

PROBLÉMY A PERSPEKTÍVY SÚČASNEJ ASTRONÓMIE

JÁN ŠTOHL, Astronomický ústav SAV, Bratislava

ŠTOHL, J.: Problems and Perspectives of Contemporary Astronomy. *Filozofia* 38, 1983, №. 2, p. 213—228.

In the paper topical problems of the structure and evolution of the universe are analyzed. The consequences of different velocities of the evolution of stars of different mass for the whole evolution of galaxies are shown. The question of the age of galaxies is studied in detail. Basing on the occurrence of the oldest known stars in all types of galaxies it is concluded that all galaxies are of the same age and rised in a single process 12—15 billion years ago. This conclusion, together with the confirmed one-way change of chemical composition of the universe and with further new evidence, unambiguously refutes both the conception of the stationary universe and the cyclic character of the evolution of cosmical objects. The discovery of relict background radiation with its high degree of isotropy confirms correctness of Fridman's models with the hot beginning of the evolution of the universe. In the end open problems of modern cosmology are presented.

Zvykli sme si už na to, že astronómia nám prináša neustále veľké, často nečakané objavy. Práve vďaka týmto objavom sa pred nami začína vytvárať ucelený obraz o grandióznych kozmických evolučných procesoch, zasahujúcich všetko, čo z vesmíru dosiaľ poznáme. Nie je toho málo: priemer skúmanej oblasti vesmíru dosahuje minimálne 20 miliárd svetelných rokov a nachádzajú sa v ňom prinajmenšom trilióny hviezd, sústredené do desiatok miliárd hviezdnych sústav, galaxií.

V štúdií chceme ukázať aspoň na niektoré aktuálne problémy a fakty, ktoré nám predkladá o štruktúre a evolúcii vesmíru súčasná astronómia. Začneme niekoľkými poznámkami všeobecnejšieho charakteru, a to najprv k problémom terminologického charakteru, menovite k používaniu termínu „vesmír“.

Aj zbežný pohľad do astronomickej a filozofickej literatúry stačí na to, aby sme zistili veľkú nejednotnosť v chápaní pojmu „vesmír“. V súlade so svetovým trendom v modernej kozmologickej literatúre prijala terminologická komisia Slovenskej astronomickej spoločnosti pri SAV túto definíciu: „Vesmír = kozmos — súbor všetkých fyzikálne interagujúcich objektov, ktoré je astronómia a kozmológia schopná obsiahnuť svojou teóriou a experimentálne-observačnou praxou.“ (1, s. 367) V štúdií sa budeme pridŕžiavať tejto definície. Je zrejmé, že takto chápaný pojem „vesmír“ nie je identický so všeobecnejším filozofickým pojmom „materiálny svet“, zodpovedá však presne cudzojazyčným termínom, bežne používaným v kozmológii: „vselennaja“, „the universe“, „das Universum“ atď.

Naše dnešné pomerne ucelené poznatky o evolúcii vesmíru sú výsledkom jedinečného spojenia výsledkov vysoko kvalitných pozorovaní

s hlboko rozpracovanými teoretickými konštrukciami, operajúcimi sa o moderné fyzikálne poznatky. Vďaka moderným pozorovacím technikám získava dnes astronómia informácie o vesmíre takmer v celom rozsahu spektra, od rádiového žiarenia cez infračervené žiarenie, viditeľné svetlo, ultrafialové žiarenie až po röntgenové žiarenie a gama lúče. Výsledkom týchto pozorovaní sú nielen úplnejšie informácie o vývoji jednotlivých kozmických objektov, ale aj celkom nové, nečakané objavy fundamentálneho významu. Viaceré z týchto objavov boli vynikajúcim potvrdením teoretických predpovedí; iné objavy boli celkom nečakané a postavili pred teoretikov nové neľahké problémy.

Pri teoretickej interpretácii pozorovaných javov, ale aj pri formulovaní teoretických predpovedí mimoriadne účinnou a plodnou sa ukázala byť Einsteinova všeobecná teória relativity, ktorú možno právom považovať za dnes najvšeobecnejšiu gravitačnú teóriu. Relativistická kozmológia, za rozpracovanie ktorej popri Einsteinovi vďačíme predovšetkým Fridmanovi a Lemaitrovi, spolu s relativistickou teóriou gravitačného kolapsu a čiernych dier, na ktorej pracujú najmä Penrose, Hawking, Novikov, Zel'dovič a mnohí ďalší, privádza nás k nevídaným poznatkom nielen o vývoji vesmíru v jeho najširších známych meradlách, ale aj o najzákladnejších fyzikálnych zákonitostiach v extrémnych stavoch hmoty, vymykajúcich sa skúmaniu „pozemskej“ fyziky, ktoré však môžu v konečných dôsledkoch viesť doslova k prebudovaniu modernej fyziky.

Náš dnešný pohľad na vesmír je dôsledne dynamický. Radikálne sa odlišuje od pohľadu na vesmír, ktorý bol samozrejmosťou až do dvadsiatych rokov nášho storočia a pretrvával u mnohých donedávna, u niektorých dokonca dodnes. Starý statický pohľad nám predstavoval vesmír v dostatočne veľkých meradlách nemenný, s absolútnym neohraničeným priestorom a časom euklidovskej geometrie. V dnešnom evolučnom pohľade expandujúceho vesmíru s možným zakriveným priestoročasom sa nám na všetkých úrovniach odhaľuje a dopĺňa mozaika evolučných kozmických procesov; ukazuje a dôsledne sa potvrdzuje všeobecná platnosť princípu evolúcie vo vesmíre; ukazuje a dôsledne sa potvrdzuje materiálna jednota sveta; ukazuje sa úzka vzájomná spojitosť evolučných procesov a štruktúrnosti kozmických objektov, nezriedka v zdanlivo vzájomne celkom nesúvisiacich situáciách. V našom dnešnom pohľade si však začíname zvykať i na celkom nový prístup k problematike priestoru a času, k chápaniu konečného a nekonečného, ohraničeného a neohraničeného. Súčasná relativistická kozmológia, ale aj relativistická astrofyzika nás vedú k dôslednému chápaniu priestoru a času ako atribútov hmoty, jednoznačne viazaných na daný stav látky a polí.

Zmeny v pohľade na vesmír, ktoré sa dosiahli najmä v uplynulých dvoch desaťročiach, sú takého zásadného charakteru, že mnohí neváhajú označiť dnešnú situáciu v astronómii za revolučnú a prirovnávajú ju k situácii, ktorá sa odohrávala pri zrode kopernikovského heliocentrizmu. Skúsenosť ukazuje, že nie je jednoduché zbaviť sa starých, vži-

tých predstáv a pretransformovať svoje myslenie tak, aby zodpovedalo novým vedeckým poznatkom. Takéto pretransformovanie si vyžaduje nepochybne i hlbokú filozofickú analýzu a interpretáciu nových prírodovedeckých poznatkov. Vyžaduje si súčasne i prehodnotenie existujúcich prírodovedeckých, ale rovnako aj filozofických pohľadov. Pripomeňme si v tejto súvislosti slová Engelsa, ktorý zdôrazňoval, že s každým epochálnym objavom v prírodovednej oblasti musí nevyhnutne meniť svoju formu i materializmus. Ak nám súčasná astronómia predstavuje nie jeden, ale celú sériu epochálnych objavov, potom je namieste veľmi hlboko sa zamyslieť nad ich nevyhnutnými dôsledkami pre filozofiu.

