

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

V. A. Krat

Původ sluneční soustavy

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 2 (1957), No. 6, 677--687

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137303>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1957

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>

Zmíním se ještě krátce o některých nepublikovaných výsledcích z minulého roku, které se týkají operátorového počtu. Především byla vypracována theorie operátorů na konečném intervalu. Konstrukce těchto operátorů je analogická konstrukci operátorů na konečném intervalu, jak je provedena v mé knize. Pro konečný interval je však tato theorie obtížnější, neboť výchozí okruh funkcí má nulové dělitele. Je proto v této theorii možné, že algebraická rovnice n -tého stupně má nekonečně mnoho řešení. Rovněž neplatí věta o unicítě řešení diferenciální rovnice prvního řádu. Je však možné jinou cestou dokázat, že diferenciální rovnice n -tého řádu má nejvýše n lineárně nezávislých řešení.

Theorie operátorů na konečném intervalu umožňuje efektivní řešení klasických partiálních rovnic s konstantními koeficienty. Na rozdíl od operátorů na nekonečném intervalu lze tedy tyto rovnice řešit i v těch oborech, kde interval proměnné t je konečný a v těchto oborech provádět důkazy o existenci a unicítě řešení úlohy Cauchyovy i úlohy smíšené. Dostáváme tak věty silnější než pro operátory, u nichž interval proměnné t je nekonečný. Lze pak na příklad podat přesný důkaz věty Tichonovovy.

Mému algebraickému pojetí operátorového počtu předcházelo zpracování pomocí Laplaceovy transformace. Pro třídu funkcí, u nichž existuje Laplaceova transformace, jsou obě pojetí ekvivalentní. Avšak pro třídu funkcí, definovaných na konečném intervalu, je to jediná transformace Laplaceova z lineárních transformací, která převádí transcendentní úlohu v algebraickou. Neboť žádná jiná transformace nepřevede v obyčejný součin konvoluční integrál

$$\int_0^t f(t-\tau)f(\tau) d\tau,$$

kde $f(t) = 0$ v první polovině intervalu, ježto tento konvoluční integrál je roven nule.

Přeložil Antonín Srovnal

PŮVOD SLUNEČNÍ SOUSTAVY*)

V. A. KRAT

*Během tří let, jež uplynula od předložení autorovy hypotézy o vzniku sluneční soustavy, byly nashromážděny četné nové poznatky kosmogonické a astrofyzikální. Třebaže se proti této hypotéze nevyskytly dosud vážnější námitky, je třeba podložit základní teoretické závěry co nej-
přesněji i kvantitativními výpočty, opírajícími se o větší množství fakt.*

1. Mezgalaktické prostředí. Tvoření galaxií

V současné době se u některých autorů objevila tendence ztotožňovat prvotní látku, z níž se v galaxiích tvoří hvězdy a planety, s plyno-prachovými mlhovinami. S našeho hlediska jsou však tyto mlhoviny samy produktem procesu vznikání hvězd z tuhých těles poměrně velkých rozměrů.

*) V. A. Krat, *Proischoždenije solněčnoj sistěmy*, Izv. Glavnoj astr. obs. v Pulkove, sv. XX, seš. 3, č. 156, 1956.

Nejranějším vývojovým stadiem galaxií jsou nepravidelné galaxie, jež obsahují nejvyšší procento obrů a plyno-prachových mlhovin. Před tímto stadiem musí předcházet období, během něhož dochází ke zhuštění předhvězdné látky v mezigalaktickém prostoru. Prvotní tuhá tělesa se tedy v podstatě vytvářejí v mezigalaktickém prostředí. Zároveň s tím je třeba povšimnout si nápadné průzračnosti mezigalaktického prostoru.

Otázka existence mezigalaktické absorpce nebyla dosud zodpovězena kladně. Metagalaxie obsahuje patrně jen poměrně malé množství prachu a plynu. Připustíme-li tedy, že proces tvoření nových galaxií není dosud ukončen, stejně jako je tomu v případě procesu vzniku hvězd, dojdeme nevyhnutelně k závěru, že musí existovat „temné“ galaxie, obsahující malá tuhá tělesa a mající velmi malou střední hustotu. Průzračnost Metagalaxie se nezmění, i když bude existovat značné množství těchto „temných“ galaxií.

Předpokládejme, že v Metagalaxii 50 % hmoty nepatří ke galaxiím. Střední hustota této látky lze zhruba odhadnout na 10^{-28} g/cm³. Prochází-li zorný paprsek za těchto podmínek drahou dlouhou $3 \cdot 10^8$ pc = 10^{27} cm, zeslabí se světlo všude o 10 %, je-li střední poloměr částic 1 cm. Jsou-li částice předhvězdné hmoty větší, pak až k hranici viditelnosti galaxií pomocí největších teleskopů nebudou pozorovatelné ani nejslabší stopy po stínění světlých galaxií tmavými. Mezigalaktickou absorpci může vyvolávat pouze prach a plyn.

V procesu kondensace „tmavá“ galaxie nutně přejde v obyčejnou světlou galaxii. Jelikož počet srážek mezi částicemi v elementu objemu za 1 sec je úměrný jejich koncentraci, význam srážek rychle stoupá při zhušťování mračna částic. V „temných“ galaxiích jsou vzhledem k malé objemové koncentraci částic srážky mezi nimi prakticky nemožné. Abychom vyhověli této podmínce, musíme předpokládat, že předhvězdné částice jsou poměrně velká tělesa.

