

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

V. A. Ambarcumjan

Násobné galaxie

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 1 (1956), No. 5-6, 650--663

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137344>

## 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>

chemických reakcí. Na konec zevšeobecnění a plné využití všech těchto údajů bude možné jenom na základě propracované teorie, na základě těsnější spolupráce geologů, geofysiků, geochemiků, fyziků a astronomů.

Přeložil Dr Jan Pícha.

#### Literatura

- V. V. Belousov, *Osnovnyje voprosy geotětoniki*, 1954.  
V. A. Magnickij, *Osnovy fiziki Zemli*, 1953.  
J. F. Savarenskij i D. P. Kirnos, *Elementy sejsmologii i sejsmometrii*, 1955.  
B. M. Janovskij, *Zemnoj magnetizm*, 1952.  
Trudy Geofizičeskogo instituta Akademii nauk SSSR, 1955, Nr 26.  
B. Gutenberg, edit. *Internal Constitution of the Earth*, N. Y., 1951.  
P. Kuiper, edit. *The Earth as a Planet*, Chicago 1954.  
H. Jeffreys, *The Earth*, Cambridge, 1952.

V. A. AMBARCUMJAN

### NÁSOBNĚ GALAXIE\*)

*Kosmogonie byla postavena na pevný základ zásluhou sovětských astronomů, jejichž závěry jsou ve značné míře dělány v soulase s pozorováním. Významným pracovníkem v tomto oboru je prezident Akademie věd Arménské SSR V. A. Ambarcumjan — objevitel hvězdných asociací, jejichž existence byla nezvratně dokázána a astronomy celého světa uznána.*

*Ambarcumjan obrátil nyní pozornost ke stavbě Metagalaxie. Dochází k závěrům o poměrném mládí některých galaktických soustav. Tento poznatek je výsledkem podrobného zhodnocení pozorovacího materiálu, kterého se v poslední době nashromáždilo velmi mnoho. Vzhledem k závažnosti tématu uveřejňujeme tuto stat ve zkráceném překladu.*

Redakce.

§ 1. Jednou z podstatných vlastností Metagalaxie je to, že se v ní vyskytují četné dvojné a násobné galaxie, a zejména skupiny galaxií. V tomto směru se jeví jistá shoda mezi strukturou Metagalaxie a naší Galaxie. V Galaxii rovněž nalézáme dvojhvězdy, násobné soustavy a hvězdokupy. Jak autor ukázal, počet dvojhvězd, násobných soustav a otevřených hvězdokup v naší galaxii je daleko vyšší, než by měl být za stavu disociativní rovnováhy [1]. Jak bude ukázáno níže, lze v Metagalaxii pozorovat odchylku od disociativní rovnováhy v tomtéž směru.

Zároveň však je nutno poznamenat, že existují i podstatné rozdíly. Podle dostupných údajů procento dvojných galaxií, stejně jako procento násobných galaxií z celkového počtu galaxií v prostoru kolem nás nepřevyšuje odpovídající procento pro hvězdy. Naproti tomu procento galaxií, tvořících kupy, je mnohem vyšší než procento hvězd náležejících k různým hvězdokupám. Podle prací Zwickyho [2], a rovněž Neymanna, Scotta a Shanea [3], lze z vážných důvodů předpokládat, že většina galaxií tvoří kupy a že procento galaxií, jež patří k celkovému metagalaktickému poli, je relativně malé. Na rozdíl od toho většina hvězd v Galaxii tvoří celkové galaktické pole a nepatří k hvězdokupám, alespoň ne k typům dosud známým. Ovšem tento rozdíl nemůže snížit význam toho faktu, že v obou systémech je nápadná tendence k seskupování. Je nepochybné, že tato skutečnost má v případě obou systémů hluboký kosmogonický význam

\*) V. A. Ambarcumjan, *O kratnych galaktikach*, Izvestija AN ArSSR, sv. IX, č. 1, 1956, str. 23—43.

Podobně jako pro hvězdy lze dojít k rovnici disociativní rovnováhy i pro dvojné galaxie. Použijeme-li této rovnice pro místní soustavu galaxií, zjistíme, že poměr počtu dvojných galaxií, u nichž se vzdálenost složek pohybuje mezi 5000 a 50000 pc, k počtu osamělých galaxií nemá přesahovat 0,005. Uvážíme-li, že v místní soustavě je kolem deseti osamělých galaxií, pak matematická naděje počtu dvojných galaxií by byla řádově 0,05, a v případě trojných galaxií by musela být ještě mnohokrát menší. Zatím však v místní soustavě existuje při nejmenším jedna dvojná galaxie (NGC 147—185) a počítáme-li i naši Galaxii s jejími sousedními Magellanovými oblaky, tedy dvě dvojně galaxie. Ovšem už existence jedné dvojně galaxie v místní soustavě by měla být při disociativní rovnováze málo pravděpodobná a současný výskyt dvou trojných galaxií by byl prakticky nemožný. Tedy i v tomto případě podobně jako u hvězdných dvojic a trojic pozorujeme značnou odchylku od disociativní rovnováhy. Tato odchylka je zvláště velká v případě trojných galaxií. Analogický stav je i v ostatních kupách galaxií.

Ovšem největší porušení statistické rovnováhy je v poměru počtu galaktických kup k počtu osamělých galaxií. Ačkoli lze v současné době těžko určit procento všech galaxií, tvořících kupy, nové údaje svědčí o tom, že většina galaxií, alespoň těch, které mají velkou absolutní jasnost, tvoří kupy. Počítáme-li poměr počtu kup k počtu osamělých galaxií v obklopující nás části Metagalaxie na základě rovnice disociativní rovnováhy, dojdeme k závěru, že při všech přípustných předpokladech o střední kvadratické rychlosti galaxií by galaktické kupy v Metagalaxii vůbec neměly existovat. Tedy v tomto případě je nesouhlas s rovnicí disociativní rovnováhy obzvláště veliký.

Naproti tomu připustíme-li, že dvojně a násobné galaxie a galaktické kupy vznikly procesem vzájemného uchvacování, možným jen při setkání tří složek, pak poměr počtu dvojic, stejně jako poměr počtu galaktických kup k počtu osamělých galaxií, nemůže nikdy přesahovat veličinu, určenou podle rovnice disociativní rovnováhy. Skutečný stav je však zcela protikladný.

Proto i v tomto případě lze opakovat závěr, vyslovený autorem vzhledem k hvězdám. Vyplyvá totiž, že složky, tvořící soustavu dané dvojně a násobné galaxie, nebo patřící do dané galaktické kupy, měly společný vznik. Toto tvrzení není důsledkem nějaké hypotézy o mechanismu vzniku galaxií nebo galaktických kup. Je bezprostředním důsledkem pozorované silné tendence k seskupování.