Konkrétne problémy súčasnej astronómie, ktoré chceme bližšie rozviesť, dotýkajú sa predovšetkým evolúcie vesmírnych objektov v rozsiahlejších kozmických meradlách, na úrovni galaxií a vyššie. Tieto problémy zahŕňajú pochopiteľne i celý komplex poznatkov, teórií a problémov modernej kozmológie. V tejto súvislosti chceme ukázať i na niektoré problémy, spojené s metódami výskumu, resp. s teoretickou interpretáciou pozorovaných javov.

*

Podstatná časť látky vesmíru, ktorá je dostupná našim súčasným pozorovaniam, je sústredená vo hviezdach. Práve hviezdy sú tými základnými objektami vesmíru, v ktorých sa môže dostatočne dlho produkovať žiarivá energia, podmieňujúca existenciu života na prípadných planétach hviezd. Štúdium vývoja hviezd je už aj z tohto hľadiska mimoriadne závažným problémom súčasnej astronómie. A keďže vývoj galaxií — ktorý si všimneme bližšie — je neoddeliteľne spojený s vývojom hviezd, bude osožné, ak si uvedieme aspoň niektoré závažnejšie poznatky o vývoji hviezd, bez zachádzania do odborných podrobností.

Možno povedať, že dnešná astronómia dosiahla už pomerne dobrý obraz o procesoch vzniku, vývoja a zániku jednotlivých hviezd. Predovšetkým, novší výskum medzihviezdnej hmoty najmä v rádiovnej a infračervenej oblasti spektra prakticky definitívne potvrdil, že hviezdy vznikajú gravitačnou kondenzáciou z obrovských komplexov medzihviezdnej plynovoprachovej hmoty. (2; 3; 4) Hviezdy nevznikajú jednotlivo a izolovane, ale v celých veľkých skupinách: hviezdnych komplexoch, asociáciách a hviezdokopách. V priebehu svojho vývoja hviezdy produkujú žiarivú energiu pri termonukleárnych premenách ľahkých prvkov na ťažšie (najmä vodíka na hélium), prebiehajúcich vo hviezdach v dôsledku vysokých teplôt, vyvolaných gravitačnou kontrakciou protohviezd. Rýchlosť, akou prebieha vývoj určitej hviezdy, t. j. akou hviezda vyčerpáva svoje použiteľné zásoby jadrovej energie, závisí od jej hmotnosti; prebieha tým rýchlejšie, čím má hviezda väčšiu hmotnosť. Zistené hmotnosti hviezd sú spravidla v medziach od 0,1 po 50-násobok hmotnosti Slnka. Bežná hviezda veľkosti nášho Slnka dokáže udržiavať jadrové

procesy a produkovať nimi žiarivú energiu v priebehu 10 až 15 miliárd rokov; hviezdy, ktoré majú 0,1 hmotnosti Slnka, čerpajú zo svojich zásob úspornejšie a môžu preto aktívne žiariť vyše 1000 miliárd rokov; hviezdy s hmotnosťou 50-násobne väčšou než je hmotnosť Slnka majú prudký vývoj a svoje zásoby žiarivej energie vyčerpajú už za 3 až 5 miliónov rokov.

Poznatok o radikálne odlišnej rýchlosti vývoja rôzne hmotných hviezd je mimoriadne závažný z hľadiska celkovej bilancie vývoja hviezdnych sústav; hviezdy s veľkou hmotnosťou pomerne rýchlym tempom odčerpávajú v galaxiách zásoby medzihviezdnej hmoty a urýchľujú tým i vývoj celých hviezdnych sústav. Iným veľmi závažným poznatkom je to, že v našej hviezdnej sústave, Galaxii, nachádzame popri sebe súčasne hviezdy rozmanitého veku, od najmladších hviezd, ktoré vznikli iba pred niekoľkými stotisícami rokov (ba i hviezd, ktoré sa ešte len tvoria z medzihviezdnej hmoty), po najstaršie hviezdy, ktorých vek sa odhaduje na 12 až 15 miliárd rokov. Je teda zrejmé, že pokračujúci proces vzniku hviezd v našej Galaxii prebieha už aspoň 12, azda až 15 miliárd rokov. Spektrálny výskum pritom ukazuje, že všetky najstaršie hviezdy obsahujú len veľmi malé množstvo prvkov ťažších než hélium, kým veľmi mladé hviezdy obsahujú ťažkých prvkov nesporne viac. Znamená to, že mladé, nedávno vzniknuté hviezdy sa vytvorili z medzihviezdnej hmoty, ktorá už musela byť obohatená o ťažké prvky. Nakoľko však ťažké prvky vznikajú pri termonukleárnych procesoch vo hviezdach, je odôvodnený záver, že prinajmenšom určitá časť látky z dávnejších hviezd sa dostala späť do vývojového kolobehu medzi hviezdami a medzihviezdnou hmotou.

Už aj tieto fakty o vzniku a vývoji hviezd ukazujú, že kľúč k pochopeniu celkového trendu kozmického vývoja treba hľadať na úrovni objektov vyššieho rádu, než sú hviezdy. Možno konštatovať, že galaxie sú tými relatívne autonómnymi sústavami, ktoré charakterizujú, ba určujú skutočne pozorovaný vývoj vesmíru, a to nielen na úrovni hviezd a planét, ale v jeho najrozsiahlejších dimenziách.

*

Uviedli sme si už, že v pozorovanej časti vesmíru existujú prinajmenšom desiatky miliárd galaxií. Naša Galaxia, Mliečna cesta, je veľmi dobrým reprezentantom hviezdnych sústav: patrí medzi veľké, i keď nie najväčšie galaxie. Počet hviezd našej Galaxie presahuje 10^{11} , kým najväčšie superobrie galaxie obsahujú 10^{12} a snáď dokonca až 10^{13} hviezd. V najmenších trpaličích galaxiách sa naproti tomu nachádza sotva 1 milión hviezd.

Z hľadiska vývoja vesmíru má fundamentálnu závažnosť to, že vek galaxií je prakticky rovnaký, v podstate zhodný s vekom najstarších hviezd. Tento poznatok dnešnej astronómie je natoľko závažný, že bude vhodné ozrejmiť si trochu bližšie dôvody, ktoré k nemu vedú.