Při hustotě $\bar{\rho} = 10^{-28}$ g/cm³ a poloměru částic 1 m (specifická váha ~ 1) dostaneme koncentraci $n = 10^{-35}$. Částice bude mít volnou dráhu 10^{29} cm a počet srážek za 1 sec při rychlosti $v = 1$ km/sec uvnitř koule o poloměru 1 pc bude roven 10^{-3} . V tom případě „temná“ galaxie nemusí obsahovat prach a plyn.

Předpokládáme-li, že poloměr částic je řádově 1 cm, bude rozrušování částic „temné“ galaxie postupovat rychleji, neboť se zvýší počet srážek za vteřinu.

Srážkami částic se zvyšuje množství mezigalaktického prachu a plynu. Rychlost obráceného procesu — usazování plynu na prašných zrnkách a jejich spojování ve větší částice — není dosud známa. Lze proto mít za pravděpodobné, že prvotní „temné“ galaxie jsou složeny hlavně z rozměrných částic, jejichž střední poloměr je řádově 1 m.

Ke spojení předhvězdných částic ve hvězdu nebo planetu nemůže dojít bez předchozích srážek těchto částic, kterými se větší část promění v difusní plyno-prachovou mlhovinu. Jakmile v „temné“ galaxii začne proces tvoření hvězdy (musí začít ve středu soustavy, neboť tam je nejvyšší koncentrace částic), koncentrace plynu a prachu se rychle zvyšuje. Přechodné stadium vývoje hmoty z fáze „temné“ galaxie do fáze světlé musí být charakterisováno objevením se rozměrné poloprůhledné plyno-prachové mlhoviny s nevelkým počtem hvězd. Takovéto soustavy, třebaže je těžko objevit je při pozorování vzhledem k jejich malým rozměrům (ve srovnání s již plně vyvinutými galaxiemi), musí přesto být v principu pozorovatelné. Jsou to jakési mezigalaktické „globule“ o průměru řádově stovek pc.

V další etapě vývoje galaxie neustále roste koncentrace předhvězdných částic, jejichž proudy se vlivem gravitační nestability rozpádají na jednotlivé oblaky menších rozměrů. Vývoj postupuje od středu k periférii, kam neustále přicházejí nové a nové předhvězdné

částice. Proces tvoření hvězd je nejdříve ukončen ve středu galaxie. V druhém stadiu vývoje — ve stadiu spirální galaxie — ke tvoření hvězd dochází pouze ve spirálních větvích, podél nichž proudí ke středu galaxie předhvězdná hmota. Lze si tedy spíše představit, že spirální větve se během času stácejí, než že se rozvinují.

Pozorování tuto hypotézu potvrzují. V jádrech galaxií se plyno-prachové mlhoviny nevyskytují, zatím co na periferii existují ještě dlouho v podobě nespojitého pásu temných oblaků. Z tohoto důvodu se četné galaxie při pozorování „s boku“ jeví obklopeny temným pásem hmoty oslabující světlo. Klišickým příkladem je galaxie NGC 4594. Plyno-prachové mlhoviny vymizí, když je přerušen proces tvoření hvězd, a galaxie postupně přechází do třídy sféroidálních. Vymizí spirální větve, složené z mladých hvězd — nadobrů, a galaxie nabývá obvyklého čočkovitého tvaru.

Proti této hypotéze by bylo možno namítnout, že hvězdy vznikají nějakou jinou cestou a že jejich tvoření nesouvisí s plyno-prachovými mlhovinami. Speciálně možno předpokládat, že hvězdy vznikají i nyní ve „sférických“ systémech typu kulových hvězdokup nebo galaktických jader, v nichž se plyno-prachové mlhoviny nevyskytují. Zde bychom ovšem narazili na dvě obtíže: předně není žádných údajů o tom, že by ve „sférických“ soustavách existovaly třeba jen nevelké skupiny hvězd poměrně mladých, a za druhé si lze těžko představit jak formu hmoty, z níž by v těchto soustavách hvězdy vznikaly, tak i sám mechanismus vzniku.

Zároveň lze pokládat za prokázané, že bílé nadobrů a některé jiné skupiny hvězd (část rudých nadobrů, obrů, podobrů a j.) jsou hvězdy mladé a že geneticky souvisí s plyno-prachovými mlhovinami, jak o tom svědčí jejich prostorové rozložení. Mechanismus současného vzniku hvězd i mlhovin z předhvězdných částic cestou gravitační kondensace „temných“ galaxií je jednoduchý a možno jej snadno kvantitativně vyšetřovat.

Hlavní argumenty ve prospěch naší hypotézy jsou:

1. posunování oblasti plyno-prachových mlhovin a bílých nadobrů od středu k periferii při přechodu od nepravidelné mlhoviny přes spirální ke sféroidální galaxii, jenž je doprovázen zvyšováním počtu hvězd;
2. vymizení strukturální nehomogenity při přechodu touto posloupností galaxií, které je způsobeno postupným promísením všech typů hvězd, a poměrně malé rozměry sféroidálních galaxií ve srovnání se spirálními, což svědčí o nepřetržitém procesu smršťování galaxií.

2. Vznik hvězd. Plyno-prachové mlhoviny

Aby měly myšlenky, vyslovené v předcházejícím odstavci, podstatný význam pro kosmogonii, je třeba, aby nám přispěly, použijeme-li je za východisko, k jednotnému výkladu vzniku galaxií i tvoření hvězd a planet. Povaha galaktických (otevřených) hvězdokup může být pochopena nejlépe, považujeme-li tyto hvězdokupy za zdroj nových hvězd.

