupy se třemi jádry lze uvést GC 6871. Počet hvězd této hvězdokupy dosahuje 25. Jejimi jádry jsou ADS 13374, ADS 13376 a ADS 13361.

Na základě těchto i jiných příkladů lze konstatovat, že soustavy podobného typu se vyskytují dosti často v oblastech, zaujímaných O-asociacemi.

b) **Řetízkové hvězdokupy.** Velmi často tvoří hvězdy hvězdokupy (obsahující žhavé obry) ostře vymezené řetízky, proto byl zaveden název řetízkové hvězdokupy. Většinou sestávají ze dvou řetízků, buď navzájem rovnoběžných, nebo spojených pod ostrým úhlem. V projekci na nebeskou sféru mají téměř bez výjimky protáhlý tvar. Protáhlost hvězdokupy podél řetízků obvykle několikrát převyšuje vzdálenost mezi nimi, proto pojem průměru, obvykle užívaný u otevřených hvězdokup, pozbývá u řetízkových hvězdokup smyslu.

Řetízkové hvězdokupy se vyznačují velkou hustotou a ostrou hranicí, která jim dodává kompaktního vzhledu. Centrální koncentrace hvězd je v nich téměř nezatelná, ačkoli mnohé z nich jsou jinými pozorovateli zařazovány do typu hvězdokup se silnou koncentrací. To je zřejmě způsobeno jejich velkou hustotou a kompaktností.

Řetízkové hvězdokupy někdy obsahují (i když zřídka) násobnou soustavu. Avšak v tom případě, nezávisle na tom, vyskytuje-li se násobná hvězda na konci řetězu nebo uprostřed, nesoustřeďují se kolem ní ostatní hvězdy hvězdokupy: naopak, tyto hvězdy tvoří s násobnou téměř jednu přímkou a tím tedy tvoří řetízek; proto

se tyto hvězdokupy podle své struktury odlišují od hvězdokup s jádrem, jež byly popsány výše.

Za příklad řetízkových hvězdokup mohou být uvedeny hvězdokupy NGC 7510, NGC 366 atd.

NGC 7510: počet hvězd v této hvězdokupě je 25. Podle údajů Zugových [7] obsahuje jednu hvězdu spektrálního typu O a čtyři hvězdy typu B0. Hvězdokupa sestává ze dvou téměř rovnoběžných hvězdných řetízků, které se spojují na jednom konci v nejjasnější hvězdě hvězdokupy, která je typu O.

Hvězdokupa NGC 366 též sestává ze dvou řetízků, ale obsahuje též jednu šesti-násobnou soustavu typu Lichoběžníka ADS 906.

Řetízkové hvězdokupy vyvolávají neobyčejně velký zájem. Řetízky hvězd, které pozorujeme v projekci na nebeské sféře, mohou být ve skutečnosti buď komplannárními nebo lineárními soustavami.

Komplanární soustavy, které se neredukují na lineární, tvoří v projekci řetěz pouze tehdy, splývá-li zorný paprsek s jejich základní rovinou. V takovém případě z pochopitelných příčin by byly takové objekty pozorovány jen velmi zřídka. Ve skutečnosti se však hvězdokupy s řetízkovou strukturou vyskytují dosti často. Proto je třeba připustit, že hvězdné řetízky, které pozorujeme, ve skutečnosti tvoří lineární soustavy. V tom případě naopak jen jejich malý zlomek tvoří v projekci strukturu, odlišnou od řetízku; to nastane tehdy, bude-li procházet zorný paprsek podél řetízku. Je třeba říci, že hvězdokupa, sestávající ze dvou lineárních soustav, není po stránce mechanické stabilní.

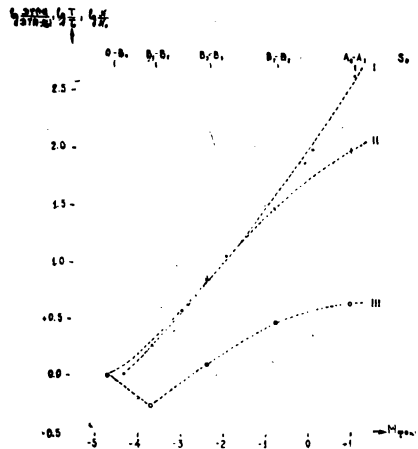
Velmi často se v oblastech oblohy, zaujímaných O-asociacemi, vyskytují samotné těsné řetízky hvězd, které sestávají z 5–6 členů a někdy i více. Pravděpodobnost náhodného vytvoření takové geometrické skupiny je malá. Proto velká většina z nich tvoří fyzikální soustavu.

Nakonec poznamenejme, že mezi hvězdokupami typu O se vyskytují i takové, které mají zároveň vlastnosti obou popsaných podtypů. Na příklad hvězdokupa IC 1805, která podle Trumplera obsahuje 33 hvězd spektrálních typů O6–A1, má jádro i řetízek hvězd. Podobnou strukturu mají i hvězdokupy NGC 1502 a NGC 6910.

c) Hvězdokupy, spojené s plynnými mlhovinami. Na základě dřívějších prací někteří autoři (Voroncov-Veljaminov, Gurzadjan) vyslovili názor, že souvislost mezi mlhovinami a hvězdami, které způsobují jejich záření, není náhodná, nýbrž genetická. Ačkoli autoři neuvádějí přímých důkazů o genetickém charakteru této souvislosti, je přesto opodstatněné pokládat je za velmi pravděpodobný.

Velké světlé plynné mlhoviny téměř vždy obklopují jednu ze známých otevřených hvězdokup, které obsahují dostatečné množství žhavých obrů, podmiňujících záření mlhovin, jež je obklopují.

Jelikož hvězdokupy, spojené se světlými mlhovinami, tvoří určitou část hvězdo-



Obr. 1.

kup typu O a mimo to se podle své struktury poněkud odlišují od výše popsaných dvou podtypů a jsou vzájemně shodné, bylo rozhodnuto seskupit je do odděleného podtypu a nazvat je O-hvězdkupami, spojenými s mlhovinami.

Takovými hvězdkupami jsou NGC 2244 — hvězdkupa kolem Lichoběžníka v Orionu, NGC 2264, NGC 6530 atd.

Strukturální odlišnost těchto hvězdkup od hvězdkup dvou předcházejících podtypů spočívá v tom, že hvězdy v těchto hvězdkupách nejsou tak těsně seskupeny kolem násobných soustav, které se tam vyskytují, jako je tomu v případě prvního podtypu, t. j. v hvězdkupách s jádry, a na rozdíl od řetězkových hvězdkup mají více méně okrouhlý tvar.

Mimo to všechny námi vyšetřované O-hvězdkupy, jež jsou spojeny s plynnými mlhovinami, obsahují pouze po jedné soustavě typu Lichoběžníka, zatím co O-hvězdkupy, které nejsou spojeny s mlhovinami, obsahují v řadě případů dvě, někdy i tři soustavy typu Lichoběžníka a v některých případech řetízky.

