

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

K Alfvénově teorii o vzniku sluneční soustavy

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 3 (1958), No. 2, 192--199

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137405>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1958

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>

## K ALFVÉNOVĚ TEORII O VZNIKU SLUNEČNÍ SOUSTAVY

Snad se bude zdát divným, že se v poslední době tolik seriosních vědeckých pracovníků zabývá problémem, jak vysvětlit vznik sluneční soustavy. Vždyť vědecká práce předpokládá přesné, spolehlivé propočty, založené na konkrétních faktech nebo na jasně prokázané fyzikální zákonitosti. U kosmogonických teorií však jako by se autoři náhle odtrhli od exaktní vědy a vrhli se do víru spekulací a nejbujnějších fantasií.

Pokud nám nejsou jasné dnešní procesy ve Slunci samém, je málo pravděpodobné, že najdeme správnou odpověď na otázku vzniku sluneční soustavy.

S vývojem znalostí o fyzikálních procesech ve Slunci však bude možno postupně jednotlivé teorie opravovat, zlepšovat a doplňovat a tak se velmi pomalu přibližovat skutečnému vývoji.

Najít správný proces vývoje bude obtížné i tehdy, jestliže šel vývoj klidně, bez vývojových skoků. Je však známo, že jde vývoj obvykle tak, že po pomalém, klidném vývoji se nahromadí tolik podmínek k náhlému výbuchu, že musí nastat skok ve vývoji. V tomto případě se zdá prakticky nemožným aby někdo skutečný vývoj spolehlivě dokázal.

Je zcela absurdní, domníváme-li se, že poznáme bezpečně procesy vývoje, vedoucí přes t. zv. katastrofické teorie. Neznamená to však, že bychom se otázkou vývoje neměli zabývat vůbec. Bude to však práce obtížná, zdoluhavá, která povede přes mnoho a mnoho teorií, jež budou postupně vyvraceny, z nichž každá však přinese aspoň malý příspěvek k dalšímu zkoumání.

Naději na úspěch mohou mít teorie, v nichž lze předpokládat pozvolný vývoj. I když je délka lidského života velmi krátká vůči změnám ve vesmíru, podařilo se již získat mnoho spolehlivých poznatků v oboru astronomického vývoje. Je třeba jen soustavně pozorovat a výsledky teorií stále srovnávat se skutečným stavem a opravovat je podle nových zkušeností.

Během vývoje naší sluneční soustavy mělo důležitou úlohu jistě mnoho fyzikálních procesů, o mnohých z nich možná, že dnes ještě vůbec nic nevíme. Vzpomeňme si jen na dosavadní kosmogonické teorie. Téměř všechny pokládají mechanický činitel za hlavní. Teprve v posledních několika desetiletích si zcela jasně uvědomujeme, že v astronomii jde převážně o plyn a to ještě o plyn, který je silně ionisován, a že ve velké většině astronomických procesů bude mít hlavní úlohu elektromagnetické pole, o němž se před několika málo desítkami let ještě nikomu ani nesnilo.

Moderní vývoj fyziky vede ke stále většímu odpoutávání se výzkumu od ryze mechanických procesů ke zkoumání vlivů různých polí, na pohyb a stav daného plasmatu. Ždá se, že elektrická, magnetická a elektromagnetická pole budou mít na pohyb aspoň tak velký vliv, jako pole gravitační, jež bylo do nedávna jediným uznávaným činitelem při změně pohybu v astronomii.

S novými poznatky fyzikálními musily vzniknout i nové kosmogonické teorie, opřené o nové — elektromagnetické — zákonitosti, objevené při studiu fyzikálního plasmatu.

Alfvénova teorie je jednou takovou, celkem velmi přesvědčujícím způsobem podanou teorií. Alfvén sice nevykládá vývoj nějakým zcela novým způsobem, ani netvrdí, že jeho teorie je jediné správnou, jeho teorie však má proti dřívějším teoriím mnoho kladů.