§ 2. Zkoumání konfigurací násobných galaxií stejně jako v případě hvězd může poskytnout zajímavá svědectví o vzniku a vývoji těchto objektů. Jak vyplývá z předběžných pozorování, mezi konfiguracemi násobných galaxií se setkáváme se značným počtem seskupení typu Lichoběžníka, t. j. takových konfigurací, u nichž lze najít tři galaxie, jejichž vzájemné vzdálenosti jsou řádově stejné. Nadto mezi všemi násobnými soustavami, uvedenými v publikovaných seznamech dvojných a násobných galaxií, počet soustav typu Lichoběžníka značně převyšuje počet soustav obyčejného typu. Jinými slovy, mezi známými násobnými galaxiemi pozorujeme obraz zcela protikladný násobným hvězdám. U těch, jak známo, počet soustav typu Lichoběžníka je daleko menší než počet soustav obyčejného typu.

Tak na př. ze 132 násobných galaxií, uvedených v Holmbergově katalogu [4], 87 je uspořádáno tak, že nesporně patří k typu Lichoběžníka. Pouze 27 soustav je obyčejného typu, zatím co 18 zbývajících patří k přechodnému typu, neboť v každé z nich lze najít tři galaxie, u nichž největší a nejmenší vzdálenost mezi nimi jsou v poměru 2,5—3,0.

O četnosti násobných soustav typu Lichoběžníka svědčí to, že i nám nejbližší soustava — mlhovina v Andromedě s nejbližšími dvěma svými sousedními — je typu Lichoběžníka. Pokud jde o naši Galaxii, ta se dvěma Magellanovými oblaky tvoří soustavu přechodného typu. Naproti tomu ve velkém počtu násobných hvězd, ležících blízko nás, dejme tomu blíže než 50 pc, nenajdeme ani jednu soustavu typu Lichoběžníka.

Tento protiklad mezi charakterem seskupení násobných hvězd a násobných galaxií lze dobře ilustrovat na tomto příkladě: Na *obr. 1* jsou pozorovaná seskupení šesti visuálních násobných hvězd, jejichž hlavní složky mají největší zdánlivou jasnost. Měřítka je pro různé násobné hvězdy různé, to však nemá vliv na určení charakteru konfigurace. Z obrázku je patrné, že všech šest skupin tvoří soustavy, které patří zřejmě k obyčejnému typu. Na *obr. 2* jsou konfigurace šesti násobných galaxií, jejichž hlavní složky mají největší zdánlivou jasnost ze všech násobných soustav Holmbergova katalogu. Je ihned patrné, že všechny jsou soustavami typu Lichoběžníka. Ke konečnému řešení otázky,

$\alpha$ Leo	$\beta$ Ori	$\alpha$ Gem
$\epsilon$ Hya	$\iota$ UMa	$\beta^2$ Sco

*Obr. 1. Konfigurace nejjasnějších násobných hvězd podle Aitkenova katalogu.\*)*

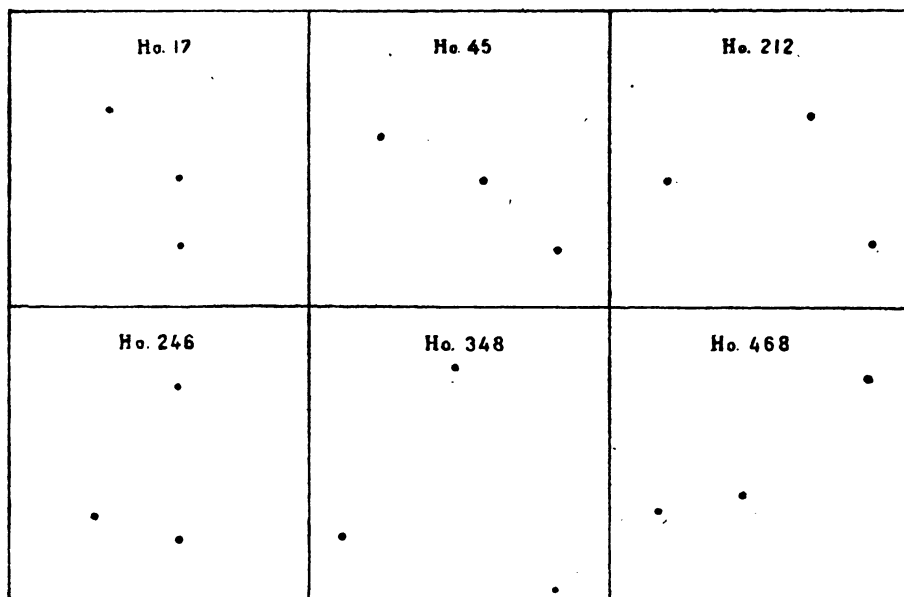
jak je uvedená vlastnost rozšířena, byly vybrány násobné galaxie z katalogu 2778 mlhovin, sestaveného Amesem [5]. Když bylo za horní mez vzdáleností mezi složkami zvoleno 2', 5, bylo vybráno z tohoto katalogu 76 násobných soustav (s násobností 3 a více). Většina z nich byla typu Lichoběžníka. Aby pozorovaný počet soustav typu Lichoběžníka nebyl ovlivněn počtem optických soustav, byla studována spojení dvojných galaxií a na základě toho byl stanoven pravděpodobný počet optických násobných soustav při různých hodnotách maximální vzdálenosti mezi složkami, t. j. případů, kdy se náhodné osamělé galaxie promítají jako dvojně. Ukázalo se, že je-li zvolena mezní vzdálenost mezi složkami 1', 3 pak procento optických násobných soustav bude zcela nepatrné. Takových těsných soustav bylo nalezeno 17. Při tom se ukázalo, že z těchto 17 soustav jen jedna má konfiguraci obvyklého typu a jednu lze zařadit jako typ přechodný. To znamená, že 15 ze 17 soustav je typu Lichoběžníka. Omezíme-li tedy soubor na velmi těsné soustavy, procento soustav obvyklého typu ještě klesne. Je tedy zcela nepochybné, že mezi fyzikálními násobnými soustavami značně převládají soustavy typu Lichoběžníka, zatím co obvyklé soustavy se vyskytují zřídka.

Na *obr. 3* a *4* jsou konfigurace uvedených 17 násobných soustav, při čemž soustavy z *obr. 3* patří k nejtěsnějším — vzdálenost jednotlivých složek k nejbližší nepřesahuje 0', 8.