Počet hvězd v hvězdkupách tohoto podtypu je řádově stejný jako u hvězdkup předcházejících podtypů.

Je tedy možno konstatovat skutečnost, že část hvězdkup typu O je ponořena do velkých difusních plynných mlhovin, jejichž massa dosahuje sta a možná i tisíce mass slunečních, a početnější část je buď naprosto bez difusní plynné materie, nebo ji lze objevit pouze speciálními metodami, na př. metodou akademika Šajna [8] v okolí mlhovin. Velmi pozoruhodné je to, že hvězdkupy spojené s mlhovinami jsou lokalizovány ve třech částech Mléčné dráhy, a to v oblasti Jednorozce —Oriona, Lodního kýlu a Štělce. V druhé části Mléčné dráhy, neméně bohaté na hvězdkupy typu O, a to v souhvězdích Persea, Kassiopeji, Cephea a Labutě, nebyly, pokud je nám známo, objeveny ještě hvězdkupy, spojené s plynnými mlhovinami solidních rozměrů a jasnosti.

Můžeme zcela oprávněně předpokládat, že naše pozorování nemůže být narušeno podmínkami viditelnosti. Mezihvězdná materie by totiž nemohla bránit pozorováním takových mlhovin, jako jsou mlhoviny kolem hvězdkup Orionu, NGC 6530, NGC 2244, kdyby byly na př. na místě hvězdkup h a χ Persei nebo NGC 6781 atd.

Je-li hypotéza o genetické souvislosti difusních plynných mlhovin a žhavých obrů, způsobujících jejich záření, správná, a tomu tak skutečně je, pak fakt existence hvězdkup typu O, obklopených mohutnými plynnými mlhovinami, spolu s hvězdkupami stejného typu, avšak téměř bez mlhovin, může mít velký význam pro teorii vývoje hvězdkup a možná i pro teorii vývoje hvězd samých.

Jak jsme viděli, existuje jistá strukturální odlišnost mezi těmito dvěma skupinami O-hvězdkup; je možné, že se liší i po stránce jiných charakteristik. V tom případě se lze domnívat, že výskyt plynné mlhoviny kolem hvězdkupy svědčí o určité etapě vývoje hvězdkupy. Není-li přítomnost mlhoviny kolem hvězdkupy příznakem stáří, pak jsme nuceni připustit, že se v jednom případě spolu s hvězdami zformovaly těž mlhoviny, a v druhém případě, zatím nevíme proč, se vyskytují jen hvězdy samotné.

K rozřešení této velmi zajímavé otázky může značně přispět výzkum prostorového rozložení O-hvězdkup a jasných plynných mlhovin. Jelikož O-hvězdkupy jsou jádry hvězdných asociací typu O, které fakticky určují polohu větvi spirálních soustav, může se ukázat, že hvězdkupy spojené s mlhovinami jsou lokalizovány v určité části spirální větve.

d) Hvězdkupy h a χ Persei a NGC 6231. Tyto hvězdkupy, které byly nejdříve zkoumány mnoha astronomy, jsou velmi zajímavé z řady příčin.

Vzájemná blízkost (v průmětu na oblohu) hvězdkup h a χ Persei a jejich stejná

vzdálenost nás již dávno přivedly k závěru, že tvoří jeden fyzikální systém. Později se dokonce zjistilo, že mají téměř stejné fyzikální složení, což svědčí o jejich genetické souvislosti.

Mezi doposud vyšetřovanými hvězdokupami je tento pár jediný svého druhu. Tyto hvězdokupy obsahují velké množství žhavých obrů a nadobrů, jejichž valná část náleží k spektrálním podtypům B0, B1 a B2. Zajímavé je též to, že tyto hvězdokupy obsahují velké množství nestacionárních hvězd typu B.

Hvězdokupa NGC 6231 obsahuje neobyčejně velké množství nadobrů spektrálních typů O a E0, z nichž většina jsou spektroskopické dvojhvězdy. V této hvězdokupě se též vyskytuje hvězda HD 152270, jež patří k Wolf-Rayetovu typu. Je to jediný známý případ, kdy hvězda Wolf-Rayetova typu patří k hvězdokupě.

Vycházíme-li z fyzikální stavby hvězdokup výše vyšetřovaných, je třeba zařadit je mezi hvězdokupy typu O. Je však třeba poznamenat, že všechny tyto tři hvězdokupy, které mají mnoho společného, se po mnoha stránkách odlišují od výše popsaných O-hvězdokup. Značně je převyšují jak co do počtu hvězd, tak i co do svítivosti a massy.

Zároveň však existují dosti závažné argumenty, které svědčí o mimořádném mládí těchto hvězdokup. Hvězdokupy η a χ Persei jsou jádry hvězdné asociace v Perseu [2] a hvězdokupa NGC 6231 je jádrem asociace ve Štíru [9].

Z toho lze učinit závěr, že stáří těchto hvězdokup není řádově větší než časový úsek, nutný k rozpadu hvězdné asociace typu O, t. j. 10^7 let. Mimo to existence velkého množství nestacionárních hvězd mezi hvězdami hvězdokup a okolními hvězdami svědčí též o mládí těchto hvězdokup a asociací, které je obklopují.

Stačí ještě dodat, že mimo nestacionární hvězdy se kolem těchto hvězdokup vyskytuje téměř polovina nám známých hvězd typu P Cygni, patřících do Galaxie, jejichž mládí je bezesporné. Strukturální zvláštnosti vyšetřovaných hvězdokup jsou velmi zajímavé.

Ve všech těchto třech hvězdokupách je patrné centrální zhuštění. Nejjasnější hvězdy hvězdokup η a χ Persei jsou soustředěny ve střední části. Ve hvězdokupě tvoří dvojité jádro, čili dají se přirovnat k dvoujaderným O-hvězdokupám, zatím co ve hvězdokupě η tvoří řetízky a lze je tedy přiřadit k řetízkovým O-hvězdokupám.

V těchto hvězdokupách existují jednak příznaky, charakteristické pro hvězdokupy typu O, a za druhé mnoho slabých hvězd, jež patří k pozdějším typům B a k typu A atd.; to nás přivádí k závěru, že v každé z těchto hvězdokup jako by se překrývala hvězdokupa typu O s hvězdokupou typu B. Proto je vhodné označit typ těchto hvězdokup O + B.

Je tedy možno na závěr naší klasifikace konstatovat, že základní strukturálně morfologická zvláštnost hvězdokup typu O spočívá v tom, že všechny buď obsahují lichoběžníkovou násobnou soustavu nebo se skládají z hvězdných řetízků. Charakteristická je též fyzikální souvislost jisté části těchto hvězdokup se světlymi plynnými mlhovinami.

Pozoruhodné je to, že tyto zvláštnosti se vyskytují jedině v souvislosti s hvězdokupami typu O. Mezi hvězdokupami typu B a A se též vyskytují řídké hvězdokupy, které obsahují násobné soustavy a hvězdné řetízky, ale tyto útvary mají v nich naprosto jinou strukturu.