Pripomeňme si predovšetkým, že galaxie majú rozmanitú štruktúru, pričom však prevažná väčšina z nich sa dá zaradiť do jednej zo základných skupín: eliptických, šošovkových, špirálových alebo nepravidelných galaxií. Galaxie rozličných typov majú rôzne zastúpenie jednotlivých druhov hviezd, ako aj — čo je vlast' významné — rôzne percentuálne zastúpenie medzihviezdnej plynovoprachovej hmoty, tohto jediného potenciálneho materiálu na vznik nových hviezd. Kým sa v špirálových a najmä v nepravidelných galaxiách nachádzajú veľké množstvá medzihviezdnej plynovoprachovej látky (5 až 50 % celkovej hmotnosti galaxie) a — ako sa dá očakávať — aj množstvá mladých a vznikajúcich hviezd, v eliptických galaxiách sa medzihviezdna hmota prakticky vôbec nenachádza a nepozorujú sa v nich spravidla ani mladé hviezdy. (5)

Na prvý pohľad by sa mohlo zdať, že špirálové a nepravidelné galaxie sú veľmi mladé a naopak, že eliptické galaxie sú veľmi staré. Prebiehajúci proces vzniku hviezd však sám o sebe ešte nehovorí o tom, či je daná galaxia mladá alebo stará. V skutočnosti v každej preskúmanej galaxii bez výnimky a bez ohľadu na typ, ku ktorému galaxia patrí, pozorovaniami sa potvrdila prítomnosť i tých najstarších známych hviezd. Vyplýva z toho celkom jednoznačný záver: všetky známe galaxie vznikli približne v rovnakom, relatívne veľmi krátkom časovom intervale, vo veľmi dávnej "kozmoologickej" epoche vývoja vesmíru, pred 12, azda až 15 miliardami rokov. Je preto tiež zrejmé, že vývoj galaxií neprebíha od jedného typu galaxií k inému typu, t. j., že galaxie rôznych typov nie sú rôznymi štádiami jedinej vývojovej postupnosti. Práve naopak, vývoj galaxií rôznych typov prebieha paralelne a rôzne typy galaxií treba preto považovať za rôzne varianty evolúcie hviezdnych sústav, pričom morfológická odlišnosť galaxií je určená predovšetkým rôznymi počiatočnými podmienkami pri ich vzniku. (2; 6; 7)

Niektorí autori ešte pred nedávnym zastávali myšlienku, že proces vzniku galaxií prebieha nepretržite ešte i teraz a že galaxie rôznych typov tvoria určitú vývojovú postupnosť. (8, s. 146) Ambarcumjan bol napr. presvedčený, podobne ako kedysi Jeans, že vývoj galaxií ide od eliptických cez špirálové k nepravidelným galaxiám; pozorované nepravidelné galaxie by v tom prípade museli byť najstaršími galaxiami, kým eliptické galaxie by predstavovali relatívne mladé galaxie. Treba dodať, že veľa úsilia sa už vynaložilo na to, aby sa pozorovaniami potvrdila existencia aspoň nejakých mladších galaxií; tieto snahy však nevedli zatiaľ k žiadnemu presvedčivému výsledku. Možno preto konštatovať, že kým existencia prípadných mladých galaxií, v ktorých by sa proces vzniku hviezd ešte len začínal, je veľmi problematická (i keď nie celkom vylúčená), záver o rovnakom veku a jednorázovom procese vzniku galaxií — v každom prípade aspoň väčšiny galaxií — je celkom nevyhnutný.

Tento záver už sám o sebe stačí na jednoznačné, definitívne vyvrátenie

nie predstáv o stacionárnosti vesmíru v akejkolvek podobe. Definitívne tým padá aj predstava o cyklickosti, resp. špirálovosti vývoja kozmických objektov, prinajmenšom na úrovni hviezdnych sústav a teda i hviezd. Veľmi výstižne túto situáciu vyjadril už r. 1968 na XIV. Medzinárodnom filozofickom kongrese vo Viedni akademik Ambarcumjan: „Súčasná kozmogónia svedčí o tom, že vývojovým procesom kozmických objektov je vlastná ich nevratnosť. Cyklické zmeny, ak v nich aj prebiehajú, tak len ako prvky všeobecnej nevratnosti zmeny štruktúry týchto objektov.“ (9, s. 263) Ukážeme si, že tento záver sa potvrdzuje mnohými ďalšími novými poznatkami astronómie a kozmológie. Nie je preto na mieste, ak sa aj v našej novej filozofickej literatúre objavujú tvrdenia, že „stále vznikajú nové hviezdy a galaxie a staré zanikajú“ a ak sa na základe toho robí záver, že „rozličné začiatky vzniku a evolúcie jednotlivých hviezd a galaxií robia kozmos dynamickým a vylučujú jeden smer evolúcie“. (10, s. 97 a 98)

Smerovosť evolúcie hviezd a galaxií a tým aj celého vesmíru, pokiaľ ho môže dnešná astronómia a kozmológia obsiahnuť, vyplýva celkom jednoznačne aj z dnešných poznatkov o vývoji galaxií. Riešenie otázky vývoja galaxií by sa veľmi uľahčilo, keby sme mali možnosť podrobnejšie skúmať štruktúru veľmi vzdialených galaxií. Čím je totiž od nás určitá galaxia ďalej, tým dlhší čas jej svetlo potrebuje na prekonanie vzdialenosti od galaxie po nás, čo znamená, že tým v dávnejšej epoche vývoja ju pozorujeme. Žiaľ, čím sú galaxie ďalej, tým menej žiarenia sa k nám z nich dostane (intenzita žiarenia klesá so štvorcom vzdialenosti) a tým menej informácií môžeme o nich získať. Dôkladnejšie sú preskúmané iba galaxie z relatívne blízkeho kozmického okolia našej hviezdnej sústavy, t. j. iba také galaxie, ktoré sú prakticky v rovnakom štádiu vývoja ako naša Galaxia. Pre ilustráciu si môžeme uviesť, že veľmi dobre preskúmaná Galaxia M 31 zo súhvezdia Andromedy je od nás vzdialená niečo vyše 2 milióny svetelných rokov, stred známej kopy galaxií v súhvezdí Panny je vo vzdialenosti 50 miliónov svetelných rokov, kým ani vzdialenosť tých galaxií, ktoré poskytujú dostatočné množstvo informácií na spoľahlivejšie odôvodnenie Hubblovej konštanty expanzie vesmíru, nepresahuje 140 miliónov svetelných rokov. Pritom, samozrejme, poznáme i také galaxie, ktoré sú vo vzdialenosti až 7 miliárd svetelných rokov, ako aj kvazary, ktorých vzdialenosť prevyšuje 10 miliárd svetelných rokov; informácie o ich stavbe a zložení nie sú však zatiaľ také, aby nám mohli dať dostatočne jasnú odpoveď na otázku vývoja galaxií.