Uvedeme ještě jedno porovnání, potvrzující výše uvedený závěr. Vezmeme nejtěsnější soustavu ze všech pozorovaných jasných násobných galaxií. Tato soustava, jejíž hlavní složkou je NGC 6027, byla objevena Seyfertem [6] v souhvězdí Hada. Skládá

\*) V *obr. 1* má být  $\beta^1$  — Sco místo  $\beta^2$  — Sco (*Pozn. red.*)

se ze 6 galaxií. Na obr. 5 je znázorněna schematická konfigurace této soustavy ve srovnání s konfigurací nejjasnější šestinasobné hvězdy — Castora. Při tom každá ze tří vizuálních složek Castora, spektroskopická dvojhvězda, je zobrazena jedním bodem, protože při daném měřítku obě složky splývají. Je zřejmé, že i toto srovnání potvrzuje závěr o tendenci násobných galaxií tvořit soustavy typu Lichoběžníka. Je však třeba mít na zřeteli, že na procentuální množství soustav typu Lichoběžníka mezi násobnými soustavami může mít značný vliv výběr pozorovacích údajů. Nelze proto bez dalšího zkoumání tvrdit, že počet soustav typu Lichoběžníka mnohokrát nebo při nejmenším několikrát převyšuje počet soustav obvyklého typu.



Obr. 2. Konfigurace šesti nejjasnějších násobných galaxií Holmbergova katalogu.

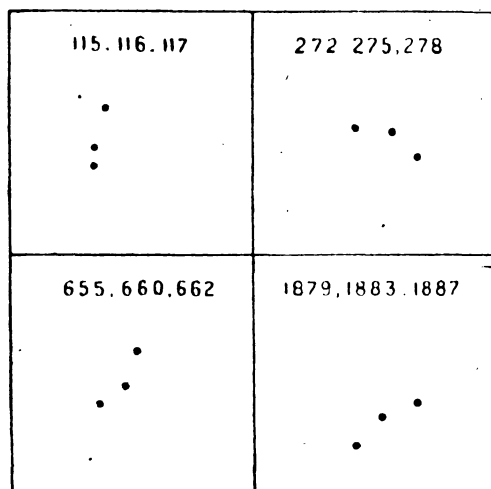
O značném vlivu výběru na výše uvedené údaje se lze přesvědčit takto: Zkoumejme kritérium, podle něhož byly dvě galaxie považovány za jednu násobnou soustavu. Podle předmluvy k Holmbergovu katalogu bylo požadováno, aby byla splněna podmínka

$$\frac{\text{vzájemná vzdálenost}}{\text{součet průměrů}} < 2.$$

Předpokládáme-li, že průměry jsou si zhruba rovny, dostaneme podmínku, že vzájemná vzdálenost má být menší než 4 průměry galaxie. Mějme nyní trojnou soustavu  $A$ ,  $B$ ,  $C$  obvyklého typu, kde  $A$  a  $B$  tvoří těsnou dvojici a  $C$  je vzdálený souputník. Jestliže se  $A$  a  $B$  vzájemně dotýkají, pak jejich vzdálenost je rovna jednomu průměru galaxie. V tomto případě vzdálený souputník, na základě uvedeného Holmbergova kritéria, nemůže být ve vzdálenosti větší než 4 průměry od jedné ze složek těsné dvojice. To znamená, že v trojné soustavě maximální hodnota  $K$  poměru největší vzdálenosti k nejmenší nemůže být větší než 5. Holmbergovo kritérium tedy vědomě vylučuje všechny soustavy, kde by bylo  $K > 5$ . A v případech, kdy vzdálenost mezi těsnou dvojicí je větší než dva průměry, jsou všechny soustavy obvyklého typu vůbec vyloučeny.

Do Holmbergova katalogu mohly tedy být zahrnuty jen ty soustavy obvyklého typu, u nichž vzájemná vzdálenost těsné dvojice je mezi 1,0 a 2,0 průměry galaxie, a jistá část těchto soustav (s relativně velkými hodnotami  $K$ ) nemohla být do katalogu pojata.

Aby bylo možno opravit výsledky pozorování o vliv výběru, je třeba znát zákon rozložení trojných galaxií v závislosti na vzdálenosti mezi členy těsné dvojice a na vzdálenosti třetího souputníka. Tento zákon bohužel neznáme. Připustíme-li však, že je podobný zákon rozložení trojných hvězd, pak podle hrubého odhadu je třeba poměrný počet systémů obvyklého typu několikrát zvýšit, ne však více než pětkrát.



Obr. 3. Čtyři nejtěsnější soustavy Amesova katalogu. Vzdálenost mezi složkami nepřesahuje  $0,8$ . Čísla udávají označení galaxií, jež tvoří skupinu, podle Amesova katalogu.

Proto i po opravě na vliv výběru dojdeme k závěru, že procento soustav obvyklého typu je několikrát menší nebo v nejlepším případě stejné jako procento soustav typu Lichoběžníka. Zůstává tedy nesporné, že mezi soustavy typu Lichoběžníka patří nejméně polovina všech násobných galaxií.

§ 3. Jak autor ukázal v případě násobných hvězd typu Lichoběžníka, každá taková soustava má buď kladnou nebo zápornou energii, je však natolik mladá, že hvězdy v ní stačily vykonat pouze několik oběhů. To musí být správné i pro násobné galaxie typu Lichoběžníka. Dále možno předpokládat, že značná část násobných soustav typu Lichoběžníka má kladnou energii, t. j. jsou to skupiny rozpadající se bezprostředně po svém vzniku, takže se složky vzájemně vzdalují na různé strany.

Přirozeně se zde naskytá otázka, lze-li ověřit nějakými fakty kladnost energie násobných galaxií typu Lichoběžníka. Svědčí o tom některé údaje týkající se relativních radiálních rychlostí dvojitých galaxií, jež jsou zcela nezávislé na faktech týkajících se konfigurace násobných galaxií.

Dosavadní znalosti o relativních pohybech násobných galaxií byly značně rozšířeny díky práci Page [7], která vyšla r. 1952. Nyní jsou určeny rozdíly radiálních rychlostí celkem u 35 dvojic.

Jelikož nemáme kvantitativní údaje o massách galaxií, tvořících tyto dvojice nebo násobné soustavy, do nichž některé z těchto dvojic patří, nelze určit přesnou číselnou hodnotu kinetické a potenciální energie těchto soustav, a proto ani znamená energie

pro každý případ. Zejména z tohoto důvodu naráží na obtíže pokusy o řešení otázky, existují-li mezi pozorovanými soustavami soustavy s kladnou energií. Přesto pomocí výše uvedených údajů o rozdílech radiálních rychlostí lze přistoupit k řešení této otázky statisticky.

