

Informačná brožúra

Vytvorenie a potvrdenie teórie:

VZNIK ZEME AKRÉCIOU POMOCOU IMPULZNÉHO MAGNETICKÉHO POĽA

v spolupráci s medzinárodne
uznávanými expertmi



Agentúra
Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR
pre štrukturálne fondy EÚ



Moderné vzdelávanie pre vedomostnú spoločnosť/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ



Dopytovo orientovaný projekt číslo ITMS – 26140230006 „Vytvorenie a potvrdenie teórie vzniku Zeme akrciou v spolupráci s medzinárodne uznávanými expertmi“ je riešený na Geofyzikálnom ústave Slovenskej Akadémie Vied v rámci výzvy OPV-2010/4.2/03-SOR0.

ÚVOD

Vytvorenie a potvrdenie teórie:

VZNIK ZEME AKRÉCIOU POMOCOU IMPULZNÉHO MAGNETICKÉHO POĽA

v spolupráci s medzinárodne
uznávanými expertmi

Učivo fyziky na slovenských základných a stredných školách je preplnené encyklopedickými vedomosťami s malým dôrazom na integráciu preberaných vedomostí do jedného celku. To sa týka tak učiva rôznych prírodovedných predmetov, ktoré sa preberajú z 80 – 90 % ako uzavreté bloky, ako aj jednotlivých učebných celkov. Z toho sa vymyká matematika a fyzika, pretože kvantitatívny popis fyzikálnych javov sa vyjadruje matematicky. Paradoxne, možno práve toto spojenie robí z fyziky jeden z najneoblúbenejších predmetov. Možno by pritom stačilo urobiť len niekoľko malých zmien, ktoré sú už dnes podľa nového školského zákona v rukách samotných učiteľov. Na osobnosť učiteľa sa zrazu kladie veľmi silný dôraz, na jeho aktivitu a jeho tvorivosť. Už nejde o rozvíjanie tvorivosti u žiakov (ako to bolo doteraz), ale učiteľom uvoľňuje ministerstvo ruky a pýta od nich zvýšenú aktivitu, zatraktívnenie vyučovacích hodín, nové didaktické prístupy a metódy práce so žiakmi. Hlavným princípom je urobiť hodiny pútavejšími, zaujímavejšími a učivo ľahšie pochopiteľným. Jednoducho – gigantická úloha so šibeničným termínom. Tvorivosť učiteľa by sa pritom mala prejaviť práve v schopnosti integrovať vyučované poznatky a spájať ich do príťažlivých a možno aj prekvapivých súvislostí tak, aby samotní žiaci nad učivom mimovoľne premýšľali, aby ich vyučovanie zaujalo. Učiteľ však na vzťahy, súvislosti a spôsob podania poznatkov v integrálnom celku má prísť sám... Uvádzame jeden zaujímavý príklad, ktorý je takým motivačným a integrujúcim prvkom pri výuke fyziky. Spája v sebe fyzikálne poznatky z oblastí gravitácie, elektriny, magnetizmu, ako aj astronómie, geofyziky a geológie. Je to zároveň aj ukážka experimentálneho potvrdenia vypracovanej teórie. Čo viac by si mohol učiteľ fyziky priať pre demonštráciu metód a metodológie prírodných vied?

Pokúsime sa jednoducho vysvetliť novú teóriu vzniku planét, na ktorej sa výraznou mierou podieľajú slovenskí vedci a ktorá bola aj experimentálne overená prístrojom vyrobeným na Slovensku.

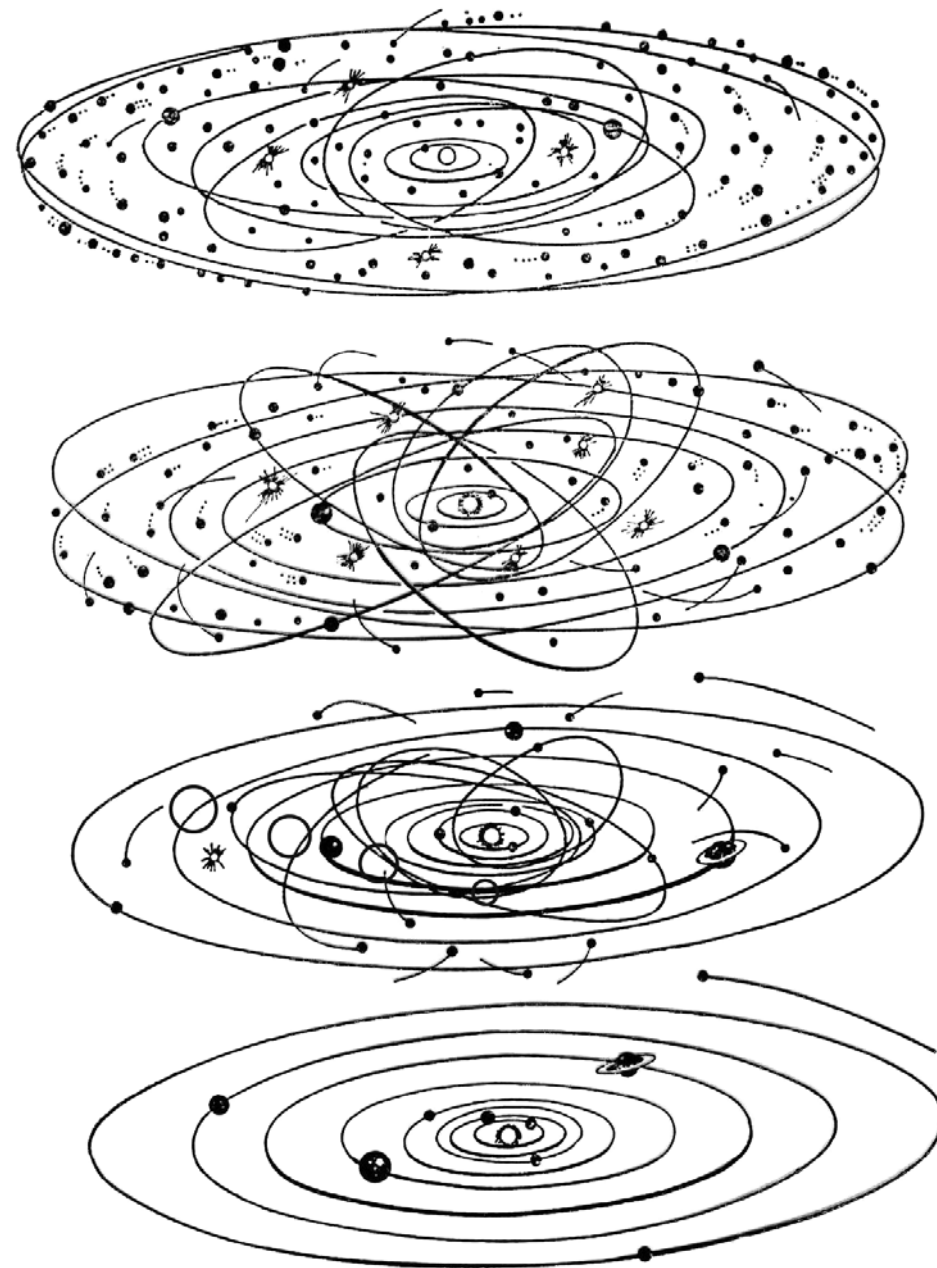
Zostavil I. Túnyi a kolektív riešiteľov projektu
Geofyzikálny ústav, Slovenskej akadémie vied

VÝVOJ PREDSTÁV O VZNIKU SLNEČNEJ SÚSTAVY

Vznikom a vývojom Slnčnej sústavy ako aj telies v nej sa zaoberá astronomická vedná disciplína, nazývaná kozmogónia (pozor, nemýliť si ju s kozmológiou, tá sa zaoberá vznikom a vývojom vesmíru ako celku).

G. L. Leclerc

Otázka vzniku Zeme a Slnčnej sústavy trápi ľudstvo už tisícročia a prakticky každý národ si o tomto procese vytvoril vlastnú filozofickú predstavu. S vývojom reálneho poznávania sveta vedeckými metódami sa hypotézy stávali prepracovanejšími a zahŕňali aj pozorované fakty. V roku 1778 G. L. Leclerc prišiel s predstavou, že sa so Slnkom zrazila gigantická kométa, čo malo spôsobiť vyvrhnutie disku slnečného materiálu a z neho mali skondenzovať planéty. Konkurenčné teórie zase tvrdili, že vyvrhnutie materiálu zo Slnka spôsobili slapové sily pochádzajúce z tesného priblíženia inej hviezdy k Slnku, avšak všetky tieto predstavy trpeli množstvom fyzikálnych nedostatkov, ako napr. nezodpovedajúcou energetickou bilanciou, rozdielnosťou zloženia hmoty Slnka a planét, ako aj nízkou štatistickou pravdepodobnosťou podobných procesov. Iný druh teórií predpokladal, že Slnko priťahovalo k sebe (akreovalo) medzihviezdny galaktický materiál, z ktorého sa tvorili planéty (obr. 1). To umožňovalo vysvetliť rozdielnosť zloženia medzi Slnkom a planétami, ale nie rozdiely v zložení planét samotných. Boli tu aj ďalšie výrazné problémy – napríklad rozdielnosť sklonov osí rotácie jednotlivých planét k ekliptike (sklon rotačnej osi Uránu je napríklad takmer 90 stupňov), doba rotácie v porovnaní s obežnou dobou okolo Slnka (deň na Merkúre je dlhší ako jeho doba obehu okolo Slnka, teda merkúrsky rok), resp. ich retrográdna rotácia (Venuša). Ale problémom bolo aj to, že moment hybnosti je v Slnčnej sústave distribuovaný veľmi zvláštne – už jednoduchý výpočet ukáže, že orbitálny moment hybnosti Jupitera je viac ako 20-násobne väčší ako rotačný moment hybnosti Slnka. Dokonca napriek 99,9 % hmotnosti Slnčnej sústavy sústredenej v Slnku, má



Obr. 1. Štádiá akrecie planét podľa Levina (1972).