Zatím co ve hvězdokupách typu O jsou násobné soustavy zřetelně oddělenými jádry těchto hvězdokup, která jsou složena z nejjasnějších hvězd, jsou ve hvězdokupách typu B a A násobné soustavy stěží objeveny. To souvisí jednak s tím,

Tabulka 2.
Seznam hvězdokup typu O

P. č.	NGC	α 1900 h m	δ 1900 o	l o	b o	c '	n	r	Typ	Množství hvězd		
										OA	BO	PCyg
1	I 1590	0 47.0	+56 5	91.0	— 5.9	4	20	2100	O ₁ N	2	—	—
2	366	1 0.2	+61 42	92.4	0.0	3	18	2800	O ₁ f	2	—	—
3	Tr 1	1 29.0	+60 46	96.0	— 0.6	4.5	20	(1300)	(O ₁)	—	—	—
4	869 (h Per)	2 12.0	+56 41	102.4	— 3.1	36	250	1800	[O + B] _f	1	3	—
5	884 (χ Per)	2 15.4	+56 39	102.9	— 3.0	36	200	1800	[O + B] _j	1	3	—
6		2 22.2	+60 12	101.9	+ 0.4	2 × 7	12	900	O ₁ (N)	—	—	—
7	IC 1805	2 25.2	+61 0	102.9	+ 1.5	22	35	900	O ₁ N	3	—	—
8	IC 1848	2 43.5	+60 1	104.9	+ 1.6	12	20	950	O ₁ N	1	—	—
9	1444	3 41.9	+52 21	115.8	— 0.4	2.5	12	550	O ₁ f	—	—	—
10	1502	3 58.7	+62 3	111.3	+ 8.5	8	30	600	O ₁ f	—	—	—
11	1624	4 32.8	+50 15	123.2	+ 3.5	2	(30)	>3000	O ₁ N	3	—	—
12	λ Orionis	5 29.6	+ 9 52	162.8	—10.5	10 × 32	12	450	O ₁ N	1	2	—
13	Orionův pás	5 30.0	— 1 10	172.5	—16.4	150	50	300	O ₁ N	—	3	—
14	Trapez v Orionu	5 30.4	— 5 27	176.6	—17.9	5	(100)	500	O ₁ N	2	1	—
15	2244	6 27.0	+ 4 56	174.1	— 0.6	25	40	1260	O ₁ N	4	1	—
16	2264	6 35.5	+ 9 59	170.6	+ 3.7	20	30	600	O ₁ N	1	—	—
17	2362 (τ CMa)	7 14.6	—24 46	205.8	— 4.4	7	40	1000	O _j	1	—	—
18		8 57.2	—48 36	236.7	— 1.3	3	10	(1800)	(O _j)	—	—	—
19	3293	10 32.0	—57 43	253.6	+ 0.2	8	50	900	O _(j)	3	—	—
20	IC 2602	10 39.4	—63 52	257.2	— 4.9	65	22	200	O _p	—	1	—
21	Tr 14	10 40.1	—59 2	255.1	— 0.5	4	15	1000	(O ₁ N)	—	—	—
22	Tr 15	10 40.8	—58 50	255.1	— 0.3	3.5	12	1000	(O ₁ N)	—	—	—
23	Tr 16 (η Car)	10 41.2	—59 11	255.3	— 0.6	10	40	1000	O ₁ N	—	—	1
24	3590	11 8.7	—60 15	259.0	— 0.2	3	20	(1100)	(O)	—	—	—
25	3766	11 31.5	—61 3	261.8	— 0.1	11	60	1000	O _(f)	—	1	—

Pokračování tabulky 2.

P.č.	NGC	α 1900 h m	δ 1900 o	l o	b o	ρ	n	r	Typ	Množství hvězd			
										OA	B0	PCyg	WR
26	4463	12 24.3	-64 14	268.3	-2.3	4	20	(1500)	O _j	—	1	—	—
27	4815	12 51.8	-64 25	271.3	-2.4	4	40	>2000	(O _j)	—	—	—	—
28	5168	13 24.6	-60 25	275.5	+1.1	3	18	(2000)	(O _j)	—	—	—	—
29	6169 (μ Norma)	16 27.0	-43 50	307.8	+1.8	7	18	500	O _j	1	—	—	—
30	6193	16 33.8	-48 34	304.5	-2.6	8	25	550	O _{jN}	1	1	—	—
31	6231	16 47.0	-41 38	311.2	0.0	15	100	1260	[O+B] _j	5	3	1	1
32	Tr 24	16 48.8	-40 33	312.2	+0.4	60	40	1260	O _N	2	1	—	—
33	6383	17 28.2	-32 30	323.4	-1.3	5	12	800	O _F	1	—	—	—
34	6514	17 56.3	-23 2	334.6	-1.6	4	(40)	1000	O _{jN}	1	(1)	—	—
35	6520	17 57.1	-27 54	330.5	-4.3	4	25	>2000	O	1	—	—	—
36	6530	17 58.6	-24 20	333.8	-2.8	15	40	1000	O _N	2	2	—	—
37	6531	17 58.6	-22 30	335.4	-1.9	12	35	1100	O _j	—	1	—	—
38		18 9.4	-19 1	339.7	-2.5	2	13	100	O _j	—	1	—	—
39	6604	18 12.5	-12 16	346.0	+0.2	2	10	(700)	O _F	1	—	—	—
40	6611 (M 16)	18 13.2	-13 49	344.7	-0.7	7	30	2200	O _{HN}	4	—	—	—
41	6618 (M 17)	18 15.0	-16 13	342.5	-2.2	20	25	(1500)	O _N	—	(2)	—	—
42	6823	19 38.9	+23 4	27.1	-1.3	7	30	2000	O _{jt}	3	1	—	—
43	6871	20 2.1	+35 30	40.3	+1.2	20	25	1100	O _j	3	1	—	—
44	IC 4996	20 12.8	+37 20	43.0	+0.5	6	40	1150	O _j	1	1	—	—
45	6910	20 19.5	+40 27	46.3	+1.3	8	25	1260	O _F	1	1	—	—
46	6913 (M 29)	20 20.3	+38 12	44.6	-0.2	7	20	1050	O _{pt}	—	4	—	—
47	Tr 37	21 35.9	+57 2	66.9	+3.5	50	30	650	O _{jt}	1	—	—	—
48	7380	22 43.0	+57 34	74.8	-0.9	10	40	(1700)	O _N	1	—	—	—
49	7510	23 7.3	+60 2	78.7	+0.1	4	25	2600	O _F	1	4	—	—
50		23 11.0	+59 56	79.5	0.0	1.5	10	(2600)	O _j	—	—	—	1

že zde sestávají z nečetných složek, a za druhé s tím, že jasnosti složek násobných soustav se téměř neodlišují od hvězd, které je obklopují.