229. IC 3053, 233, 235		265. 266. 267		321. 322. 325		367. 372. 374. 377. 380	
735, 738, 744		770. 785. 790. 793. 798		2101. 2102. 2103		817. 822. 825	
1144, 1148 IC 3374	1565, 1566 1568, 1557	1736, 1737 1739	1859, 1864 1861	IC 3756, IC 3760, IC 815, 2131, 2132 2134, 2135			

Obr. 4. 13 soustav Amesova katalogu, u nichž jsou vzdálenosti mezi složkami v mezích 0',9—1',3. Číslo udávají označení galaxií, jež tvoří skupinu, podle Amesova katalogu.

Především je zajímavé, že u uvedených 35 dvojic nepozorujeme systematický pokles radiálních rychlostí, zvětšují-li se vzájemné vzdálenosti složek v projekci na nebeskou sféru. Takový pokles by musel v průměru nastávat, je-li pohyb ve všech dvojicích eliptický (t. j. energie je záporná) a massy soustav nezávisí na vzdálenostech mezi složkami. U některých dvojic, v nichž jsou vzdálenosti mezi složkami značné, se zároveň ukazuje velký rozdíl.

Označíme-li  $v$  relativní rychlost uvnitř dvojnás soustavy, a  $r$  vzdálenost mezi složkami, pak věta o viriálu, aplikovaná na dvojnás galaxii, bude mít tvar

$$\overline{v^2} = GM \frac{1}{r} = GM \frac{\cos \theta}{\varrho},$$

kde  $M$  je celková masa soustavy,  $\varrho$  je vzdálenost v projekci,  $\theta$  je úhel mezi polohovým vektorem  $r$  a tečnou rovinou k nebeské sféře, a střední hodnoty jsou průměrné vzhledem k času.

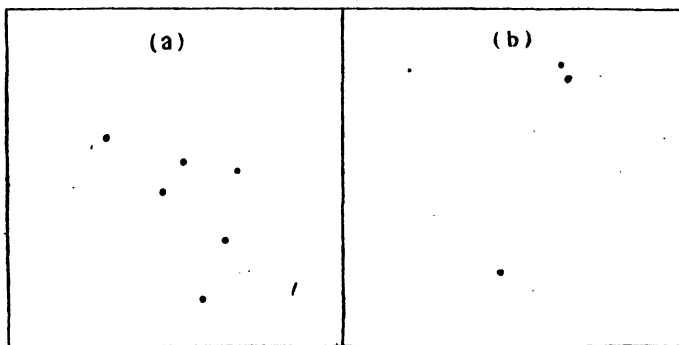
Najdeme-li střední hodnoty jak vzhledem k času, tak i vzhledem k různým dvojicím, lze psát

$$\overline{v^2} = 3 \overline{v_z^2},$$

kde  $v_z$  je složka relativní rychlosti ve směru zorného paprsku. Z toho dostaneme

$$G \frac{\overline{M \cos \theta}}{\varrho} = 3 v_z^2.$$

Při uvedeném dvojím výpočtu středních hodnot lze veličiny  $M$ ,  $\cos \theta$  a  $\varrho$  pokládat prakticky za vzájemně nezávislé, a proto uvážíme-li, že  $\overline{\cos \theta} = \frac{\pi}{4}$ , a označíme-li  $\varrho'$  harmonický průměr hodnoty  $\varrho$ , dostaneme



Obr. 5. a) Konfigurace šestinasobné galaxie v souhvězdí Hada. b) Šestinasobná hvězda Castor. Každý z bodů představuje dvě složky, které tvoří spektroskopickou dvojhvězdu. Castor sestává ze tří spektroskopických dvojhvězd.

$$GM = \frac{12}{\pi} \varrho' v_z^2. \quad (1)$$

Rovnice (1) platí pouze po výpočtu střední hodnoty podle času v každé dvojici a následujícím výpočtu střední hodnoty vzhledem ke galaxiím různě orientovaným. Proto hodnoty veličiny

$$M' = \frac{12}{\pi G} \varrho' v_z^2 \quad (2)$$

vypočtené pro každou dvojici z hodnot  $\varrho$  a  $v$ , zjištěných v okamžik pozorování, se mohou lišit od skutečné massy.

Ovšem jen ve velmi řídkých případech se tento výraz může lišit od massy soustavy desetkrát, platí-li náš základní předpoklad o zápornosti energie každé dvojice.

Zvláště je třeba přihlédnout k této okolnosti: je-li energie dvojice záporná, pak kinetická energie je menší než absolutní hodnota potenciální energie, t. j. platí nerovnost

$$\frac{v^2}{2} < \frac{GM}{\varrho} \cos \theta,$$

na základě čehož lze psát

$$v_z^2 < v^2 < \frac{2GM}{\varrho} \cos \theta < \frac{2GM}{\varrho},$$

neboli

$$M > \frac{\varrho v_z^2}{2G}. \quad (3)$$



Tato nerovnost už platí pro každou jednotlivou dvojici a pro libovolný okamžik pozorování. První část této nerovnosti se liší od výrazu (2) o koeficient  $\frac{\pi}{24}$ . Takto se přesvědčíme, že skutečná massa každé galaxie v žádném případě nemůže být menší než výraz (2) více než  $\frac{24}{\pi} = 7,6$  krát. Pokud jde o horní mez opravného koeficientu, kterého je třeba, abychom z výrazu (2) dostali skutečnou massu galaxie, tedy bezpodmínečná horní hranice neexistuje. Ovšem, jak bylo ukázáno, lze předpokládat, že opravný koeficient bude větší než 10 jen ve velmi řídkých případech.

¶ To znamená, že kdyby všechny dvojice měly stejnou massu, pak hodnoty  $M'$  (vyjma ojedinělých případů) by se nesměly navzájem lišit více než 80krát. Zatím však pozorované hodnoty  $M'$  se vzájemně liší někdy až  $10^4$ krát.

Je tedy nutno připustit, že massy galaxií se navzájem velmi liší. Při analýze svých pozorování Page usoudil, že mezi galaxiemi existují „obří“ s massami řádově  $150 \cdot 10^9 M_{\odot}$  a „trpasličí“ s massami řádově  $5 \cdot 10^9 M_{\odot}$ .