Slnko len 1 % momentu hybnosti celej sústavy a väčšina zostatku je sústredená v Jupiteri (Carrol a Ostlie, 1996).

O histórii modelov a teórií vzniku Zeme sa dozvedáme z publikácie M. Woolfsona „The Formation of the Solar System“ (2007). Prvú koncepciu o pôvode Zeme a celej Slnčnej sústavy, založenú na vedeckom predpoklade predložil francúzsky filozof a matematik R. Descartes (1596 – 1650). V tom čase, ešte pred Newtonom, hoci bolo známe ako sa planéty pohybujú, nebol jasný mechanizmus ich chovania v Slnčnej sústave. Descartov model bol všeobecný a kvalitatívny, založený na pozorovaní pohybu fluíd, tvoriacich víry. Descartes postuloval, že priestor je vyplnený univerzálnym fluidom, ktoré vytvára víry v okolí hviezd. Z takýchto vírov sú tvorené planéty a z malých vírov satelity planét. Hoci takáto predstava mala len slabú fyzikálnu podporu, riešila problém planarity systému i rovnakého smeru rotácie planét a ich satelitov.

R. Descartes

I. Kant Inú ideu predložil I. Kant (1724 – 1804), ktorý popísal proces tvorby diskovitého tvaru plynoprachového oblaku, z ktorého vzniklo Slnko a jeho planéty.

W. Herschel Koncom osemnásteho storočia sa prudko rozvíjali technológie prípravy a výroby dokonalejších teleskopov, vhodných na pozorovanie vesmírnych telies. W. Herschel (1738 – 1822) objavil planétu Urán zdokonaleným teleskopom, postaveným v jeho záhrade. Neskôr objavil týmto prístrojom aj isté zhluky, či zhusteniny, ktoré nazval ostrovmi vesmíru a ktoré boli prvými indíciami existencie iných galaxií než je naša Mliečna dráha. Objavil tiež akési oblaky okolo niektorých hviezd, ktoré, ako usudzoval, mohli byť ich planetárnymi sústavami.

T. Ch. Chamberlin

Americký geológ T. Ch. Chamberlin (1843 – 1928) detailne testoval Laplaceov model, obzvlášť vzhľadom k novej implikácii v rekonštrukcii štruktúry a histórie Zeme. Jeho geologické vzdelanie mu umožnilo prísť k záveru, že vlastnosti Zeme by mohli byť najlepšie vysvetlené akumuláciou tuhých telies – ktoré mohli byť vytvorené kondenzáciou v plynoprachovom oblaku istého druhu. Čoskoro začal spolupracovať

F. R. Moulton s omnoho mladším kolegom F. R. Moultonom (1872 – 1952), veľmi šikovným a skúseným astronómom a matematikom.

V roku 1900 bol vykonaný rad pozorovaní, závažne vplyvajúcich na idey Chamberlina a Moultona. Boli nimi špirálne plynoprachové mračná, ktoré dnes poznáme ako kompletne galaxie, podobné našej Mliečnej dráhe s jej Slnčnou sústavou, avšak ich pravá podstata bola neznáma. Predpokladalo sa, že sú to časti našej vlastnej galaxie a predstava bola interpretovaná ako hviezda obklopená materiálom, ktorý mohol byť potenciálnym stavebným materiálom planét. Autori dospeli k presvedčeniu, že takéto pozorovania mohli poskytovať materiál k vypracovaniu úspešného scenára vzniku Slnčnej sústavy.

Chamberlin a Moulton

Základnou ideou Moultona a Chamberlina pre vytvorenie špirálového mraku bola kolízia dvoch susediacich mrakov. Toto však bolo čoskoro zamietnuté ako málo plausibilné pre vysvetlenie množstva pozorovaných špirálových mračen. Krátko potom sa koncentrovali na objasňovanie zvláštností Slnka, menovite na štúdium úniku hmoty pri veľkých slnečných erupciách. Chamberlin a Moulton predstavili myšlienku, že v čase keď bolo Slnko zvlášť aktívne a iná masívna hviezda sa náhodne priblížila k nemu na dostatočne malú vzdialenosť, vytiahla zo Slnka cigarovitý výbežok na jeho orbitu. Takýto slapový efekt mohol prebiehať relatívne rýchlo a podobne zemským oceánickým slapom, vyvolaným Mesiacom a Slnkom, mohol spôsobiť vyvrhnutie slnečnej hmoty tak na privrátenej strane Slnka k približujúcej sa hviezde, ako aj na jeho odvrátenej strane. Z vyvrhutej slnečnej hmoty vznikli planéty a ich satelity.

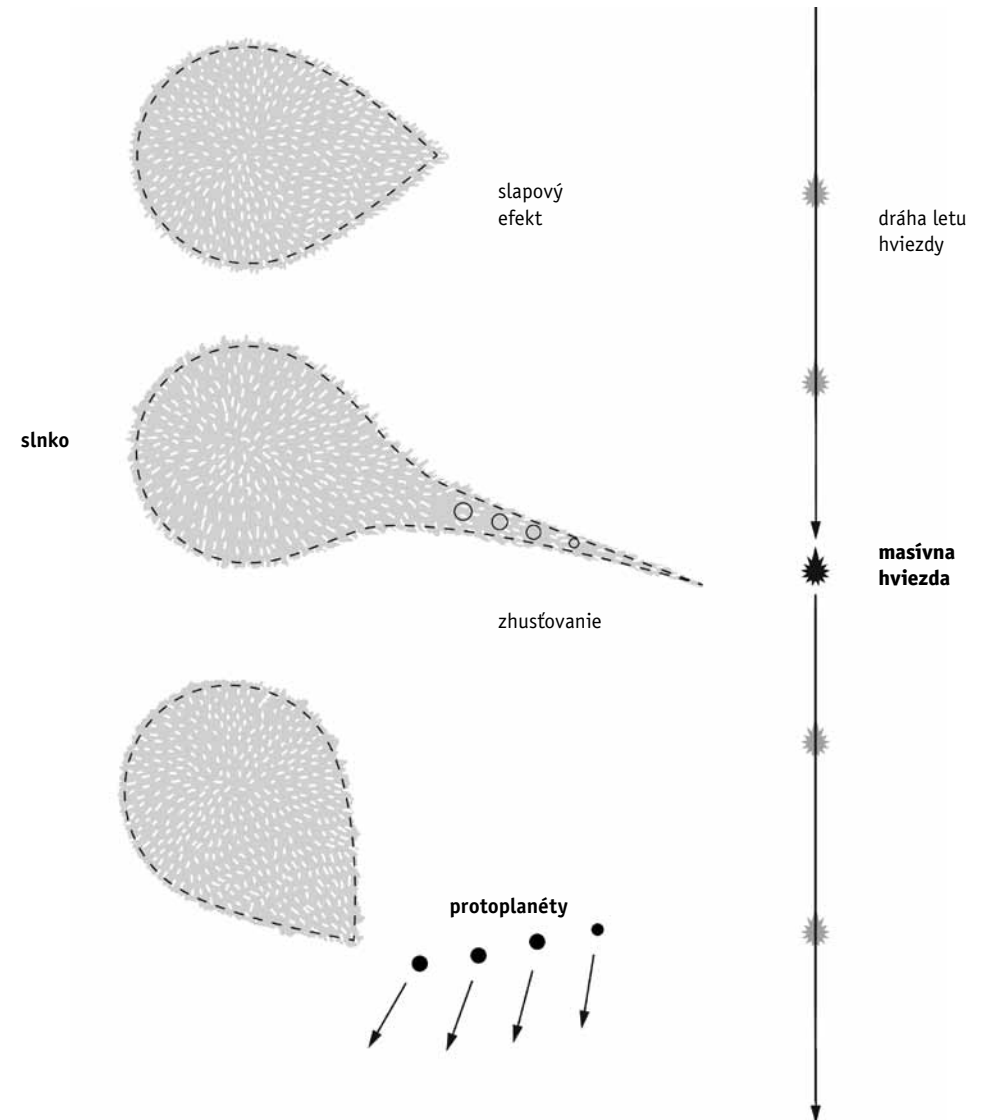
Takáto teória má však veľa ad hoc predpokladov a možno proti nej vzniesť niekoľko námietok. Sú nimi napr., že hviezdne interakcie bývajú príliš zriedkavé, aby sa nimi dalo vysvetliť pozorované množstvo špirálových mračen. Ďalej sa dá namietat, že opísaný scenár slapového vytiahnutia hmoty na oboch stranách Slnka by malo dať asymetrický obraz špirálovitých mračen, avšak skoro všetky pozorované sa javia veľmi symetrickými. Teória nevysvetľuje tiež veľké rozdiely v orbitálnych charakteristikách Merkúra a Neptúna, ako najvnútornejšej a najvonkajšej planéty, ktoré by mali byť približne rovnaké.