Předně nemusí řešit otázku, zda se vývoj děl „teplou“ nebo „studenou“ cestou, t. j. zda převládal vliv iontů a tím i elektrických a magnetických polí,

nebo zda převládaly neutrální částice a tím i rozhodující vliv gravitačního pole. U Alfvéna se uplatňují oba procesy.

Dále je velkou předností této teorie, že není třeba, aby Slunce při svém vývoji prošlo nahodilým hustým mezihvězdným mrakem. Alfvén vysvětluje vývoj planet mnohem přirozeněji. Vývoj se děl velmi pozvolna a hustota plynu, které k tomuto vývoji bylo třeba, nepřevyšovala  $10^6$  částic na  $\text{cm}^3$ , což je asi hustota vnější sluneční korony a jen  $10^{-14}$  hustoty vzduchu při povrchu Země.

Konečně — stejně jako u Šmidtovy teorie — je vznik planet i měsíců vysvětlován jako součást téhož vývojového procesu. Nehledá jiné podmínky pro vznik planet a jiné pro vznik měsíců.

## 1. Hlavní myšlenka Alfvénovy kosmogonie

Teorie začíná poslední fází vývoje Slunce. Zbytek oblaku, z něhož samo Slunce postupně „kondensovalo“, obklopuje stále ještě Slunce, a to ve vzdálenosti asi  $10^{17}$  cm. Alfvén předpokládá v závěrečných obdobích vývoje samého Slunce dva faktory: magnetické pole ve směru osy rotace a teplotu oblaku nad  $8000^\circ$ . Mezihvězdný plyn, který se dostává do blízkosti Slunce, bude složen jak z ionisovaných tak z neionisovaných částic. Neionisované částice budou pod vlivem gravitačního pole Slunce padat ke Slunci, ionisované zůstanou viset v dané vzdálenosti tak dlouho, dokud nedeionisují, nebo pokud se podél magnetických siločar nepřiblíží Slunci z polárních konců.

Jak Slunce a jeho okolí chladlo, klesala i teplota visícího ionisovaného oblaku. Jakmile poklesla teplota pod bod, odpovídající ionizačnímu potenciálu některého prvku, nastala deionisace tohoto prvku, jeho atomy přestaly mít elektrický náboj, takže mohly volně padat ke Slunci. Během svého pádu procházely stojícím mrakem ionisovaného plynu, takže se rychlost padajících částic časem stala dosti konstantní. Při srážce s ionisovanou částicí však předaly část své kinetické energie a tak se kinetická energie padající částice měnila v teplo.

Zvýšila-li se teplota nad hladinu ionizačního potenciálu, padající mrak se znovu zionisoval a zastavil se. Alfvén spočítal, že dva hlavní druhy padajících mraků (označil je *B* a *C*) se musily zastavit právě v místě malých a velkých planet a pokud již byly planety dosti vyvinuté, ještě v místě, kde jsou Jupiterovy a Saturnovy velké měsíce. Místo, kde se oblak zionisoval, závisí na rychlosti pádu, na druhu částic, jež byly v oblaku obsaženy a na hustotě ionisovaného plynu, kterým oblak difundoval.

Jakmile magnetické pole dosáhne určité intensity, nedovoluje nabitým částicím pohyb kolmý k siločarám. Částice se vznášejí. Byla tedy hustota ionisovaného plynu, kterým neionisované částice propadávaly, podstatně větší v rovině rovníku. Na pólech totiž i nabitě částice volně padaly podél siločar. Difuse propadávajícího oblaku byla na rovníku mnohem více bržděna, a proto tam bylo také již v mnohem větší vzdálenosti od Slunce dosaženo ionizační teploty. Padající neionisovaný oblak se proto na rovníku zastavil ve vzdálenostech odpovídajících vzdálenosti velkých a malých planet, zatím co v polárním směru padal až téměř k okraji Slunce, než se znovu zionisoval a zastavil.

Tím už se nahromadila hmota v rovině rovníkové a jednotlivé částice obíhaly v rovině rovníkové po Keplerových elipsách; postupně kondensovaly na menší zrnka, jež se během času zase spojovala v jednotlivé planety a měsíce.