Je zcela možné, že takové rozdíly v massách pozorovaných dvojic skutečně existují. Při tom je zvlášť pozoruhodné, že tři ze čtyř dvojic, pro něž má  $M'$  nejvyšší hodnotu, patří k násobným galaxiím s třemi nebo více složkami. To přimělo autora, aby se zabýval statistikou hodnot  $M'$ , nebo což je totéž, součinů  $\varrho v^2$  (tento součin se liší od  $M'$  pouze o konstantní faktor) zvlášť pro dvojně galaxie a pro ty dvojice, jež patří k násobným galaxiím. Z výše uvedených 35 dvojic je 24 dvojných galaxií a 11 dvojic, patřících do násobných galaxií. Když byly v každé z obou skupin dvojice seřazeny podle rostoucích hodnot  $\varrho v^2$ , byla každá skupina rozdělena na tři podskupiny o stejném počtu členů tak, že do první podskupiny byly zařazeny dvojice s nejmenšími hodnotami  $\varrho v^2$ , do druhé se středními a do třetí s největšími hodnotami této veličiny. Nato byla určena střední hodnota  $\overline{\varrho v^2}$  pro každou podskupinu. V tabulce jsou uvedeny tyto hodnoty v jednotkách  $10^{13} \frac{\text{astr. jedn. km}^2}{\text{sec}^2}$ .

Tabulka středních hodnot

Podskupina	I	II	III
Dvojně galaxie . . . . .	0,01	0,42	4,8
Násobné galaxie . . . . .	0,06	1,6	21

Jak je vidět, střední hodnota  $\varrho v^2$  v každé podskupině násobných galaxií je zhruba 5krát větší než v odpovídajících podskupinách dvojných galaxií.

Jsou-li naše předpoklady správné, znamenalo by to, že massa násobných galaxií je přibližně pětkrát větší než massa dvojných galaxií. Ovšem v průměru musí být massy násobných galaxií o něco větší než massy dvojných galaxií, vzhledem k tomu pak i součiny musí být o něco větší. Ale uvážíme-li, že většina násobných galaxií jsou trojčlenné soustavy, a dále to, že radiální rychlosti se určovaly pro dvě nejjasnější, a tedy i zpravidla nehmotnější složky, musíme předpokládat, že rozdíl není v průměru větší než poloviční. Uvážíme-li i některé možné výběrové efekty, může být tento vztah stěží větší než 2. Zůstává tedy rozdíl přibližně trojnásobný, což lze těžko objasnit.

Tento rozdíl mezi středními hodnotami zřejmě není způsoben možnými rozdíly v massách, vyplývajícími z rozdílných fyzikálních typů galaxií. Docházíme proto k závěru, že náš základní předpoklad, z něhož se vycházelo při výpočtech, totiž že každá

soustava má celkovou energii zápornou, je nesprávný. Stačí připustit, že mezi násobnými galaxiemi je větší procento soustav s kladnou energií, rozpadajících se relativně většími rychlostmi, než mezi dvojnými galaxiemi, a všechny nesrovnalosti budou objasněny.

Je ovšem otázka, zda předpoklad o mnohem větším procentu soustav s kladnou energií mezi násobnými galaxiemi ve srovnání s dvojnými galaxiemi není právě tak nepravděpodobný, jako výše zamítnutý předpoklad, že galaxie tvořící násobné soustavy mají průměrně mnohem větší hmotu než složky dvojných galaxií. Odpověď na tuto otázku dostaneme z výsledků předcházejícího paragrafu. Tam bylo ukázáno, že většina násobných soustav, zahrnutých v katalozích, je soustavami typu Lichoběžníka, a tedy lze očekávat, že mezi nimi bude velký počet soustav s kladnou energií. Zcela jinou situaci máme v případě násobných soustav, jejichž převážná většina má zřejmě zápornou energii.

Tedy údaje, týkající se relativních radiálních rychlostí v dvojných a násobných galaxiích, svědčí o tom, že mnoho z těchto násobných soustav má kladnou energii. Ovšem vzhledem k tomu, že nemáme dostatečné množství údajů o rozdílech radiálních rychlostí u dvojic galaxií, je třeba řešit tuto otázku dále na podkladě bohatšího materiálu.

§ 4. Tvrzení o nestabilitě hvězdných násobných soustav typu Lichoběžníka se zápornou energií je ovšem správné jen potud, pokud mají hvězdy řádově stejné hmoty. Analogicky i v případě násobných galaxií s kladnou energií bude tvrzení o jejich nestabilitě správné jen v tom případě, budou-li hmoty jednotlivých složek řádově stejné. Bude-li hmotnost jedné složky mnohokrát větší než hmoty ostatních složek, pak tvrzení o nestabilitě bude obecně nesprávné. Tak na př. Slunce, Země a Mars tvoří soustavu, kde všechny 3 vzdálenosti mezi složkami jsou obvykle řádově stejné. Přesto je tento „systém“ stabilní. Bylo by proto neopatrné dělat závěry o nestabilitě u takových násobných galaxií typu Lichoběžníka, jako je na př. mlhovina v Andromedě, jejíž souputníci mají podle všeho hmoty mnohokrát menší, než je hmotnost centrální mlhoviny. Existuje ovšem velké množství galaxií typu Lichoběžníka, kde svítivosti složek jsou řádově stejné, z čehož lze soudit, že i hmoty jsou řádově stejné velké.

Tak na př. soustava Holmberg 124, uvedená na obr. 2, sestává z galaxií, jejichž zdánlivé hvězdné velikosti jsou 13,2, 13,6, 14,9. I v jiných případech, uvedených v obr. 2, jsou rozdíly velikostí mnohem menší než je tomu u násobné soustavy v Andromedě. Proto většina násobných galaxií, o nichž se mluvilo v § 2, je nestabilní a jsou to relativně mladé objekty.

§ 5. Názor, který byl na počátku této stati vysloven o současném vzniku složek násobných galaxií, je ovšem založen na předpokladu, že látka, tvořící násobnou soustavu, byla původně v celistvém objektu, který se potom rozdělil na dvě nebo několik galaxií. Je ovšem pochopitelné, že mezi touto počáteční a pozdější fází úplného odtržení složek násobných galaxií může existovat přechodné období, během něhož tyto složky, třebaže jsou samostatnými objekty, jsou přece spolu spojeny jakýmsi „mosty“, pokračováním spirálních větví a příčkami. Zwicky ukázal, že mezi složkami násobné galaxie jsou často pozorovány takové mosty a spojovací větve. V Coudercově stati [8], věnované Zwickyovým pracím, je uvedena fotografie pozoruhodné trojice spirálních galaxií, objevené Wildtem. U dvou složek je zřetelně vidět most, který je pokračováním příslušných větví dvou galaxií. Zároveň může být Wildtova soustava názorným příkladem trojné soustavy typu Lichoběžníka. Jinými slovy, je tato soustava nepochybně mladým objektem.