Napriek tomu, na základe informácií o zložení a dynamike galaxií v našom blízkom vesmírnom okolí, vďaka dobre vybudovanej teórii vzniku a vývoja hviezd, ako aj bohatým informáciám o chemickom zložení galaxií získal sa pomerne dobrý obraz o vývoji galaxií. Vychádza sa pritom z odôvodneného predpokladu, že galaxie vznikli gravitačnou kondenzáciou veľkých, viac-menej sférických mrakov prvotnej proto-

galaktickéj látky. Existuje veľa nezávislých dôvodov pre tvrdenie, že kozmická protolátka pozostávala len z dvoch najľahších prvkov — vodíka a hélia. Prvé hviezdy, ktoré v protogalaxiách vznikli, museli preto obsahovať pôvodne len vodík a hélium. Mohli by sme sa nazdávať, že najstaršie známe hviezdy galaxií pochádzajú práve z tejto celkom prvej hviezdnej generácie, pozorované chemické zloženie hviezd však takúto interpretáciu nepripúšťa. Dôvod spočíva v tom, že aj najstaršie známe hviezdy obsahujú vo svojich pozorovateľných povrchových vrstvách určitú časť prvkov ťažších než hélium. Takéto ťažšie prvky sa však vytvárajú len vo vnútorných oblastiach hviezd v pokročilých štádiách ich vývoja. Vysvetlenie spočíva zrejme v tom, že v prvých fázach vývoja galaxií vznikali v nich hviezdy iba s veľkou hmotnosťou, a to — ako ukazuje teoretická analýza a modelové výpočty — pravdepodobne s hmotnosťou okolo 60 hmotností Slnka. (2, s. 220) Takéto hviezdy, ako sme si ukázali, majú veľmi rýchly vývoj — jadrové procesy sa v nich ukončia už v priebehu niekoľkých miliónov rokov, t. j. v čase, ktorý je z hľadiska doterajšieho veku galaxií mimoriadne krátky. Všetky takéto hviezdy museli už veľmi dávno skončiť svoj „hviezdny život“, hviezdy prvej generácie preto vôbec nepozorujeme.

Pri jadrových procesoch v prvých, veľmi hmotných hviezdach museli vzniknúť i ťažké prvky. Nakoľko však v záverečných fázach vývoja veľmi hmotné hviezdy vyvrhujú do okolitého priestoru značnú časť svojej látky, obohacujú tým medzhviezdnu hmotu ťažkými prvkami. Teória vývoja hviezd ukazuje, že až polovica látky z hviezd prvej generácie sa mohla týmto mechanizmom dostať späť do medzhviezdného priestoru. Hviezdy ďalších generácií, ktoré potom postupne vznikajú, budú prirodzene už na začiatku svojho vývoja obsahovať i ťažšie prvky. Každá ďalšia generácia hviezd vždy viac obohatí medzhviezdnu hmotu ťažkými prvkami. Výsledkom tohto procesu je jednosmerná trvalá zmena chemického zloženia galaxií v prospech ťažkých prvkov. Podľa rýchlosti vzniku a vývoja hviezd bude pritom zastúpenie ťažkých prvkov rôzne v rozličných typoch galaxií, ale aj v rozličných oblastiach jednotlivých galaxií.

Ako kuriozitu si môžeme v tejto súvislosti uviesť, že každý atóm ťažší než vodík a hélium, ktorý sa nachádza v predmetoch okolo nás, ba i v našich vlastných telách, prakticky s istotou vznikol jadrovými reakciami vo hviezdach, ktoré už dávno pred vznikom Slnka a Zeme vyhasli. A už nie ako kuriozitu, ale ako závažný fakt treba uviesť, že len vďaka ťažkým prvkom, ktoré vznikli vo hviezdach predchádzajúcich generácií, mohlo dôjsť pri hviezdach neskorších generácií ku vzniku pevných telies — planét a teda i ku vzniku života vo vesmíre.

Vráťme sa však ešte aspoň nakrátko k otázke vývoja galaxií. Na základe analýzy zastúpenia ťažkých prvkov a rôzne starých hviezd v galaxiách, ako aj štúdia štruktúry a dynamiky galaxií, dosiahol sa pomerne dobrý obraz o priebehu vývoja rôznych typov galaxií. Ukazuje

sa, že hlavný vývojový rozdiel medzi eliptickými a špirálovými galaxiami spočíva v tom, že v eliptických galaxiách všetky hviezdy vznikli hneď v prvých fázach ich vývoja a že tieto galaxie hneď na začiatku stratili všetky svoje zásoby plynovej látky, kým v špirálových galaxiách aj po začiatočnom prudkom procese vzniku hviezd ostalo ešte dostatočné množstvo rozptýlenej plynovej látky na nepretržitý proces vzniku ďalších hviezd. Plynová látka sa však v galaxiách v dôsledku ich rotácie stále viac sústreďuje k rotačnej rovine, preto hviezdy každej ďalšej generácie budú vždy viac koncentrované k základnej rovine, až nakoniec budú hviezdy vznikať len v tesnej blízkosti základnej roviny galaxie. Rozloženie rôzne starých hviezd v našej špirálovej galaxii tento záver jednoznačne potvrdzuje.

Detailne rozpracovaná teória vývoja galaxií je schopná vysvetliť mnohé podrobnosti štruktúry, zloženia a pohybových vlastností galaxií. Ostáva tu však aj veľa otvorených problémov. Medzi také patrí napr. otázka, do akej miery závisí množstvo vznikajúcich hviezd od „vymetania“ plynu z galaxií, vyvolaného napr. zrážkami galaxií (ktoré museli byť v minulosti pomerne časté) alebo mohutnými explóziami v jadrách galaxií s následným medzhviezdny vetrom.

Pokiaľ ide o výbuchy v jadrách galaxií, nie sú nijako ojedinelými javmi; poznáme už veľa galaxií s prejavmi mimoriadnej aktivity ich jadier. Medzi takéto galaxie patria napr. Seyfertove galaxie, mnohé pekuliárne galaxie, niektoré superobrie galaxie, ale najmä kvazary. Prejavy určitej aktivity jadier galaxií možno pozorovať dokonca aj v takých pokojných galaxiách, ako je naša a veľká Galaxia M 31 v Andromede.

Súčasný pohľad na evolučný význam pozorovanej aktivity jadier galaxií veľmi výstižne vyjadril Ozernoj: „Kvazary a aktívne javy v jadrách galaxií sa nezriedka považujú v literatúre za počiatočnú fázu vývoja galaxie alebo za záverečné štádium (kolaps) hviezdnej sústavy. Skutočný stav vecí však podľa všetkého nie je ani jedným ani druhým. Jav aktivity jadra nie je zrejme spojený so zrodom galaxie, ale dochádza k nemu v už existujúcej galaxii, t. j. vo vzťahu ku galaxii je sekundárny a môže sa opakovať v priebehu jej života, striedajúc sa s fázami viac-menej „pasívneho“ stavu jadra.“ (2, s. 158) Z tohto hľadiska sú kvazary a vôbec galaxie s aktívnymi jadrami určitou prechodnou, pomerne krátkotrvajúcou ($<10^6$ rokov), zato však veľmi aktívnou fázou vo vývoji galaxií. Isté je, že kvazary boli veľmi časté v dávnej minulosti, v priebehu prvých miliárd rokov existencie galaxií.