Než došlo ke kondensaci, nastalo ještě další nahuštění plynu do roviny rovníku vlivem magnetohydrodynamické vlny. Ionisovaný plyn a později

i částice a planety s měsíci se nahromadily přímo v rovině rovníku centrálního rotujícího tělesa, t. j. Slunce a později i jednotlivých planet.

Nyní probereme jednotlivé vývojové procesy podrobněji.

## 2. Difuse deionisovaného oblaku stojícím oblakem ionisovaným

Uvažujme pro jednoduchost jen oblast rovníkovou. Je-li magnetické pole ve směru rotační osy, je kolmé k rovině rovníku. Zabrzdění pohybu ionisovaných částic je vždy v rovině kolmé k magnetickým siločarám, zatím co ve směru siločar se nabitě částice mohou volně pohybovat. Alfven se nezabývá otázkou, jak velké musilo být toto magnetické pole. Je třeba jen jisté nejnížší meze, která je potřebná, aby udržela částice ve kterékoli vzdálenosti od Slunce proti jeho přitažlivosti. V době vývoje sluneční soustavy musil být magnetický dipól Slunce a později i planet dosti značný, aby zabránil pádu ionisovaných částic. Zdá se, že byl podstatně vyšší než dnes.

Sledujme pohyb částic v rovníkových rovinách jednotlivých centrálních těles (nejprve Slunce, později i planet); magnetické pole je tam kolmé k poli gravitačnímu. Pokud je magnetické pole dostatečně velké, zabrání pádu ionisovaného plynu. Oblak ionisovaného plynu se bude v rovníkové rovině vznášet.

Neionisované částice, které propadávají tímto visícím ionisovaným plynem, difundují stojícím ionisovaným oblakem rychlostí, která závisí na době, jež uplyne mezi dvěma po sobě následujícími srážkami. Rychlost difuze neutrálních částic ionisovaným mrakem nezávisí na magnetickém poli, ani na hustotě padajících částic. Jejich pád odpovídá pádu tělesa v prostředí, jež klade slabý odpor.

Alfvenova vývojová theorie začíná okamžikem, kdy Slunce již dokončovalo svůj vývoj a kdy z oblaku, z něhož se samo vytvořilo, zbyl ještě dosti obsáhlý oblak o hustotě asi  $10^5$  částic na  $\text{cm}^3$  a o rozměrech asi  $10^{17}$  cm. Hustota i vzdálenost se mohly lišit i o několik řádů od této hodnoty, aniž by došlo k neshodě s teorií. Teplotu oblaku předpokládá Alfven v tomto stadiu vyšší než  $8000^\circ$ , i když Slunce bylo chladnější.

Během nějakých  $10^9$  let docházelo k pozvolnému chladnutí, při němž nastávala postupná deionisace. Pokud byla teplota nad  $8000^\circ$ , je podle Sahovy rovnice ionisován prakticky veškerý plyn. Pod  $2000^\circ$  je téměř veškerý plyn v neutrálním stavu. Při tom mohla být teplota Slunce velmi nízká, takže jeho záření nemělo prakticky žádný vliv na ionisaci obklopujícího oblaku; zdroje ionisace oblaku mohly být zcela jiného rázu, stejně jako sluneční korona má vysokou teplotu, jež není dána zářením Slunce jako černého tělesa.

Nechme proto stranou teplotu samého Slunce a sledujme, co se stalo s ionisovaným oblakem, který se vznášel nad Sluncem, během doby, kdy chladl z  $8000^\circ$  na  $2000^\circ$ .

Když teplota klesala pod  $8000^\circ$ , nastala deionisace helia a neonu, jež mají nejvyšší ionisační potenciál. Z visícího ionisovaného oblaku se postupně odtrhoval neionisovaný oblak neonu a helia, který Alfven nazývá oblakem A.