J. Jeans Hoci teória Chamberlina a Moultona bola časom opustená, myšlienka slapových interakcií medzi dvomi hviezdami bola oživená britským astrofyzikom J. Jeansom (1877 – 1946) v roku 1916. Jeho model bol rozdielny v tom, že nepotreboval slnečné výbežky. Základou ideou bolo, že masívna hviezda, letiaca okolo Slnka, vyvolala na ňom obrovské prílivové vlny tak, že rozkolísaný slnečný materiál unikal zo slnečného povrchu vo forme akejsi drapérie, ktorá sa potom rozpadla na sériu chumáčov a každý chumáč mohol kolabovať do formy planéty. Príťahovanie masívnej vzdalujúcej sa hviezdy ich vytiahlo na orbitu okolo Slnka. Tak mohli vzniknúť z veľkých chumáčov planéty a z malých ich satelity. Pretože J. Jeans bol dobrý matematik, podložil svoju teóriu solídnymi výpočtami.

H. Jeffreys Britský geofyzik H. Jeffreys (1891 – 1989) bol prvý, ktorý podporoval a ďalej rozpracoval Jeansov model. Dodnes sa občas hovorí o Jeans-Jeffreysovom modeli (obr. 2), hoci títo dvaja nikdy spolu nepracovali. Jeffreys síce uznával Jeansov model, mal však voči nemu dve výhrady. Prvou bola už spomínaná skutočnosť, že pravdepodobnosť priblíženia masívnej hviezdy k Slnku na relevantnú vzdialenosť je extrémne malá. Táto zanedbateľná pravdepodobnosť podporuje však myšlienku tzv. antropického princípu, ktorý Jeffreys uznával a ktorý hovorí o výnimočnosti Zeme vo vesmíre ako domove a životnom prostredí človeka. Druhou námietkou, i keď ľahšie spochybniteľnou, bol rozdiel v priemernej hustote a v rýchlosti otáčania najväčšej planéty Slnečnej sústavy – Jupitera. Jeffreys predpokladal, že ak všetka hmota planét pochádza zo Slnka, malo by sa jej zloženie, prípadne moment hybnosti, ktorý získala zo Slnka, zachovať aspoň u najväčšej planéty.

H. N. Russel Pochybnosť voči Jeans-Jeffreysovej teórii vzniku planét z vytrhutej slnečnej hmoty, vyslovil v roku 1935 americký astronóm H. N. Russel. Namietal, že keď sú eliptické dráhy tak blízko centrálnemu telesu, ak by bol materiál, z ktorého sú vytvorené, z neho vytiahnutý, časom by obiehajúce objekty mali k centrálnemu telesu konvergovať. Tento jav sa však v Slnečnej sústave nepozoruje.

L. Spitzer Americký astrofyzik L. Spitzer (1914-1997) prišiel z iným argumentom a to, že ak bola hmota Jupitera vyvrhnutá zo Slnka, musela mať v počiatkovom štádiu porovnateľne vysokú teplotu, nemohla skolabovať, ale



Obr. 2. Schématická reprezentácia Jeans-Jeffreysovej slapovej hypotézy. Spracované podľa S. Oxley (1999).

musela sa rozptýliť. Tepelná energia by prekonala gravitačnú energiu chumáča, z ktorého vznikol Jupiter.

O. Schmidt Ďalšia zaujímavá dualistická teória, tzv. teória zachytenia, pochádza z roku 1944 od ruského planetárneho vedeckého pracovníka O. Schmidta (1891 – 1956). Pozorovania oblohy pomocou teleskopov ukázali, že vo vesmíre existujú oblasti, kde je svetlo hviezd pohlcované hustými studenými plynoprachovými mračnami. Schmidt z toho usúdil, že z času na čas môžu hviezdy na svojej púti galaxiou prechádzať cez takéto mračná a môžu zachytiť značnú časť ich plynu a prachu, z ktorých neskôr vzniknú planéty.

R. Lyttleton Schmidtovu teóriu modifikoval a rozpracoval v roku 1966 britský astronóm R. Lyttleton (1911 – 1995). Vychádzal z predpokladu, že keď hviezda prechádza plynoprachovým oblakom, jeho materiál je priťahovaný k osi pohybu hviezdy kde dochádza k jeho lokálnemu zavíreniu a zhusteniu. Pri dostatočne pomalom približovaní sa častíc plynoprachového oblaku môže dôjsť aj k ich spájaniu buď gravitačnými alebo elektrostatickými silami.

C. V. Weitzsäcker Nemecký astrofyzik C.V. Weitzsäcker (1912 – 2007) prišiel v roku 1944 s tzv. teóriou vírov. Ukázal ako môže vzniknúť v plynovom disku systém vírov vďaka turbulencii a náhodnému pohybu fluida, ktoré usporiadajú fluidum tak ako usporiada tekutinu jej miešanie lyžičkou v pohári. Ukázal tiež, že kombinácia rotácie vírov v smere pohybu hodinových ručičiek s rotáciou celého systému v smere proti pohybu hodinových ručičiek vedie k eliptickému pohybu častíc okolo centrálného telesa v zhode s keplerovským pohybom planét okolo Slnka.

Klasické teórie Vyššie uvedené teórie vzniku Slnečnej sústavy boli väčšinou založené na predpoklade, že existovalo nejaké ústredné teleso, budúca hviezda, ktorá zachytila hmotu z plynoprachového oblaku, ktorým prechádzala a z takto zachytenej hmoty neskôr vznikli planéty. Modely tohto typu dostali názov dualistické. Zároveň s nimi vznikali aj unifikované modely, ktoré predpokladali, že Slnečná sústava vznikla naraz z jedného protoplanetárneho plynoprachového oblaku tak, že najprv vzniklo centrálnе teleso, budúca hviezda, ktoré pohltilo väčšinu hmoty oblaku, a zo zvyšku hmoty vznikli planéty.

W. McCrea Jednu z prvých takýchto teórií predostrel v roku 1960 W. McCrea (1904 – 1999). Modeloval protoplanetárny oblak ako množstvo náhodne sa pohybujúcich oblastí relatívne vysokej hustoty, zvaných flokule. Pri dostatočne dlhom otáčavom pohybe oblaku ako celku získal súbor flokúl diskovitý tvar. Neskôr začali flokule zásluhou chladnutia kolidovať a kolabovať. V centrálnej oblasti oblaku sa sformovalo najmasívnejšie teleso, budúca protohviezda. Zo zvyšku hmoty protoplanetárneho oblaku sa sformovali planéty. Prednosťou tohto modelu bolo to, že objasňoval pomalú rotáciu Slnka a uniformnú rotáciu planét na ich orbitách.

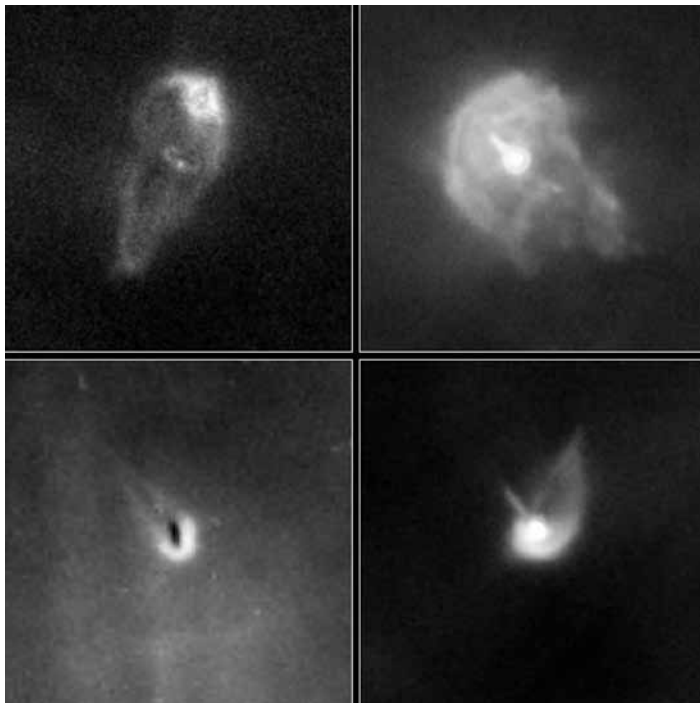
Simultánny vznik Slnka a ostatných telies Základom dnešných predstáv o vzniku planét je simultánny vznik Slnka a ostatných telies Slnečnej sústavy z počiatočnej plynoprachovej hmloviny a formovanie hmotných telies s rozmermi mm až m. Zatiaľ čo mnohé otázky sa darí vysvetliť napríklad zrážkami planét s väčšími či menšími telesami počas viac ako 5 miliárd rokov trvajúcej histórie Slnečnej sústavy a následne zmenou sklonu ich osí či doby rotácie, sú tu aj otázky ešte málo, slabo alebo len nejasne preskúmané. Ohľadne času potrebného na tvorbu planét do súčasnej podoby panujú snád' najväčšie dohady a problémy.