Kvazary a aktívne jadrá galaxií predstavujú problém nielen pre astronómiu, ale aj pre fyziku. Kolosálne množstvá energie, ktoré sa uvoľňujú v týchto kozmických objektoch (celková vyžiarená energia kvazarov prevyšuje 10^{54} J!), ostávajú nedoriešeným problémom. Pre ilustráciu si môžeme uviesť, že r. 1974 bola objavená obrovská aktívna rádiová galaxia 3 C 236, ktorá má rozmer až 5,7 Mpc, čo je okolo 20 miliónov svetelných rokov. Ostáva záhadou, ako dokážu procesy v jadrách

galaxií vyvrhovať plazmu s obrovskými rýchlosťami do takých veľkých vzdialeností, ktoré až 10-násobne presahujú vzdialenosť od nás po veľkú Galaxiu M 31 v Andromede. Na vysvetlenie týchto problémov „sa niektorí astrofyzici uchýlili k najexotickejšim objektom, ktoré len pozná dnešná veda — k masívnym čiernym dieram, bielym dieram a ‚holým‘ singularitám. Snáď idú správnou cestou, nie je však vylúčené, že je to len zbytočná strata síl. História astronómie nás učí, že sa netreba zrieknuť možnosti objavu nových zákonov fyziky. Je možné, že iba nové a bližšie chápanie fyzikálnej skutočnosti umožní astronómovi pochopiť podstatu kvazarov a vybuchujúcich galaxií.“ (14, s. 319)

*

Nechajme však stranou fyzikálne iste veľmi zaujímavý problém energie kvazarov a vráťme sa k evolučným problémom vesmíru. Rovnaký veľký galaxií ukazuje, že ich vznik bol jednou konkrétnou etapou vo vývoji vesmíru v jeho dávnej minulosti. Pred touto etapou galaxie teda zrejme ani hviezdy neexistovali; štruktúra vesmíru pred vznikom galaxií musela preto byť celkom odlišná od tej, ktorú dnes poznáme.

Dostávame sa tak k závažnému problému evolúcie vesmíru v jeho najširších známych meradlách. Je zrejme, že ide o problém, ktorý sa už bezprostredne dotýka kozmológie.

Bez nadsadenia možno povedať, že dnes sa už moderná kozmológia zaraďuje medzi hlboko fundované empirické vedy. [11; 12; 13; 15] Jej teoretickú bázu tvorí Einsteinova všeobecná teória relativity, experimentálne údaje na overenie teórie poskytuje kozmológii najmä mimogalaktická astronómia a rádioastronómia. Dnešná relativistická kozmológia pritom nielen predpovedá konkrétne overiteľné (a v mnohých prípadoch už aj overené) javy, ale stimuluje aj rozsiahle, veľmi nákladné pozorovacie programy a orientuje tak ďalší výskum.

Nie je možné a ani potrebné, aby sme sa tu zaoberali všetkými kozmologickými modelmi vesmíru. Je ich príliš veľa a okrem toho sú už i tak vo väčšine prípadov iba historickými kuriozitami, prekonanými novšími výsledkami experimentálno-pozorovacej praxe. Sústreďme sa iba na relativistické modely nestacionárneho vesmíru, pretože práve tieto modely prechádzajú úspešne všetkými doterajšími konfrontáciami a sú až v neuveriteľne dobrej zhode s pozorovaniami, či už ide o expanziu vesmíru, chemické zloženie vesmíru, vývoj galaxií, reliktové žiarenie, priestorové rozloženie rádiových galaxií a kvazarov atď. Práve tieto modely sa preto dnes všeobecne považujú za „štandardné“.

Relativistické modely nestacionárneho vesmíru odvodil z Einsteinovej teórie relativity v r. 1922—1924 Fridman (po ňom sú tieto modely nazvané) a r. 1927 nezávisle od neho Lemaître. Podľa Fridmanových modelov vesmír nemôže byť v stacionárnom stave: musí v ňom prebiehať alebo expanzia alebo kontrakcia. Zo spektrálnych pozorovaní

galaxií dnes už celkom spoľahlivo vieme, že vesmír expanduje, a to bez výnimky v celom tom rozsiahlom kozmickom priestore, ktorý môžeme našimi pozorovaniami vôbec obsiahnuť. Expanzia (rozpínanie) vesmíru znamená, že neustále narastajú vzdialenosti medzi všetkými galaxiami vesmíru a že stredná hustota vesmíru pritom neustále klesá. Extrapolácia javu expanzie späť v čase nás vedie k záveru, že vesmír musel mať v minulosti oveľa vyššiu hustotu než teraz a že expanzia musela začať pred určitým konečným časom.

Fridmanove relativistické modely vesmíru pripúšťajú rôzny priebeh expanzie vesmíru. V tzv. otvorených modeloch vesmíru s nekonečným a neohraničeným priestorom expanzia bude pokračovať neobmedzene dlho, pri neobmedzene klesajúcej hustote vesmíru. V tzv. zatvorených modeloch vesmíru s konečným, ale neohraničeným priestorom expanzia bude pokračovať len určitý čas, potom sa nahradí kontrakciou (tzv. pulzujúce modely vesmíru). Rýchlosť expanzie vo všetkých Fridmanových modeloch klesá, pričom spomaľovanie expanzie je pre jednotlivé modely pochopiteľne rôzne; pre rôzne modely musí byť preto rôzny aj vek vesmíru, pod ktorým sa tu rozumie čas od začiatku expanzie. Na základe najspoľahlivejšie určených hodnôt Hubblovej konštanty (ktorá vyjadruje rýchlosť expanzie vesmíru) a deceleračného parametra (ktorý vyjadruje mieru spomaľovania expanzie vesmíru) za reálny vek vesmíru sa dnes všeobecne považuje 12 až 15 miliárd rokov. Vývoj vesmíru pritom musel začať z horúceho, superhustého stavu mohutnou explóziou, tzv. big-bangom.

Prvú teoretickú konštrukciu počiatočných horúcich fáz vývoja vesmíru podľa relativistických nestacionárnych modelov (teóriu big-bangu) vypracovali už r. 1948 Gamov, Alpher a Herman. Ich závery sa vtedy nebrali príliš vážne, podobne ako sa pôvodne nebral celkom vážne ani Hubblov objav expanzie vesmíru z r. 1929, žiaľ — ako sa len neskôr ukázalo — na škodu rozvoja kozmológie. K teórii big-bangu sa až neskôr vrátili a prehľadili ju takmer súčasne Zeldovič (r. 1964), Hoyle a Tayler (r. 1964) a nezávisle od nich Peebles (r. 1965). Moderná, hlboko prepracovaná teória big-bangu využíva spoľahlivo overené poznatky astrofyziky, štatistickej mechaniky, termodynamiky, kvantovej teórie, jadrovej fyziky, fyziky elementárnych častíc a teórie žiarenia.