Podle hrubého odhadu je obsah helia ve vesmíru uváděn jako 1/4 celkové hmoty. Zbývá ještě 75% plynu ve visícím, ionisovaném oblaku, kterým musí oblak A difundovat. Difuze tak hustým stojícím mrakem bude velmi pomalá a Alfven vyslovuje domněnku, že oblak A měl pro vývoj sluneční soustavy zcela zanedbatelný význam.

Když klesla teplota pod  $4500^\circ$ , odtrhl se další oblak B, vzniklý deionisací vodíku, kyslíku a dusíku. Je zastoupen asi 3/4 celkové hmoty všeho plynu.

To znamená, že se z původního klidného ionisovaného oblaku již odtrhlo asi 99% hmoty. Zbývající asi 1% hmoty plynu, který je dosud ionisován, klade difusi oblaku již jen nepatrný odpor, takže oblak *B* již dosti velkou rychlostí klesá ke Slunci.

Dalším poklesem teploty pod 3000° nastala deionisace uhlíku a síry. Tento nepatrný zbytek (asi 1/4%) velmi rychle prodifunduje zbytkem ionisovaného plynu jako oblak *C*.

Konečně je oblak *D*, obsahující prvky příbuzné železu, manganu a křemíku. Jejich difuze bude velmi rychlá, protože v ionisovaném stavu je pod 2000° již jen nepatrné množství plynů podobných hliníku, vápníku nebo sodíku.

Kinetická energie částic pomalu difundujících hustým ionisovaným oblakem je malá a proto vyvolá oteplení, potřebné pro novou ionisaci, až blízko Slunce; rychle padající plyn má potřebnou ionizační teplotu již brzy po začátku pádu. Tak se pomalu difundující oblak *B* dostatečně zahřeje, zionisuje a zastaví až v oblasti vnitřních planet, oblak *C* již v místech, kde jsou dnes vnější planety a oblak *D* se zastaví tak brzy, že pravděpodobně může mít vliv nejvýše na vývoj Pluta a některých vnějších měsíců.

Protože se vývoj dál nepřetržitě i pak, kdy již byly planety v dnešní formě, kdy už měly dostatečnou hmotu, rotaci a magnetické pole, opakoval se podobný vývoj i v okolí planet. Padající oblaky obklopily planety a zastavily se v místech, kde jsou dnes jejich měsíce. Největší 4 Jupiterovy a vnitřních 5 Saturnových měsíců vzniklo podle Alfvénova výpočtu z oblaku *C*, zatím co vnější jejich měsíce a měsíce Uranovy byly vyvolány asi mrakem *D*.

Právě popsané procesy jsou podány pro velmi zjednodušené předpoklady. Vždyť i sama ionisace padajícího plynu může podle okolností probíhat podstatně rychleji nebo zas pomaleji. Na kvalitativním důkazu tato fakta však v podstatě nic nemění.

Je důležité, že nová ionisace nastává podle Alfvénovy teorie v rovníkových oblastech ve vzdálenostech podstatně větších od Slunce, než v oblastech polárních. Vzdálenost, ve které nastává nová ionisace padajícího plynu, je nezávislá na magnetickém poli. Je jen třeba, aby existovalo určité minimální magnetické pole, které by stačilo na udržení klidného ionisovaného oblaku.

### 3. Další nahromadění plynu do rovin rovníkových vlivem magneto-hydrodynamického efektu

V předešlé kapitole jsme poznali, že neionisované oblaky propadávaly v polárních oblastech prakticky až ke Slunci, zatím co v rovníkových oblastech nastala ionisace již ve velkých vzdálenostech od Slunce. Tím, že se v rovníkové rovině padající oblak brzy znovu zionisoval a vlivem magnetického pole zastavil, nastalo jisté zhuštění ionisovaného plynu v rovníkové rovině, jež stálým obnovováním mohlo dosáhnout i velkých hodnot.

Proti takovému nahustění ionisovaného plynu v úzké oblasti rovníkové však působí dva vlivy, jež spolu souvisí: Ambipolární difuze a pohyb ionisovaných částic k pólům podél siločar.