Totéž se vztahuje i na hvězdné řetězky, které se vyskytují pouze v bohatých B- a A-hvězdkupách, na př. M 11, M 52, M 7 atd. Pokud se týče souvislosti světlých plynných mlhovin s hvězdkupami, musíme říci, že nebyla dosud objevena ani jedna hvězdkupa, která by souvisela se světlou plynnou mlhovinou a přitom by nepatřila mezi O-hvězdkupy, což je ovšem přirozené, protože hvězdy pozdějších spektrálních podtypů nemohou vyvolat svícení plynných mlhovin.

Vycházíme-li z toho, co bylo řečeno, dojdeme k závěru, že strukturně morfologické zvláštnosti O-hvězdkup mohou být dostatečným kritériem k tomu, abychom mohli zařadit hvězdkupu, jež má zmíněné vlastnosti, mezi hvězdkupy typu O. Zejména v těch případech, kdy není možné získat spektrální údaje o hvězdách hvězdkupy, nabývá stanovení strukturně morfologických charakteristik zvláštního významu, jakožto jediný prostředek ke klasifikaci těchto útvarů.

V tab. 2 je uveden seznam hvězdkup s údaji o nich. V prvním sloupci je udáno pořadové číslo tabulky, ve druhém čísla z NGC nebo jiné označení hvězdkupy; ve třetím a čtvrtém sloupci jsou udány ekvatoreální a v pátém a šestém galaktické souřadnice hvězdkupy; v sedmém a osmém jsou uvedeny úhlové průměry a pravděpodobné množství členů hvězdkupy, určené převážně podle snímků Bjurakanské observatoře; v devátém sloupci je udána pravděpodobná vzdálenost hvězdkupy v parsekách, určená fotometricky. Někdy byly vzaty v úvahu i vzdálenosti, určené na základě radiálních rychlostí.

Při určování vzdáleností hvězdkup byly používány barevné indexy hvězd, vyskytujících se jak v hvězdkupě, tak i mimo ni ve směru na hvězdkupu, jež jsou uvedeny v literatuře. V těch případech, kdy údaje o absorpci si navzájem odporovaly nebo vůbec chyběly, byly určeny ze snímků Bjurakanské observatoře.

Přesto byly vzdálenosti řady hvězdkup určeny pouze přibližně (v tabulce jsou uvedeny v závorce), jelikož chyběly spolehlivé údaje, nezbytné ke stanovení vzdálenosti.

V desátém sloupci je udán podtyp hvězdkupy podle výše uvedené klasifikace.

V tabulce je dále uveden počet hvězd daného typu (O, B0, P Cygni a Wolf-Rayetovy), které patří do hvězdkupy. Tyto údaje jsou sebrány z různých pramenů. V uvedeném seznamu se vyskytují i hvězdkupy, u nichž nebylo možno pro malou jasnost hvězd určit spektrální složení hvězdkupy; tyto hvězdkupy byly však zařazeny mezi O-hvězdkupy, neboť se u nich vyskytují strukturální zvláštnosti, charakteristické pro O-hvězdkupy. Můžeme předpokládat, že v budoucnu budou v těchto hvězdkupách objeveny hvězdy typů O či B0.

§ 4. Otázka stacionárnosti otevřených hvězdkup

Dosavadní výzkumy o stáří a průběhu života otevřených hvězdkup byly konány za předpokladu, že na hvězdkupu působí vliv náhodných setkání s okolními hvězdami galaktického pole i vzájemných setkání hvězd hvězdkupy.

Podle Ambarcumjanova odhadu je pro typickou hvězdkupu třeba doby řádově $4 \cdot 10^7$ let, aby v ní nastala statistická rovnováha, ale doba, potřebná k jejímu úplnému rozrušení, je řádově několik miliard let. Vliv náhodných setkání hvězdkupy s okolními hvězdami galaktického pole prodlužuje dobu, potřebnou k rozpadu hvězdkupy, na 10^{10} let.

Podle těchto odhadů docházíme k závěru, že rozpad otevřených hvězdkup probíhá velmi pomalu a účinek diferenciální galaktické rotace má podle Boka [10] při tom malý vliv.

Avšak ve všech dosavadních výzkumech se předpokládalo, že hvězdokupa je stacionární pokud se týče regulárních sil hvězdokupy samé, t. j. fázové rozdělení v ní se nemění po takové časové intervaly, během nichž je možno zanedbat poruchy vzniklé v důsledku setkání. Proto výše uvedené poznatky lze považovat za přijatelné pouze v těch případech, kdy je hvězdokupa ve stacionárním stavu nebo alespoň ve stavu stacionárním velmi blízkém.

Představa o tom, že otevřené hvězdokupy jsou obecně ve stacionárním stavu, je založena v současné době na výsledcích, které byly získány analýsou vlastních pohybů hvězd velmi omezeného množství blízkých hvězdokup: Hyad, Plejad, Praesepe a p. Zobecnění a rozšíření kinetických vlastností těchto útvarů na celý souhrn otevřených hvězdokup není ničím opodstatněno. Různé otevřené hvězdokupy mají sice mnoho společného, a právě proto jsou zařazovány do jednoho a téhož druhu, zároveň však existuje značná odlišnost v jejich fyzikálních a strukturně morfologických vlastnostech, což vyvolává pochybnosti o tom, že jejich kinetické vlastnosti jsou stejné.

Na tuto odlišnost mezi hvězdokupami nebyl dosud brán zřetel, a tím byla stírána význačná kosmogonická úloha hvězdokup. Teprve objev hvězdných asociací na ni upozornil. Ukázalo se, že žhavé hvězdy v hvězdokupách mají velký význam pro pochopení procesu formování hvězd. Spolu s tím musela být vytvořena nová klasifikace hvězdokup, tak jak byla provedena výše.

Výše uvedené nejbližší hvězdokupy, jejichž stacionárnost lze pokládat za velmi pravděpodobnou, patří k typu A a částečně též k pozdním podtypům B. Je tedy opodstatněný předpoklad, že alespoň většina hvězdokup typu A a snad i pozdních podtypů B je ve stacionárním stavu nebo ve stavu stacionárním velmi blízkém. Lze tedy odhad stáří a průběhu života, stanovený stelární dynamikou, považovat za přijatelný pouze pro tyto typy hvězdokup. Není při tom nijak opodstatněné rozšiřovat tento závěr i na hvězdokupy, které obsahují hvězdy ranějších spektrálních typů.

§ 5. Stáří hvězdokup typu O

Stáří hvězdokup typu O je možno odhadnout různými způsoby. Nejjistější z nich jsou tyto:

1. Seznam hvězdokup typu O obsahuje 50 objektů; k nim je třeba ještě přidat 11 hvězdokup, které nejsou v seznamu uvedeny, takže celkový počet doposud objevených O-hvězdokup činí 61. Z nich 46 patří mezi hvězdokupy objevené již dříve a ze zbývajících 15 jsou mnohé v tak velkých vzdálenostech, že lze těžko stanovit, jsou-li jádry asociací, neboť chybějí spektra hvězd suabších než 10. hvězdné velikosti. Z toho lze učinit závěr, že alespoň většina O-hvězdokup je jádrem O-asociací.