Jestliže však příčky mezi galaxiemi, tvořícími násobnou soustavu, geneticky souvisí se spirálními větvemi, lze z toho vyvodit, že proces formování větví má úzkou souvislost s procesem vzniku a dělení složek násobné soustavy. Pro to svědčí též Vaucouleursovy

údaje o spirálních větvích, které spojují naši Galaxii s jejími souputníky — Magellano-vými oblaky.

S tohoto hlediska můžeme považovat známé nahuštění na periferii spirální soustavy v Honicích psecch — M 51 (NGC 5194—5195), které je na konci jedné ze spirálních větví, za souputníka této soustavy, který je spojen se základní soustavou mohutnou spirální větví. Tak docházíme k představě dvojných galaxií, v nichž se obě složky vzájemně dotýkají.

Rozvineme-li tento názor, dojdeme k závěru o možnosti existence velmi těsných dvojic galaxií, t. j. vzájemně se pronikajících soustav, v nichž je střed jedné galaxie ponořen hluboko uvnitř druhé.

§ 6. Je známo, že jedním ze způsobů určování průměrných mass galaxií je použití věty o viriálu na kupu galaxií. Za předpokladu, že kupa má zápornou energii a je v rovnovážném stavu, dostaneme z věty o viriálu

$$v^2 = \frac{GM}{2R}.$$

Ze známých údajů o radiálních rychlostech se snadno určí střední kvadrát rychlosti vzhledem k těžišti kupy  $v^2$  a poloměr kupy se snadno určí, je-li známa vzdálenost. Tuberg [9] tímto způsobem zjistil pro kupu galaxií v souhvězdí Panny  $M = 500 M_g$ , kde  $M_g$  je massa Galaxie. Do tohoto výsledku je třeba zahrnout revisi škály vzdáleností, takže poloměr této kupy musí být alespoň zdvojnásoben. Pak správný odhad bude  $M = 1000 M_g$ . Naproti tomu počet galaxií do —11. absolutní velikosti kupy v Panně nepřesahuje 2000. Zanedbáme-li massy všech menších galaxií, dostaneme pro střední

massu členů kupy v Panně  $\frac{1}{2} M_g$ . Je však známo, že velká většina z těchto dvou tisíc

galaxií jsou trpasličí galaxie o absolutních velikostech mezi —15 a —11. Jak se zdá, massy těchto trpaslíků nemohou převyšovat 0,01  $M_g$ . Odporuje tedy velikost celkové massy, takto zjištěná, údajům o počtu a svítivostech galaxií této skupiny. Smith se pokusil tento nesouhlas vysvětlit předpokladem o velké masse mezihvězdné hmoty, která je obsažena v kupě. Stojí za zmínku, že již Hubble [10] ve své knize zdůrazňoval hloubku a závažnost tohoto nesouhlasu. Mnohem větší nepoměr byl zjištěn u kupy v Coma Berenices. Již z Tubergových výpočtů vyplývalo, že massa této kupy je 8000  $M_g$ . Avšak na základě nových údajů o škále vzdáleností je třeba lineární poloměr kupy zčtyřnásobit. Proto dostaneme  $M = 32000 M_g$ . Z posledních prací Zwickyho [11] je při tom známo, že vyšetřovaná kupa obsahuje nejvýše 10000 galaxií jasnějších než —13. absolutní velikosti, z nichž většina je nízké svítivosti o absolutní velikosti menší než —15. Přisoudíme-li též značnou část massy na účet slabých objektů, které Zwicky do svých výpočtů nezahrnul, přece se zjistí, že každá ze zmíněných 10000 galaxií má massu řádově 2  $M_g$ . Zatím však i v tomto případě je možno počítat s tím, že ve skutečnosti jen několik set nebo desítek galaxií má massy mezi 0,2  $M_g$  a 2  $M_g$  a massy ostatních se pohybují jen v setinách  $M_g$ . Podle toho by celková massa kupy byla řádově 1000  $M_g$ . Zjistěný nesouhlas činí 1,5 řádu. Zwicky se snaží vysvětlit tento nesouhlas výskytem ohromného množství mezagalaktické látky uvnitř kupy. Poznamenejme, že i Schwarzschild [12] upozornil na výjimečně velké hodnoty poměru  $f = \frac{M}{L}$ , které byly zjištěny v tomto případě podle věty o viriálu. Zdá se nám však, že dokonce i hodnota  $f = 800$  pro kupu v Coma Berenices je podceněna, jelikož při jejím odhadu byly přijaty předpoklady vedoucí ke snížení hodnoty  $f$ .

Některé údaje svědčí pro to, že v kupě Coma Berenices existuje určité známé množství mezagalaktické látky. Je ovšem otázka, zda massa této látky může desetkrát pře-

vyšovat celkovou massu galaxie. Jelikož mezigalaktické útvary připomínají svým vnějším vzhledem spíše vnější části spirálních ramen než koncentrovaná jádra galaxií, vyplývá z toho, že není zatím opodstatněné připisovat této látce obzvláště velké hodnoty poměru  $f$ . Zatím pouze hodnoty  $f$  řádu  $10^5$  a větší pro galaktickou hmotu mohou objasnit pozorovaný rozdíl.

Avšak tento rozpor může být jednoduše a přirozeně vysvětlen, připustíme-li, že kupa v Coma (a možná i kupa v Panně) je soustavou, která má kladnou energii, t. j. představuje rozpadající se skupinu galaxií. V tom případě je věta o viriálu nepřipustná a kinetická energie může mnohonásobně převyšovat absolutní velikost potenciální energie.

V souvislosti s tímto závěrem můžeme se zmínit ještě o jedné okolnosti, svědčící o nestacionárnosti některých kup galaxií. Jak mě upozornil Markarjan, existuje v kupě v Panně řetězec jasných galaxií. Do skupiny tohoto řetězku patří mimo jiné obří eliptické soustavy M 84 a M 86. Těžko lze připustit, že tento řetězec je důsledkem náhodné projekce.

Připustíme-li, že mezi kupami galaxií existují soustavy s kladnou energií, vyplývá z toho, že kupa typu Coma vznikla v důsledku rozšíření dříve těsné soustavy galaxií.

K rozšíření kupy na nynější rozměry bylo třeba asi půl druhé miliardy let.

§ 7. Při posuzování otázky o výběrovém efektu seznamu násobných galaxií v § 2 jsme přijali názor, že vzájemná vzdálenost středu dvou galaxií nemůže být menší než součet jejich poloměrů. Avšak při pečlivém výzkumu popisů galaxií není těžké rozeznat dvojitost i v těch případech, kdy vzájemná vzdálenost je poněkud menší než součet poloměrů. Je-li menší než poloviční součet poloměrů, pak rozpoznání dvojitosti může být obtížné, neboť zjištěný obraz může být způsoben složitostí galaxie samé.