Vytváření otevřených hvězdokup je v podstatě též proces gravitační kondensace hmoty, jako je vytváření galaxií. Jediným novým prvkem je slabé gravitační působení hvězdokupy na jednotlivé hvězdy. Nehledě na to, že celková energie hvězdokupy může být záporná, setkání tří hvězd budou vzhledem k výměně momentů hybnosti a energie přispívat k rozpadu hvězdokupy. Malá potenciální bariéra nezabrání nejrychlejším hvězdám v úniku z kupy. Počet hvězd v kupě z počátku poroste, neboť bude pokračovat vznikání hvězd, později však se bude zmenšovat vzhledem k únikům rychlých hvězd.

Podle naší hypotézy plyno-prachové mlhoviny nutně vznikají zároveň s hvězdami. Avšak v řadě hvězdokup, složených z bílých nadobrů, jsou buď velmi slabé, nebo zcela

chybějí. U řady hvězdokup pak pozorujeme zřetelně mlhoviny uvnitř kupy (Plejady, NGC 6530 a j.). Při tom nelze připustit, že by stáří bílých nadobrů typu O nebo B, jak bylo určeno zcela odlišnými metodami, převyšovalo 10^6 let. Proto mlhovina, jež vznikla při zrození těchto hvězd, se musela rozptýlit nebo uniknout z hvězdokupy v časovém intervalu řádově 10^6 — 10^7 let. Jedině v takovém případě můžeme pozorovat hvězdokupu typu O bez mlhoviny. Nejpravděpodobnější odhad stáří mlhovin je 10^5 — 10^6 let. K rozpadu mlhovin přispívá kromě tlaku záření hvězd uvnitř nebo poblíž mlhoviny i ta okolnost, že prvotní oblak předhvězdných částic je nejčastěji v podstatě systémem oblaků menších rozměrů, o průměru řádově 1 pc, u nichž mohla být značná disperse rychlostí. Energie jednotlivých skupin oblaků mohla býti kladná vzhledem k jejich společnému těžišti. Proto nejen plyno-prachové mlhoviny, vznikající zároveň s hvězdami, ale mnohdy i celé skupiny hvězd mohly tvořit systémy s kladnou energií, rychle se rozptylující uvnitř galaxie.

Zvláště zajímavá je otázka záření plyných mlhovin. Často v blízkosti mlhoviny chybějí hvězdy, schopné vyvolat záření plynu. Záření atomů vodíku nemohou vyvolat ani srážky předhvězdných částic, měnících se při tom v plyno-prachovou mlhovinu, když střední rychlost částic nepřevyšuje 1 km/sec; byly by nutné srážky o rychlostech nejméně 10 km za sec. Tak vysoká kinetická energie částic je nepravděpodobná, protože by se oblak rozptýlil dříve, než by došlo ke vzniku hvězdy, kdyby jeho hmota nepřevyšovala $10 \odot$. Ovšem relativní rychlosti jednotlivých oblaků — protohvězd — mohou být stejné jako u hvězd, které se z nich posléze vytvoří, tedy i řádově 10 km/sec.

Na základě Oortovy hypotézy o významu mechanismu srážek pro záření plyných mlhovin byla vypočtena teplota stlačeného plynu $T = 40\,000^\circ$, která může již vyvolat jasné záření. Při srážkách mlhovin jimi procházejí nárazové vlny, kterými lze vysvětlit vznik svítících vláken. K tomu je nutné, aby nárazové vlny měly velkou energii a tedy musí být značná i kinetická energie pohybujících se mlhovin. Je možné, že někdy jejich rychlost je řádově několik desítek km/sec.

Záření difusních plyných mlhovin svědčí o rozptylu energie mlhovin, a tedy i ve prospěch naší hypotézy. Zdrojem energie nárazových vln v mlhovinách je zřejmě kinetická energie oblaků předhvězdných částic. Tato energie vzhledem k dobré elektrické vodivosti plynu v mlhovinách může u nich vyvolávat i slabé magnetické pole.

Chemické složení předhvězdných těles nemůžeme úplně ztotožňovat se složením plyno-prachových mlhovin. Prachovou složku v mlhovinách lze objevit jen s velkými obtížemi; v některých z nich však při značné hustotě plynu existuje velké množství kosmického prachu. Jím jsou patrně tvořeny husté stínící clony ve svítících mlhovinách i globule a protáhlé oblaky prachu, působící t. zv. kosmickou absorpcí světla; uvážíme-li, že mlhoviny složené z velkých částic nemůžeme vůbec pozorovat, vidíme, že temná hmota je v Galaxii značně rozšířena. Chemické složení plyné složky svítících mlhovin se jen málo liší od složení hvězdných atmosfér: asi 54 % hmoty plynu tvoří vodík, 45 % helium a pouze 1 % připadá na těžší prvky, hlavně uhlík, dusík, kyslík, neon, hořčík a argon.

Zcela rozdílné je však složení prachových mlhovin a globulí. Namrzání molekulárního vodíku na prachových částicích je v podmínkách Galaxie prakticky nemožné. K tomu může docházet jen uvnitř globulí, zcela neprůhledných pro záření hvězd. Ve zředěných prachových mlhovinách může vodík existovat pouze ve sloučeninách s uhlíkem, dusíkem a kyslíkem. Helium se může vyskytovat v prachových částicích jen ve zcela nepatrném množství. Je proto přirozené předpokládat, že chemické složení předhvězdných těles,

z nichž vznikají plyno-prachové mlhoviny a globule, je odlišné od složení hvězdných atmosfér zejména co do vyššího obsahu těžších prvků.