Ak by dôsledne platila Einsteinova všeobecná teória relativity, potom expanzia a evolúcia vesmíru musela začať zo singulárneho stavu, t. j. zo stavu s nekonečne vysokou hustotou a s nekonečne malým objemom. Pravda, treba tu mať na zreteli, že Einsteinova teória relativity neberie do úvahy kvantové efekty hmoty, ktoré sa museli prejavíť pri extrémne vysokých hustotách krátko po big-bangu. Zovšeobecnená relativistická teória, ktorá by brala do úvahy aj kvantové efekty, dosiaľ vypracovaná nebola. Sám začiatok vývoja vesmíru je preto nateraz mimo empirického dosahu súčasnej kozmológie.

Na základe dnešných fyzikálnych poznatkov možno získať pomerne

spoľahlivý obraz o podmienkach, interakciách a evolučných procesoch v expandujúcom vesmíre len od času, kedy hustota vesmíru poklesla približne na hustotu atómových jadier, čo je okolo 10^{14} g/cm³. Teória ukazuje veľmi jednoznačne, že takúto hustotu mal vesmír po uplynutí približne jednej desiatistíciny sekundy (10^{-4}) od začiatku expanzie. Teplota vesmíru v tomto čase dosahovala 10^{12} K, t. j. 1 bilión kelvinov (stupňov nad absolútnym bodom mrazu). Bez ohľadu na to, čo sa odohrávalo tesne predtým, v tejto fáze vývoja bol vesmír pri uvedenej teplote vyplnený v podstate len fotónmi žiarenia a veľmi ľahkými elementárnymi časticami: neutrínami a antineutrínami, elektrónmi a ich antičasticami — pozitronmi. Všetky tieto zložky boli vo vzájomnej tepelnej rovnováhe, udržiavanej neustálymi interakciami všetkých častíc. Častice a antičastice vznikali z fotónov žiarenia a rýchlo sa zasa anihiláciou premieňali na fotóny. Ťažšie nukleóny (protóny a neutróny), potrebné na stavbu atómových jadier, tvorili vo vesmíre v tejto etape len celkom nepatrnú prímes; iba jeden protón alebo neutrón pripadal na miliardu fotónov, elektrónov alebo neutrín. Pri teplote 10^{12} K muselo pritom dochádzať k neprestajným rýchlym premenám protónov na neutróny a neutrónov na protóny, a to v dôsledku ich interakcií s ostatnými elementárnymi časticami. Počet protónov a neutrónov bol v tejto fáze vývoja vesmíru rovnaký. Jadrá atómov v týchto podmienkach ešte existovať nemohli.

Pri poklese hustoty a teploty vesmíru, v dôsledku jeho expanzie, sa postupne narúšali podmienky tepelnej rovnováhy pre jednotlivé zložky kozmického substrátu v závislosti od ich energie. V čase 0,3 sekundy od začiatku expanzie pri hustote 10^7 g/cm³ a teplote 30 miliárd kelvinov ($3 \cdot 10^{10}$ K) prestali natrvalo interagovať s ostatnými časticami neutrína, „uvoľnili sa“ od ostatných zložiek vesmíru a zostali v ňom trvalým pozostatkom z tejto fázy vývoja vesmíru. V priebehu ďalšej expanzie musela teplota tohto reliktového neutrínového žiarenia neustále klesať až na dnešnú hodnotu okolo 2 K. Registrovanie tohto žiarenia je celkom mimo dnešných technických možností, je však zrejmé, že perspektívne práve neutrínová astronómia by mohla veľmi významne prispieť k overeniu kozmologických teórií a teórie big bangu.

Pre chemické zloženie vesmíru malo rozhodujúci význam to, že pri poklese hustoty a teploty vesmíru sa neustále zvyšovala početná prevaha protónov nad mierne ťažšími neutrónmi. Pripomeňme si, že protóny sú vlastne atómovými jadrami najľahšieho prvku, vodíka. V čase približne 200 sekúnd, t. j. niečo vyše 3 minút od začiatku expanzie, kedy teplota vesmíru poklesla tesne pod 1 miliardu kelvinov, bilancia v počte nukleónov bola: 87 % protónov, 13 % neutrónov. Práve v tomto čase začali vznikať zložitejšie atómové jadrá, a to od jadier ťažkého vodíka (deutéria), ktoré pozostávajú z jedného protónu a jedného neutrónu, po jadrá druhého najľahšieho prvku, hélia, pozostávajúceho z dvoch protónov a dvoch neutrónov. Z hľadiska chemického vývoja vesmíru je dôležité, že všetky neutróny v relatívnom počte 13 % sa pri týchto pro-

cesoch veľmi rýchlo stali súčasťou jadier hélia. Jadrá hélia však obsahovali navyše rovnaký počet protónov, o ktorý sa musel znížiť počet voľných protónov — jadier vodíka (na 74 %). Váhový pomer medzi vodíkom a héliom sa preto ustálil na 74:26 v prospech vodíka. Tento pomer musel ostať vo vesmíre zachovaný až do vzniku hviezd, lebo žiadne iné prvky jadrovými reakciami v začiatočných fázach vývoja vesmíru už vznikaf nemohli.

V čase okolo 700 000 rokov od začiatku expanzie teplota poklesla na 3000 K. Pri tejto teplote jadrá vodíka a hélia už dokázali natrvalo zachytiť voľné elektróny a vytvorili tak stabilné atómy. Až dovtedy voľné elektróny znemožňovali priehľadnosť vesmíru. Po zachytení elektrónov atómovými jadrami vodíka a hélia nemali už fotóny žiarenia možnosť interagovať so žiadnymi časticami látky. Žiarenie sa tým „uvoľnilo“ a stalo sa trvalým reliktom z tejto fázy vývoja vesmíru. Teplota tohto reliktového žiarenia musela v dôsledku expanzie vesmíru postupne poklesnúť z pôvodných 3000 K na súčasnú hodnotu niekoľkých stupňov nad absolútnym bodom mrazu.

Trvalé zachytenie elektrónov do atómov a uvoľnenie žiarenia malo za následok, že vo vesmíre začala dominovať látka a že hlavnou hybnou silou ďalšieho vývoja sa stala gravitačná sila. Pri zníženej hustote a teplote sa vodíkovo-héliová látka pôsobením gravitačných síl sústredila do izolovaných útvarov — protogalaxií. Tým sa už vytvorili podmienky aj pre vznik a vývoj galaxií a teda aj pre vznik hviezd a planetárnych sústav. Trvalo však dlhé miliardy rokov, kým sa mohli vo vesmíre vytvoriť podmienky vhodné i pre život.

