

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

V. G. Fesenkov

Meteority a jejich úloha v kosmogonii sluneční soustavy

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 2 (1957), No. 5, 588--597

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137201>

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>

že rovina prstence při jeho vzniku je kolmá k rovině rovníku i k rovině meridiánové, pak se prstence pohybují tak, že při dosažení slunečního povrchu je jejich rovina hodně odchýlená od povrchu Slunce, který protnou ve dvou místech o stejné heliografické šířce. Při dalším posouvání prstence se jeho „průsečky se slunečním povrchem“ — sluneční skvrny — pohybují neustále k rovníku. Alfvénova Walénova teorie o vířících prstencích tak vysvětluje, proč jsou skupiny skvrn tvořeny především dvěma velkými skvrnami a proč se objevují v párech, to je na severní a na jižní polokouli zároveň. I opačná polarita skupiny na severní polokouli vzhledem ke skupině na jižní polokouli je vysvětlena, neboť pro $t > 0$ má h v obou prstencích opačný směr. Otázka vzniku vířících prstenců v nitru Slunce je dosud otevřená a nebudeme se jí proto zabývat. Všechny úvahy, které jsme prováděli, mají samozřejmě charakter hrubých odhadů, neboť jsme předpokládali, že hmota uvnitř Slunce je nestlačitelná, hustota konstantní a vodivost nekonečná. Všechny tyto předpoklady jsou dosti vzdálenou aproximací skutečných poměrů v nitru Slunce. Avšak i v této jednoduché formě může Walénova teorie, jejíž princip jsme si právě vyložili, vysvětlit všechny dostatečně markantní jevy. Vznikem 11letého cyklu se zde nebudeme zabývat. Čtenář, který by se o otázky související s tímto cyklem zajímal, nalezne je velmi podrobně diskutovány v Alfvénově knize *Cosmical Electrodynamics* (dostupný je též ruský překlad: H. Alfvén, *Kosmíčeskaja elektrodinamika*).

Bylo by možné uvádět ještě další příklady užití M-H vln, to však již nebudeme činit. Cílem tohoto článku bylo pouze seznámit čtenáře srozumitelným způsobem s principem teorie M-H vln a ukázat užitečnost této teorie v moderní astrofysice.

METEORITY A JEJICH ÚLOHA V KOSMOGONII SLUNEČNÍ SOUSTAVY*)

V. G. FESENKOV

Jediná kosmická tělesa, jež můžeme studovat v našich laboratořích, jsou meteority. Vyskytují se v nejrůznějších velikostech, od nejmenších mikrometeoritů, které procházejí zemskou atmosférou, aniž by se znatelně zahřály, neboť jsou brzděny už v nejvyšších vrstvách atmosféry, až k rozměrným tělesům, vážícím desítky, stovky, ano i tisíce tun. Největší meteority se obvykle při setkání se Zemí drobí a vzniká tak množství úlomků a prachu. Při drobení Tunguzského meteoritu, jenž dopadl 30. 6. 1908, se jemný meteoritický prach rozšířil po celé atmosféře a působil po několik měsíců značné zeslabení slunečního záření. Sichote-Alinský meteorit, který dopadl v sovětském Přímoří 12. 2. 1954, byl složen z mnoha nepravidelně orientovaných a vzájemně špatně vázaných krystalů niklového železa; jeho rozpad způsobil pravý železný déšť na ploše několika čtverečních km. Původní hmota tohoto meteoritu byla nejméně tisíc tun. Velké meteoritické krátery Chubb v severní Kanadě o průměru 3,5 km, Canyon Diablo v Arizoně (USA) o průměru 1,2 km a řada dalších zřejmě vznikly při dopadu obrovských meteoritů o hmotě mnoha milionů tun, které již mohou být srovnány s drobnými planetkami.

*) V. G. Fesenkov, *Meteority i ich rol v kosmogonii solněčnoj sistěmy*, Astr. žurnal, č. 5, 1956.

Pokládá se za prokázané, že meteoritická hmota je složkou sluneční soustavy a nepochází z mezihvězdného prostoru. Všechny spolehlivě určené dráhy meteoritů mají totiž charakter zcela analogický drahám planetek. Nyní je již zcela nepochybné, že žádný z meteoritů se nepohybuje po dráze hyperbolické vzhledem ke Slunci. Svědectvím o této příslušnosti k sluneční soustavě je rovněž překvapující totožnost isotopového složení uhlíku a síry v meteoritech a v pozemských nerostech, jež byla experimentálně zjištěna A. V. Trofimovem.