Hlavný prúd teórií totiž predpokladá, že zárodky dnešných planét sa vytvorili postupným procesom zrážok veľmi malých telies rádovo milimetrových a submilimetrových rozmerov – planetezimál. Počas chladnutia pôvodne horúcej hmloviny, ktorá sa rotáciou splošťovala a vytvárala tzv. protoplanetárny disk (obr. 3), strácali chladnúce častice rýchlosť a zrážkami sa spájali – zliepali do väčších celkov. Vytvárali sa postupne väčšie granuly a chondruly (obr. 4) a tie postupne po zväčšení rozmerov začali gravitačne priťahovať ďalšie častice. Zväčšili sa tak cez štádium planetezimál až do dnešných rozmerov planét. Avšak čas potrebný na takéto formovanie je v rádoch $10^7 - 10^8$ rokov, dokonca za určitých podmienok viac ako 5 miliárd rokov! Na druhej strane vek niektorých kráterov na povrchu Merkúra a Mesiaca sa odhaduje na viac ako 3,8 miliárd rokov. Táto nekonzistencia by sa dala vysvetliť, pokiaľ by sme našli fyzikálny mechanizmus na urýchlenie akrécie, resp. tvorby planetezimál.

Vznik Zeme z plynoprachového protoplanetárneho oblaku Zhrnujúc môžeme konštatovať, že klasická teória, alebo model, vzniku Zeme hovorí o súčasnom vzniku so vznikom Slnečnej sústavy z plynoprachového protoplanetárneho oblaku. Takéto oblaky sú aj dnes pozorované vo vesmíre (obr. 3).

Zloženie proto-planetárneho oblaku Zloženie protoplanetárneho oblaku je nasledovné: nabité častice (elektróny a kladné ióny) a kusy neutrálnej hmoty, tzv. planetezimály (kusy hmoty s rozmermi od mm po desiatky metrov). Teória hovorí, že ako prvé vzniklo centrálnе teleso – protoslanko, ktoré vyčerpalo viac než 90% hmoty protoplanetárneho oblaku. Zo zvyšnej hmoty vznikli planéty.

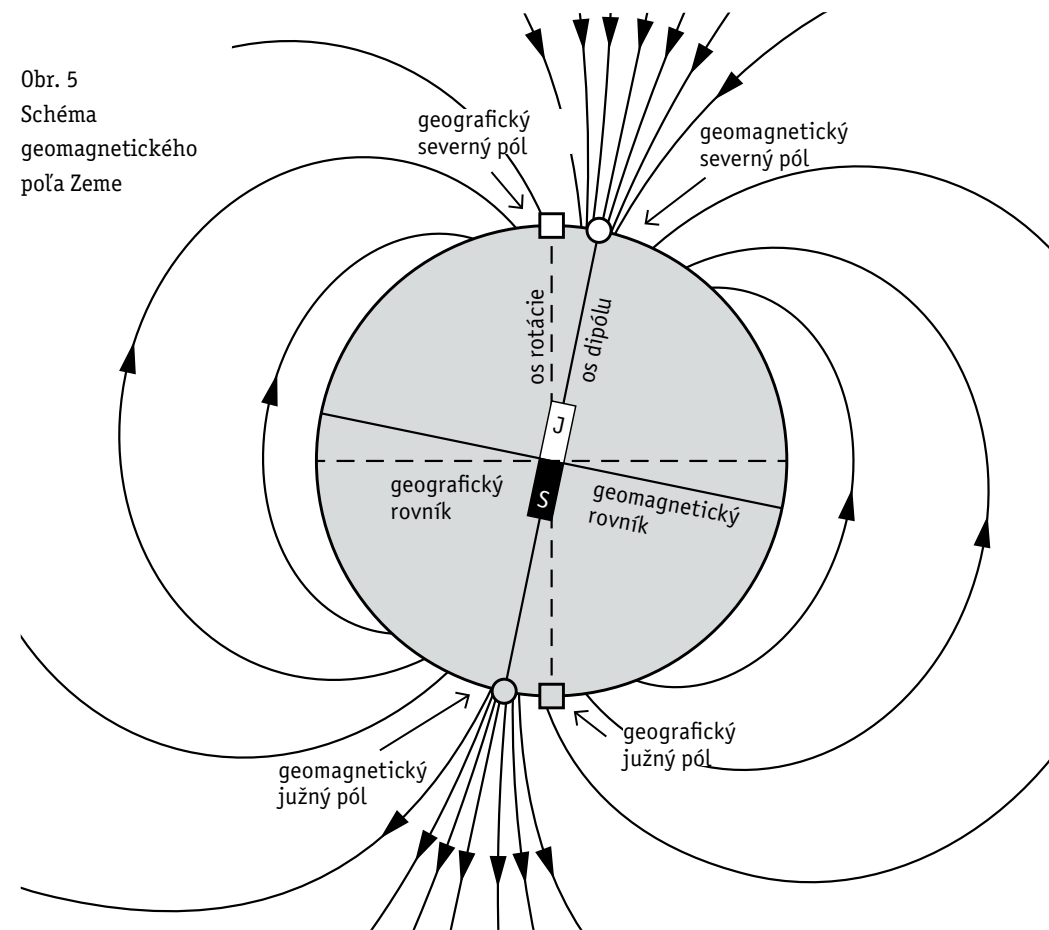
Obr. 3.
Protoplanetárne
disky v Orione
pozorované Hubblovým
teleskopom.
J.Bally, H.Troop
C.R.O'Dell (2001)



Obr. 4. Chondruky
– guľovité útvary
meteoritu 5205
zo Sahary.
Bob King (2012)

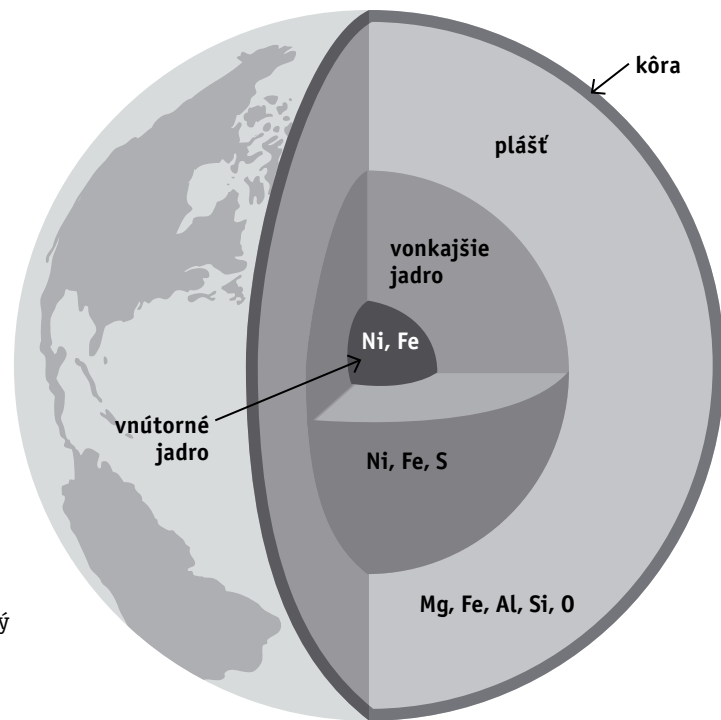


Obr. 5
Schéma
geomagnetického
poľa Zeme



Geomagnetické pole Každý model, alebo každá teória, vzniku Zeme musí vyústiť do fyzikálnych charakteristík súčasnej planéty Zem. Jej najmarkantnejšími znakmi sú existencia planetárneho magnetického poľa (obr. 5) – geomagnetického poľa a vnútorné rozloženie horninovej hmoty na ťažké metalické jadro, zložené prevažne zo železa a niklu s prímiesami síry a kyslíka, a ľahší, silikátový, plášť (obr. 6). Jadro Zeme sa delí na vnútorné, pevné, jadierko a vonkajšie, tekuté, jadro. Geomagnetické pole je generované elektrickými prúdmi v jeho tekutej časti.

V protoplanetárnom oblaku sú okrem hmotných, nabitých aj neutrálnych, častíc hmoty prítomné aj siločiarly magnetických polí najrôznejšieho pôvodu (medzigalaktické magnetické polia, magnetické polia najbližších hviezd a pod.).