Jestliže se někde v neionisované oblasti vytvoří velký gradient hustoty ionisovaného plynu, nastává tak zvaná ambipolární difuze. Elektronky první difundují do oblastí s nižší elektronovou hustotou a tím vznikne polarisace náboje. V místech s nižší hustotou iontů je plasma záporné, v místech s větší hustotou kladné. Elektronky se vlivem coulombovského elektrického pole sice rychle vracejí zpět, avšak i ionty se tímto polem uvedou do pomalého pohybu

a to ve směru k okraji. Elektrony budou při své veliké rychlosti vždy o něco vpředu, nakonec však bude celková rychlost, kterou ionisované plasma s velkým gradientem hustoty prodifundovává ostatním plynem, jak pro ionty, tak pro elektrony stejná.

Tento proces probíhá vždy, kdykoli se někde v plasmatu náhle zvýší stupeň ionisace. Při tom může být v celé zkoumané oblasti všude stejný tlak, takže nejde o expansi plynu. Bude-li v široké oblasti všude stejný tlak, v některé její části však budou ionty a elektrony, zatím co ve zbyvající části budou jen neutrální částice, nastane difuze elektronů a iontů do neutrální oblasti. Tato difuze bude tím rychlejší, čím větší bude gradient hustoty ionisovaných částic.

Vraťme se k Alfvénovu modelu.

V určité vzdálenosti od rovníkové roviny bude neionisovaný plyn volně padat k povrchu Slunce, zatím co o něco blíže k rovníkové rovině se již bude tentýž plyn, avšak v ionisovaném stavu, vznášet. Ionisovaná oblast se však v rovině rovníku nemůže hromadit nad určitou hranici. Jakmile bude hustota ionisovaného plynu dostatečně velká, nastane ampibolární difuze, a protože se ionisované částice mohou zcela volně pohybovat jen ve směru magnetických siločar, může nastat jen difuze ve směru kolmém na rovinu rovníku, to je ve směru magnetických siločar. Zhuštěná ionisovaná oblast při rovníku se bude zřeďovat.

Přímo na rovníku jsou magnetické siločáry kolmé k rovině rovníku. Čím více se budou částice podél siločar vzdalovat od rovníku, tím více se bude jejich dráha přibližovat povrchu Slunce, až nastane přímý pád částic do Slunce.

Pro názornost si myslíme počáteční stadium vývoje, kdy mezi povrchem Slunce a ionisovanými oblaky ještě nebyla nijaká souvislost. Vodivý oblak a vodivé prostředí ve Slunci samém byly dosud elektricky izolované. V tomto počátečním stadiu probíhaly procesy tak, jak bylo právě popsáno. Ionisované částice se odpoutaly od rovníku, opsaly dlouhou dráhu podél magnetických siločar, až se dostaly do polárních oblastí, kde nastal jejich volný pád do Slunce. Jakmile však podle jednotlivých magnetických siločar ionisované částice dopadly do Slunce, vzniklo vodivé spojení mezi Sluncem a ionisovanou oblastí na slunečním rovníku. A tímto okamžikem se stav rázem změnil a pohyb ionisovaných částic se obrátil. Částice, jež vlivem svého náboje postupovaly podél magnetických siločar ve směru od rovníku k pólům, kde pak dokonce přímo padaly do Slunce, se nyní vracejí a jsou hnány podél těchto magnetických siločar odstředivou silou zpět k rovníku, kde táž odstředivá síla již stačí udržet i vysoký gradient hustoty. V rovníkové rovině se vytvoří úzká oblast o veliké hustotě. Síla, která tuto velkou hustotu způsobí, byla vyvolána magneto-hydrodynamickým zjevem.\*)

Magneto-hydrodynamický zjev, hlavně pak magneto-hydrodynamické vlny jsou novinkou posledních snad 20 let, velmi rychle se však uplatňuje ve fyzice plasmatu, hlavně pak v plasmatu astronomickém, pokud je v magnetickém poli.