Jak známo, k úplnému rozpadu hvězdné asociace je třeba řádově 10^7 let [2]; stáří O-hvězdokup, které jsou jádry těchto asociací, nemůže být též větší než 10^7 let.

2. Strukturně morfologické zvláštnosti O-hvězdokup, zejména to, že se v nich vyskytují násobné soustavy typu Trapez Oriona a hvězdné řetízky, a také často pozorovaný zjev rozštěpení hvězdokupy zřejmě svědčí o tom, že jsou nestabilní. Vezmeme-li to v úvahu, můžeme tvrdit, že se v nich dosud nevytvořila statistická rovnováha. Doba, nezbytná k vytvoření statistické rovnováhy, je podle Ambarcumjana [11] určena vztahem

$$\tau = \frac{1}{16 \lg \frac{N}{4}} \sqrt{\frac{N \varrho^3}{G m}}$$

odvozeným pro hvězdokupu, která je složena z hvězd o stejné masse. N značí počet hvězd hvězdokupy, ρ — její poloměr, m průměrnou masu jedné hvězdy a G gravitační konstantu.

Hvězdokupy typu O z větší části sestávají ze 20—30 hvězd a připustíme-li, že podmínky viditelnosti snižují počet jejich hvězd na polovinu, pak nejobvyklejší množství hvězd u O-hvězdokup je řádově 50. Za průměrnou masu hvězd a poloměr u O-hvězdokup lze považovat $m = 5m_{\odot}$ a $\rho = 2$ parseky. V tom případě bude hodnota τ přibližně 10^6 let.

Jelikož strukturně morfologické zvláštnosti O-hvězdokup svědčí o tom, že v nich není ještě statistická rovnováha, pak, uvážíme-li, co bylo řečeno výše, musíme říci, že stáří O-hvězdokup není větší než 10^7 let.

3. O-hvězdokupy obsahují hvězdy typů O a B0. Vyskytují se v nich často i nestacionární hvězdy. V současné době je možno pokládat za nesporné, že stáří hvězd zmíněných typů není větší než 10^7 let. Uvážíme-li, že formování hvězd v hvězdokupě nemůže probíhat velmi dlouho, musíme podle výskytu hvězd O a B0 závěrem říci, že stáří O-hvězdokup není větší než 10^7 let.

Přivedly nás tedy tři navzájem nezávislé způsoby odhadu stáří O-hvězdokup k tomu, že horní hranice jejich stáří je řádově 10^7 let.

§ 6. Průběh života hvězdokup typu O

Další osud O-hvězdokup má velký význam zejména pro objasnění otázek, souvisejících s vývojem otevřených hvězdokup.

Jak jsme již poznamenali v § 5, mimo hvězdné asociace se O-hvězdokupy vyskytují velmi zřídka. Z toho vyplývá, že se za dobu rozpadu hvězdných asociací, t. j. za dobu řádově 10^7 let buď musí úplně rozpadnout, nebo se musí postupně proměnit ve hvězdokupy typu B.

Posoudíme obě tyto možnosti do té míry, jak nám to dovolují doposud známé údaje.

1. Připustíme, že hvězdokupy typu O se nerozpadají v poměrně krátkém časovém intervalu a že se vyvinou ve hvězdokupy typu B. V tom případě bude naprosto logické domnívat se, zobecníme-li tento předpoklad, že hvězdokupy typu B se vyvinou ve hvězdokupy typu A.

Předpokládá se tedy o vývoji hvězdokup, že probíhá stejně jako vývoj hvězd. Proti tomu svědčí pozorovaná skutečnost, že postupem přechodu od hvězdokup typu O k typu A počet hvězd v hvězdokupě v průměru zřetelně vzrůstá. Kdyby byl předpokládaný přechod hvězdokup od typu O k B a A správný, pak na základě závěrů stelární dynamiky, zjištěných Ambarcumjanem [11], je naopak třeba očekávat úbytek hvězd v hvězdokupě.

Nicméně nemůže uvedená skutečnost sama o sobě vyvrátit možnost této vývojové cesty O-hvězdokup, neboť není vyloučeno, že se současně nezávisle formují bohaté hvězdokupy typů B a A. Tato otázka může být s konečnou platností rozřešena jedině analýsou vnitřních kinetických vlastností hvězdokup. To však není dnes možné pro nedostatek nezbytných údajů u větší části hvězdokup; budeme proto muset prověřit možnost přechodu hvězdokup v posloupnosti O-B-A na základě statistiky hvězdokup různých typů. Množství známých reálných hvězdokup nepřesahuje zatím 400. Pro nejjasnější hvězdy 171 hvězdokup se nám podařilo určit spektrální údaje, na jejichž základě byly určeny typy podle naší klasifikace. V tabulce 3 je uveden počet hvězdokup podle jednotlivých typů.

Tabulka 3.

Typ hvězdokupy	O	B		A		Celkem
Spektr. typy nejjasnějších hvězd hvězdokupy . . .	O-B0	B1-B2	B3-B5	B7-B9	A0-A3	O-A3
Počet hvězdokup	54	19	41	38	19	171

Hvězdokupy typů B a A byly při tom rozděleny na dva podtypy, neboť tím bude usnadněna další analýza. Je zřejmé, že uvedené hodnoty nedávají ještě představu o reálném vztahu počtu hvězdokup různých typů, neboť jdeme-li od hvězdokup typu O k typu A, objem prostoru, zaujímaný údaji tabulky 3, se zmenšuje. Aby bylo možno provést kvantitativní srovnání hvězdokup různých typů, je třeba stanovit jejich reálný počet až do nějaké fixované vzdálenosti. Vzdálenost, do které můžeme považovat počet hvězdokup za úplný,²⁾ nepřevyšuje 500 parsek. Nelze se však omezit na takovou vzdálenost, neboť v tom případě by bylo do našich úvah zahrnuto velmi málo hvězdokup raných podtypů a naše vývoody by byly nejisté. Považovali jsme za užitečné omezit se na tu vzdálenost, do níž je možno počet hvězdokup s nejjasnějšími hvězdami, náležejícími k spektrálními typům B1 — B2, považovat za úplný. V tom případě není vyšetřována pouze část O-hvězdokup, které jsou dále než fixovaná vzdálenost, a pravděpodobný počet pozdních hvězdokup může být určen extrapolací.

Spektrální typy nejjasnějších hvězd otevřených hvězdokup až do $m = 9,0$ je možno považovat téměř úplně za známé. Proto pozorovaný modul vzdálenosti, odpovídající naší fixované vzdálenosti, bude $12^m, 0$.