Není proto žádných přímých podkladů pro to, abychom dělali úzkou analogii mezi meteoritickou hmotou a mezihvězdným pohlcujícím prostředím. Na druhé straně nelze pochybovat o tom, že studium meteoritické hmoty má velký význam pro kosmogonii sluneční soustavy.

Úvodem je třeba poznamenat, že meteority, ačkoli patří k různým typům a liší se co do struktury, jsou přesto vzájemně spojeny spojitými přechody. Vyskytují se meteority čistě kovové, složené ze železa s různým obsahem niklu, kobaltu a jiných prvků; existují t. zv. palasity, nazvané podle ruského akademika P. S. Pallase, jež jsou vlastně houbou z niklového železa, v jejichž pórech jsou obsažena zrna olivinu; dále t. zv. mesosiderity, složené sice převážně z kamene, ale se značným obsahem železa a niklu. Velkou většinu meteoritů tvoří kamenné chondrity, jejichž typickým znakem jsou t. zv. chondrule, malá kulatá zrnka o rozměrech od desetin mm až do několika mm, jež se liší od okolní amorfni hmoty krystalickou stavbou. Ovšem i v chondritech je ve značném množství obsaženo železo a nikl v podobě zrněk, rozptýlených v kamenné hmotě. Konečně vzácnou odrůdou jsou t. zv. uhlíkové meteority s vysokým obsahem vázané vody, které po prvé vyšetřoval L. G. Kváša.

Když byla v meteoritech objevena přítomnost radioaktivních látek, bylo teprve možno položit otázku jejich stáří, i když odpověď byla spojena s řadou obtíží. Současný stav určování stáří meteoritů je asi tento: v jednotlivých případech lze stanovit stáří podle poměru množství původního radioaktivního materiálu, na př. U^{238} , k jeho konečnému produktu rozpadu Pb^{206} , nebo na základě vzájemného poměru různých isotopů olova Pb^{206} , Pb^{207} a Pb^{208} , jež jsou konečnými produkty rozpadu obyčejného uranu, aktinouranu a thoria. To je nejspolehlivější způsob, který se obecně používá ke stanovení stáří geologických útvarů; v případě meteoritů je tu však ta základní obtíž, že je u nich obsah radioaktivních látek o několik řádů nižší než v pozemských horninách. To platí zejména pro železné meteority a plně to odpovídá našemu předpokladu, že na naší planetě je uran a thorium soustředěno prakticky výlučně v relativně tenké povrchové vrstvě a meteority tedy co do mineralogické skladby odpovídají nejhlubším vrstvám Země. Druhá obtíž je v tom, že tento způsob určení stáří vyžaduje, abychom měli jistou představu o počátečním obsahu jednotlivých isotopů olova.

Tímto způsobem určený věk meteoritů charakterizuje časový interval, počínající utuhnutím meteoritické hmoty, neboť nadále jak radioaktivní látka, tak i produkty jejího rozpadu — v daném případě olovo — zůstávají navzájem těsně spojeny. Ve všech případech, kdy bylo této metody použito, bylo stáří meteoritů stanoveno téměř přesně na 5 miliard let. Novou metodou, používající řady rubidium — stroncium, bylo určeno stáří meteoritu Forest City a výsledek byl prakticky týž: 4,7 miliardy let.

Metoda založená na určování obsahu helia He_4 radioaktivního původu, které se

po dlouhou dobu používalo ke stanovení stáří meteoritů, nevede k cíli, neboť tento plyn se nemůže dlouho udržet v železných meteoritech, pokud se pohybuje v meziplanetárním prostoru. Mnohem těsněji je s hmotou železo-niklového meteoritu spojen jiný isotop helia He_3 , který je produktem radioaktivní přeměny tritia H_3 ; tritium je vyraženo kosmickými paprsky z jader železa, obsaženého v meteoritické hmotě. Meteority, na rozdíl od pozemských nerostů, obsahují značné množství tohoto isotopu helia kosmického původu. Isotop H_3 pozemského původu se tvoří při ozařování jader atmosférického dusíku kosmickými paprsky a velmi rychle přechází v He_3 , jež postupně proniká do meziplanetárního prostoru. V pozemských nerostech, chráněných před přímými účinky kosmického záření, nacházíme tento isotop helia jen ve zcela nepatrném množství — méně než 0,0001 obsahu obyčejného helia He_4 .