Nejlepší důkazy o složení předhvězdných těles získáme přirozeně studiem komet. Jak známo, jádra komet jsou složena v podstatě z ledových krystalů vodíku s příměsí prachu. Tím se komety nápadně liší od všech ostatních malých těles ve sluneční soustavě. Je sotva nutno dokazovat, že uvnitř sluneční soustavy taková tělesa nemohla vzniknout. V poli slunečního záření se komety tak rychle rozpadají, že za jejich nejvyšší stáří (počítaje doby, kdy se objevili v blízkosti Slunce) můžeme pokládat 10^3 — 10^4 let. Nelze rovněž mít za to, že by komety mohly vznikat z hmoty, vyvrhované z velkých planet, protože existence vodíkových sloučenin v jádrech komet ve formě ledu by se nedala nijak vysvětlit. Dnešní představy o vnitřní stavbě velkých planet rovněž vylučují představu o vzniku vodíkového ledu pod atmosférou těchto planet.

Je proto logické pokládat jádra komet ne-li přímo za vlastní předhvězdná tělesa, která se dosud zachovala na periferii sluneční soustavy, tedy v každém případě za zhuštění, vytvořená v procesu gravitační kondensace z ostatních předhvězdných těles.

3. Rozdělení momentu hybnosti v prvotním oblaku. Tvoření hvězdy

Předpokládejme, že prvotní oblak předhvězdných těles, z něhož hvězda vzniká, má poloměr řádově 0,05 pc, a hmota vznikající hvězdy je rovna $10 \odot$ (typický bílý nadobr spektrální třídy B). Dostaneme střední hustotu oblaku $\bar{\rho} = 2 \cdot 10^{-18}$ g/cm³. Je-li střední poloměr částic 1 m, pak při rychlosti $v = 1$ km/sec dojde v oblaku ke $5 \cdot 10^{13}$ srážkám za 1 sec. Za období 10^6 let se počet částic v oblaku i počet srážek zmenší přibližně dvakrát. Zároveň se zmenší i střední rychlost částic, neboť všechny částice s rychlostí vyšší než kritickou (v_k) na periferii z oblaku uniknou.

V daném případě je $v_k = 1,3$ km/sec. Rychlé částice budou opouštět oblak bez překážek, neboť mají v našem případě volnou dráhu řádově 10^{19} cm. Rozrušování částic vlivem srážek povede k přeměně oblaku v plyno-prachovou mlhovinu. Nevelká část předhvězdných částic může zůstat uvnitř mlhoviny a stát se později kondensačními jádry pro prach. Celková kinetická energie soustavy se následkem ztráty energie při srážkách částic bude zmenšovat a oblak se bude dále smršťovat v globuli. Část plynu a prachu, vznikající při srážkách nejrychlejších částic, z oblaku unikne a vytvoří plyno-prachovou mlhovinu, které je souzeno rozptýlit se v mezihvězdném prostoru. Proces smršťování plyno-prachové globule může trvat v kosmogonickém smyslu poměrně krátkou dobu — řádově 10^5 — 10^7 let. Velké difusní mlhoviny se nemohou smršťovat za působení pouze vnitřních sil.

Poměrně vysokou hustotu hmoty v globuli může vyvolat nejen gravitační kondensace, ale i vliv neelastických nárazů plyno-prachových mlhovin. V tomto případě mohou hvězdy vznikat z hustých prашných vláken.

Mnozí autoři mylně předpokládali, že hlavní obtíž pro kosmogonické hypotézy o současném vzniku Slunce i planet je v rozdělení momentu hybnosti v sluneční soustavě.

Ve skutečnosti základní podmínkou pro to, aby z drobných těles (včetně částic prachu a plynu) mohlo vzniknout jedno ústřední těleso, je malá hodnota jejich momentu hybnosti vzhledem ke středu kondensace.

Pro mezní úhlovou rychlost otáčení (w_0) kapalného tělesa platí Crudelliova podmínka

$$w_0^2 \leq 2 \pi G \bar{\rho}, \quad (1)$$

kde $\bar{\rho}$ je střední hustota. Této úhlové rychlosti odpovídá na rovníku tělesa (poloměr rovníku R) postupná rychlost v_0 :

$$v_0^2 \leq 2 \pi G R^2 \quad (2)$$

Žádné těleso o hmotě m a momentu otáčení větším než

$$\mu_0 = m R v_0, \quad (3)$$

se nemůže připojit k centrálnímu tělesu, aniž by zvětšilo jeho úhlovou rychlost nad mezní hodnotu v_0 . Všechna taková tělesa budou vržena zpět odstředivou silou a nestanou se součástí ústředního tělesa. Ze zákona o zachování momentu hybnosti vzhledem ke středu kondensace plyne mezní rychlost (v_m) částice o hmotě m v libovolné vzdálenosti r od středu:

$$v_m = \frac{\mu_0}{m r}. \quad (4)$$

Pro vzdálené částice bude v_m velmi malá a proto bude prakticky nemožné, aby dopadly na centrální těleso. Necht' počet částic v jednotce objemu o rychlosti částic z intervalu ($v, v + dv$) je roven $N(v) dv$. Pak celkový otáčivý moment těchto částic bude $m N(v) v r dv$. V kulové vrstvě mezi dvěma koulemi o poloměrech r a $r + dr$ bude otáčivý moment částic $4 \pi m N(v) v r^3 dv dr$. Abychom našli celkový moment všech částic, které jsou schopny spojit se v ústřední těleso, musíme integrovat podle v od 0 do v_m a podle r od 0 do R_0 , kde R_0 je poloměr globule. Celkový otáčivý moment centrálního tělesa je tedy