Obr. 6.
Schematický
rez Zemou.

Horninový materiál Dôležitou skutočnosťou je, že teplotnotlakové pomery vo vnútri Zeme sú malé na to, aby iniciovali nukleárne reakcie, čiže, vo vnútri Zeme nedochádza k premene prvkov, čo znamená, že horninový materiál v plynoch protoplanetárnom oblaku musel byť v takom zložení ako ho poznáme na Zemi.

Klasické teórie vzniku Zeme uvažujú prevažne len o gravitačnom spájaní kúskov hmoty. Podľa takýchto modelov sa drobné hmotné častice približovali k sebe dostatočne malou rýchlosťou, aby sa pri zrážke nerozpadli a znovu nerozptýlili, a gravitačne sa spájali (obr. 1). Nanajvýš sa uvažuje, že mikroskopické častice mohli byť k sebe pútané aj elektrostatickými silami.

Homogénna akrecia Aj keď je prítomnosť magnetických polí v protoplanetárnom oblaku zrejme, ich úloha v procese akrecie nebola nijak zvlášť braná do úvahy. Uvažovali sa len statické magnetické polia, ktorých siločiarly sú cestami transportu nabitých častíc a ktorých zavírenie mohlo spôsobiť lokálne zhustenie obsahu protoplanetárneho oblaku, čo však podstatnejšie nepovplyvňovalo procesy gravitačnej akrecie. Model takéhoto procesu sa

nazýva homogénna akrecia pretože sa predpokladalo, že Zem vznikla ako zmes všetkých zlúčenín, ktoré poznáme a postupne, zásluhou tepla v jej vnútri, železo s niklom, ako ťažké prvky, „stiekli“ do stredu planéty, kde vytvorili metalické jadro. Predpokladalo sa, že takýto proces trval relatívne dlhú dobu.

Heterogénna akrecia Naproti tomu, nový model predpokladá tzv. heterogénnu akreciu, čiže taký proces formovania Zeme, keď ako prvé vzniklo metalické jadro a neskôr sa vytváral silikátový plášť. Impulzné magnetické pole, tvorené impulzným elektrickým prúdom, namagnetuje feromagnetické planetezimály a zároveň ich pritiahne k osi impulzného elektrického prúdu, kde sa spájajú ako permanentné magnety kdekoľvek na Zemi. Impulzný elektrický prúd je výbojovým kanálom elektrostatického výboja, vzniknutého v protoplanetárnom oblaku. Takto vytvorený kluster namagnetovaných feromagnetických planetezimál zachováva magnetický moment a aby sa zachoval aj moment hybnosti, dostáva sa do rotácie a vytvára protojadro budúcej planéty. Keď je protojadro dostatočne hmotné, nastupuje gravitačný kolaps a nemagnetické, ľahké, silikátové planetezimály z jeho okolia padajú na protojadro čím vytvárajú plášť planéty.

Meteority O zložení protoplanetárneho oblaku sa dozvedáme z meteoritov. Rozdeľujeme ich na železné a kamenné. Železné obsahujú okrem železa, ktoré tvorí ich podstatnú zložku, aj zlúčeniny železa, hlavne jeho oxidy a sírany, ako sú magnetit a hematit alebo maghemit. Meteority voláme aj svedkami zloženia protoplanetárneho oblaku a svedkami procesov, ktoré prebiehali pri tvorení Slnecnej sústavy. Najzaujímavejšími sú tzv. chondrity (obr. 4). Považujú sa za priamych svedkov a pamätníkov obdobia pred zhruba 4,5 miliardami rokov, kedy sa kreovala Slnecná sústava.

Chondrity Podstatnou zložkou chondritov sú tzv. chondrule. Ide o guľovité útvary, zložené väčšinou z nemagnetického silikátového materiálu. Iným charakteristickým znakom chondritov, tak ako aj železných meteoritov, je ich remanentná magnetická polarizácia. Prekvapivo, väčšina z nich je namagnetovaná do nasýtenia.

Chondrule Vráťme sa k chondrulám. Vysvetlenie ich guľového tvaru je také, že tieto guľôčky boli pôvodne „kvapkami“ roztavenej horniny, ktoré boli rýchlo ochladené a keďže chladli v neprítomnosti gravitačného poľa, získali pri tuhnutí pravidelný guľovitý tvar. Zoberme do úvahy súčasne magnetické nasýtenie feromagnetickkej komponenty chondritov. Magnetické testy

a termomagnetické analýzy, vykonané na vzorkách chondritov v pozemských laboratóriách ukazujú, že ide o silnú termoremanentnú magnetickú polarizáciu. Táto skutočnosť naznačuje, že príslušný kus meteorickej hmoty bol pôvodne nahriaty na teplotu vyššiu než je Curieho teplota feromagnetической látky v ňom obsiahnutej, a bol vychladený v silnom magnetickom poli. Pri prechode pod Curieho teplotu počas chladnutia získal meteorit (chondrit) tvrdú termoremanentnú magnetickú polarizáciu.

Čo indikujú vyššie uvedené skutočnosti? Indikujú to, že kusy hmoty (z ktorých vznikli chondrity) boli v protoplanetárnom oblaku nahriate na vysokú teplotu, spôsobujúcu ich čiastočné alebo úplné roztavenie, a prudko ochladené. Navyše, všetko sa dialo v prítomnosti silného magnetického poľa.

Takéto prostredie existuje len vo výbojovom kanáli elektrostatického výboja, alebo v jeho bezprostrednom okolí. Keby išlo o „stacionárny“ zdroj tepla a magnetizmu, akým by mohla byť blízkosť protoslnka, došlo by k roztaveniu chondrúl aj k namagnetovaniu feromagnetických komponentov planetezimál či meteoritov, avšak, nedošlo by k prudkému ochladeniu a nadovšetko, zdroj silného magnetického poľa (protoslnko) by feromagnetické a paramagnetické planetezimály pritiahol k sebe.

Elektrostatické výboje v atmosfére Zeme

Z pozorovaní protoplanetárnych oblakov vo vesmíre vieme, že sú v nich z času na čas zaznamenávané záblesky Levy a Araki (1989), Morfill a ost. (1993) a Horányi a ost. (1995). S najväčšou pravdepodobnosťou ide o veľmi silné elektrostatické výboje, sprevádzané optickým efektom, pozorovaným ako intenzívne zablesknutie. Ide o podobný jav aký prebieha pri atmosférickom blesku, čiže pri elektrostatickom výboji v atmosfére Zeme. Vo výbojovom kanáli, alebo v jeho bezprostrednej blízkosti, vzniká obrovská teplota, ktorá roztaví horninový materiál. Výboj je prúd elektricky nabitých častíc (elektrónov alebo kladných iónov), ktorý je v skutočnosti veľmi silným impulzným jednosmerným elektrickým prúdom. Tento impulzný elektrický prúd generuje vo svojom okolí silné impulzné magnetické pole, schopné namagnetovať feromagnetické látky do nasýtenia. Celý proces prebieha veľmi rýchlo. Planetezimály, nachádzajúce sa vo výbojovom kanáli, alebo v jeho blízkosti sú prudko nahriate na teplotu tavenia a po zániku výboja, to znamená po zániku impulzného prúdu, prudko schladené (treba brať do úvahy, že všetko prebieha v chladnom vesmírnom prostredí, v budúcom medziplanetárnom priestore). Pri chladnutí v neprítomnosti gravitačného poľa získavajú guľovitý tvar. Počas

chladnutia ešte trvá silné impulzné magnetické pole, spôsobené elektrostatickým výbojom, ktoré namagnetuje feromagnetické komponenty planetezimál, budúcich meteoritov – chondritov do nasýtenia.