Ozařujeme-li meteority kosmickými paprsky, uvolňuje se He_4 , He_3 a H_3 , a jak již bylo uvedeno, H_3 přechází velmi rychle (poločas 12,5 let) v He_3 . To je hlavním zdrojem obsahu tohoto isotopu helia. Při radioaktivním rozpadu uranu se uvolňuje pouze He_4 . Obsah He_3 v meteoritech tedy charakterizuje dobu, po kterou jsou vystaveny účinkům kosmického záření, t. j. dobu, po kterou existují jako samostatná kosmická tělesa. Tento způsob je sice pouze přibližný, avšak v několika případech, kdy byl aplikován, se došlo k časovému intervalu asi 300 milionů let. To znamená, že samostatná existence těchto meteoritů v meziplanetárním prostoru, jež počíná jejich oddělením z nějakého mnohem rozměrnějšího tělesa, je poměrně krátká proti stáří planetární soustavy, konkrétně naší Země. Tyto závěry jsou v nápadném rozporu s výsledky metody radioaktivního olova, která ve všech případech bez výjimky udává stáří meteoritů řádově 4—5 miliard let.

V posledních letech se jak v SSSR, tak i v jiných zemích počalo používat argonové metody určení stáří meteoritů, jež je založena na měření obsahu argonu A_{40} ; tento isotop se uvolňuje z radioaktivního draslíku K_{40} , který vždy tvoří jisté procento z celkového obsahu draslíku v meteoritu. Použijeme-li této metody k určení stáří pozemských hornin, je v dobrém souhlase s obvyklou urano-olověnou metodou.

Sovětská vědci Gerling, Pavlovová a Rik určili argonovou metodou stáří velkého počtu meteoritů a dospěli k nejrůznějším hodnotám, od několika set milionů do 4,5 miliardy let. Tato různost stáří jednotlivých meteoritů není zcela jasná. Na jedné straně argon, ačkoli má větší atomový poloměr než helium, může přece jen unikat do meziplanetárního prostoru, zvláště zvýší-li se teplota meteoritu, což může nastat v případě značného přiblížení ke Slunci. Takto se vysvětlují i stopy metamorfosy meteorické hmoty, více či méně patrné a svědčící o značném zahřátí. Avšak únik argonu lze takto vysvětlovat jen v jednotlivých případech. Perihelové vzdálenosti drah meteoritů se obvykle příliš neliší od poloměru dráhy Země, a nemáme důvodů předpokládat, že by se značná část meteoritických drah byla v minulosti náhle změnila, takže by se po jistou dobu přiblížily k Slunci. V řadě případů však zřejmě unikání argonu musí nějakou příčinu mít; vyplývá to na příklad z toho, že různé části jednoho meteoritu, stejné co do složení, ale lišící se vzájemně svou stavbou, mohou mít zcela odlišné stáří.

Příkladem překvapujícího rozdílu mezi stářím kovové a kamenné fáze je meteorit Brenham. Thomson a Mayne zjistili, že stáří železo-niklové houbovitě kostry tohoto meteoritu dosahuje maximálně 280 milionů let, zatím co věk olivi-

nových zrn, obsažených v kostře meteoritu, určený toutéž argonovou metodou, je o celý řád vyšší a blíží se k stáří sluneční soustavy. Ke stejnému výsledku dospěl Ch a c k e t t v případě jiného palasitu. Vzniká dojem, jako by olivín byl přimísen do roztaveného niklového železa až dlouhou dobu po svém vzniku a zůstal při tom v pevném stavu. Mohlo k tomu dojít v důsledku nějaké katastrofy, při níž hůře tavitelný kámen (olivín) byl pouze rozdroben, zatím co kovová fáze byla zcela nebo částečně roztavena. K představě procesu drobení zároveň s částečným, ne příliš velkým zahříváním nás vedou i četné jiné zvláštnosti meteoritické hmoty.

Na druhé straně je různost stáří meteoritů, na niž ukazuje argonová metoda, zcela slučitelná s představou, že meteority vznikaly téměř po celou dobu existence sluneční soustavy, ne toliko před asi 300 miliony let, jak bylo u několika meteoritů stanoveno metodou isotopu helia He_3 .

Metody, používané v současné době ke stanovení stáří meteoritů a založené na přirozeném předpokladu, že radioaktivní rozpad pravděpodobně probíhá stále, vedou tedy k závěru, že vlastní hmota meteoritů se svými stavebními zvláštnostmi sice vznikla současně s planetami, avšak meteority jako samostatná tělesa, pohybující se v meziplanetárním prostoru, vznikaly po celou dobu existence sluneční soustavy a možná vznikají ještě i nyní.