$$\mu = 4 \pi m \int_0^{v_m} \int_0^{R_0} v N(v) r^3 dv dr. \quad (5)$$

Z výrazu (5) plyne, že μ závisí na znamení hodnot v , přes něž integrujeme. V případě, že počet pomalých částic s přímou rotací se blíží počtu částic s rotací opačnou, může být μ libovolně malé. Dolní hranicí veličiny μ je nula, a proto srovnání otáčivého momentu Slunce — ústředního tělesa naší planetární soustavy — s momentem orbitálních pohybů planet nemůže být kriteriem správnosti naší nebo Šmidtovy kosmogonické hypotézy. Celková hmota ústředního tělesa M může být vyjádřena integrálem

$$M = 4 \pi m \int_0^{v_m} \int_0^{R_0} N(v) r^2 dv dr. \quad (6)$$

M na rozdíl od μ už nezávisí na znamení v , neboť $N(v)$ je veličina kladná. Neelastické srážky částic, vedoucí ke zmenšení disperse energie a momentu hybnosti částic v objemové jednotce, budou zvyšovat počet částic s rychlostmi menšími než v_m a povedou k jejich dopadání na ústřední těleso. Možnost neomezeného růstu M je ovšem ve vyšším stupni podmíněná, neboť obecně celkový moment hybnosti všech částic ve zhušťující se globuli nemůže být roven nule. To je správné i pro pomalé částice, protože v_m závisí pouze na r .

Proto tedy tou měrou, jak se budou k ústřednímu tělesu připojovat nové částice, bude se jeho celkový moment otáčivý μ_0 zvyšovat a může v řadě případů dosáhnout až kritické hodnoty, dané Crudelliovou podmínkou. Svědčí o tom velké úhlové rychlosti otáčení bílých nadobrů.

V případě, že v globuli vzniknou dvě kondenzační jádra, jež mají velké vzájemné momenty hybnosti, vznikne dvojhvězda. Jsou-li momenty hybnosti vnějších částic globule vzhledem k jejímu středu malé, pak téměř všechna hmota se soustředí v centrálním tělese a ze zvýbající hmoty globule se vytvoří planetární soustava.

4. Vznik planet podle Gureviče a Lebedinského

Vlivem vzájemných srážek předhvězdných těles a prашných částic v plyno-prachové mlhovině, obklopující Slunce, a vlivem dopadání částic na Slunce ustálil se pro Slunce i planety jistý společný směr rotace. Ve prospěch této představy svědčí sklon slunečního rovníku vzhledem ke střední rovině pohybu planet a fakt, že dráhy planet nejsou úplně komplanární. Kdyby byly planety vznikly oddělením prstenců na rovníku smršťujícího se ústředního tělesa, jak se domníval Laplace, pak by se Slunce i planety musely pohybovat v jedné rovině.

Další vývoj, následující po vzniku Slunce a obklopující je silně zploštělé mlhoviny, byl teoreticky propracován L. E. Gurevičem a A. I. Lebedinským. Jejich práce jsou do značné míry rozvinutím myšlenek O. J. Šmidta.

Pro nás jsou podstatné tyto závěry uvedených autorů:

1. Vlivem gravitační kondensace vznikla v plyno-prachové mlhovině, obklopující Slunce, z počátku prvotní zhuštění, jejichž dráhy v dané vzdálenosti od Slunce byly totožné. Prvotní zhuštění se značně rychle spojovala a vznikaly tak v podstatě již malé planetky. V oblasti Jupitera měla tato druhotná zhuštění hmoty řádově 10^{27} g.

2. Nynější planety se vytvářely z těchto druhotných zhuštění po velmi dlouhou dobu. U Jupitera trval tento proces řádově 10^7 — 10^8 let, u Uranu, Neptuna a Plutona 10^9 let.

3. Planety vznikaly koncentrací úlomků a prachu, který se tvořil při srážkách oněch druhotných zhuštění a dopadal na nedotčená tělesa, jež se stávala jakýmisi kondenzačními jádry. Po dobu tvoření planet bylo v mlhovině takové množství prachu, že byla úplně neprůhledná pro sluneční záření.

4. Jak po prvé uvedl O. J. Šmidt, k rotaci planet kolem osy došlo proto, že se snížila energie těles, z nichž se v důsledku srážek planety vytvořily, zatím co jejich celkový moment hybnosti zůstal stálý.

Na základě výpočtů Gureviče a Lebedinského lze tvrdit, že za hranicí Neptunovy dráhy nemohlo dosud dojít ke spojení druhotných zhuštění v planety. Zdá se, že Pluto není normální planetou, ale spíše jen jedním z největších druhotných zhuštění v oblasti za Neptunem. Musí zde rovněž existovat velké množství hmoty v podobě prvotních a druhotných zhuštění a předhvězdných těles. Drobný prach zřejmě již dávno vymizel, neboť byl brzděn slunečním zářením. Oblak prachu o nepatrné hmotě, který nyní pozorujeme v okolí Slunce v podobě zvířetníkového světla, možná pochází z této oblasti za drahou Neptuna. Komety, přicházející z této oblasti, se objevují následkem srážek malých těles nebo proto, že jejich pohyb je rušen velkými hmotami planet, druhotných zhuštění nebo i hvězd.

5. Hmota Slunce v období tvoření velkých planet

Žádné z dosavadních hypotéz se nepodařilo vysvětlit rozdělení planet Sluneční soustavy na dvě skupiny. Velké planety na rozdíl od planet zemského typu jsou složeny převážně z lehkých prvků (hlavně z vodíku), a to nejen jejich atmosféry, ale i nitro, čímž se blíží co do chemického složení Slunci, hvězdám, mlhovinám a předhvězdným tělesům.