Vmysleme se zas do počátečního stadia, kdy vodivá oblast ve Slunci je od ionisovaného vodivého oblaku, (který visí v dostatečné výšce nad Sluncem) oddělena nevodivou oblastí. Předpokládá-li theorie, že jde v podstatě o týž oblak, z něhož vzniklo samé Slunce, lze očekávat, že jak ve Slunci, tak v oblaku

\*) Viz článek A. Hrušky: *Magneto-hydrodynamické vlny a jejich aplikace v astrofyzice*, v tomto časopise, II, č. 5, 1957. Pozn. red.

bude týž rotační moment. Protože teorie předpokládá, že je oblak ve vzdálenosti o několik řádů větší nežli je poloměr Slunce, bude úhlová rychlost částic oblaku zanedbatelná vůči úhlové rychlosti Slunce. To bude platit jen potud, pokud budou mezi Sluncem a oblakem nejdříve neutrální částice.

Jakmile dojde k vodivému spojení mezi Sluncem a oblakem, projeví se magneto-hydrodynamické síly. Jakmile je vodivý oblak spojen vodivě s centrálním tělesem, jež se otáčí a má magnetické pole ve směru rotační osy, elektromagnetické síly urychlí pohyb částic tak, aby se všechny ionisované oblasti otáčely stejnou úhlovou rychlostí jako centrální těleso. Je to v souvislosti s Ferrarovým theoremem z r. 1937, podle něhož *„kterákoli část magnetické siločáry má tendenci pohybovat se ve vodivém prostředí vždy touž úhlovou rychlostí. Jestliže existují rozdíly v úhlové rychlosti, vzniknou magneto-hydrodynamické zjevy, jež vyvolají přenos momentu“*.

Alfvén uvádí dva příklady z astronomie. Vyvržený plyn, který ve směru magnetických siločar prudce proudí z fotosféry do korony, otáčí se se Sluncem stejnou úhlovou rychlostí. V ionisovaném chvostu komet však nenastává ve směru sluneční rotace, protože za dnešního stavu není vodivé spojení mezi Sluncem a kometou.

Experimentálně vyvolal magneto-hydrodynamické vlny v r. 1949 Lundquist. Na dno válcovité nádoby, naplněné rtutí, umístil kovový kotouč, který bylo možno kdykoli roztočit. Na hladinu rtuti postavil lehký stojánek se zrcátkem, jež osvětleno, vrhalo světlo na kruhovou stupnici, upevněnou kolem válcové nádoby. Bylo vyvoláno silné magnetické pole takové, aby jeho siločáry šly ve rtuti všude rovnoběžně s osou válce. Jakmile se kovový disk roztočil, vznikla ve rtuti magneto-hydrodynamická vlna, jež se rychle šířila směrem vzhůru. Jakmile dosáhla povrchu, otočil se stojánek se zrcátkem ve směru rotace kotouče. Rotace rtuti se stále urychlovala a po krátké době se celý rtuťový sloupec otáčel stejně rychle, jako dolejší kotouč. Doba, potřebná k dosažení tohoto stacionárního stavu, byla jen několiknásobkem doby potřebné, aby se magneto-hydrodynamická vlna dostala od dolejšího kotouče k horní hladině.

Podobně je tomu i v astronomii. Vodivý, ionisovaný plyn, obklopující rotující centrální těleso, se v magnetickém poli, rovnoběžném s osou rotace, pohybuje všude konstantní úhlovou rychlostí, stejnou, jakou se pohybuje těleso centrální.

Jestliže úhlová rychlost části vodivého plynu není stejně velká jako úhlová rychlost centrálního tělesa, vyvolají magneto-hydrodynamické vlny změnu rotačního momentu. Tato změna momentu jde na úkor energie centrálního tělesa, jež se tak mění v teplo. Přenos rotačního momentu z planet na měsíce byl celkem nepatrný; při přenosu rotačního momentu ze Slunce na planety, hlavně na planety obří, přešlo přes 99% rotačního momentu ze Slunce na vnější planety. Rychlost rotace Slunce byla na začátku vývoje tedy podstatně vyšší a teprve během vývoje planet se přenosem rotačního momentu na ionisovaný plyn rotace Slunce zpomalovala.