V dalším věnujeme pozornost stavbě meteoritů.

Omezíme-li se z počátku na kamenné meteority, které se vyskytují nejčastěji, a to zejména na chondrity, pak nejnápadnějším znakem jejich stavby jsou chondrule, složené buď z olivínu nebo z několika různých minerálů. Svým složením se chondrule obvykle neliší od ostatní hmoty meteoritu. Dojde-li k další metamorfóze, při níž chondrule ztratí svou původní krystalickou stavbu, slíjí se s celkovou hmotou meteoritu a nedají se pak už nijak odlišit. Takto pravděpodobně vznikla poměrně vzácná odrůda meteoritů — achondrity.

Někdy lze chondrule oddělit od ostatní hmoty meteoritu, obvykle křehké, zcela lehce pouhým mnutím rukou, a mohou pak být roztrženy podle velikostí. Podle Zavarického existují i chondrule z čistého železa, v některých případech i překryštalizovaného.

Chondrule zřejmě vznikly v poměrně hustém mračnu, v němž byly rozptýleny kapky tekuté látky, které rychle ztuhly. Krystalisace začíná obvykle s povrchu chondrule. Národným dokladem o vzniku chondrulí z rozptýleného roztoku je fakt, že obvykle obsahují sklo.

Prostředí, obklopující chondrule, velmi často sestává z poměrně velkých úlomků, které někdy patří k různým druhům meteoritů. Tento typ struktury meteoritů vyvolal domněnku, že vznikly v důsledku nějaké katastrofy, při níž byla část původní látky rozdrobena a část roztavena v rozptýlené kapky. Celý význam chondritové struktury pro vznik meteoritů není dosud zcela jasný. V dalším se k této otázce ještě vrátíme.

Pokud jde o železné meteority, pak jejich metalografická struktura přímo svědčí o procesu jejich vzniku. Je známo, že v železných meteoritech s nízkým obsahem niklu pozorujeme na průřezu mikroskopické Neumannovy čáry, jež se často vzájemně protínají pod téměř příným úhlem. Metalurgům jsou dobře známy podmínky, za nichž mohou vznikat takové soustavy čar. Objevují se i v čistém železe za poměrně nízké teploty, přibližně pokojové, při silném úderu nebo při náhlé

změně tlaku. Teplota železa nesmí převyšovat v žádném případě 600—700° C. Při této limitní teplotě se Neumannovy čáry objeví jen po velmi silném úderu. Zahřívá-li se železo až na 900° C, zmizí čáry během několika minut.

Neumannovy čáry nesporně nemohou vzniknout v té krátké době, kdy je meteorit brzděn v zemské atmosféře. Brzděním se nerozruší ani velmi křehké meteority. Při dopadu velkého železného meteoritu na povrch Země se již existující síť Neumannových čar obvykle deformuje rovnoběžně s rovinou úderu o skálu, jak vidíme na četných úlomcích, jež byly nalezeny v kráterech, vytvořených Sichote-Alinským železným deštěm.

Proti možnosti vzniku Neumannových čar během brzdění meteoritu v atmosféře svědčí jasně zejména ten fakt, že u některých meteoritů pozorujeme uvnitř i vně těchto čar částečný přechod železa z fáze α do fáze γ , k čemuž je zapotřebí delší doby. Je tedy zcela nepochybné, že Neumannovy čáry vznikají v důsledku katastrofy — výbuchu nebo úderu při srážce, k níž došlo dlouho před tím, než se meteorit setkal se Zemí.

Neumannovy čáry tedy svědčí o náhlých změnách tlaku uvnitř meteoritu, k nimž dochází už po jeho vzniku a úplném ztuhnutí. Při odrazu nárazové vlny od povrchu meteoritu vzniká druhotný systém čar, orientovaný podle směru nárazu a vzhledem k původnímu systému čar odkloněný. Posunutí hmoty v krystalu niklového železa je ovšem rovnoběžné s jednou z jeho základních rovin. Vlastní hmota meteoritu, dříve než byl oddělen jako samostatné těleso po nějaké katastrofě, vznikala za zcela jiných podmínek. Přesvědčíme se o tom, vyšetřujeme-li metalografickou strukturu železných meteoritů, jež jsou v podstatě slitinou železa a niklu, k níž je přimíšeno jisté nevelké množství kobaltu a několika jiných prvků, jak již bylo výše řečeno.