*

Táto teoretická schéma začiatočných fáz vývoja vesmíru nadobudla svoju plnú vážnosť až potom, keď r. 1965 Penzias a Wilson objavili predpovedané reliktové žiarenie. [Za tento objav, všeobecne považovaný za jeden z najvýznamnejších vedeckých objavov dvadsiateho storočia, dostali Penzias a Wilson r. 1978 Nobelovu cenu]. Pre kozmológiu majú zásadný význam najmä tieto pozorované vlastnosti reliktového žiarenia: 1. rozloženie jeho energie podľa vlnovej dĺžky zodpovedá žiareniu absolútne čierneho telesa; 2. súčasná teplota reliktového žiarenia je 3 K; 3. reliktové žiarenie je vo vysokom stupni izotropné, t. j. nezávisí od smeru, z ktorého prichádza.

Prvá z týchto vlastností dokazuje, že reliktové žiarenie vzniklo v podmienkach tepelnej rovnováhy. Dokázaný je tým nielen kozmologický pôvod reliktového žiarenia, ale aj oprávnenosť samého predpokladu tepelnej rovnováhy v začiatočných fázach evolúcie vesmíru, na ktorom je teória big bangu vybudovaná. Súčasná teplota reliktového žiarenia 3 K spolu s jeho pôvodnou teplotou 3000 K ukazuje, že v čase, kedy sa reliktové žiarenie uvoľnilo, vesmír musel byť 1000-krát menší

než v súčasnosti, natoľko teplota žiarenia pri expanzii vesmíru klesá priamoúmerne s jeho narastajúcimi rozmermi. Potvrďuje sa tým veľmi závažný poznatok, že v čase vzniku reliktového žiarenia galaxie ešte nemohli existovať; vyplýva to z toho, že vzdialenosti medzi galaxiami sú v súčasnosti iba 10- až 100-krát väčšie než ich rozmery. V čase, keď boli rozmery vesmíru 1000-krát menšie než teraz, látka všetkých terajších galaxií musela tvoriť jediný, relatívne hustý substrát.

Izotropia reliktového žiarenia, ako zdôrazňuje Weinberg (12, s. 76), je „najsilnejším argumentom v prospech kozmologického princípu“, t. j. v prospech postulátu, že vesmír je v dostatočne veľkých meradlách izotropný a homogénny. Práve tento postulát je základom všetkých moderných kozmologických teórií. Izotropia reliktového žiarenia dokazuje, že kozmologický princíp platí nielen teraz, ale že platil už aj v čase vzniku reliktového žiarenia, v počiatočných fázach evolúcie vesmíru. Týmto poznatkom strácajú svoje odôvodnenie anizotropné modely vesmíru, i keď niektoré ich závery môžu mať svoj význam pre vysvetlenie vzniku protogalaxií z predchádzajúcich nehomogenít v celkovom homogennom poli vesmíru.

Sama existencia reliktového žiarenia sa dnes všeobecne považuje za najsilnejší argument v prospech Fridmanových evolučných modelov vesmíru s horúcim superhustým počiatočným stavom. Možno dodať, že v úplnom súlade s týmito modelmi vesmíru je aj pozorované zastúpenie hélia a ťažkého vodíka vo vesmíre.

Z kozmologického hľadiska je mimoriadne závažné to, že priebeh vývoja vesmíru v jeho začiatkových fázach je prakticky totožný pre všetky modely expandujúceho vesmíru. Možno preto konštatovať, že hlavné črty doterajšieho vývoja nášho vesmíru — s výnimkou jeho celkom prvej desiatistíciny sekundy — poznáme dnes už pomerne spoľahlivo, a to napriek tomu, že zatiaľ nevieme rozlíšiť, ktorý konkrétny Fridmanov model vesmíru najlepšie zodpovedá skutočnosti. Výrazné rozdiely medzi jednotlivými modelmi nie sú v minulom, ale v ďalšom priebehu evolúcie vesmíru a teda aj v budúcom priebehu evolúcie galaxií.

V prípade platnosti modelu otvoreného vesmíru s neobmedzenou, hyperbolickou expanziou vývoja galaxií vo vesmíre bude pokračovať ku svojmu prirodzenému koncu: zvyšný rozptýlený plyn sa postupne sústreďí do hviezd a všetky hviezdy sa po vyčerpaní zásob svojho jadrového paliva premenia na veľmi husté objekty — na bielych trpaslíkov, neutrónové hviezdy alebo čierne diery, v závislosti od ich hmotnosti. Trvalo by minimálne 1000 miliárd rokov, kým by sa premenili na bielych trpaslíkov i všetky najmenej hmotné, veľmi pomaly sa vyvíjajúce hviezdy. V prípade platnosti modelu zatvoreného, pulzujúceho vesmíru, v ktorom sa po určitom čase expanzia zastaví a nahradí sa opačným procesom kontrakcie, vývoj galaxií sa môže násilne ukončiť skôr, než by ho galaxie zavŕšili prirodzeným spôsobom. Výsledkom by bol v tomto

případe opäť superhustý, horúci stav vesmíru, rovnaký, z akého sa vývoj vesmíru začal.

*

Napriek nesporným úspechom, ktoré moderná kozmológia dosiahla, ostáva v tejto oblasti veľa otvorených problémov, a to dokonca i vyslovene zásadného charakteru. Celkom principiálnym problémom je napr. otázka rozsahu platnosti známych fyzikálnych zákonov a ich aplikovateľnosti na extrémne kozmické podmienky v začiatočných fázach vývoja vesmíru, resp. v záverečných kontrakčných fázach pulzujúceho vesmíru. Overeniu sa podrobuje i časová konštantnosť fundamentálnych fyzikálnych konštant, napr. gravitačnej konštanty; na predpoklade časovej premennosti gravitačnej konštanty je vybudovaná Diracova-Jordanova kozmológia, jej závery sú však v rozpore s pozorovaniami.

Otvorené problémy ostávajú i v samom výbere najvhodnejšieho Fridmanovho modelu vesmíru. Naša súčasná neistota v tejto otázke vyplýva z toho, že existujúce technické prostriedky nedovoľujú určiť s požadovanou presnosťou základné kozmologické veličiny: Hubblovu konštantu, deceleračný parameter a strednú hustotu látky vo vesmíre. Neistým ostáva preto aj presnejšie určenie veku nášho vesmíru. Spresneniu kozmologických konštant by mohli veľmi pomôcť kvazary, ktoré sú najvzdialenejšími známymi vesmírnymi objektami, dosiaľ však neexistuje žiadna nezávislá metóda na presné určenie ich vzdialenosti. Celkom novým závažným problémom pre kozmológiu je možná nenulová pokojová hmotnosť neutrín; ak sa táto hmotnosť potvrdí, potom reliktové neutrínové žiarenie, ktoré sa uvoľnilo v čase 0,3 sekundy od začiatku expanzie vesmíru, bolo by nositeľom podstatnej časti látky vesmíru, tej látky, ktorá našim doterajším pozorovaniam dôsledne uniká.