Alfvén vysvětluje tímto způsobem i různou úhlovou rychlost v různých šířkách Slunce. Rozděluje ionisovaný plyn na dvě oblasti. Na oblast polární, v níž je pád částic k povrchu Slunce volný a na oblast rovníkovou, kde převládá odstředivá síla nad přitažlivou. Povrch Slunce je na rovníku do jisté míry odisolován od vznášejícího se, ionisovaného meziplanetárního plynu, takže z rovníkových oblastí Slunce prakticky nenastával přenos rotačního momentu a tím ani zpomalení rotace Slunce. Vodivé spojení se Sluncem přes

magnetické siločáry může nastat spíše prostřednictvím polárních oblastí Slunce, jež se proto také zpomalují vůči rovníku.

Uvedené výsledky můžeme stručně shrnout takto: Jakmile nastane vodivé spojení mezi centrálním tělesem (Slunce, planeta) a obklopujícím ionizovaným plynem, padají ionizované částice do Slunce jen z částí polárních. V rovníkových krajinách se rotace urychlí tak, že odstředivá síla silně převládne nad silou přitažlivou. Ionizované částice plynu, které se již podle předešlé kapitoly hromadily k rovině rovníku, jsou teď odstředivou silou odpuzovány od Slunce. A protože se mohou volně pohybovat jen ve směru magnetických siločar, posouvají se po siločarách co nejdál od povrchu Slunce, to jest k rovině rovníkové. Čím větší bude odstředivá síla, tím větší množství ionizované hmoty se udrží v úzkém pásu, obepínajícím rovinu rovníku. Veškerá ionizovaná hmota se nahustí do roviny rovníkové, v níž obíhá kolem centrálního tělesa. Urychlení

oblaku probíhá normálně až do Keplerovy rychlosti  $\left( m r^2 \omega^2 = \kappa \frac{M_c \cdot m}{r} \right)$ . Jakmile je tato rychlost překročena, nastávají vhodné podmínky pro kondensaci.

#### 4. Kondensace

V rovině rovníku, kde se ionizované částice nahustily, spojilo se časem více částic v malá zrnka, jež rostla, v dalším stadiu se jednotlivá zrnka spojila ve větší celky, až narostla do rozměrů, jaké mají měsíce a planety.

Podmínky pro kondensaci se neobyčejně zvýší, budou-li zrnka obklopena jen plynem ionizovaným. Zrnka sama, tím, že vyzařují, budou poměrně studená, zatím co okolní kvasineutrální plasma může mít relativně dosti vysokou teplotu. Zrnka budou v prvním stadiu pohlcovat především rychle elektrony. Tím se stanou zápornými. Pokud bude zrnko samo chladné a fotoefekt dostatečně malý, může dosáhnout potenciál zrnka i řádově několika voltů.

Jakmile se záporný náboj zrnka dostatečně zvýší, přestanou se elektrony přitahovat a začne naopak přitahování kladných iontů. Ve stacionárním stavu pak oba druhy nabitých částic narážejí ve stejném počtu na zrnka (zas jistý druh ambipolární difuze). Zrnka tak v ionizovaném plynu podstatně rychleji narůstají, nežli v plynu neionizovaném.

Podmínkou rychlého růstu zrněk je jednak nízká teplota zrnka, jež zabráňuje hlavně vypařování elektronu ze zrnka, vysoká teplota plynu, jež umožňuje velkému počtu ionizovaných částic, aby narážely na zrnka, dále malá fotoelektrická emise elektronů ze zrněk a konečně podmínka, aby se rychlost zrněk příliš nelišila od rychlosti okolního oblaku.