Při tom všechny planety vznikly z jedné a téže plyno-prachové mlhoviny, tedy materiálu chemickým složením homogenního. Vzhledem k vysoké neprůhlednosti mlhoviny byla v ní teplota blízká absolutní nule. Lehké prvky nemohly proto z mlhoviny unikat. Nestačí předpokládat, že vnitřní část mlhoviny byla poloprůhledná pro svou malou hmotu a hustotu.

V souvislosti s tím je zajímavé, jaký odhad dostaneme pro hmotu oblasti vnitřních planet za předpokladu, že mlhovina měla kdysi všude stejné chemické složení. Prvky těžší než vodík a helium tvoří pouze 1 % celkové hmoty mlhovin. Součet hmot Merkura, Venuše, Země, Marsu a planetek dává právě $2m_Z$, kde m_Z je hmota Země. Hmoty vnitřních planet před tím, než unikly lehké prvky, byla tedy $200m_Z$. Byla rozložena na ploše (mlhovina byla téměř plochá) asi 30 a. j.²

Předpokládáme-li, že Jupiter vznikl z látky obsažené v prstenci o středním poloměru 5 a. j. s minimální šířkou 4 a. j., pak byla jeho hmota rozložena na ploše 120 a. j.² Hustota v oblasti vnitřních planet byla $7m_Z/a. j.^2$, v oblasti Jupitera $2,5m_Z/a. j.^2$

I kdybychom připustili, že procento těžkých prvků bylo dvakrát až třikrát větší, než se u mlhovin předpokládá, výsledek se kvalitativně nezmění. Hustota prachu v oblasti vnitřních planet bude při nejmenším stejná jako v oblasti velkých planet, nemohla být tedy vnitřní část mlhoviny poloprůhledná. I kdyby tomu tak bylo, muselo by se chemické složení planet spojitě měnit od Merkura až k Jupiteru, protože rychlost úniku lehkých prvků by závisela na vzdálenosti od Slunce. Ovšem chemické složení planet se za oblasti planetek mění skokem.

Příčina této obtíže, společné teoriím Šmidtově, Gurevičově i Lebedinského, tkví v představě, že hmota Slunce byla v období, kdy se tvořily planety, konstantní. Tato představa není nijak opodstatněná. Naopak, je v protikladu s pomalou rotací Slunce, neobvyklou u malých hvězd. Ta se dá snadno vysvětlit za předpokladu, že hmota Slunce se během jeho vývoje několikrát zmenšila, neboť úbytek hmoty hvězdy vede k náhlému poklesu momentu otáčení.

Už z tohoto jediného předpokladu přicházíme k domněnce, že Slunce bylo v době svého vzniku masivní hvězdou spektrální třídy B. Vývoj hvězd třídy B přes stádium hvězd Wolf-Rayetových a P Labuti až k fázi rudých obrů není delší než 10^7 let. Ve stadiu nestabilního rudého obra hvězda rovněž nesetrvá déle. Již v tomto období hvězda ztrácí velké množství hmoty, protože rudý obr má při poměrně malém hmotě velký poloměr a úniková rychlost částic je tedy u něho malá. Když se sníží jeho hmota a svítivost, přejde rudý obr ve hvězdu hlavní posloupnosti. V této fázi je změna hmoty tak pomalá, že již nemá kosmogonický význam. Když uplynulo 10^7 let od vytvoření Slunce z globule, byla jeho hmota již stejná jako dnes. Bylo to dávno před tím, než byl skončen proces vytváření velkých planet.

K rozptylu lehkých prvků mohlo dojít jedině tehdy, když vlivem slunečního záření se vypařila prašná clona. Tím i vymizelo prostředí, z něhož se mohly vytvářet planety. Tedy žádné planety nemohly vzniknout uvnitř hranice oblasti, v níž se mlhovina úplně vypařila. Ke vzniku planet zemského typu muselo dojít až v pozdějším období. Hranicí vypaření prachu byla zřejmě oblast Jupitera, neboť odtud počínaje se chemické složení látky nijak podstatně nezměnilo za celou epochu formování planet. Ze známé vzdálenosti Jupitera od Slunce můžeme vypočítat počáteční hmotu Slunce za jediného předpokladu, že totiž mlhovina se úplně vypařila. Dojdeme k výsledku, že počáteční hmota Slunce $M = 5,1 \odot$ a jeho svítivost $L = 670 L_0$ (L_0 je dnešní svítivost Slunce). Slunce tedy bylo hvězdou třídy B s absolutní velikostí — 2.

Uvedené hodnoty pro Slunce jsou charakteristické pro řadu hvězd spektrální třídy B. Mezi hvězdami, jež jsou složkami systémů proměnných, spojených s mlhovinou, najdeme hvězdy typu B, jejichž hmota je přibližně $5 \odot$ (U Oph, AG Per, RS Vul a j.).