Čisté železo tuhne z taveniny v podobě fáze γ , při čemž krystalisace probíhá po stěnách osmistěnu. Při teplotě 910° C přechází ve fázi α , poněkud tužší, s atomy rozloženými na vrcholech a ve středu krychle. Slitina železa s niklem se chová poněkud jinak. Teplota přechodu ve fázi α je o něco nižší, a to tím více, čím větší je procento niklu ve slitině. Po ztuhnutí vzniká nejprve fáze γ , pak mechanická směs obou fází γ i α , a při dalším snižování teploty dojde k přechodu pouze ve fázi α .

Při pozvolném ochlazování slitiny železa a niklu je nejpodstatnější to, že k přechodu z fáze γ k fázi α dochází především v místech největšího zhuštění atomů, t. j. v rovinách osmistěnu, při čemž je homogenita původní slitiny porušena jak co do charakteru krystalisace, tak co do chemického stavu. Fáze α , tvořící se na hranách osmistěnu, je chudá niklem — jsou to destičky kamacitu, jež se snadno porušují při styku s kyselinou a ztrácejí při tom lesk. Destičky kamacitu jsou lemovány pásy fáze γ , t. j. taenitu, slitiny značně bohaté niklem (obsah niklu v taenitu dosahuje až 60—70 %). Zbývající prostor je vyplněn mechanickou směsí fází α a γ , t. zv. plessitu, jenž má pod mikroskopem zrnitou nebo lamelovitou strukturu.

Je-li teplota relativně nízká a proces pokračuje dlouho, narůstají postupně velmi široké pásy kamacitu. Při leptání vyleštěné plochy meteoritu kyselinou dostaneme pro tuto strukturu typické Widmanstättenovy obrazce. Je možno i stanovit dobu, potřebnou k vytvoření takovéto struktury při pozvolném chladnutí roztoku, a to jak theoreticky, tak i experimentálně, uvážíme-li, že se rovná době,

za kterou obrazce při zahřívání zmizí. Takto zjistíme, že při teplotě 300—400° C je to doba řádově jedné miliardy let. Ježto předpokládáme relativně nízké teploty, bylo k vytvoření podobné meteoritické struktury třeba v každém případě velmi dlouhé doby.

Tomuto závěru nasvědčuje i ta okolnost, že Widmanstättenovy obrazce, získané laboratorní cestou, jsou pouze vysloveně mikroskopických rozměrů a nelze je vůbec srovnávat s obrazci meteoritického původu. Zvýší-li se tlak, sníží se poněkud teplota, při níž probíhají tyto změny struktury, na př. při zvýšení tlaku na 10^4 atmosfér klesne na 200° C.

Studium metalurgických zvláštností železných meteoritů přivedlo odborníky (S. H. Perry, H. H. Uhlig) k těmto obecným závěrům:

Widmanstättenovská struktura oktaedritů musela vzniknout za velmi vysokého tlaku jako výsledek pomalého chladnutí z velmi vysoké teploty na teplotu řádově 300° C. Je zcela vyloučeno, aby podobná struktura vznikla za teploty kolem 0° C, neboť by k tomu bylo zapotřebí delšího času, než je celé trvání sluneční soustavy.

Důkazem pro pomalý proces chladnutí původní hmoty, v níž se utvářela meteoritická látka, je i fakt, že jedině během velmi dlouhé doby mohly narůst monokrystaly niklového železa do tak ohromných rozměrů, jaké mají na př. známé meteority Boguslavka (padaly r. 1916 v Přímoří) i jiné.

Dalším dokladem je i pozorovaný jev difuze atomů niklu do prostředí niklového železa, k čemuž je rovněž třeba dlouhé doby. Je zjištěna i částečná difuze schreibersitu (fosfid niklového železa) do obklopujícího jej kamasitu, což je rovněž neobyčejně pomalý proces, značně závislý na teplotě.

Vše tedy mluví pro to, že utváření vlastní meteoritické látky se dělo v nitru dosti velké hmoty, a to po dlouhou dobu, zatím co součástí kosmického prostoru se meteority staly v důsledku nějakého náhlého procesu. Při tom došlo ke drobení a částečnému roztavení nebo dočasněmu zahřátí, které zpravidla nebylo příliš velké a nevedlo k vymizení Widmanstättenových obrazců.

Čím byla ona prvotní hmota, jež se stala zdrojem vznikajících meteoritů? Bylo to jedno jedině těleso, či byla z počátku soustředěna v několika oddělených tělesech?