O rôznych prístupoch k úlohe magnetizmu v procese akrecie hovoria výsledky prác iných autorov. G. Wurm a J. Blum (1998) odhadujú kritickú rýchlosť približovania sa mikroskopických hmotných častíc v protoplanetárnom oblaku, pri ktorej môže dôjsť k ich gravitačnému alebo elektrostatickému spojeniu na 0,2 m/s. Model vzniku blesku (elektrostatického výboja) v protoplanetárnom oblaku vypracovali S. J. Desch a J. N. Cuzzi (2000). Prezentujú dva spôsoby kumulácie elektrického náboja v lokálnych zhlukoch plynoprachovej hmoty. Prvým je klasické triboelektrické vytváranie náboja na povrchu zrážajúcich sa telies, podobné kumulácii náboja v atmosfére, a druhým je diferenciálna kumulácia náboja v zhlukoch hmoty, vytvorených mechanizmom turbulencie v protoplanetárnom oblaku. Experimenty spájania častíc v bezváhovom stave, vykonané H. Nüboldom, T. Poppem, C. Dominikom a K. H. Glassmeierom (2002) ukázali, že namagnetované častice potrebujú na koaguláciu rádovo kratší čas než častice nenamagnetované, príp. nemagnetické. Spájanie mikroskopických magnetických guľôčok študovali G. Helgesen, A.T. Skjeltrop, P. M. Mors, R. Botet a R. Jullien (1988). Matematický model koagulácie magnetických častíc prachu vypracovali za účelom objasnenia kometárneho magnetizmu H. Nübold a K.H. Glassmeier (1999). P. A. Withey a J. A. Nuth (2006) študovali vytváranie jedno-doménových zŕn železa pri fázových prechodoch. Magnetickú agregáciu častíc a mikrogravitačné experimenty v bezváhovom prostredí vykonali H. Nübold, T. Poppe, M. Rost, C. Dominik a K. H. Glassmeier (2003). Numerické modely agregácie magnetických častíc predostreli s cieľom vysvetliť remanentný magnetizmus niektorých meteoritov C. Dominik a H. Nübold (2002). Výsledky podobných teoretických modelov s cieľom interpretovať magnetické polia komét predložili H. Nübold a K. H. Glassmeier (2000). Autori J. A. Nuth, O. Berg, J. Faris a P. Wasilewski (1994) robili experimenty s veľmi jemnými magnetickými časticami v prostredí zriedenej atmosféry a dospeli k záveru, že prítomnosť namagnetovaných častíc v protoplanetárnom oblaku môže urýchliť proces akrecie. T. Poppe, J. Blum a T. Henning (2000) študovali agregáciu elektrických nábojov zásluhou zrážok častíc a následný možný vznik elektrostatického výboja. Konštatovali, že tepelný účinok výboja má za následok natavenie chondrúl, pričom jeho magnetické efekty neuvažovali.

Elektrostatický náboj

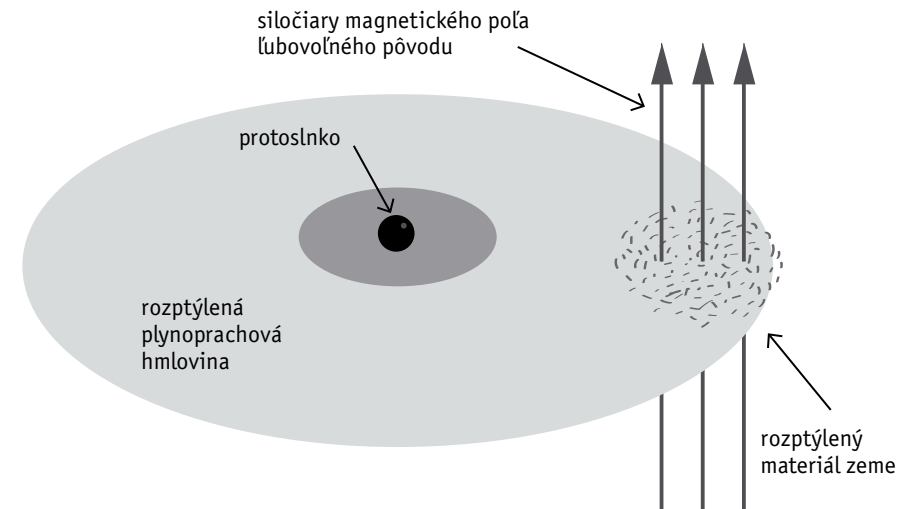
Diferenciálna kumulácia náboja

SPŮŠŤACÍ MECHANIZMUS TVORBY PLANÉT – IMPULZNÉ MAGNETICKÉ POLE

Ak na urýchlenie tvorby planét nestačí samotná gravitačná sila, môžeme sa pokúsiť pridať inú prirodzenú silu, ktorá je automaticky prítomná všade, kde máme pohybujúce sa elektricky nabitú časticu – elektromagnetickú, resp. magnetickú silu (obr. 7a).

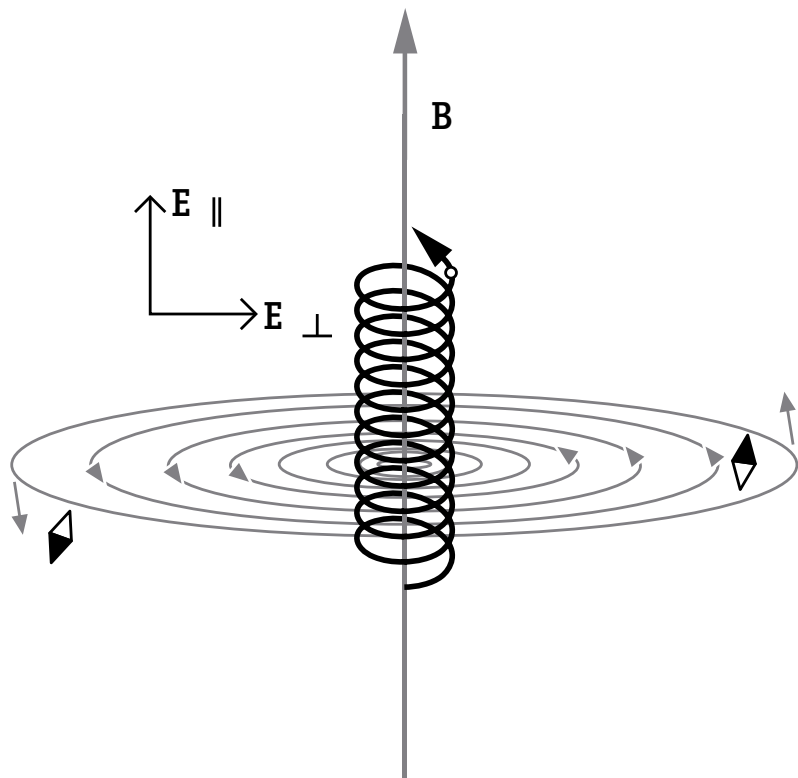
To je nová myšlienka vyplývajúca z niekoľkých overených faktov:

1. V galaxii, a teda aj v oblasti Slna, existuje a existovalo galaktické a medzigalaktické magnetické pole.
2. V protoplanetárnom disku bola počiatočná látka zložená z plazmy – iónov a voľných elektrónov (plynoprachová hmlovina vznikla ako dôsledok vzplanutia supernovy) ako aj feromagnetického materiálu – železa a niklu a tiež z nemagnetických kremičitanov a ďalších prvkov (obr. 7a).
3. V protoplanetárnych diskoch objavených okolo iných hviezd boli detekované elektrické výboje podobné pozemským bleskom Levy a Araki (1989), Morfill a ost. (1993) a Horányi a ost. (1995), ktoré svedčia o existencii krátkodobého – impulzného elektrického prúdu. Takýto prúd je zdrojom silného impulzného magnetického poľa, ktoré je schopné dočasne alebo aj trvalo namagnetovať častice nachádzajúce sa v blízkosti výbojového kanála (obr. 7b).
4. Sondy, putujúce Slnom (napr. Pioneer 11 alebo Voyager 1 a 2) detekovali spršky relativistických elektrónov (t. j. elektrónov letiacich rýchlosťou blízko rýchlosti svetla). Takéto elektróny môžu takisto vytvárať impulzné magnetické pole (obr. 7b).



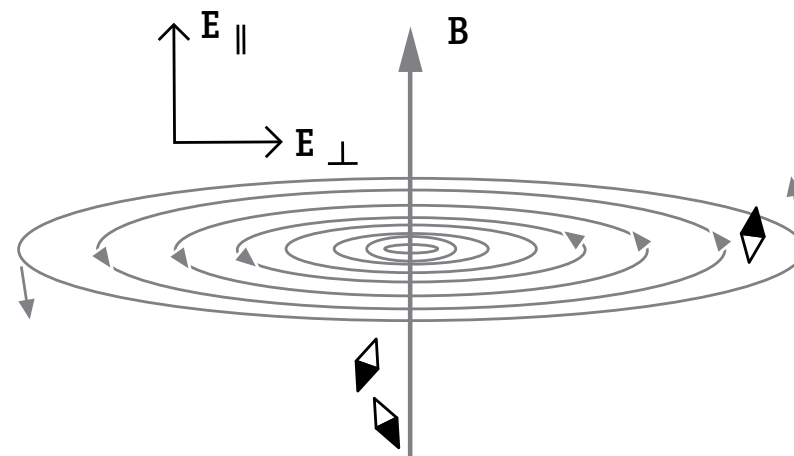
Obr. 7a. Model tvorby Zeme akreciou. V plynoprachovej počiatočnej hmlovine sa tvorí z rozptýleného materiálu zárodok Zeme. Prítomné je aj magnetické pole rôzneho pôvodu.

5. Prieskum najstarších meteoritov, tzv. chondritov, svedčí o namagnetovaní ich feromagnetických komponentov do nasýtenia. Na ich nasýtenie bolo potrebné pomerne silné magnetické pole. Chondrity vznikli pravdepodobne ešte v čase protoplanetárneho oblaku tak, že hmota, z ktorej sú zložené, bola roztavená a prudko schladená (tým, že chondrule chladli v beztiažovom prostredí, získali guľový tvar). Podmienky, kedy sa náhle zvýši teplota na úroveň tavenia a následné rýchle ochladenie za prítomnosti silného magnetického poľa, nastávajú len v blízkosti výbojového kanála elektrostatického výboja.
6. Stred Zeme je zložený z vnútorného tuhého jadierka a vonkajšieho tekutého jadra, zloženého zo železa a niklu. Okolo jadra sa nachádza ľahší silikátový plášť.
7. Zem samotná má svoje magnetické pole. Jeho vznik a pretrvávanie nie je doposiaľ presne objasnené.