4. Tvoření planet zemského typu

Při výronu plynu ze Slunce ve stadiu Wolf-Rayetovy hvězdy nedocházelo pouze ke zmenšování jeho hmoty. Vyvržené plyny byly částečně zachyceny mlhovinou, a to v množství úměrném prostorovému úhlu, pod nímž by byla mlhovina vidět ze středu Slunce. Za předpokladu, že v období největšího výronu plynu byla vnitřní hranice mlhoviny ve vzdálenosti 1,5—2,0 a. j., budeme brát tloušťku mlhoviny řádově stejnou jako průměr Jupitera, t. j. 10^{-3} a. j. V nejméně příznivém případě, kdyby byl výron plynu isotropní, mlhovina přesto zachytila 10^{-3} celkové vyvržené hmoty. Bylo-li v ní 10^{-2} či 10^{-3} těžkých prvků, odhadneme přírůstek hmoty v okolí hranice vypařování na 10^{28} g. Lehké plyny, vodík a helium, se rychle rozptýlily. Je možné, že i část hmoty zachycené mlhovinou se nestačila ochladit a vypařila se. V té části mlhoviny, kde byl pohlcen plyn vyvržený Sluncem, klesal specifický otáčivý moment, neboť u povrchových vrstev Slunce je velmi malý ve srovnání s otáčivým momentem částic ve vzdálenosti 1,5—2,0 a. j. V důsledku toho se část mlhoviny odtrhla od pásma, v němž se formoval Jupiter, a přiblížila se k Slunci. Tak vznikl prsten hmoty v oblasti, kde se vytvořily vnitřní planety.

I kdyby vylíčený mechanismus uchvacování plynu mlhovinou neměl rozhodující účinek, docházelo by přesto ke hromadění plynu a prachu v oblasti vnitřních planet, jakmile by se její vnější hranice posunula do vzdálenosti 1,5 a. j. od Slunce. Materiál by přicházel z pásma vnějších planet, a to cestou výměny momentů hybnosti mezi druhotnými zhuštěními při jejich srážkách. Při tom nutně vzniká značná disperse momentů hybnosti u prachu a úlomků. Částice, které ztratily část momentu hybnosti, by se přibližovaly k Slunci.

Ve skutečnosti zřejmě působily oba uvedené mechanismy. Jako argument možno uvést existenci radioaktivních prvků v zemské kůře a v planetkách. Radioaktivní prvky (uran, thorium, aktinouran a radioaktivní izotop draslíku) nemohly vznikat ani dříve, ani nyní za podmínek, panujících ve sluneční soustavě, z lehkých prvků. Ani současný stav vnitřních vrstev Slunce nedovoluje, aby tam vznikaly nestálé prvky. Při tom tyto prvky (thorium) existují i ve sluneční atmosféře.

Autor nedávno předložil hypotézu o vzniku radioaktivních látek z prachu za mimořádně vysokých tlaků, působících v nitrech hvězd. Teplota uvnitř hvězdy může dočasně stoupat až na 10^{11} i více stupňů. Tehdy jsou podmínky příznivé pro thermonukleární reakce vedoucí ke vzniku těžkých prvků. Lze se právem domnívat, že právě v tomto období vznikla i podstatná část hvězdného vodíku, neboť centrální zhuštění globule obsahovalo jen malé procento vodíku. Nápadná je i ta okolnost, že stáří radioaktivních prvků (5 až 6 miliard let) se řádově shoduje se stářím Země a tedy i Slunce. Je zřejmé, že tu nejde jen o pouhou shodu čísel, ale že vznik těchto prvků je v souvislosti se vznikem Slunce.

Když se prostor, v němž se dříve mlhovina vypařila, opět zaplňoval, nemohla vzniknout opět mlhovina v původní podobě, protože ze shluků částic, které se přibližovaly ke Slunci, unikly především lehké prvky. K vypaření těžších prvků byla už teplota slunečního záření nepostačující. K podobnému procesu vypařování lehkých prvků dochází i dnes u komet. Postupné vypařování metanového a čpavkového ledu vede k rozpadu

jádra komety a k její přeměně v meteorický roj. Proto lehké prvky, zejména vodík, mohly setrvat v pásnu vnitřních planet pouze ve sloučeninách s těžšími prvky.

Představa odtržení prstence hmoty od Jupiterova pásma vysvětluje dobře dříve nepochopitelný fakt, že mezi Marsem a Jupiterem je nedostatek hmoty. Nejvyšší hustota prstence byla v jeho středu, tam, kde vznikla největší z vnitřních planet, Země. Po obou stranách dráhy Země leží dráhy planet s menší hmotou.

Kromě toho je pozoruhodné, že planety s malou hmotou (Merkur, planety) mají největší sklon a výstřednost drah. Podle Šmidtových výpočtů se tyto elementy zmenšují v závislosti na počtu druhotných zhuštění, z nichž se planeta vytvořila.

V bezprostřední blízkosti Slunce se planety nevytvořily. Je to přirozeně proto, že Slunce v období, kdy se planety tvořily, ještě nepatřilo ke hvězdám hlavní posloupnosti (bylo zřejmě ve stadiu rudého obra s rychle klesající svítivostí). Hranicí vypařování prachu byla dráha Merkura. Absolutní velikost Slunce byla tehdy přibližně $+1,4$.

Jelikož v době vytváření planet vnitřních byla jejich oblast poloprůhledná, mohlo sluneční záření pronikat až k pásnu Jupitera. S dostatečnou přesností lze vypočítat teplotu v pásmech, kde se tvořily jednotlivé vnitřní planety, zanedbáme-li vliv pohlcování světla prachem. To je oprávněně zvláště pro pozdější období, kdy prostor mezi tvořícími se planetami byl již téměř prost prachu. Pak, považujeme-li T v pásnu Merkurové přibližně rovno 1600° , dostaneme pro Venuši $T = 1200^\circ$, pro Zemi $T = 1000^\circ$ a pro Mars $T = 800^\circ$. Z toho je patrné, že vzdálenost planet od Slunce do značné míry ovlivňovala rozptýl jejich atmosféry. V tomto období zřejmě došlo na Venuši k disociaci vodní páry, při čemž unikl vodík, a proto úlohu vodní páry převzal kyslíčník uhličitý, a z atmosféry Země téměř úplně uniklo helium a volný vodík.