Jak jsme viděli výše, meteority se vyznačují značně rozdílnými vlastnostmi — jsou kovové nebo kamenné, velmi tvrdé i značně křehké, s obsahem vody nebo bez ní. Dříve se pokládalo za nesporné, že všechny druhy tvoří postupné přechodné formy. Proto se předpokládalo (Zavarickij, Daly), že všechny mohly vzniknout z jednoho tělesa rozměrů planety, s nehomogenní strukturou. V tom případě by železné meteority vznikly z kovového jádra planety, kamenné meteority z hlubinných vrstev jejího silikátového pláště, kde se látka vytvářela v podmínkách nedostatku kyslíku, t. zv. eukryty by odpovídaly gabbro-čedičové vrstvě v hloubce několika km pod zemskou kůrou, a konečně uhlíkové chondrity, obsahující nejméně 10 % vázané vody, by musely prodělat proces analogický hydrotermální metamorfoze a odpovídaly by tedy nejsvrchnějším povrchovým vrstvám. Zavarickij odhaduje na základě vzájemného poměru počtu meteoritů různých typů, že železné jádro předpokládané prvotní planety by mělo rozměr 0,4 jejího poloměru. Americký geolog Daly odhadl poloměr železného jádra na 1000 km při celkovém poloměru planety 3000 km.

Těmto Dalyovým odhadům lze stěží přikládat váhu. Spíše lze souhlasit s U r e y e m, jenž předpokládá, že kovové meteority nevznikly ze železného jádra, nýbrž z jednotlivých místních nakupení kovu uvnitř této hypotetické planety. Tomu nasvědčuje jak to, že v žádném ze známých kamenných meteoritů není úplně diferencována kovová fáze od kamenné, tak i malé rozměry kovových meteoritů a pravidelně se v nich vyskytující sirnaté železo. Je nesporné, že meteority musely vzniknout v prostředí dostatečně velkém ve srovnání s jejich vlastními rozměry, avšak tímto prostředím byla pravděpodobně planetka bez železného jádra, v níž nebyla úplně oddělena kovová a kamenná fáze a jež se v žádném případě vůbec nepodobala planetě toho druhu, jako je naše Země. V planetě podobné Zemi nemůže totiž ve velkých hloubkách zůstat zachována krystalická stavba, která je zvláště charakteristická pro většinu meteoritů.

Nepřímým důkazem značných rozměrů prostředí, v němž se tvořila meteoritická látka, jsou i zákonitosti jejího chemického složení. Na př. zvyšuje-li se v chondritech obsah niklu v kovu, vzrůstá zároveň + obsah kysličníku železnatého ve fázi silikátové. Již r. 1919 Č i r v i n s k i j stanovil a později i ověřil zákonitost vztahů mezi nerostnými složkami chondritů, jež tedy nemohou vytvářet náhodné směsi. B r o w n a P a t t e r s o n zjistili, že stavba železných meteoritů a procento niklu a kobaltu do značné míry závisí na obsahu vzácných kovů, helia, palladia či zlata, které se vyskytují jen ve zcela nepatrném množství, pohybujičím se kolem několika miliontin procenta. Konečně A. A. J a v n ě l zjistil při vyšetřování bohatého materiálu, pocházejícího ze Sichote-Alinského železného deště, že nepatrný obsah drahých kovů, pokud jde určit kvantitativní spektrální analýsou, je proporcionálně též u všech individuálních meteoritů, ať již byly sebrány v kterékoli části kráterového pole. Tyto zákonitosti nebyly zatím dosud vysvětleny. Jejich objasnění lze zřejmě hledat v jisté podobnosti některých prvků. Na příklad to, že se železo vyskytuje vždy společně s niklem, zřejmě závisí na skutečnosti, že v krystalické mřížce může být železo snadno zastoupeno niklem. V každém případě však k tomu, aby uvedené zákonitosti mohly vstoupit v platnost, je třeba, aby byly splněny dvě nutné podmínky: aby mohlo docházet snadno a často k setkání nejrůznějších prvků a dále aby vhodné kombinace různých skupin prvků zůstaly zachovány. Těmto podmínkám vyhovuje poměrně nevelká planeta, jejíž teplota byla zprvu vysoká, a pak klesla hluboko pod bod tání. Není ovšem vyloučeno, že takových podobných planet mohlo být několik.

H. C. U r e y dospěl na základě četných analys kamenných meteoritů k závěru, že chondrity tvoří dvě různé skupiny, lišící se celkovým obsahem železa a stavem jeho oxydace. Soudí, že tyto skupiny nemohou vzájemně souviset nějakými postupnými přechody, jak by tomu bylo v případě prostého mísení. Předpokládá proto, že meteority nemohly vzniknout z jednoho, nýbrž spíše ze dvou různých prvotních těles. Rozdíl v chemickém složení planetek, vedoucí ke vzniku dvou typů chondritů, spočíval pravděpodobně v různosti obsahu kyslíku a v rozdílném stupni diferenciaci křemičitanů od niklového železa za stavu vysoké teploty.