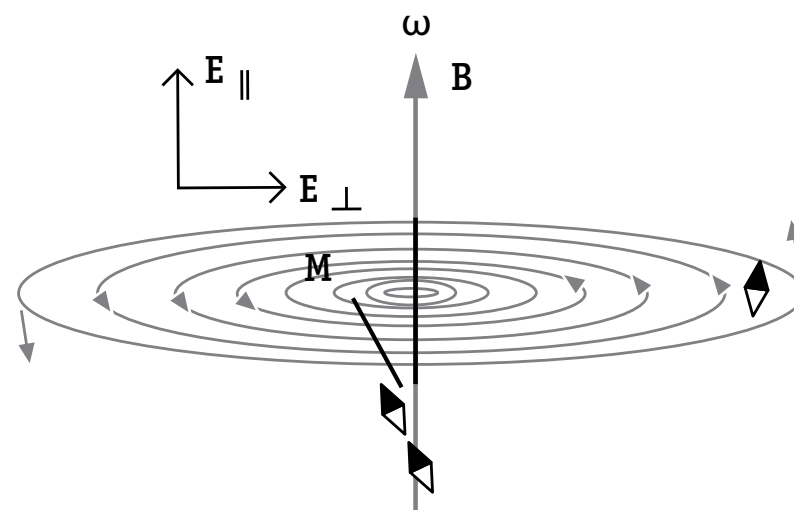


Obr. 7b. Fyzikálny princíp impulzného magnetického poľa. Nabitá častica pohybujúca sa pozdĺž mg. siločiar (B) rotačným pohybom vytvára lineárny el. prúd (E_{\perp}). Ten generuje kruhové magnetické pole, ktoré magnetizuje feromagnetické planetezimály.

Plynoprachové častice vstupujúce do procesu akrecie mali rovnaké zloženie ako dnešné horniny Zeme. Časť z nich pozostávala z ťažkého kovového, feromagnetického či paramagnetického materiálu a časť z ľahkých diamagnetických silikátov. Silný elektrický prúd výboja generoval silné magnetické pole a to namagnetovalo do nasýtenia okolité feromagnetické planetezimály. Tie boli priťahované k osi elektrického prúdu, ale kým tam prileteli, výboj zanikol a častice sa vplyvom magnetickej sily zhluokovali. Vzniknutá konkrécia si pritom zachovala magnetický moment a získala rotáciu ako dôsledok zachovania momentu hybnosti pôvodných častíc (obr. 7 c-e).

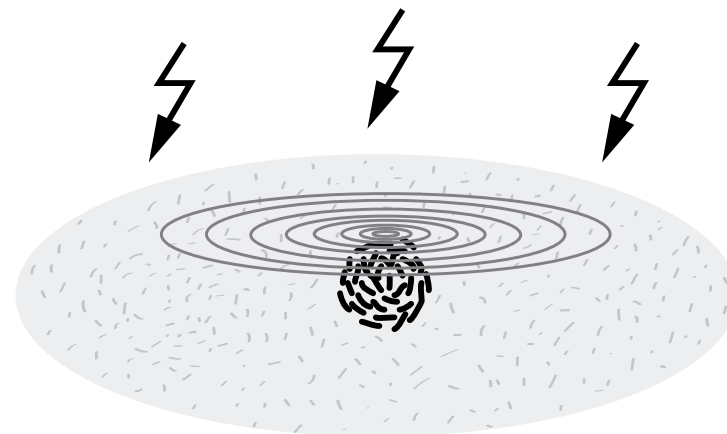
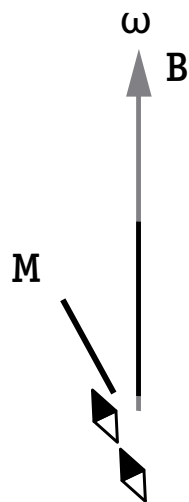


Obr. 7c. Priťahovanie namagnetovaných častíc.



Obr. 7d. Spojenie namagnetovaných častíc

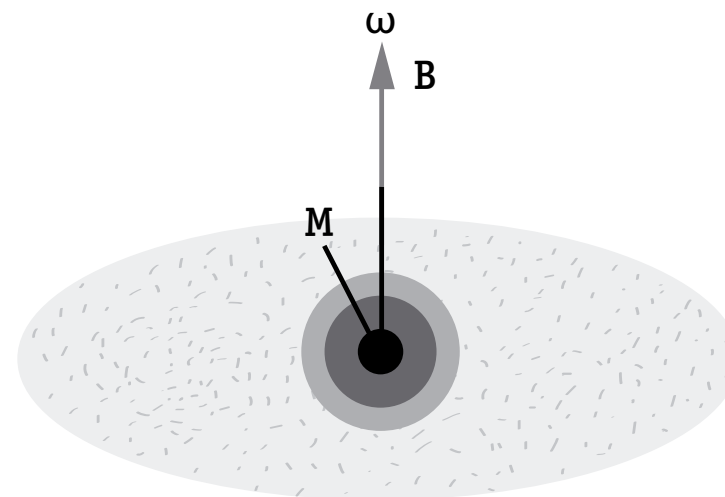
Obr. 7e.
Zachovanie magnetického momentu po doznení výboja a získanie rotácie spojených častíc ako dôsledok zachovania ich momentov hybnosti.



Obr. 7f. Zväčšovanie jadra viacnásobným výbojom

Popísaný dej je pokladaný za prvotný impulz k tvorbe planetárnych embrií. Všetky častice, aj pôvodné aj tie magneticky spojené, sa v protoplanetárnom oblaku pohybujú. Aby bol zachovaný celkový moment hybnosti, novovzniknutá planetezimála sa dostáva do rotácie. Tak vzniká zárodok budúceho jadra Zeme. Proces impulznej akrecie sa môže zopakovať niekoľkokrát po sebe, pričom sa po každom raze protojadro zväčší (obr. 7f). Do takéhoto procesu vstupujú len feromagnetické, prípadne paramagnetické častice. Nemagnetických silikátových častíc sa impulzné magnetické pole prakticky nedotkne. Keď je železné protojadro dostatočne hmotné, nastáva čas pre jeho gravitačné prejavy – ľahšie, silikátové, planetezimály začnú naň padať. Vzniká silikátový plášť (obr.7g).

Uvedený model (Túnyi a ost. 2001, 2002, 2003) zdôvodňuje existenciu dvoch najcharakteristickejších črt planéty Zem. Jednou je rozdelenie jej vnútra na ťažké metalické jadro a ľahší silikátový plášť (viď bod č. 6) a druhou existencia geomagnetického poľa (viď bod č. 7). V súčasnosti je jeho zdrojom pravdepodobne mechanizmus elektrických prúdov v jadre Zeme, avšak zárodočné magnetické pole bolo podľa popísanej teórie dané magnetizáciou feromagnetických a paramagnetických planetezimál impulzným magnetickým poľom.



Obr. 7g. Tvorba silikátového plášťa

EXPERIMENT

Na potvrdenie teórie je nevyhnutné experimentálne overenie základných predpokladov a odvodených dôsledkov. Keďže zásadným predpokladom celej teórie je magnetizácia demagnetizovaných feromagnetických častíc, bolo nevyhnutné zostrojiť experimentálne zariadenie, ktoré by popisované podmienky simulovalo a demonštrovalo tvorbu feromagnetických konkrécií. Takýto impulzný zdroj elektrického prúdu (výboja) bol zhotovený autormi a efekt tvorby magnetizovaných granúl úspešne demonštrovaný.

Na obrázkoch 8a a 8b vidieť prípravu vzorky feromagnetického materiálu t. j. nekompaktných demagnetizovaných zŕn pred aplikáciou elektrického výboja. Výboj prebieha v uzavretom priestore, v silne zriedenej atmosfére (prakticky vo vákuu). Obrázky 9a a 9b prezentujú elektromagnetický impulz (výboj) a jeho dôsledok – zhľuk namagnetovaných zŕn. Experimentálne zariadenie dovoľuje merať okrem magnetického poľa aj elektrostatické napätie. Elektrostatický výboj vytvára v svojom okolí statickú elektrinu prejavujúcu sa elektrickým nábojom na diamagnetických časticiach.

Obr. 8a.
Experimentálna
báza pre gene-
ráciu impulzných
magnetických polí.



Obr. 8b.
Príprava vzorky
pred aplikáciou
impulzného mag-
netického poľa.



Obr. 9a.
Elektromagnetický
impulz 45 kV, 40 kA,
350 ns, 630 J.