Je zřejmé, že pro nějakou určitou vzdálenost se zdánlivé velikosti nejjasnějších hvězd průměrně liší natolik, nakolik se liší jejich absolutní velikosti za předpokladu (velmi hrubého), že mezihvězdná absorpce je funkcí pouze vzdálenosti. Přidáme-li proto k fixovanému modulu vzdálenosti příslušnou absolutní velikost (podle Parenagovy stupnice [12], dostaneme tu mezní zdánlivou velikost, kterou nemohou překročit zdánlivé velikosti nejjasnějších hvězd hvězdokup daného typu, vyskytující se ve vzdálenosti menší než fixovaná. Můžeme tedy určit skutečné reálné množství hvězdokup jednotlivých typů, vyskytujících se do dané vzdálenosti, dvěma způsoby: vyjdeme buď z jejich vzdáleností³⁾ nebo z mezních zdánlivých velikostí jejich nejjasnějších hvězd. Oba tyto způsoby, které se navzájem příliš neliší, daly téměř shodné výsledky.

Tabulka 4.

Typ hvězdokupy	O	B		A		Celkem
Spektr. typy nejjasnějších hvězd hvězdokupy . . .	O-B0	B1-B2	B3-B5	B7-B9	A0-A3	O-A3
Počet hvězdokup N . . .	30	16	38	90	132	306

V druhém řádku tabulky 4 jsou uvedeny hodnoty počtu hvězdokup podle typů, které se vyskytují ve vzdálenosti nepřesahující 1230 parsek (odpovídá naší fixované modulu vzdálenosti $12^m, 0$ za předpokladu, že střední absorpce na kilo-

2) Rozumí se hvězdokupy se známými spektrálními údaji.

3) Pro hvězdokupy typu O bylo užito vzdáleností určených námi, pro hvězdokupy typu B a A vzdáleností, určených Barchatovou [13] a částečně námi.

parsek v tloušťce Galaxie činí u viditelných paprsků 1^m, 3). První dvě z těchto čísel jsou určena přímým výpočtem, tři poslední extrapolací, při níž se předpokládalo, že hvězdokupy a pohlcující prostředí jsou v tloušťce Galaxie rozděleny rovnoměrně. Pokud se týče hvězdokup pozdních typů, je tento předpoklad dostatečně blízký pravdě, nelze to však říci o pohlcujícím prostředí. Nicméně nerovnoměrnost pohlcujícího prostředí nemůže v daném případě podstatně ovlivnit očekávané výsledky. Kromě toho při určování počtu hvězdokup pozdních typů byla tendence zvyšovat jejich počet, a to úmyslně, aby byl spolehlivě ověřen předpoklad o možnosti evolučního přechodu hvězdokup ve sledu O-B-A. Je-li tento předpoklad správný, pak čísla, vyjadřující skutečné množství hvězdokup různých typů, musí být úměrná časovým intervalům, během nichž se podstatně nemění vlastnosti hvězd, charakterisující daný typ hvězdokupy.

To znamená, že počet hvězdokup daného typu má převyšovat počet hvězdokup typu předcházejícího tolikrát, kolikrát déle zůstávají hvězdy, pro tento typ charakteristické, ve svém daném stavu ve srovnání s hvězdami charakteristickými pro typ předchozí.

Aby bylo možno provést takové srovnání, je nezbytně třeba určit délky období, po která hvězdy setrvávají ve stavech určených různými spektrálními typy. Období setrvávání hvězd ve stadiu toho či onoho spektrálního typu lze klasifikovat, vyjdeme-li ze vztahu *massa-svitivost* a z myšlenky o korpuskulárním vyzářování hvězd. V tab. 5 je ve druhém řádku udána doba existence hvězdy v určitém spektrálním oboru v jednotkách doby existence hvězdy ve stadiu O-B0. V třetím řádku této tabulky jsou uvedeny hodnoty poměru počtu hvězdokup různých typů k počtu hvězdokup typu O podle údajů tab. 4, t. j. $\frac{N}{N_0}$. Rozdíl hodnot ve 3. a 4. řádku tab. 5

Tabulka 5.

Typ hvězdokupy	O	B			A
Spektr. typy nejjasnějších hvězd hvězdokupy	O-B0	B1-B2	B3-B5	B7-B9	A0-A3
$\frac{T}{T_0}$	1	1,9	7,0	31,8	103,0
$\frac{N}{N_0}$	1	0,5	1,3	3,0	4,5

je tak velký, že jej v žádném případě nemůžeme vysvětlit vlivem chyb, jimž se nelze vyhnout při určování skutečného počtu hvězdokup různých typů.

Vyjdeme-li z těchto údajů a dochází-li skutečně k evolučnímu přechodu hvězdokup ve směru O-B-A, pak očekáváme, že počet hvězdokup typu A bude 135krát převyšovat počet hvězdokup typu O. V mezích 1000 parsek kolem Slunce existuje asi třicet hvězdokup typu O, tedy odpovídající počet hvězdokup typu A by měl být řádově 4000, zatím co skutečný počet hvězdokup všech typů v této části prostoru nepřesahuje 300.

Protože evoluční postup O-B-A je u raných hvězd téměř nepochybný, není nezajímavé provést podobné porovnání časových úseků, během nichž hvězdy setrvávají ve stavech odpovídajících různým spektrálním typům, a množství hvězd různých spektrálních typů v celkovém hvězdném poli Galaxie.

Na obr. 1 jsou naneseny logaritmy poměru počtu hvězd různé svítivosti k počtu hvězd typů O-B0 v závislosti na fotografické absolutní velikosti (křivka I) podle hodnot funkce svítivosti odvozené van Rijnem.

Zároveň jsou na obrázku v tomtéž měřítku vyneseny logaritmy čísel z druhého (křivka II) a třetího (křivka III) řádku tabulky 5 v závislosti na skupinách spektrálních podtypů, které nás zajímají.

Skutečnost, že křivka I leží nad křivkou II, svědčí o tom, že počet hvězd různých spektrálních typů v celkovém hvězdném poli Galaxie je větší, než by se dalo theoreticky očekávat v důsledku evolučního přechodu hvězd typů O-B0. A to právě potvrzuje závěr, vyplývající ze studia hvězdných asociací, že hvězdy v O-asociacích nevznikají nutně jako hvězdy typů O-E0, ale že současně s nimi vznikají v O-asociacích i hvězdy pozdnějších typů. Nápadně odlišný průběh křivky III od křivky II nutně vede k závěru, že předpokládaný přechod hvězdokup ve sledu O-B-A zpravidla nemůže nastat. Obě křivky se navzájem odchyľují tak značně, že se zřejmě převážná většina hvězdokup typu O rozptýlí dříve, než by mohla přejít v hvězdokupu typu B. Zároveň, uvážíme-li již výše připomenutý fakt, že s O-hvězdkupami se setkáváme jen velmi zřídka vně hvězdných asociací, dojdeme k závěru, že horní hranice života O-hvězdkup je řádově stejná jako doba nutná než dříve uvedená, t. j. než 10^7 let.