Zvláště zajímavé je srovnání hustoty Merkura a Marsu. Jejich hustota je ve skutečnosti prakticky stejná, avšak hmota Merkura je 2,5krát menší než hmota Marsu, tedy bychom přirozeně očekávali, že v případě stejného chemického složení bude i jeho střední hustota nižší. Patrně na Merkuru chybějí i poměrně těžké prvky, jako uhlík, dusík a kyslík, což je pochopitelné, uvážíme-li, že se Merkur formoval v největší blízkosti Slunce, a tedy za nejvyšší teploty.

7. Počáteční stadium vývoje planet po jejich vytvoření

Pro další vývoj planet zemského typu po jejich zformování z prachu bylo charakteristické stále rostoucí zahřívání. Úloha radioaktivních látek při zahřívání zemské kůry byla poněkud přeceněna. Vážnějším a déle působícím činitelem je gravitační diferenciací hornin, jež není dosud ukončena a vede k neustálému růstu hustoty v jádře Země.

Energie, která se uvolní při gravitační diferenciaci za 10^9 let, stačí zahřát celou Zemi o 100° . Protože diferenciací probíhá nestejně, může na různých místech dojít ke zvýšení teploty až na 1000° , při čemž nastává místní roztavení zemské kůry. Nutno uvážit i tu okolnost, že již Země, vzniklá stlačením částic, měla vysokou teplotu, neboť 10 % energie, jež se uvolnila při stlačení, se spotřebovalo na její zahřátí. Připočteme-li ještě energii uvolňující se rozpadem aktinouranu, lze připustit, že vnitřní vrstvy Země byly zahřáty průměrně až na 1000° . Pro malou tepelnou vodivost vnitřních vrstev mohlo k uvolnění této energie dojít jen cestou geologických revolucí — dočasným rozšířením Země a vyvržením roztavených hornin. K ustálení tepelné rovnováhy nemůže uvnitř Země fakticky dojít.

Uvolňování gravitační a radioaktivní energie probíhalo dříve intenzivněji než v současnosti. Proto v raném stadiu vývoje planet zemského typu mohla v období revolucí

vznikat magmatická moře, analogická těm, která pozorujeme na Měsíci. I tam již zřejmě dávno skončily revoluce v kůře, provázené bohatým vyléváním magmatu. Nové revoluce mohou vést pouze k rozrušení horských systémů a ke vzniku nových.

Pro vývoj velkých planet mělo ještě větší význam uvolnění gravitační energie při stlačení. Při prvotním stlačení Jupitera dosáhla teplota v jeho středu $1,1 \cdot 10^5$. Nynější rovnovážný stav velkých planet se udržuje díky jejich pomalému smršťování, při čemž se uvolňované teplo kompenzuje pomalým chladnutím vlivem vyzařování.

Otázka vývoje velkých planet a jejich satelitů, která se poněkud vymyká rámci daného tematu, bude předmětem některé příští autorovy práce.

Zkráceně přeložil J. Ruprecht

O STEREOMETRICKÉM VYBUDOVÁNÍ THEORIE KUŽELOSEČEK

Dr VÁCLAV HAVEL

Úvod

Kuželosečka je obvykle definována jako rovinný řez rotační kuželové plochy. Klasická věta Dandelinova pak dovoluje charakterisovat elipsu užitím konstantního součtu průvodičů, hyperbolu užitím konstantního rozdílu průvodičů a parabolu užitím rovnosti průvodičů. Za hlavní výsledek elementární teorie kuželoseček lze pokládat větu o tom, že centrálním průmětem kuželosečky je opět kuželosečka. Tato hlavní věta dokazuje se různým způsobem; podáme přehled o těchto důkazech. Poznamenejme ještě předem, že thema má svůj osobitý půvab pro svou klasičnost (bylo důležitou součástí staré geometrie řecké, viz o tom ku př. stručný odkaz v (8), poznámka ⁹⁾ na str. 498), pro svou elementárnost (vždyť elementární poznatky o kuželosečkách jsou obecně uznávanou složkou všestranného vzdělání i laikova) a pro svou cenu methodickou (teorie kuželoseček má své místo při výkladech z deskriptivní geometrie na našich vysokých školách technických).

Je třeba vymežit, které prostředky geometrické se připustí k použití a které nikoliv. Jde o tyto prostředky: o metodu projektivní, metodu analytickou a konečně metodu stereometrickou.

Příkladem použití metody projektivní a stereometrické je výklad v knihách (2), (5), (6), (8): nejprve se studuje výtvar dvou projektivních svazků a o něm se (za určitých omezujících předpokladů) v rámci vlastností polárních dokáže, že splňuje některou z podmínek konstantního součtu průvodičů nebo konstantního rozdílu průvodičů anebo rovnosti průvodičů. Zmíněný výtvar dvou projektivních svazků snáší centrální promítání; z toho pak plyne žádaný důkaz hlavní věty. Nebo se též zmíněný výtvar s nalezenými vrcholy a ohnisky umístí na rotační kuželovou plochu (viz o tom citované místo v knize [5]). — Příkladem jemného použití metody analytické je postup švýcarského geometra profesora Ed. Stiefela v knize (9): ukáže se totiž, že útvar odpovídající v reciprocitě kružnici, má touž rovnici jako kuželosečka a že je tedy kuželosečkou. Pro kružnici odvodí se konstrukce bodů užitím věty Brianchonovy a tato konstrukce převede se re-