Obr. 9b.
Elektromagne-
tickým impulzom
namagnetovaný
feromagnetický
materiál.

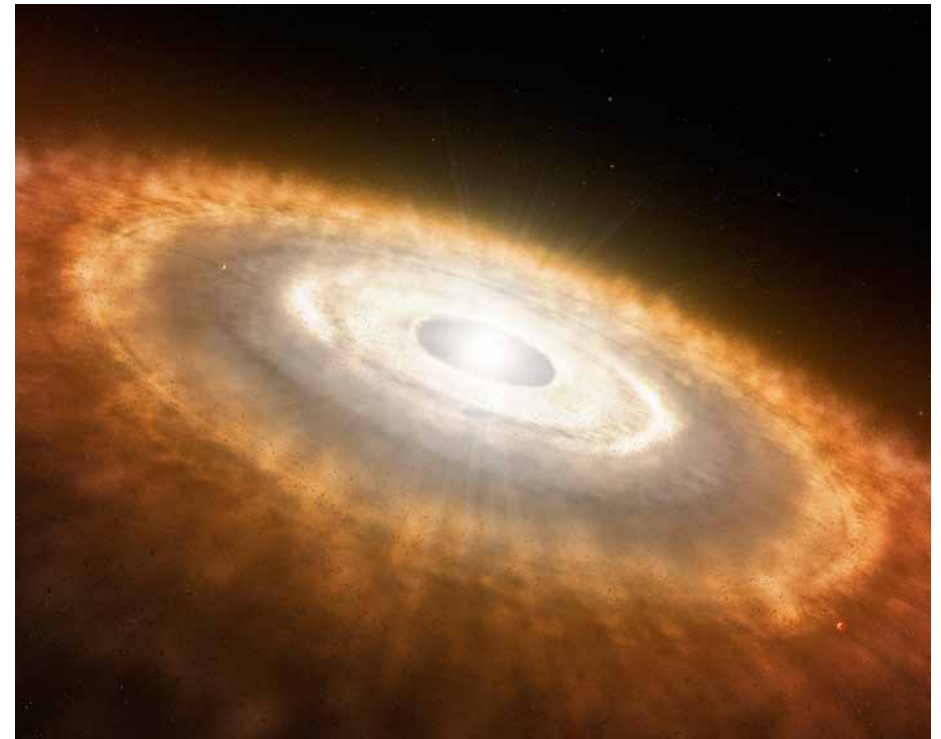
ZÁVER

V prezentovanom príspevku bol popísaný nový scenár vzniku Zeme. Pôvodné akrečné teórie hovoria o zhlukovaní planetezimál v protoplanetárnom plynoprachovom oblaku zásluhou zrážok a gravitačného priťahovania. Uvažujú ešte s elektrostatickým priťahovaním častíc.

Základom nového akrečného modelu je účinok impulzných magnetických polí, ktoré sú tvorené impulznými elektrickými prúdmi, ktoré sú výbojovými kanálmi elektrostatických výbojov v protoplanetárnom oblaku. Impulzné magnetické pole zmagnetizuje feromagnetické planetezimály a následne ich pritiahne k osi impulzného elektrického prúdu, kde sa spájajú ako permanentné magnety. Takto vytvorený zhluk namagnetovaných feromagnetických (železných) častíc je zárodkom jadra Zeme. Keď je protojadro dostatočne hmotné, nastáva gravitačný kolaps silikátových častíc, čím sa vytvára plášť Zeme.

Model je experimentálne overiteľný a poskytuje odpoveď na príčinu dvoch najdôležitejších fyzikálnych charakteristík Zeme, a to existencie jej magnetického poľa a rozdelenia hmoty planéty na ťažké metalické jadro a ľahký silikátový plášť.

Výtvarná predstava mladej hviezdy obklopenej protoplanetárnym diskom, v ktorom sa tvoria planéty (<http://www.eso.org/public/images/eso0942a/>).



POUŽITÁ LITERATÚRA

- Bally, J., Troop, H., O'Dell, C.R, 2001: 'Survivor' Planets: Astronomers Witness First Step of Planet Growth – and Destruction. Hubblesite, 13. <http://Hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2001/13>
- Carroll, B. W., Ostlie, D. A., 1996: An Introduction to Modern Astrophysics, Addison Wesley.
- Desch, S. J., Cuzzi, J. N., 2000: The Generation of Lightning in the Solar Nebula. *Icarus*, 143, no. 1, 87 – 105.
- Dominik, C., Nübold, H., 2002: Magnetic Aggregation: Dynamics and Numerical Modeling. *Icarus*, 157, 173 – 186.
- Helgesen, G., Skjeltrop, A. T., Mors, P. M., Botet, R., Jullien, R., 1988: Aggregation of Magnetic Microspheres: Experiments and Simulations. *Phys. Rev. Lett.* 61, 1736 – 1739.
- Horanyi, M., Robertson, S., Walch, B., 1995: Electrostatic Charging Properties of Simulated Lunar Dust. *Geophys. Res. Lett.* 22, 2079 – 2082.
- King, B., 2012: Hunting 4.5 billion year old Easter eggs. <http://astrobob.areavoices.com/2012/04/08/hunting-4-5-billion-year-old-easter-eggs/>
- Leclerc, G. L., 1778: Theory of Earth Science, Univ. Cambridge.
- Levin, B. J., 1972: Origin of the Earth. *Tectonophysics*, 13, 7 – 29.
- Levy, E. H., Araki, S., 1989: Magnetic Reconnection Flares in the Proto-planetary Nebula and the Possible Origin of Meteorite Chondrules. *Icarus*, 81, 74 – 91.
- Morfill, G., Spruit, H., Levy, E. H., 1993: Physical Processes and Conditions Associated with the Formation of Protoplanetary Discs. In: Levy, E.H., Lunine, J. I. (eds), *Protostars and Planets III*. The University of Arizona Press, Tucson, 939 – 978.
- Nübold, H., Glassmeier, K. H., 1999: Coagulation and Accretion of Magnetized Dust: A Source of Remanent Cometary Magnetism? *Advances in Space Research*, 24, no. 9, 1163 – 1166.
- Nübold, H., Glassmeier, K.H., 2000: Accretional Remanence of Magnetized Dust in the Solar Nebula. *Icarus*, 144, no. 1, 149 – 159
- Nübold, H., Poppe, T., Dominik, C., Glassmeier, K. H., 2002: Experiments Concerning the Influence of Grain Magnetization on Preplanetary Dust Aggregation. *Advances in Space Research*, 29, no. 5, 773 – 776.
- Nübold, H., Poppe, T., Rost, M., Dominik, C., Glassmeier, K. H., 2003: Magnetic Aggregation II. Laboratory and Microgravity Experiments. *Icarus*, 157, no. 1, 195 – 214.
- Nuth, J. A., Berg, O., Faris, J., Wasilewski, P., 1994: Magnetically Enhanced Coagulation of Very Small Iron Grains. *Icarus*, 107, 155 – 163.
- Oxley S., 1999: Modelling the Capture theory for the Origin of Planetary Systems. Dphil. Thesis. University of York. 272 p.
- Poppe, T., Blum, J., Hennig, T., 2000: Experiments on Collisional Grain Charging of Micro-Sized Preplanetary Dust. *The Astrophysical Journal*, 553, no. 1, 472 – 480.
- Tunyi, I., Timko, M., Roth, L. E., 2001: Shock Magnetic Fields and Origin of the Earth, Lunar and Planet. *Soc. Conf.* 32, 1119 – 1120.
- Tunyi, I., Guba, P., Roth, L. E., Timko, M., 2002: Impulse Magnetic Fields Generated by Electrostatic Discharges in Protoplanetary Nebulae, Lunar and Planet. *Soc. Conf.* 33, 1074 – 1075.
- Tunyi, I., Guba, P., Roth, L. E., Timko, M., 2003: Electric Discharges in the Protoplanetary Nebula as a Source of Impulse Magnetic Field to Promote Dust Aggregation. *Earth, Moon and Planets* 93, 65 – 74.
- Withley, P. A., Nuth, J. A., 2006: Formation of Single-Domain Iron Particles via Vapor-Phase Nucleation: Implications for the Solar Nebula. *Icarus*, 139, no. 2, 367 – 373.
- Woolfson, M., 2007: The Formation of the Solar System (Theories Old and New). Imperial College Press, London, 1 – 318
- Wurm, G., Blum, J., 1998: Experiments on Preplanetary Dust Aggregation. *Icarus*, 132, 125 – 136.

POZNÁMKY

Dotted lines for writing notes.



Agentúra
Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR
pre štrukturálne fondy EÚ



Európska únia
Európsky sociálny fond

Moderné vzdelávanie pre vedomostnú spoločnosť / Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ



Dopytovo orientovaný projekt číslo ITMS – 26140230006 „Vytvorenie a potvrdenie teórie vzniku Zeme akreciou v spolupráci s medzinárodnou uznávanými expertmi“ je riešený na Geofyzikálnom ústave Slovenskej Akadémie Vied v rámci výzvy OPV-2010/4.2/03-SORO.