Nepokládáme-li přechod hvězdokupy typu O v hvězdokupu typu B za nutný, pak můžeme za horní hranici doby existence O-hvězdkupy pokládat časový úsek, po který hvězda zůstává ve stavu, pro nějž jsou charakteristické spektrální typy O-B0. Horní mez délky života O-hvězdkup, určená tímto způsobem, není vyšší než výše uvedená, t. j. než 10^7 let.

2. Závěr o velmi rychlém rozpadu O-hvězdkup, k němuž jsme již výše došli, má zásadní význam, a je proto nevyhnutelně třeba ověřit jej bezprostředním studiem relativních pohybů hvězd těchto objektů. Trebaže nám dosud chybějí nutné údaje o pohybech hvězd a nelze proto dnes provést toto ověření u většího počtu hvězdokup, byly přesto některé z nich podrobeny vyšetřování tohoto druhu a výsledky úplně potvrzují náš závěr o rychlém rozpadu O-hvězdkup. Omezíme se na tyto příklady:

a) Ve své nedávno uveřejněné práci [14] jsme se dosti podrobně zabývali vlastními pohyby hvězd hvězdokupy IC 2602. Je to nejbližší O-hvězdkupa. Leží v souhvězdí Lodní kýl ve vzdálenosti 220 parsek. Její úhlový průměr je o něco větší než 1° (v lineárních rozměrech řádově 4 parseky). Skládá se asi z 30 hvězd, z nichž jedna patří k typu B0, 4 hvězdy patří k typu B3, 3 k typu E5 atd. V projekci na nebe vyvolává hvězdokupa dojem, že je rozštěpená; s tímto jevem se u hvězdokup typu O často setkáváme.

Analýsa vlastních pohybů hvězd, patřících k hvězdokupě IC 2606, vedla k závěru, že se hvězdokupa rozšiřuje dosti značnou rychlostí, dosahující až 7,4 km/sec.

Věk této hvězdokupy podle uvedené rychlosti je řádově $3 \cdot 10^5$ let. Při stáří řádově $2 \cdot 10^5$ let dosáhne hvězdokupa průměru 30 parsek a ztratí příznaky obvyklé hvězdokupy. Bude pak spíše připomínat nevelkou asociaci, podobnou asociaci kolem ξ Persei (Perseus II) [15].

b) Blaauw při studiu skupiny raných hvězd kolem ξ Persei [16] dospěl k závěru, že představují součásti nevelké O-asociace, vzdálené 300 parsek. Její lineární rozměry v projekci na oblohu jsou řádově 30—40 parsek. Blaauw na základě zkoumání pohybů v této skupině, sestávající ze 17 hvězd typů O-B5, soudí, že se rozšiřuje rychlostí 12 km/sec. Stáří této skupiny hvězd je podle Blaauwa řádově $1,3 \cdot 10^6$ let.

Vezmeme-li v úvahu radiální charakter rozbíhání hvězd, lze bez jakýchkoli pochybností tvrdit, že přibližně před milionem let měla tato nevelká asociace průměr řádově 5—6 parsek, t. j. byla obyčejnou O-hvězdotupou.

c) Parenago studoval vnitřní pohyby v Lichoběžníku Oriona [17], který je jádrem hvězdotupy, ležící v mlhovině Oriona, a soudí, že je to nestabilní útvar s kladnou totální energií. V tom případě nastane úplný rozpad Lichoběžníku za 10^6 let.

Fakta v uvedených příkladech svědčí o tom, že délka života typické O-hvězdotupy je řádově několik milionů let.

§ 7. O hvězdotupách typu B a A

Nejsou dosud podklady pro tvrzení, že všechny hvězdotupy typu O se rozptylují, dříve než by přešly v další typy, neboť údaje tabulky 5 nebo obr. 1, na jejichž základě jsme usoudili, že O-hvězdotupy se rychle rozpadají, nevylučují možnost přechodu nevelké části O-hvězdotup v pozdnější typy. Proto dosud zůstává nerozřešena otázka, zda se hvězdotupy typů B a A tvoří nezávisle, či jsou-li produktem vývoje O-hvězdotup. Připustíme-li, že všechny hvězdotupy typu B a A jsou vývojovými etapami hvězdotup typu O a vyjdeme-li z údajů v tabulkách 4 a 5, není těžké určit tu část O-hvězdotup z každé »generace«, která přechodem v pozdnější typy může zajistit počet hvězdotup typu B a A, pozorovaný v danou dobu.

Označíme-li počet O-hvězdotup z jedné »generace N_0 a násobíme $\frac{T}{T_0}$ (tab. 5), dostaneme hledaný počet hvězdotup daného typu za předpokladu, že v tento typ nutně přecházejí všechny O-hvězdotupy. Počet O-hvězdotup v procentech, které přešly v daný typ, se určí výrazem $n = \frac{100 N}{N_0 \frac{T}{T_0}}$, kde N_0 je řádově rovno počtu

O-hvězdotup pozorovaných v danou dobu, a N je pozorovaný počet hvězdotup daného typu. Hodnoty n , vypočtené podle údajů tab. 5, jsou uvedeny níže:

Sp. typ nejjasnějších hvězd hvězdotupy	B1—B2	B3—B5	B7—B9	A0—A3
n	28	16	9	4

Tedy k tomu, abychom mohli vysvětlit pozorovaný počet hvězdotup B a A evolučním přechodem ve sledu O—B—A, stačí, aby zhruba čtvrtina O-hvězdotup přešla bezprostředně v následující typ, načež by podle rozsahu přechodu k pozdnějším typům docházelo k dalšímu rozpadání a pouze 4 % celkového počtu O-hvězdotup by přešlo v poslední typ.

Dochází-li skutečně k tomuto částečnému přechodu, pak přecházející O-hvězdotupy musí být velmi hmotné a musí sestávat z velkého množství hvězd, podobně jako hvězdotupy η a χ Persei a NGC 6231, které lze vzhledem k ostatním O-hvězdotupám nazvat obřimi. V tom případě by byla vysvětlena skutečnost, že v průměru je počet hvězd v pozorovaných hvězdotupách tím větší, čím pozdnější je typ hvězdotupy.

Existují však okolnosti, které odporují předpokladu, že všechny hvězdokupy pozdních typů jsou produktem vývoje O-hvězdokup.

Z teorie vývoje otevřených hvězdokup, propracované Ambarcumjanem [11], plyne, že časem hvězdokupy postupně ztrácejí hvězdy a chudnou. Podle všech známek jsou hvězdokupy typu A staré nejméně několik miliard let. Jsou-li všechny určitým stadiem vývoje gigantických O-hvězdokup, které výjimečně byly dostatečně stabilní a existovaly po miliardy let, pak během tak dlouhé doby musely tyto hvězdokupy značně zchudnout.

Mezi hvězdokupami typu A jsou skutečně některé chudé, které mohou být zbytky vývoje bohatých O-hvězdokup.