Z filozofického hľadiska je mimoriadne závažným problémom otázka, čo vlastne reprezentuje náš kozmologický vesmír vo vzťahu k celému existujúcemu materiálnemu svetu. Z astronomického hľadiska ostáva celkom otvorenou otázka, či je náš vesmír jediným, alebo či je iba jednou metagalaxiou uprostred množstva iných podobných metagalaxií. Na úrovni dnešného prírodovedeckého poznania nemožno v tejto otázke zaujať jednoznačné stanovisko.

Na záver by som sa rád ešte raz vrátil k otázke revolučnej situácie v dnešnej astronómii. Ak sme si v úvode naznačili určitú analógiu medzi súčasným stavom a revolučnou situáciou v časoch Kopernika, potom po zvážení poznaných faktov sa možno pokúsiť túto analógiu trochu viac konkretizovať. Formulovanie relativistických evolučných modelov s očakávanou expanziou vesmíru možno prirovnať k formulovaniu Kopernikovej teórie: v oboch prípadoch teória nebola experimentálne podložená, bola v radikálnom rozpore s existujúcimi predstavami, vyplývala však zo samotnej logiky poznatkov. Objav expanzie vesmíru možno pri-

rovnaf ku Galileiho objavom fáz Venuše, škvrn na Slnku a mesiacov Jupitera: fakty pozorovaní už sú, chýbajú však definitívne dôkazy — začína ostrá kontraverzia so silným filozofickým podtónom. Až objav reliktového žiarenia, podobne ako kedysi objav Keplerových zákonov a Newtonovho gravitačného zákona, uzatvárajú fázu rozporov a vedú k definitívnemu potvrdeniu nových, revolučných vedeckých poznatkov.

V analógii však možno a treba pokračovať ešte ďalej. Aj keď sa Kopernikova teória ukázala byť v zásade správna, predsa len dnešný pohľad na pohyb planét a postavenie Slnka vo vesmíre je oveľa zložitejší a bohatší, než ho Kopernik dokázal vytvoriť vo svojej heliocentrickej teórii. Nemožno pochybovať o tom, že aj dnešná relativistická kozmológia s jej Fridmanovými modelmi vesmíru a teóriou big bangu je len ďalším neúplným priblížením poznania k zložitej skutočnosti vesmíru.

LITERATÚRA

1. Základné názvy z astronómie. Kultúra slova, roč. 14, 1980, č. 10.
2. Proischozhdenije i evolucija galaktik i zviozd. Ed. S. B. Pikefner, Moskva 1976.
3. BOČKAREV, N. G.: Mežzviozdnaja sreda i zviozdooobrazovanie. In: Zviolety i zvioletnyje sistemy. Ed. D. J. Martynov, Moskva 1981.
4. STROM, S. E.: Obrazovanie zviolet i rannije stadii zvioletnoj evolucii. In: Na perednem kraje astrofiziki. Ed. E. H. Avrett, Moskva 1979.
5. VORONCOV-VELAMINOV, B. A.: Vnegalaktičeskaja astronomija. Moskva 1978.
6. TAYLER, R. J.: Galaxies — Structure and Evolution. London and Basingstoke 1978. Cit. podľa rus. prekladu: Galakti-Strojenje i evolucija. Moskva 1981.
7. MITTON, S.: Exploring the galaxies. London 1976. Cit. podľa rus. prekladu: Issledovanie galaktik. Moskva 1980.
8. MIRZOJAN, L. V.: Kosmogonija zviolet i galaktik. In: Problemy sovremennoj kosmogonii. Ed. V. A. Ambarcumjan, Moskva 1972.
9. AMBARCUMJAN, V. A.: Sovremennoje jestestvoznaniye i filosofija. In: Filosofija i sovremenność. Moskva 1971.
10. BILAS, J.: Katolícky modernizmus P. Teilharda de Chardina. Bratislava 1981.
11. GINZBURG, L. N.: Astrofizika. Bratislava 1979.
12. WEINBERG, S.: The first three minutes. Fontana — Collins, Glasgow 1977.
13. GRIŠČUK, L. P.: Kosmologija. In: Zviolety i zvioletnyje sistemy. Ed. D. J. Martynov, Moskva 1981.
14. KAUFMAN, J.: The cosmic frontiers of general relativity. Boston, Toronto 1977. Cit. podľa rus. prekladu Kosmičeskije rubeži otnositelnosti. Moskva 1981.
15. TURSUNOV, A.: Filozofia a súčasná kozmológia. Bratislava 1980.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННОЙ АСТРОНОМИИ

Ян Штол

В работе рассматриваются актуальные проблемы структуры и развития Вселенной. Автор указывает на последствия различной скорости развития по-разному материальных звезд для общего развития галактик, более подробно рассматривает вопрос о возрасте галактик. Исходя из существования наиболее старых известных звезд во всех типах галактик, автор приходит к заключению об одинаковом возрасте и однократном процессе

возникновения галактик 12—15 миллиардов лет тому назад. Этот вывод вместе с подтвержденным изменением химического состава Вселенной в одном направлении и другими новыми знаниями со всей определенностью опровергает представление о стационарности Вселенной, а также о цикличности развития космических объектов. Открытие реликтового излучения и высокой степени его изотропии подтверждает одновременно принципиальную верность моделей Фридмана с горячим началом развития Вселенной. В заключение приводятся открытые проблемы современной космологии.

PROBLEME UND PERSPEKTIVEN DER GEGENWÄRTIGEN ASTRONOMIE Ján Štol

Im Aufsatz werden aktuelle Struktur- und Entwicklungsprobleme des Alls. Es wird auf Konsequenzen der unterschiedlichen Entwicklungsgeschwindigkeit von Sternen mit ungleichem Gewicht für die Gesamtentwicklung von Galaxien. Die Frage des Galaxienalters wird näher analysiert. Aus dem Vorhandensein der ältesten bekannten Sterne in allen Galaxientypen wird die Schlussfolgerung über das gleiche Alter und den einmaligen Entstehungsprozess der Galaxien vor 12—15 Milliarden Jahren gezogen. Diese Schlussfolgerung zusammen mit der bestätigten einbahnigen Änderung der chemischen Zusammensetzung des Alls und weiteren neuen Erkenntnissen widerlegt eindeutig die Vorstellung von der Stationarität des Alls als auch von der Entwicklungszyklizität kosmischer Objekte. Die Entdeckung der Reliktstrahlung und deren hohen Isotropiegrades erhärtet gleichzeitig die prinzipielle Richtigkeit Fridmannscher Modelle, die den heißen Anfang der Allentwicklung voraussetzen.