Avšak průměr galaxie je dosti neurčitou veličinou. Jeho hodnota vždy závisí na mezní registrovatelné povrchové jasnosti. Při fotografických pozorováních závisí na citlivosti desky a na expozici. V mnohých případech, kdy se dvě galaxie zdají navzájem oddělenými, lze zjistit prodloužením expozice vzájemné překrývání zobrazení.

Proto se lze domnívat, že dvojných a násobných galaxií, v nichž se složky navzájem překrývají, je mnohem více než se na první pohled zdá. Tak na př. oba souputníci mlhoviny v Andromedě se alespoň v projekci s ní překrývají.

Nejzajímavější je však možnost takových případů, kdy vzájemné proniknutí je velmi hluboké, na př. kdy jádro jedné galaxie je uvnitř centrální části druhé galaxie.

Některé takové velmi těsné soustavy pozorujeme jako radiové galaxie. Nejzřejmějšími příklady toho jsou zdroje radiového záření Cygnus *A* a Centaurus *A*.

Jak známo, posledně zmíněný objekt byl ztotožněn se zvláštní galaxií NGC 5128, která podle Baadeho [13], představuje zajímavou kombinaci eliptické a spirální soustavy se středy v projekci téměř totožnými.

Možné vysvětlení Baadeho a Minkowského, kteří pokládají radiové záření zvláštních galaxií, a tedy i NGC 5128 zvláště, za výsledek náhodné srážky dvou dříve nezávislých galaxií, vyvolalo námitky Šklovského [14] a Millse [15]. Mimo to má i tu slabou stránku, že neobjasňuje, proč je třeba ke vzniku radiového záření centrální nebo téměř centrální srážky. Kromě toho, jak nyní uvidíme, je pravděpodobnost takové srážky nesmírně malá.

Z hodnoty zdánlivé hvězdné velikosti a úhlových rozměrů NGC 5128 se snadno zjistí, že její vzdálenost leží v takových mezích, že buď patří do místní soustavy, nebo náleží k celkovému metagalaktickému poli, při čemž je nedaleko od místní soustavy. Hustota celkového metagalaktického pole je tak malá, že pravděpodobnost centrální srážky v tomto poli v tak blízké vzdálenosti od nás je naprosto zanedbatelná. Proto

přijmeme předpoklad, při němž pravděpodobnost centrální srážky je mnohem větší, t. j. připustíme na chvíli, že NGC 5128 patří do místní soustavy galaxií.

Podrobnější výpočet ukazuje, že i tato pravděpodobnost  $P$  je velmi malá, totiž

$$P < 10^{-11},$$

t. zn. z  $10^{11}$  skupin galaxií, podobných naší místní soustavě, pouze v jedné v náhodně vybraný okamžik budeme pozorovat podobné těsné přiblížení.

Naproti tomu existují skutečnosti, svědčící o tom, že „radiové galaxie“, které se zdají být překrytím dvou soustav, jsou pozorovány i v jiných kupách galaxií. To je ukázáno Baadem [13] na příkladu kupy galaxií v Perseu.

Tyto skutečnosti svědčí o nepravděpodobnosti hypotézy o srážkách. Jestliže ji opustíme, dojdeme k představě o velmi těsných dvojicích vzniklých galaxií, které z nějakých důvodů mohou být zdroji intenzivního radiového záření. Přijmeme-li takovou představu, pak i Cygnus  $A$ , kde máme nejmocnější radiové záření a překrytí obrazů dvou galaxií, je třeba považovat za zvláštní případ velmi těsné soustavy, jejíž složky mají společný vznik.

Ve prospěch této domněnky svědčí i to, že zdroj Cygnus  $A$  podobně jako zdroje spojené s galaxiemi NGC 5128, 2175 a 4486, odpovídají obřím galaktickým soustavám jak co do jejich absolutní velikosti tak i podle průměru (absolutní velikost, dosahující přibližně  $M = -20$ , průměr řádově 20000 parsec).

Jak je známo z prací Zwickyho, týkajících se funkce svítivosti galaxií, počet galaxií rychle roste se zmenšováním svítivosti. Proto srážka dvou galaxií o nízké absolutní jasnosti je několik desetitisíckrát pravděpodobnější než srážka dvou nadobřích galaxií. Bylo by tedy v tom případě podivné, kdyby zároveň s Cygnem  $A$  nebylo pozorováno alespoň několik desítek zdrojů radiového záření, vzniklých srážkou galaxií o nižší svítivosti ve vzdálenostech mnohem menších, než je vzdálenost Cygnu  $A$ . Je pravda, že radiové záření při tom vznikající by bylo slabší, to však by se kompensovalo menší vzdáleností takové dvojice. Proto by bylo možno očekávat od nich proud záření téhož řádu jako od Cygnu  $A$ . Zatím takové případy nejsou pozorovány.

§ 8. Zůstaňme na chvíli u možných kinematických a dynamických zvláštností velmi těsných dvojic galaxií. Při tom si z počátku odmyslíme v takové soustavě difusní látku a předpokládáme, že je tvořena pouze hvězdami. Pak jsou dvě možnosti. První spočívá v tom, že velmi těsná soustava představuje dvojnou galaxii s celkovou energií kladnou. V tom případě musí být v počáteční etapě rychlosti dvou galaxií navzájem tak velké, aby bylo umožněno úplné odtržení a vzájemné vzdalování do nekonečna. Relativní rychlosti hvězd uvnitř každé galaxie budou v tom případě malé ve srovnání s rychlostí vzdalování galaxií. Proto rušivý vliv každé galaxie na pohyb hvězd v druhé galaxii nebude příliš velký a povede pouze k jistému narušení formy každé galaxie.

Podstatné je v tomto případě to, že počáteční okamžik vzdalování dvou soustav musel by být okamžikem jejich vzniku, jakožto samostatných dynamických jednotek a formování samých galaxií by tedy muselo probíhat v době jejich vzájemného vzdalování. Z takové představy je však těžké vysvětlit, jak by mohl vznik hvězd na celém úseku každé galaxie předejít vzájemnému vzdalování. Zatím pozorované velmi těsné soustavy představují již dříve zformované galaxie.

Proto se zdá přirozenější ta varianta, že nejprve existovala pouze jedna galaxie, jejíž jádro se rozdělilo na dvě části a jedno z nich nebo i obě dvě jádra (o masse řádově stejné) se vzájemně vzdalují hvězdným systémem už vytvořeným. Je-li jedno z jader značně menší než druhé, pak větší z nich si může zachovat v existující hvězdné soustavě téměř centrální postavení, zatím co vyvržená menší massa se bude vzdalovat. Takový případ

nastal zřejmě u radiové galaxie NGC 4486, kde skutečně došlo k vyvržení proudu z centrálního jádra.