Avšak podstatná část hvězdokup typu A je co do počtu hvězd i co do hustoty zcela ekvivalentní gigantickým O-hvězdokupám, které nyní pozorujeme; uvedme na př. hvězdokupy M 11, M 37, M 46, NGC 7789 a j.

Obecně je nutno říci, že bohaté hvězdokupy typu A se svými vlastnostmi řadí do přechodného stavu mezi kulovými a otevřenými hvězdokupami, které obsahují žhavé hvězdy. Bývá také často obtížné odlišit podle vnějšího vzhledu bohaté hvězdokupy typu A od chudých kulových hvězdokup.

Kromě toho se značně liší co do charakteru prostorového rozložení hvězdokupy obsahující žhavé obry a nadobry od hvězdokup, jež takové hvězdy neobsahují. Zatím co první z nich jeví jasnou tendenci hromadit se v ramenech Galaxie, druhé jsou v tloušťce Galaxie rozloženy skoro rovnoměrně. Proto tedy, aniž bychom vylučovali možnost přechodu nepatrné části raných hvězdokup v pozdní typy, musíme pokládat za pravděpodobnější, že se bohaté hvězdokupy pozdních typů tvoří nezávisle.

Jak již bylo naznačeno výše, výsledky analýzy vnitřních pohybů hvězd v některých otevřených hvězdokupách pozdních typů svědčí o jejich relativní stabilitě. To znamená, že totální energie těchto útvarů je záporná. Vůbec je nutno přiznat, že ne-li u všech, tedy v každém případě u převážné většiny hvězdokup pozdních typů je totální energie záporná. V opačném případě by se muselo připustit, že je v Galaxii příliš mnoho systémů s kladnou totální energií, t. j. výhradně mladých systémů, což je zcela nepravděpodobné.

Na druhé straně bylo v předcházejícím paragrafu stanoveno, že ne-li všechny, tedy aspoň převážná většina O-hvězdokup se rozpadá dříve, než by mohly přejít v následující typ, t. j. řádově během 10^7 let. Z toho lze odvodit, že převážná většina O-hvězdokup má totální energii kladnou; v opačném případě bude nutno nalézt nějaký umělý mechanismus k vysvětlení krátkého života O-hvězdokup.

Vzhledem k tomu všemu nutně přicházíme k závěru, že současně s otevřenými hvězdokupami s kladnou totální energií vznikají v Galaxii i hvězdokupy s totální energií zápornou. Uvážíme-li pozorovaný vztah početností hvězdokup s kladnou a zápornou totální energií a dále to, že soustavy s kladnou energií mají krátký věk, musíme připustit, že hvězdokupy s kladnou energií vznikají alespoň desetkrát častěji.

Jaroslav Ruprecht

Literatura.

- [1] V. A. Ambarcumjan, *Evolucija zvjezd i astrofizika*, Jerevan, 1947.
- [2] V. A. Ambarcumjan, *AŽ*, XXVI, No 1, 1949.
- [3] R. Trumpler, *L. O. B.*, 14, 420, 1930.
- [4] W. Bidelman, *Ap. J.*, 98, 61, 1943.
- [5] O. Struve, *Ap. J.*, 98, 61, 1943.
- [6] E. G. Ebbighausen, *Ap. J.*, 89, 431, 1939.

- [7] R. Zug, L. O. B., 16, 119, 1933.
 [8] G. A. Šajn, Izvěstija AN SSSR, XIV, No 1, 1950.
 [9] V. A. Ambarcumjan, Dokl. AN Arm. SSR, X, 149, 1949.
 [10] B. Bok, Harvard Circ., No 384, 1934.
 [11] V. A. Ambarcumjan, Učenyje zapiski LGU, No 22, 1938.
 [12] P. F. Parenago, Kúrs zvjezdnoj astronomii, Moskva, 1946.
 [13] K. A. Barchatova, AŽ, XXVII, No 3, 1950.
 [14] B. J. Markarjan, Soobščeniija Bjurakanskoj observ., XI, 1953.
 [15] B. J. Markarjan, Dokl. AN Arm. SSR, XV, No 1, 1952.
 [16] A. Blaauw, BAN, XI, 405, 1952.
 [17] P. F. Parenago, AŽ, 30, No 3, 1953.

V. A. TROICKAJA

ZEMNÍ PROUDY

ЗЕМНЫЕ ТОКИ

(*Priroda*, 1955, č. 5, str. 81—85.)

V Zemi neustále protékají elektrické proudy, měnící se co do velikosti a směru. Zemní proudy byly po prvé pozorovány při použití dlouhých telegrafních linek. Bylo zjištěno, že občas v těchto linkách vznikaly proudy mnohem intensivnější než umělé proudy užívané v telegrafii. Bylo pozorováno, že tyto »poruchy« na telegrafních linkách vznikají současně s magnetickými bouřemi a polárními zářemi a že značně ruší telegrafní spoje. Tak na př. během silné magnetické poruchy 13.—14. května 1921 byly vzniklé proudy tak silné, že zcela vyřadily telefonní stanice v Karlstadu (Švédsko) a v New Yorku. Měření na telegrafních linkách, vykonaná při téže bouři ve Stockholmu ukázala, že rozdíl potenciálů, způsobené zemními proudy, činily až 10 V na kilometr linky. Na linkách dlouhých několik set kilometrů dosahoval rozdíl potenciálů několik set V. Od poloviny minulého století byly podobné případy popsány nejednou. Tak na př. bylo zaznamenáno, že při magnetické bouři 29. srpna—3. září 1859 rozdíl potenciálů na lince 500 km ve Francii dosáhl 700 V. Při magnetické bouři 16. července 1892 rozdíl potenciálů na různých linkách v Severní Americe dosáhl 400—600 V atd.

Tato jednotlivá pozorování elektrických proudů v Zemi při magnetických bouřích poskytla první informace o existenci soustavy proudů, které se současně vyskytnou na velkých úsecích zemského povrchu. Později byly elektrické proudy v Zemi, nepřetržitě se měnící co do velikosti i směru a současně pozorované v oblastech desítek i více tisíc čtverečních kilometrů, nazvány v geofysice tellurickými neboli zemními proudy.

Všechny pozorované změny a poruchy zemních proudů ukázaly úzkou souvislost se změnami a poruchami geomagnetického pole, s nimiž tvoří jednotný komplex poruch elektromagnetického pole zemského. Jak se ukázalo, poruchy elektromagnetického pole jsou zase spojeny se vznikem polárních září, s poruchami ionosféry a s poruchami radiových spojů. Podle dnešních představ všechny tyto navzájem souvisící jevy mají svůj původ v proudech elektricky nabitých částic, vyzařovaných Sluncem a pronikajících do prostoru kolem Země.

Současný vznik krátkoperiodických variací zemních proudů ve velké oblasti velmi láká k využití tohoto přirozeného proměnného pole v geologickém průzkumu