J a v n ě l provedl novou klasifikaci železných meteoritů a rozdělil je na pět typů, nápadně se lišících obsahem niklu. Mimo to zjistil, že závislost mezi obsahem niklu v kovové fázi kamenného meteoritů a celkovým obsahem kovu není spojitá, jak se dříve předpokládalo, ale diskretní, a že odpovídá jednotlivým typům

chondritů. Z toho lze soudit, že již před vznikem meteoritů došlo k jisté diferenciaci prostředí, kterou se prvotní planety vzájemně lišily.

Lze tedy pokládat za prokázané, že meteoritická látka se vytvářela v nevelkých planetkách asteroidálního typu v době, kdy vznikly planety sluneční soustavy, to jest přibližně před 5 miliardami let, avšak meteority jako samostatná tělesa mohly vznikat v různou dobu, především v pozdějších obdobích, pouze před stamiliony let. K tomuto oddělování meteoritů dochází při postupném drobení planetek v důsledku jejich vzájemných srážek. Planety vznikly současně s planetami z téže protoplanetární látky a nebylo jich zprvu mnoho, lišily se však již od počátku svým složením. Možno také předpokládat, že během své dlouhé existence se planety postupně drobily následkem srážek a vznikala tak stále čtenější a drobnější tělesa. Tomu nasvědčuje i ta skutečnost, že jednotlivé rodiny planetek jsou poměrně mladé. Vznik meteoritů je tedy, pokud' můžeme soudit, jedním typem obecného procesu drobení planetek. To je několik závěrů čistě kosmogonického charakteru, k nimž lze dospět již v současné době hlubším studiem meteoritů. Další výzkum meteoritické hmoty bezpochyby povede k dalším zajímavým závěrům a přispěje tak k očištění kosmogonie od četných libovolných premis. Zásadní rozdíl mezi meteority a zemskými vrstvami je v tom, že zatím co zemské vrstvy byly podrobeny četným vlivům nejrůznějších činitelů po celé miliardy let, hmota nejstarších meteoritů se fakticky nezměnila od té doby, kdy vznikly současně se sluneční soustavou.

Nejvyšší stáří zemských vrstev, určené radioaktivní metodou, nepřesahuje 2 miliardy let, což je mnohem méně než stáří Země. Nejvyšší stáří meteoritů, jak kamenných, tak i železných, dosahuje 5 miliard let, a blíží se tedy stáří sluneční soustavy a odpovídá i době tvoření hmotného složení planet. K těmto nejstarším meteoritům patří na př. kamenný chondrit Jelenovka, který dopadl 17. října 1951 v USSR, nebo meteorit Forest Hill, rovněž chondrit bronzitového typu, který dopadl v podobě deště 2. května 1890 v USA, a řada jiných. Dá se očekávat, že studium látkového složení podobných meteoritů povede k určitějším představám o materiálu, z něhož se před miliardami let formovaly planety naší sluneční soustavy, tedy i naše Země. Vlastně již dávno různí autoři, jako Fersman, Goldschmidt, Daly a jiní, předpokládají, že průměrná skladba meteoritů dosti přesně odpovídá průměrnému složení typické planety, včetně Země; tento předpoklad, který se stal podkladem četných výpočtů, byl však dosud přijímán více méně libovolně. Solidnějším základem je nynější určení stáří meteoritů a důkaz jejich příslušnosti k sluneční soustavě.

Položíme-li si otázku, zda na základě známého složení nejstarších meteoritů můžeme soudit o složení prostředí, z něhož vznikaly planety sluneční soustavy, musíme mít především na zřeteli, že vyšetřované meteority mají za sebou dlouhou historii svého vývoje a hlavně katastrofický proces svého zrození z nějaké prvotní planetární hmoty. Během tohoto procesu docházelo ke drobení a také částečnému roztavení materiálu, což znamenalo vhodné podmínky pro snadný únik plynů původně v hmotě obsažených do prostoru. Tedy jestliže podmínky vzniku a další existence meteoritů jako samostatných těles v sluneční soustavě nemohly vést k podstatným změnám chemického složení jejich tvrdých nerostných složek, pak nepochybně obsah plynů v meteoritické hmotě se musel podstatně změnit ve srovnání s původním prostředím. Stejného názoru je i Urey, který se domnívá,

že meteority ztratily v ohromném množství nejen plynné složky, ale i některé jiné prvky, na příklad fosfor a síru. Je jisté, že původní prostředí, z něhož meteority vznikaly, a také i hmota, z níž byla již zformována prvotní planeta, musely mít nesrovnatelně bohatší obsah plynů než nynější meteority.