Druhou možností je případ, kdy z počátku došlo k rozdělení nějakého prvotního tělesa na dvě jádra, která se začala navzájem vzdalovat, při čemž celková energie takto vzniklé soustavy byla od samého počátku záporná, t. j. rychlost vzdalujících se jader byla nevelká. Obě jádra by měla pokračovat v pohybu kolem společného těžiště. Při dalším vývoji každé z jader mohlo dát vznik celé galaxii, jejíž rozměry by byly mnohem větší než střední vzdálenost mezi jádry. Za těchto podmínek dostaneme dvě navzájem se prostupující soustavy, podobné NGC 5128 a Cygnu *A*. Avšak v takovém velmi těsném páru bude každé jádro značně působit na pohyb hvězd druhé galaxie a v podstatě zjistíme jednotný obal, sestávající z hvězd, a dvě jádra. Po nějaké době se musí narušit i dynamická nezávislost jader, zvláště když do sebe periodicky pronikají (to vyplývá ze zákonů nebeské mechaniky). Dynamika takového jevu vyžaduje speciální analýsy, avšak můžeme se domnívat, že po nevelkém počtu kmitů kolem těžiště nastane splynutí obou jader.

Jak ve výše popsaném případě páru o kladné energii, tak i v právě popsaném případě vzniku páru se zápornou energií budeme pozorovat pár jako velmi těsnou soustavu pouze v počáteční periodě jejího vývoje. Později se velmi těsná soustava buď musí rozpadnout ( $\varepsilon > 0$ ), nebo se přemění v jedinou soustavu ( $\varepsilon < 0$ ).

V každé pozorované velmi těsné soustavě musí být obě galaxie nebo alespoň jedna z nich mladými útvary. Vzniká-li v této nejranější etapě vývoje nové galaxie též vrstva difusní látky, pak nejsou vyloučeny v tomto období bouřlivé procesy srážek mezihvězdných plynných oblaků, které byly předpokládány již v hypotéze o náhodné srážce galaxií, kterou jsme zavrhlí. Je možné, ačkoli to není dokázané, že právě tyto procesy jsou ve větší nebo menší míře příčinou mohutného radiového záření.

Viděli jsme, že podle výše uvedeného názoru, mohou existovat dva typy velmi těsných galaxií. Jeden z nich představuje soustava NGC 4486, druhý NGC 5128. Avšak v každé jednotlivé soustavě není tak snadné rozhodnout, ke kterému druhu daná velmi těsná soustava patří. Na př. je to těžké provést i pokud se týče objektu Cygnus *A*. Pouze zvláštní mohutnost radiového záření svědčí o tom, že se zde pravděpodobně jedná o velmi těsnou soustavu o kladné energii.

§ 9. Kromě případů, vyšetřovaných výše, si můžeme představit též takové případy, kdy se vzniklá jádra navzájem vzdálí na velmi značné vzdálenosti, a teprve potom se vyvíjejí skutečné hvězdné soustavy. V tom případě nebudeme pozorovat žádné velmi těsné páry nebo skupiny, nýbrž půjde o obvyklé široké páry nebo násobné soustavy o záporné nebo kladné energii.

Je tedy nutno považovat velmi těsné páry, pozorované ve formě radiových galaxií, za velmi mladé útvary. Avšak ne každá dvojná galaxie musí projít stadiem velmi těsné dvojice.

§ 10. *Závěry.* Mezi násobnými galaxiemi je značný počet soustav typu Lichoběžníka. To svědčí o současném vzniku galaxií, které tvoří násobné soustavy. Mnohé z galaxií představují soustavy o kladné energii, a proto u nich probíhá proces rozpadu.

Základním závěrem tohoto pojednání je to, že vznik násobných galaxií v Meta-galaxii probíhá i v naší epoše. Jelikož se však mnohé násobné soustavy rozpadají na jednotlivé galaxie, navzájem nezávislé, týká se toto tvrzení i jednotlivých galaxií.

Některé známky svědčí o tom, že některé kupy galaxií jsou nedávno vzniklé, nyní se rozpadající soustavy.

Jelikož poměr doby rozpadu násobné galaxie typu Lichoběžníka k délce života celé galaxie jako hvězdné soustavy je malý, přece však mnohokrát větší než poměr doby rozpadu násobné soustavy hvězd typu Lichoběžníka k délce života hvězdy jako člena galaxie, není možné chápat výrok o mládí galaxií, patřících do násobných soustav,

příliš úzce, a je možné, že tyto „mladé“ soustavy prošly značnou částí svého života. Tím je snad možné vysvětlit, že procento předpokládaných mladých galaxií, které může být odvozeno na základě výše rozvinutých názorů, je značně větší než procento mladých hvězd mezi všemi hvězdami.

Radiové galaxie mohou být opodstatněně považovány za mladé dvojice galaxií o kladné nebo záporné energii.

(Bjurovánská astrofyzikální observatoř  
Akademie věd Arménské SSR)

Zkráceně přeložil Jaroslav Ruprecht.

#### Literatura

- [1] Ambarcumjan, Astr. žurn., sv. 14, 207, 1937. Viz též „Evoljucija zvezd i fizika“, Izd. AN Arm. SSR, Jerevan 1947.
- [2] Zwicky, Public. of the Astron. Soc. of the Pacific, sv. 50, 218, 1938, sv. 64, 247, 1952.
- [3] Neyman, Scott, Shane, Astroph. Journ., sv. 117, 92, 1953.
- [4] Holmberg, Ann. of the Observatory of Lund, č. 6, 1937.
- [5] Ames, Harv. Ann., sv. 88, č. 1, 1930.
- [6] Seyfert, Public. of the Astr. Soc. of the Pacific, sv. 63, 72, 1951.
- [7] Page, Astroph. J., sv. 116, 63, 1952.
- [8] Couderc, l'Astronomie, sv. 68, 405, 1954.
- [9] Tuberg, Astroph. J., sv. 98, 501, 1943.
- [10] Hubble, *The Realm of the Nebulae*, New Heaven, 1937, str. 180.
- [11] Zwicky, Public. of the Astron. Soc. of the Pacific, sv. 63, 61, 1051, sv. 64, 247, 1952.
- [12] Schwarzschild, Astron. J., sv. 59, 273, 1954.
- [13] Baade, Astroph. J., sv. 119, 215, 1954.
- [14] Šklovskij, Astr. žurn., sv. 31, 483, 1954.
- [15] Mills, Observatory, sv. 74, 249, 1954.