Poslední podmínka bude podle Alfvéna v magnetickém poli splněna tehdy, když gravitační síla, působící na ionizovaný plyn, bude právě v rovnováze

se silou odstředivou:  $\frac{3}{2} R \omega^2 \cos^2 \varphi = \kappa \frac{M_c}{R^2}$ . Dráha zrněk, jež by se ve vakuu

pohybovala po Keplerových elipsách, bude při pohybu ionizovaným oblakem rušena. Podle výpočtu, který Alfvén ve své knize uvádí, vidíme, že relativní rychlost zrnka vůči plasmatu je v afelu nulová tehdy, pohybuje-li se zrnko po elipse o excentricitě rovné 1/3. V tom případě je účinný průřez zrnka pro narážející nabitě částice největší. Podle Alfvéna výpočtu se dráha zrněk bude vlivem zmíněných poruch dokonce postupně přibližovat elipse o excentricitě 1/3 a když bude zrnko v afelu, nastane největší kondensace na jeho povrchu



a tím i největší narůstání objemu. Lze soudit, že tělesa, která jsou dnes ve vzdálenosti  $r$  od centrálního tělesa, kondensovala kdysi převážně ve vzdálenosti  $3/2 r$ .

Jak se v rovníkové rovině jednotlivá zrnka pohybovala s velkou excentricitou, nastávaly mezi nimi občasně srážky. Protože se však všechna pohybovala stejným směrem a dosti stejnou rychlostí, nebyly tyto srážky prudké, nýbrž často velmi pozvolné, takže přitažlivá síla mezi nimi byla někdy menší, nežli odpudivá síla, vyvolaná nárazem. Při takových „měkkých nárazech“ se občasná zrnka spojovala ve větší celky, až se vytvořila dnešní tělesa sluneční soustavy.

Saturnovy prstence vysvětluje Alfvénova teorie tím, že se při malé hmotě Saturna zastavila část oblaku  $C$  až pod Rocheovou mezí. Podobným a ne zcela jasným způsobem vysvětluje i prstence asteroidů mezi Martem a Jupiterem. Zde prý, na rozhraní mezi vznášejícím se oblakem  $C$  a hlouběji stojícím oblakem  $B$ , bylo již poměrně málo hmoty, takže se reálná planeta nemohla vytvořit.

## 5. Závěr

To byl stručný přehled Alfvénovy kosmogonie. Alfvén sám upozorňuje několikrát ve své knize, že propočítal veškeré procesy za velmi zjednodušujících předpokladů. Pokud však závěry z nich vyplývající byly správné a odpovídaly skutečnosti, bylo je možno spolehlivě použít aspoň jako kvalitativního důkazu. Skutečný proces probíhal jistě podstatně složitěji.

Je to na příklad otázka odpoutávání se jednotlivých oblaků od původního ionisovaného oblaku. Proces neprobíhal tak, že by se nejprve odpoutal celý oblak  $A$ , a teprv když byl plně deionisován a prodifundoval stojícím oblakem, že by teprve nastala deionisace dalšího oblaku  $B$ . I když Alfvén předpokládá, že mezi odpoutáním dvou po sobě následujících oblaků uplynula doba řádově  $10^9$  let, lze očekávat, že přes to mnohé procesy, které byly zkoumány odděleně, probíhaly současně. Mnohý oblak při difuzi strhával sebou i částice jiného druhu, nebo se různé částice špojovaly a padaly společně, takže padající oblaky nebyly chemicky tak čisté, jak teorie uvádí.

Náš článek neobsahuje žádné rovnice, nýbrž jen jejich fyzikální interpretaci. Snad bude čtenáři milejší, najde-li v tomto stručném výtahu celou fyzikální podstatu Alfvénovy teorie, podle níž si pak v originále lehko najde exaktní matematické řešení, ke kterému Alfvén dospěl. Celá Alfvénova kniha je totiž prací vysloveně theoretickou. Byly proto jen dvě možnosti: buď na úkor fyzikálních dějů zaplnit článek aspoň 50 rovnicemi, jejichž odvození by ve většině případů zas mohlo být jen stručně naznačeno, nebo vynechat rovnice vůbec a odkázat u nich čtenáře na originál. Myslím, že druhá eventualita bude pro řadu čtenářů přijatelnější.

E. CH.