Máme bohužel dosud málo údajů, týkajících se obsahu plynu v meteoritech. Podle Zavarického při zahřívání meteoritů dostáváme skoro tytéž plyny, které se vyskytují v magmatických emanacích. Podle starších údajů se při zahřívání nejsnadněji uvolňuje kyselina uhličitá a nejobtížněji molekulární vodík, který vyžaduje zahřátí až do višňového žáru. Nejvyšší obsah plynů měly uhlíkové meteority.

Je zajímavé, že argon, vznikající v kamenných meteoritech při rozpadu radioaktivního draslíku, se uvolňuje o něco snadněji, t. j. za mírnější teploty než molekulární vodík. Domněnka, že by mohl vodík okludovat do meteoritů během jejich existence v meziplanetárním prostoru, je tedy bezpodstatná. Naopak, vodík obsažený v meteoritech musí být pouhým zbytkem tohoto plynu, kterým bylo proyceno prostředí, z něhož se vytvářely planety sluneční soustavy. Můžeme proto předpokládat, že původní prostředí muselo být dostatečně bohaté plynným vodíkem a že bylo v podstatě více či méně hustým oblakem prachu a plynu, obklopujícím prvotní Slunce.

Výzkum struktury chondritů může přispět k osvětlení některých podrobností vzniku planet z protoplanetárního prostředí. Závisí to na rozřešení otázky, zda vznik této struktury spadá do doby oddělení meteoritů od původní planety, či zda je nutno klást jej spíše do doby vytváření meteoritické látky samé, k čemuž muselo dojít podstatně dříve. Podle Zavarického meteority mohly vzniknout z hustých žhavých mračen s rozptýlenými kapkami magmatické taveniny, jež se tvořila při jistém druhu vulkanické činnosti nebo při rozpadu planety na kusy v důsledku srážky s jinou analogickou planetou.

Nelze však připustit, že by takto mohly vzniknout všechny známé chondrity, které tvoří při nejmenším 90 % kamenných meteoritů a převážnou většinu všech meteoritů vůbec. Mechanismus předpokládaný Zavarickým mohl mít pouze místní charakter, ať již jde o vulkanické vyvrhování hmoty nebo o srážku dvou planetek s poměrně malou relativní rychlostí, při čemž by podobný žhavý oblak mohl vzniknout pouze v nejbližším okolí bodu nárazu.

Mimo to je takovýto mechanismus velmi nepravděpodobný v době mládí sluneční soustavy, kdy pravděpodobně prsten planetek sestával většinou jen z několika velkých těles. K vzájemným srážkám těchto těles mohlo docházet jen ve velkých časových intervalech. Teprve v pozdějším období existence sluneční soustavy se počet planetek dostatečně zvýšil a dále se zvětšoval opakujícím se drobením při srážkách.

Vzhledem k těmto příčinám lze těžko předpokládat, že by chondritová struktura vznikala vždy až při oddělení jednotlivých meteoritů od původní planety, která by sama o sobě takovou strukturu neměla. Je zřejmě pravděpodobnější, že chondritová struktura se vytvářela současně se vznikem hmoty původní planety.

Abychom mohli přijmout toto stanovisko, musíme především přiznat, že argonová metoda stanoví pouze nejnižší možnou hranici, a ne skutečné stáří meteoritů, protože každý z nich zpravidla ztrácí větší či menší množství plynného argonu

a obsah tohoto plynu je proto vždy nižší. Víme skutečně, že argon velmi snadno z meteoritu uniká i při nepatrném zahřátí. Význam mají proto jen nejvyšší hodnoty věku kamenných meteoritů, a ty dosahují téměř 5 miliard let, to jest hranice věku naší sluneční soustavy. Není tedy žádných reálných námitek proti tomu, abychom stáří hmoty chondritů pokládali za stejné jako stáří hmoty bezprostředně před vznikem planet. S tohoto hlediska chondrule musely vzniknout již v procesu vytváření planet a jsou tedy pro něj charakteristické, při nejmenším v případě poměrně malých těles.

Zkráceně přeložil Jaroslav Ruprecht